



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
POSGRADO EN GEOGRAFÍA

**“REGENERACIÓN VEGETAL EN DEPÓSITOS LAHÁRICOS DE LA
BARRANCA MONTEGRANDE, VOLCÁN DE FUEGO DE COLIMA”**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN GEOGRAFIA**

**PRESENTA:
ALANÍS ANAYA ROCÍO MARISOL**

**TUTOR
DR. ARTURO GARCÍA ROMERO**

2011





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Todo puede suceder en la ladera del volcán. Bajo la rugosa vertiente milenaria crepita el horno de la tierra. Ahí se cuece la vida que asoma a la soleada superficie a través de los poros y las grietas de la corteza para convertirse en árboles y matorrales, aves y alimañas, hombres y ganado...Nada es imposible en el misterioso paraje en que se ubican estos acontecimientos...

Sarabia, A. 1999

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada quiero agradecer el apoyo otorgado por CONACYT y el proyecto “Contexto cultural y consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques templados del centro-sur de México” (PAPIIT, clave: IN309108), sin los cuales este trabajo no habría podido realizarse.

Agradezco al Dr. Arturo García Romero por haberme otorgado sus conocimientos y apoyo incondicional en todo momento, más que un tutor has sido un buen amigo.

A mis sinodales Dra. Irma Trejo Vázquez, Dra. Lucía Capra Pedol, Dr. Gabriel Legoreta Paulin y Dr. Lorenzo Vázquez Selem, por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo y las invaluable observaciones que contribuyeron a mejorarlo. Asi como al Dr. Julio Muñoz-Jiménez por su apoyo en el trabajo de campo.

Las instituciones que contribuyeron de manera fundamental a las cuales hago un importante reconocimiento son el Posgrado en Geografía, Instituto de Geografía, Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología de la UNAM, Herbario Nacional, Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra, Universidad de Colima y Protección Civil Colima, gracias por toda el apoyo e infraestructura otorgada a esta investigación.

De manera muy especial agradezco a la Dra. Lucia Capra Pedol del Centro de Geociencias Juriquilla UNAM, la Mtra. Norma Dávila Hernández y Mtro. Juan Carlos Gavilanes por la información y datos aportados a esta tesis. A los profesores Cristina Siebe, Lucy Mora, Jose Lugo Hubp, Gilda Ortiz, Irasema Alcántara, Daniel Díaz de los Monteros y Fernando Aceves por todo el apoyo académico y moral que me brindaron durante la realización de mi tesis. Asimismo a Aslam Narvaez Parra por tan didácticas y hermosas ilustraciones.

Agradezco a mi familia: mi hermano Antonio por su comprensión e interés, a Alfonso por su mal genio (jajaja), pero sobre todo a mi madre por toda su entrega y dedicación a lo largo de toda su vida.

Un agradecimiento muy grande a todos mis amigos que fueron cómplices y disfrutaron conmigo cada una de las aventuras al maravilloso Volcán de Fuego: Amiel Nieto, Carlos Granados, Carlos Mendoza, Javier García, Laeticia García, Mani, Maria Chapela, Nayelli Zaragoza, Rafael Lara y Yoani Montoya. ¡Sin su ayuda jamás no lo hubiera logrado! (^O^)

Finalmente les agradezco a todos ustedes miguis miguis que me han robado el corazón en cada uno de los momentos que compartimos: Evi, Mirn, Neno, Amiel, Chofos, Jannu, Ivonne, Nayelli, Laety, Yoanis, Dany, Pedro, Gaby y a ti Aslam que has sabido sacarme de mi mundo en el momento preciso.

INDICE

Resumen..... 1

Capítulo I. Metodología de la investigación en la Barranca Montegrande..... 2

 1.1 Definición del problema..... 2

 1.2 Justificación..... 2

 1.3 Objetivo..... 3

 1.4 Hipótesis..... 3

 1.5 Método..... 3

Capítulo II. Regeneración vegetal en bosque templado a bosque subtropical..... 11

 2.1 El Ecotono de las comunidades de bosque de pino-encino y selva baja caducifolia..... 11

 2.2 Aporte de la regeneración vegetal en zonas volcánicas de bosque de pino-encino y selva baja caducifolia..... 15

 2.3 Factores climáticos, edafológicos y geomorfológicos que favorecen el crecimiento vegetal en zonas de transición de bosques de pino-encino a selva baja caducifolia..... 18

Capítulo III. El Volcán de Fuego de Colima..... 23

 3.1 Actividad Eruptiva del Volcán de Fuego de Colima..... 24

 3.2 Características del Volcán de Fuego de Colima..... 24

 3.3 Influencia de los lahares en la Barranca Montegrande..... 28

Capítulo IV. Resultados y Discusión..... 33

 1. Distribución espacial de las unidades geomorfológicas expuestas a lahares recientes..... 33

 2. Factores explicativos en los hábitats expuestos a lahares recientes..... 39

 3. Características de la vegetación en las unidades geomorfológicas expuestas a lahares recientes..... 52

 4. Influencia de los factores explicativos en la vegetación..... 72

Conclusiones..... 83

Referencias..... 86

Apéndice 1. Actividad histórica del Volcán de Fuego de Colima..... 90

Apéndice 2. Descripción de perfiles edáficos..... 93

Apéndice 3. Registro de especies encontradas al interior de la Barranca Montegrande..... 117

“REGENERACIÓN VEGETAL EN DEPÓSITOS LAHÁRICOS DE LA BARRANCA MONTEGRANDE, VOLCÁN DE FUEGO DE COLIMA”.

Resumen.

El Volcán de Fuego de Colima es un estratovolcán ubicado entre los estados de Colima y Jalisco, a 30km al norte de la ciudad de Colima y a 100km al sur de la ciudad de Guadalajara. En los últimos 400 años ha tenido una actividad de tipo explosivo, con más de 43 erupciones que lo colocan como el más activo de Norteamérica. Destaca un intenso proceso de formación de lahares; como el ocurrido durante el verano de 2006, cuando se obtuvo el registro de 19 lahares en las barrancas de La Lumbre, Montegrande, San Antonio y la Arena. Dado que la intensa actividad lahárica ha derivado en un fuerte impacto en la vegetación, en este trabajo se analizó la capacidad de regeneración vegetal dentro de la Barranca Montegrande, a través de un inventario fisonómico-estructural de la vegetación y la evaluación de factores ambientales (estabilidad, exposición, inclinación y precipitación) y edáficos (concentración de carbono y nitrógeno, densidad aparente, densidad de raíces, estructura, humedad, mantillo, pedregosidad, pH, porosidad, rocosidad y textura) en tres hábitats con diferencias en estructura vertical y horizontal, los cuales están expresados en tres unidades geomorfológicas derivadas de distintas etapas de actividad lahárica: a) Terrazas Antiguas (formadas a partir de erupciones históricas). b) Terrazas Recientes (derivadas de la actividad eruptiva de 1999 a 2009). c) Abanicos Laháricos (conformados por erupciones históricas y recientes). Los resultados mostraron la presencia 70 especies pertenecientes a 28 familias de las cuales, en los hábitats con suelos del Tipo Regosol de las Terrazas Antiguas y Terrazas Recientes destacaron las especies *Baccharis pteronoides*, *Buddleia parviflora*, *Gnaphallium oxiphyllum* y *Senecio salignus*, asociadas a bosque de pino-encino; y en los hábitats con Fluvisoles y Regosoles de los hábitats de Abanicos Laháricos predominaron *Hyptys albida*, *Senecio salignus*, *Lantana camara*, *Rhynchelytrum repens* y *Verbesina fastigiata*, especies pertenecientes a un matorral subtropical que representa una fase sucesional de una selva baja perturbada. Asimismo al interior de cada hábitat se identificó la presencia de tres micro-hábitats que responden a la depositación diferencial de los fragmentos laháricos en rocosidad fina, rocosidad media y rocosidad gruesa, destacando esta última por ser un micro-ambiente que contribuye a la conservación de humedad aprovechable para las plantas, lo cual se refleja en las diferencias significativas que resultaron para talla y cobertura en el hábitat de Terrazas Recientes. Finalmente se identificó a *Baccharis pteronoides*, *Buddleia parviflora*, *Hyptys albida*, *Gnaphallium oxiphyllum*, *Lantana camara*, *Rhynchelytrum repens*, *Senecio salignus* y *Verbesina fastigiata* como especies con alta tolerancia al disturbio.

Capítulo I. Metodología de la investigación en la Barranca Montegrande.

1.1 Definición del problema.

El Volcán de Fuego de Colima posee una constante e intensa actividad eruptiva, que frecuentemente concentra considerables cantidades de material piroclástico en el área próxima a su cima; es por ello que durante el periodo de lluvias se registran constantes eventos laháricos. Estos flujos de fluyen en las principales barrancas, pasando de un régimen de erosión a depositación. Dependiendo de la concentración de material arrastrado, pueden representar un importante factor de destrucción con escenarios que van desde la pérdida de la vegetación en el fondo de las barrancas hasta el daño en la infraestructura carretera y eléctrica adyacente. Uno de los últimos eventos de gran impacto ocurrió al Sur del Volcán de Fuego en el año 2006, cuando una serie de 19 lahares provocó la desaparición parcial de la vegetación y afectaciones en las instalaciones eléctricas a lo largo de la Barranca Montegrande. Además del alcance destructivo que provocaron los lahares en la vegetación es muy probable que la regeneración vegetal también se vea condicionada por factores que afectan el establecimiento de especies pioneras, las cuales si bien no necesitan condiciones específicas para su desarrollo; no son capaces de prosperar rápidamente en las condiciones de total esterilidad que brinda un lahar; es por ello que en el presente estudio se analizaran factores ambientales tales como estabilidad, exposición, inclinación y precipitación; y factores edáficos que incluyen concentración carbono y nitrógeno, densidad aparente, densidad de raíces, estructura, humedad, mantillo, pH, pedregosidad, porosidad, rocosidad y textura.

1.2 Justificación.

La vegetación al interior de los barrancos del Volcán de Fuego, experimenta cada año un grado de afectación, derivada de los flujos laháricos que descienden durante la temporada de lluvias. No obstante, su desaparición posibilita la realización de estudios que permitan el entendimiento de la regeneración vegetal en condiciones estériles y su posible aplicación en estudios de restauración de ambientes perturbados. Esto es muy importante ya que actualmente existen muchos programas de recuperación de sitios con alteración antrópica que introducen en su mayoría especies arbóreas ignorando el aporte de la composición vegetal en otros estratos, las cuales son fundamentales para la recuperación de suelos perturbados, sobre todo en las primeras fases de la regeneración vegetal. Siendo así, el registro biológico de áreas volcánicas activas es de gran interés, ya que al determinar los procesos de regeneración, a través del estudio de la estructura, la composición vegetal, y las propiedades edáficas y geomorfológicas, se puede conocer la respuesta de los ambientes afectados por continuos disturbios; así como, las especies de alto potencial para proyectos de restauración y estabilización de laderas.

1.3 Objetivo.

El objetivo central de esta tesis es determinar el avance y dinámica de la regeneración vegetal en depósitos laháricos antiguos y recientes, así como, determinar la importancia ambiental y edáfica en el establecimiento y desarrollo de la vegetación primaria en la Barranca Montegrande, ubicada en la vertiente sur del Volcán de Fuego de Colima.

Objetivos particulares:

- Establecer la secuencia cronológica de los principales eventos laháricos recientes de la Barranca Montegrande.
- Identificar y comparar las diferentes unidades geomorfológicas presentes en depósitos laháricos (antiguos y recientes) por el nivel de desarrollo estructural de la vegetación, para determinar la regeneración vegetal en distintos ambientes laháricos.
- Identificar la importancia de los factores ambientales (estabilidad, exposición, inclinación y precipitación), con especial atención en las condiciones edáficas (concentración carbono y nitrógeno, densidad aparente, densidad de raíces, estructura, humedad, mantillo, pH, pedregosidad, porosidad, rocosidad y textura) que influyen directamente en los procesos de regeneración vegetal dentro de la Barranca Montegrande.

1.4 Hipótesis.

Dentro de la Barranca Montegrande se observa una compleja secuencia de eventos laháricos, razón por la cual, se encontrará una variabilidad de hábitats diferenciados por el estado y dinámica de regeneración vegetal, así como en la influencia de los factores ambientales (estabilidad, exposición, inclinación y precipitación) y edáficos (concentración carbono y nitrógeno, densidad aparente, densidad de raíces, estructura, humedad, mantillo, pH, pedregosidad, porosidad, rocosidad y textura); lo cual favorecerá o inhibirá el proceso de establecimiento y desarrollo vegetal sobre depósitos laháricos recientes.

1.5 Método.

A) Cartografía preliminar de las diferentes unidades geomorfológicas.

Se realizó un análisis visual de la zona de estudio y se observaron todas las geoformas que componen al Volcán, poniendo especial énfasis a la Barranca Montegrande; para ello se recurrió al siguiente material cartográfico:

- Cartas topográficas y de uso de suelo y vegetación de INEGI con escala 1:50 000; Venustiano Carranza (E13B24), Ciudad Guzmán (E13B25), Cómala (E13B34) y Cuauhtémoc (E13B35).
- Fotografías aéreas del año 2004 con escala 1:27 000.
- Ortofotos digitales de 2000 y 2007 (E13B35A) con resolución de 3m por pixel.
- Imágenes de satélite, Google Earth del año 2007 con resolución de 0.60m por pixel, y Aster del 2008 con 15m por pixel.

A través de las diferencias en estructura horizontal y vertical de la vegetación, dentro de la barranca pudieron ser identificadas las unidades geomorfológicas de Ladera, Terrazas Antiguas, Terrazas Recientes y Abanicos Laháricos; las cuales indican la presencia de diferentes tipos de hábitats, definiendo al hábitat como un sitio que provee condiciones bióticas y abióticas específicas, las cuales aportan los recursos necesarios para el establecimiento y reproducción de una o más comunidades (Anthony y Connolly, 2004; Jones, 1997; Odum y Barrett, 2006).

B) Determinación de sitios de muestreo.

La determinación de sitios de muestreo a lo largo del transecto altitudinal de 1595 a 1843 m s.n.m. dentro de la Barranca Montegrande, se realizó mediante la observación directa y fotográfica de los pisos bioclimáticos y los tipos de vegetación (bosques, matorrales y pastizales) más representativos dentro de las unidades geomorfológicas, considerando la diversidad de depósitos debida a la dinámica geomorfológica y orientación de la ladera.

El tamaño de las unidades de muestreo se estableció mediante el método de “Área Mínima de la Muestra”, que considera la fluctuación en el número de especies obtenido en subconjuntos que se van ampliando sistemáticamente (Matteucci y Colma, 1982), se obtiene el área mínima de muestreo cuando el número de especies se estabiliza con los incrementos en el área de la muestra para cada unidad geomorfológica. En el hábitat de Terrazas Recientes se establecieron 45 parcelas circulares de 2m de diámetro, en el de Terrazas Antiguas 8 cuadrantes de 5x5m y en los hábitats de los Abanicos Laháricos 16 cuadrantes de 5x5m, las cuales fueron ubicadas visualmente a través de marcas de referencia, tales como troncos de árboles, rocas, deslizamientos o cercanía al cauce.

Para evitar que la actividad torrencial de la barranca y las acciones antrópicas comprometieran la permanencia de las marcas de referencia donde se realizó el muestreo de vegetación, se hizo un establecimiento definitivo de los sitios por medio de la colocación de estacas, referenciadas con ayuda de GPS y triangulaciones a los elementos de mayor permanencia en el paisaje (árboles y rocas grandes).

C) Representación grafica de la distribución espacial de los diferentes hábitats.

Para la elaboración del mapa de unidades geomorfológicas que representan a los diferentes hábitats al interior de la Barranca Montegrando, se partió de la copia analógica de una ortofoto digital de 2004 con una resolución de 3m por píxel que sirvió para corregir geoméricamente una imagen tomada de Google Earth con resolución de 0.60m por píxel del año 2007 en el programa ArcView GIS Version 3.1; posteriormente, se delimitaron las unidades geomorfológicas de laderas, Terrazas Antiguas, Terrazas Recientes y Abanicos Laháricos; las cuales fueron corroboradas con ortofotos digitales de los años 2000 y 2004, la carta topográfica de Cuauhtémoc E13B35 y verificaciones en campo. En este mapa se integraron los datos de geoposición de las unidades de muestreo de vegetación y de los perfiles edáficos.

D) Registro de parámetros de la vegetación.

Una vez ubicadas las unidades de muestreo, en los 8 cuadrantes de 5x5m pertenecientes a las Terrazas Antiguas se realizó un inventario fisonómico-estructural de la vegetación en Febrero de 2009; mientras que en las 45 parcelas de 2m de diametro de Terrazas Recientes se hicieron dos inventarios, el primero en febrero de 2009 y el segundo en febrero de 2010; finalmente, en las parcelas de 5x5m de los Abanicos Laháricos se tomó un inventario en febrero de 2010. Para cada inventario se siguió el criterio para la estimación del proceso de colonización y sucesión vegetal (Lawrence y Ripple, 2000; Haruki y Tsuyuzaki, 2001; Larson, 2003; Titus y Tsuyuzaki, 2003; Dale et al., 2005; Del Moral y Eckert, 2005; Muñoz et al., 2005); recopilando datos de:

- ✓ Riqueza; determinando el número de especies al interior de cada parcela.
- ✓ Abundancia; contabilizando el número de individuos por especie en cada parcela.
- ✓ Cobertura Vegetal; estimando el porcentaje que cubren las estructuras aéreas de las plantas en el interior de las parcelas.
- ✓ Talla; midiendo la altura solo del individuo más alto por especie en cada parcela.

Lo anterior permitió obtener una base de datos de la vegetación de la Barranca Montegrando para cada uno de sus hábitats, con la cual se realizaron análisis correspondientes a estadística descriptiva (desviación estándar, media aritmética, mediana y varianza), índice de Diversidad de Shannon-Wiener y gráficos de dispersión, para conocer cuál era el comportamiento de las variables tomadas en cada hábitat.

E) Determinación y caracterización de asociaciones.

A las diferentes unidades geomorfológicas encontradas se les aplicó un análisis de conglomerados CLUSTER en el programa XLSTAT-2010, utilizando una correlación de similitud de Spearman con el método de glomeración de enlace medio. Dicho análisis se realizó con los datos de abundancia, ya que éstos representan un parámetro útil para correlacionar espacialmente las

unidades de muestreo (León et al., 2007), identificar las primeras asociaciones florísticas y ubicar los distintos tipos de micro-hábitats dentro en los depósitos laháricos de 2006.

F) Determinación de los factores ambientales-edáficos.

En cada una de los hábitats se tomaron datos de 4 factores del ambiente, para poder determinar cuál es su influencia en la vegetación dentro de la Barranca Montegrande.

- ***Estabilidad de ladera.*** Determinada principalmente por procesos erosivos que ocasionan la erosión del suelo, a través de la acción del agua, el viento, actividades antrópicas y morfología de los depósitos. El mayor grado de erosión se presenta cuando hay cambios de vegetación que dejan expuesto el suelo, lo que ocasiona que se intensifique la pérdida de material mineral desestabilizando el sustrato e impidiendo el establecimiento de nuevos individuos vegetales. Su evaluación se realizó identificando evidencias de erosión laminar ocasionada por arrastre de agua, clasificándolas en escorrentía difusa, terracetos o cárcavas.
- ***Exposición de ladera.*** Dado que la precipitación suele ser más intensa en laderas de barlovento que en las de sotavento, dentro de una barranca la precipitación será diferencial dependiendo de la exposición de la ladera; esto sumado a la alta radiación solar ocasiona parches de vegetación que se distribuyen en función de la humedad (Cortez-Fernández, 2006; Maderey y Jiménez, 2005). Para determinar cuál era la orientación de la ladera en cada parcela se utilizó una brújula.
- ***Inclinación.*** Influye principalmente en los procesos de erosión y la escorrentía al interior del suelo; entre mayor sea, menor será la disponibilidad de sustrato y de agua disponible para el aprovechamiento de las plantas (FAO, 2000). Este factor se evaluó a través de la medición en círculo completo de una brújula Brunton para cada parcela.
- ***Precipitación.*** Es el mayor aporte de humedad en los suelos; por tanto, su intervención en el desarrollo de las plantas es fundamental tanto para mantener la turgencia de sus células como para el transporte de nutrimentos del suelo al interior de las mismas (Cronquist, 1992; Emck et al., 2006). Además, con el análisis de la precipitación se puede estimar la incidencia de lahares que pueden afectar establecimiento de las plantas. Para este factor se recurrió a la ayuda de la Doctora Lucia Capra del Centro de Geociencias UNAM Juriquilla, quien nos proporciono datos de precipitación provenientes de una estación pluviométrica colocada dentro de la Barranca Montegrande (Capra et al., 2010).

Por otro lado, para cada hábitat con distinto grado de desarrollo se realizó la descripción de un perfil edáfico con el fin de obtener una meso-catena a lo largo de la Barranca Montegrande siguiendo los criterios de Siebe et al., 2006. El análisis edáfico consistió en la descripción completa en campo de 10 perfiles de suelo (3 en depósitos de Terrazas Antiguas, 3 en depósitos de Terrazas Recientes y 6

en Abanicos Laháricos) y la toma de muestras de cada uno de sus horizontes, las cuales posteriormente fueron secadas, maceradas y tamizadas con una malla <2mm, para un posterior análisis de laboratorio. Resultando las siguientes propiedades:

Factores Físico-Biológicos (Registrados en Campo).

- Densidad Aparente. Es la relación de peso de suelo por unidad de volumen (g/cc), indica la porosidad, grado de aireación y capacidad de drenaje de un sustrato; se cuantifica con valores de entre 0.4 a 2.0, los valores bajos muestran suelos porosos con buen drenaje y aireación contrario a los valores altos que manifiestan suelos muy compactos con muy mal drenaje; su influencia en las plantas consiste en la disponibilidad de agua, nutrimentos y aireación en raíces. Su determinación consistió en introducir un cuchillo dentro de los horizontes, comparando la dificultad para introducirlo junto con su textura en una tabla de semi-cuantificación de densidad aparente para suelos secos.
- Densidad de Raíces. Es el número de raíces en un decímetro cuadrado, indica la porosidad y humedad disponible del suelo; entre mayor sea el número de raíces en horizontes profundos mayor es la cantidad de nutrimentos y soporte que el sustrato ofrece a la vegetación. La estimación se realizó contando las raíces finas por dm² en todos los horizontes y evaluando la cantidad <1 como nula y >50 como extremadamente alta.
- Estructura. Es el arreglo y aglutinación de partículas del suelo (Ped o agregado), que a su vez están separadas de otros agregados por superficies de ruptura; los suelos estructurados favorecen el desarrollo de las plantas al otorgar buenas condiciones de humedad, aireación y penetrabilidad para las raíces. La macroestructura se definió observando la forma, tamaño y grado estructural de los agregados.
- Humedad. Es el grado de saturación y retención de agua al momento de la descripción. Para las plantas significa el aporte de agua disponible para realizar sus funciones fisiológicas y evitar la marchitez. Se obtiene a partir de presionar, moldear, humedecer y frotar una pequeña muestra de sedimento para otorgarle una designación que va de muy seca a mojada.
- Mantillo. Es la manifestación morfológica del humus, formado a partir de la acumulación de restos orgánicos, los mayores espesores indican que el depósito sobre el que se distribuyen posee una buena estabilidad; además, las plantas se ven beneficiadas debido a que con la actividad de microorganismos contenidos en ellos, se degradan los minerales y la materia orgánica del sustrato transformándolos en nutrimentos útiles en su desarrollo. Se evalúan por la actividad biológica, la dinámica de descomposición de materia orgánica, la secuencia de horizontes de litter-horizonte orgánico-horizonte fermentado-horizonte mineral, espesor y estructura.

- Pedregosidad y Rocosisdad. Es la proporción relativa de rocas expuestas, dado que es un ambiente volcánico y los lahares forman levées (crestas de material grueso depositado en las orillas de los cauces) se tomo al porcentaje de rocas expuestas en superficie para evaluar rocosidad y al porcentaje de rocas las fijas al interior del depósito para la pedregosidad. Dependiendo de su cobertura pueden generar o inhibir espacios donde la vegetación se establezca y desarrolle exitosamente, en grandes coberturas de rocas la humedad se concentra en la matriz que las contiene; sin embargo, también podría impedir la penetración de raíces en el sustrato. Se estima a través del tamaño, tipo y porcentaje en volumen de rocas en el sustrato utilizando la escala granulométrica de Uddem-Wentworth.
- Porosidad. Es la cantidad de poros presentes en un decímetro cuadrado, su abundancia indica el grado de aireación y permeabilidad de los suelos; influye en la movilidad de agua, nutrimentos y oxígeno necesarios para el crecimiento de las plantas. Es determinada dentro un decímetro cuadrado tomando en cuenta abundancia, distribución, tamaño y forma.
- Textura. Es la distribución del tamaño de las partículas que conforman al suelo, esta característica determina la cantidad de agua retenida así como los nutrimentos disponibles para las plantas; por lo que en un suelo arcilloso la infiltración de agua será menor que en uno arenoso. Para determinarla se humedeció una fracción pequeña de muestra de cada horizonte, palpando, frotando y presionando entre los dedos y observando su moldeado, consistencia y granulometría; características que llevaron a su reconocimiento por medio de una clave de identificación de texturas (arena, limo o arcilla).

Factores Químicos (Registrados en Laboratorio).

- pH. Es la relación de iones H⁺ y OH⁻ presentes en una solución de suelo, si se presentan más iones H⁺ el sustrato registra un nivel de acidez; pero si existen más iones OH⁻ se trata de un suelo con propiedades alcalinas. Dependiendo del grado de pH se determina la disponibilidad relativa de nutrimentos útiles para las plantas y la presencia de diferentes procesos pedogeneticos. Para su obtención en cada muestra se tomaron 10g de suelo, agregando 25ml de Cloruro de Calcio (KCl) y agitando la disolución durante 19hrs; para la posterior medición con ayuda de un potenciómetro.
- Concentración de Carbono y Nitrógeno. Es un parámetro que valora el grado de mineralización de la materia orgánica en los suelos; al tener una relación de 30 partes de Carbono por 1 de Nitrogeno, se tiene un mayor grado de mineralización de la materia orgánica y por ende una mayor cantidad de nutrimentos. La determinación se realizó solo en los horizontes superficiales, a través de la molienda de 5g de suelo en un mortero de Ágata; que fueron nuevamente secados e introducidos al Analizador Elemental CHNS/O Perkin

Elmer 2400 series II, que trabaja con un detector de conductividad térmica a una temperatura de combustión de 980°C y una temperatura de reducción de 640°C.

Evaluación Ecológica (Obtenida a partir de los factores Físico-Biológicos).

A pesar de que no fueron contempladas como factores que intervengan directamente en la regeneración vegetal, la estimación de las siguientes propiedades del suelo sirvió para complementar el análisis de suelo y realizar una identificación más acertada del tipo de suelo para cada perfil:

- Abastecimiento de Fosforo. Es la reserva de Fosforo (P) asociada a la fracción mineral del suelo, su presencia es vital para el desarrollo de las plantas y depende de la composición mineralógica, la velocidad de intemperismo y la materia orgánica humificada. Se obtiene a partir de la cantidad de humus dentro de un metro cuadrado de suelo contenido en el espacio radicular efectivo.
- Abastecimiento de Nitrogeno. Se refiere a la cantidad de Nitrogeno Disponible (Nd) para las plantas y a la cantidad de Nitrogeno Total (Nt) en el suelo. Se evalúa a partir del contenido de materia orgánica y la clase de mantillo, calculando la cantidad de humus dentro de un metro cuadrado de suelo contenido en el espacio radicular efectivo.
- Balance hídrico. Contiene a las propiedades de Volumen Total de Poros (VPT) que es la totalidad del espacio poroso, Capacidad de Aireación (CA) que es el espacio relativo que los poros ocupan en el suelo, Capacidad de Retención de Agua (dCC) que es el agua retenida que puede ser absorbida por las plantas y Capacidad de Campo (CC) es la cantidad máxima de agua que puede ser retenida contra la fuerza de gravedad después de la saturación. Este balance determina la cantidad de oxígeno y agua que es aportado a las raíces para la formación de sistemas radiculares que contribuyen a la distribución de nutrientes y agua al interior de las plantas. Se infiere por medio de la textura, haciendo correcciones dependiendo de la densidad aparente y la materia orgánica.
- Bases Intercambiables (BI). Es la porción ocupada por los cationes Ca, Mg, K y Na de la CIC total, su concentración depende de la acidez del suelo y su contribución a las plantas es el aporte de nutrientes para su crecimiento. Se estima a partir de la CIC que se multiplica por un factor determinando por el pH, por la densidad aparente, por la pedregosidad y por el espesor del horizonte.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Es la permuta de cationes equivalentes a los asociados a cargas negativas de la superficie de las arcillas y materia orgánica, los cuales pueden ser nutrientes o contaminantes; esta propiedad determina la concentración de cationes necesarios para el crecimiento de las plantas (amonio, calcio, hidrogeno, magnesio,

potasio y sodio). Su evaluación se obtiene a partir del tipo y cantidad de arcilla, materia orgánica y pH en caso de que las arcillas tengan carga variable.

- *Drenaje*. Es la frecuencia y duración de periodos húmedos que ocurren de forma natural en el sitio de estudio, de el depende la retención de humedad disponible para el aprovechamiento de las plantas. Se evalúa de forma visual, identificando la presencia de agua interna libre, cantidad de precipitación anual y pendiente del terreno.
- *Erodabilidad*. Se refiere al factor K en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y es un índice que indica la susceptibilidad a la erosión, en vegetación muestra la estabilidad de una comunidad en un depósito; ya que al ser una vegetación perturbada la erosión es mayor. Se mide a través de un nomograma con datos de textura, contenido de materia orgánica, estabilidad de los agregados y permeabilidad.
- *Profundidad fisiológica*. Indica el espesor potencial de suelo donde pueden penetrar y establecerse las raíces de las plantas, el cual está limitado por horizontes cementados o roca madre. Se determina por cambios abruptos de propiedades químicas y estructura, pedregosidad del 70% o capacidad de aireación y agua aprovechable para las plantas bajas.

Los datos obtenidos de todos estos factores fueron analizados con estadística descriptiva (desviación estándar, media aritmética, mediana, regresión lineal y varianza), lo cual muestra cuál es su influencia en cada uno de los hábitats estudiados.

G) Caracterización de micro-hábitats al interior de los hábitats.

En el interior de cada hábitat se analizó la influencia que tuvieron los factores ambientales-edáficos en las variables de la vegetación, identificando un factor cualitativo que tuvieran en común. Esta discriminación permitió la diferenciación de micro-hábitats, los cuales se definen como micrositios al interior de un hábitat, que poseen una determinada disponibilidad de recursos que restringen el establecimiento a un número limitado de organismos. Dichos micro-hábitats fueron sometidos a una prueba de hipótesis para conocer cuál es la respuesta promedio de la vegetación en cada hábitat de Terrazas Antiguas, Terrazas Recientes y Abanicos Laháricos. Dicha prueba de hipótesis se resolvió a través de la razón de varianza proporcionada por el análisis de Varianza unilateral (ANOVA) en el paquete SPSS 17.0.

Capítulo II. Regeneración vegetal en bosque templado y bosque subtropical.

En el sector sur del Volcán de Colima al interior de la Barranca Montegrande, se reporta la existencia de una zona de contacto entre un bosque de pino-encino y una selva mediana subcaducifolia, esto de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1983) y la Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP, 1981). Sin embargo, debido al impacto por el cambio de uso de suelo actualmente el bosque de pino-encino se ha fragmentado y la vegetación natural bajo los 1700 m s.n.m. se ha catalogado como selva baja caducifolia con pequeños fragmentos que contienen una mezcla de vegetación con especies características de ecosistemas templados y tropicales, inmersos en una matriz de amplias zonas destinadas a la agricultura y pastoreo. Para explicar el origen de la vegetación reciente, en este capítulo se abordaran las características ecológicas propias de los ecosistemas recientemente definidos en la región sur del Volcán.

2.1 El Ecotono de las comunidades de bosque de pino-encino y selva baja caducifolia.

Un ecotono es una zona de transición entre comunidades vegetales distintas, el cual es visible por el cambio abrupto de los elementos de la vegetación que caracterizan a cada una de las comunidades que lo integran (Odum, 1972; Naughton, 1984; Fortín, 1997; Smith, 1998; Terradas, 2001). Los ecotonos se pueden identificar por cambios graduales en el relieve, suelo o vegetación; actúan como filtros permeables regulando los flujos uni o bidireccionales entre las comunidades circundantes, concentrando altas tasas de intercambio, favoreciendo la riqueza de flora y fauna no especializada y generando una mayor competencia entre especies; resultando en un hábitat completamente diferente a las comunidades que lo rodean. Asimismo, al haber una gran disponibilidad de especies pioneras ajenas al hábitat, se acelera la edafogénesis y por ende los procesos de colonización y regeneración vegetal (Terradas, 2001, López, 2004; Camarero et al., 2006).

Particularmente en el ecotono de la Barranca Montegrande, se experimenta un “efecto de borde” debido a que la actividad lahárica forma parches al fragmentar la vegetación. Siendo así, dependiendo del tiempo, orientación del borde, composición y características propias de los ecosistemas conectados, el efecto de borde puede tener una influencia negativa en los factores bióticos y abióticos en los primeros 50 metros de la frontera o llegar a cientos de metros dentro de los mismos (Escribano et al., 1997; Camarero et al., 2006). Dado que los factores abióticos y bióticos regulan el funcionamiento de las comunidades vegetales y varían en función de la distancia a su interior, es necesario hacer una breve descripción de la influencia que cada uno de ellos tiene

en parches de vegetación (Tabla 2.1 Bustamante y Grez, 1995; Herrerías-Diego y Benítez-Malvido, 2005; Peña et al., 2005).

Tabla 2.1 Influencia de los factores abióticos y bióticos en parches de vegetación.

FACTORES ABIOTICOS	Viento	Su velocidad disminuye al interior de la comunidad ya que la densidad de la vegetación aumenta. En los bordes causa daños en la estructura de las plantas, reduce la humedad y el sustrato disponible para la edafo-génesis.
	Temperatura	En los bordes se observa que en el día aumenta y en la noche disminuye en proporciones muy drásticas respecto al interior de la comunidad, ocasionando pérdida de humedad y una posterior marchitez de las plantas.
	Humedad	En el borde disminuye su retención, aumenta la evapotranspiración y desecación debido a la poca densidad de la cubierta vegetal, lo que ocasiona vulnerabilidad a la erosión y bajas tasas de actividad de microorganismos y humificación de la materia orgánica, ocasionando la mortandad de la vegetación por la falta de agua y nutrimentos aprovechables en los procesos fisiológicos.
FACTORES BIOTICOS	Flora	Intercambio de especies exóticas entre las comunidades, dichas especies al establecerse modifican los hábitats generando variaciones de abundancia y composición en los bordes.
	Fauna	Los hábitats al estar más expuestos en los bordes, no proveen de protección a la fauna local; por lo que aumenta la depredación y mortandad, reduciendo la riqueza y abundancia de los organismos.

Dada la poca información que existe al respecto de la composición y estructura de los ecotonos entre bosques templados y tropicales, a continuación se describen las características propias de cada uno de estos ambientes:

a) Bosque templado.

Conforme a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para México en la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010, un bosque es la vegetación arbórea de origen septentrional y meridional característica de climas templados y semifríos, con diferentes grados de humedad, propias de las regiones montañosas del país (1500 a 1700 m s.n.m.). Debido a que posee características ecológicas y fisonómicas muy diversas, se clasifica en un diverso número de tipos de vegetación: bosque de oyamel, bosque de ayarín, bosque mesófilo de montaña, bosque de cedro, bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de encino, bosque de táscate, bosque de galería, bosque cultivado y bosque inducido (FAO, 2010).

Para el estado de Colima, los bosques de pino-encino se presentan en climas templados con temperatura media anual de 10 a 20°C y precipitación media anual de 600 a 1200mm, pertenecientes al clima Cw de la clasificación de Köppen, 1948; pueden localizarse en altitudes de 0 a más de 4000 m s.n.m., no obstante el clímax de esta vegetación se ubica entre los 1000 y 4000 m s.n.m. Presentes comúnmente en depósitos aluviales con rocas ígneas, pH de 5 a 6.5 y texturas arcillo-arenosa, caracterizando suelos bien drenados (Rzedowski y Mc Vaugh, 1966; Benavides et al., 2010)

Su estructura se compone frecuentemente por especies de pinos tales como *Pinus ayacahuite*, *P. douglasiana*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. michoacana*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus* y *P. oocarpa*; y encinos de las especies *Quercus aristata*, *Q. candicans*, *Q. castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. laurina*, *Q. macrophylla*, *Q. mexicana* y *Q. rugosa*. En el estrato herbáceo se observa una alta incidencia de la familia Gramineae, en tanto que en el arbustivo la familia Compositae es la dominante; sin embargo, también se pueden encontrar especies de los géneros *Arbutus*, *Alnus*, *Buddleia*, *Baccharis*, *Croton*, *Desmodium*, *Eupatorium*, *Juniperus*, *Lupinus*, *Muhlenbergia*, *Ribes*, *Salix*, *Salvia*, *Senecio*, *Stevia* y *Verbesina* (Rzedowski y Mc Vaugh, 1966; Rzedowski, 1986; CONAFOR, 2010).

Es importante destacar que en los años cincuentas del siglo pasado, los bosques de pino-encino ocupaban más del 25% de la superficie de nuestro país (Leopold, 1959); sin embargo, en los años setentas disminuyeron al 13.7% (Flores et al., 1971). En estudios más recientes la FAO (2010) estima que en 1993 existían 8 915 736.61 hectáreas (4.58% del territorio nacional), las cuales en 2002 se redujeron a 8 689 255.88 hectáreas (4.47%); lo que indica un decremento importante desde el siglo pasado para este ecosistema.

Los daños ambientales y ecológicos debidos a esta causa son graves, ya que dentro de los bosques de pino-encino habitan entre 135 y 350 especies de *Quercus*, de las cuales 109 (67.7%) son endémicas (Nixon, 1993); además de 55 especies de *Pinus* con el 85% de endemismo (Benítez y Bellot, 2007; Gutiérrez y Bárcenas, 2008). En cuanto a las especies de vertebrados, Flores-Villela y Gerez (1994) reporta que en los bosques de pino-encino existen de 11 a 13 especies de anfibios, 14 a 25 de reptiles, 2 a 4 de aves y 4 a 9 de mamíferos; con 5.7% de especies vertebradas endémicas de Mesoamérica y 2.7% de especies en peligro de extinción.

b) *Bosque tropical.*

Por otro lado, la FAO (2010) define a los ecosistemas de selva como comunidades formadas por vegetación arbórea de bajas latitudes, con climas cálido-húmedo, subhúmedo y semiseco. Su estructura resulta de la mezcla de un gran número de especies de bejucos, lianas y plantas epífitas, dominando los árboles de gran altura. Se clasifican de acuerdo a su altura y a la persistencia o caducidad de la hoja durante la época más seca del año en: selva alta perennifolia, selva alta subperennifolia, selva mediana perennifolia, selva mediana subperennifolia, selva mediana subcaducifolia, selva baja perennifolia, selva baja subperennifolia, selva mediana caducifolia, selva baja subcaducifolia, selva baja caducifolia, selva baja espinosa, mezquital y selva de galería (FAO, 2010).

Para el interés de este estudio se describe a las selvas bajas caducifolias, las cuales en el estado de Colima se pueden encontrar en altitudes de 0 a 1600 m s.n.m. De acuerdo con Köppen (1948) se clasifican según la época más seca con un clima Aw a Am en regiones cálidas subhúmedas con lluvias en verano. En este ecosistema se registran temperaturas de 20 a 28°C con precipitaciones promedio de entre 600 mm por año, caracterizándose porque durante la temporada de sequía los árboles dejan caer sus hojas, por lo que se mantienen con tonalidades verdes sólo durante la temporada de lluvias (Rzedowski, 1986; INE, 2010). Se pueden observar sobre depósitos ígneos y aluviales profundos, con pH ácido (4-6.5) y texturas arcillosas, en suelos someros con muy buen drenaje (Rzedowski y Mc Vaugh, 1966; Benavides et. al., 2010).

Las selvas bajas caducifolias en 2002 ocupaban 7.44% de la superficie de nuestro país (FAO, 2010). Algunas de las especies que caracterizan estos ecosistemas son *Amphipterygium spp.*, *Bursera excelsa*, *B. fagaroides*, *B. grandifolia*, *B. kerberi*, *B. multijuga*, *Capparis incana*, *C. verrugosa*, *Ceiba aesculifolia*, *Comocladia engleriana*, *Cyrtocarpa procera*, *Forchammeria pallida*, *Jatropha cordata*, *Lonchocarpus eriocarinalis*, *L. lanceolatus*, *Lysiloma acapulcensis*, *L. divaricata*, *Pseudosmodium perniciosum*, *Spondias purpurea*, *Trichilia colimana* y *T. palmeri* (Rzedowski y Mc Vaugh, 1966; UNIBIO, 2010).

Flores-Villela y Gerez (1994) menciona que en la vegetación de selva baja caducifolia habita el 19.6% de especies endémicas a Mesoamérica, y que están restringidas el 16.9% del total de especies que habitan en ella.

Tomando en cuenta la influencia del efecto de borde y las características de los ecosistemas de bosque de pino-encino y selva baja caducifolia, se observa que en la zona de transición de estos

ecosistemas conectados, existe una mayor cantidad de especies pioneras herbáceas y muy pocos individuos arbóreos propios del ecosistema. También se observa que con la distancia al borde en los parches de bosque tropical que dejan los lahares, la relación de especies tolerantes a la luz con altas tasas fotosintéticas, es inversamente proporcional a las tolerantes a la sombra con bajas tasas de fotosíntesis propias del tipo de vegetación; es decir, que una gran parte de las especies encontradas en el parche provienen del ecosistema con el que se encuentra conectado. Por otro lado, en un parche de bosque de pino-encino el efecto de borde es menos notorio y está en función principalmente de la temperatura, la humedad y la luz, por lo que se observa una poca cantidad de especies pioneras exóticas de Gramíneas y Leguminosas; ya que otras especies son menos tolerantes a la luz, requiriendo condiciones de alta humedad, baja radiación y temperaturas más templadas, las cuales no pueden ser proporcionadas por zonas de ecotono debido a la mínima cubierta vegetal (Peña et al., 2005; Cayuela, 2006; Chinchilla, 2008).

2.2 Aporte de la regeneración vegetal en zonas volcánicas de bosque de pino-encino y selva baja caducifolia.

La regeneración vegetal es el desarrollo de una comunidad vegetal posterior a un disturbio. La regeneración vegetal forma parte del proceso inicial de la sucesión vegetal que es un fenómeno de cambio direccional en la vegetación dentro de una escala de tiempo ecológica; la cual se identifica por el cambio progresivo en la composición vegetal de una comunidad al establecerse nuevas especies. La sucesión vegetal comienza con la incorporación de especies pioneras que modifican el ambiente y generan condiciones propicias para el establecimiento de especies tardías, que se incorporaran al sitio perturbado en función de la disponibilidad de recursos, creando una comunidad que posea una relación estable dentro del sitio perturbado hasta alcanzar un clímax vegetal, en el cual, la comunidad es completamente madura y estable en composición y estructura (Cowles, 1901; Odum, 1972).

De acuerdo con Odum, 1972 hay dos tipos de sucesión:

- Primaria, la regeneración vegetal ocurre en áreas sin colonización previa (rocas desnudas, lavas y arenas) con ayuda de microorganismos capaces de establecerse y sobrevivir en ambientes adversos (bacterias, hongos, líquenes y musgos), los cuales favorecen la formación de suelo y el establecimiento de organismos más complejos (plantas vasculares y fauna). Cabe mencionar que en estos ambientes existe una estructura trófica simple con muy poca diversidad de especies y alta disponibilidad de luz y nutrientes.

- Secundaria, la regeneración vegetal ocurre en áreas con disturbios naturales o antrópicos (derrumbes, huracanes, incendios, tala, cultivos abandonados, etc.) al azar dentro de elementos estructurales de los ecosistemas (riqueza, abundancia y cobertura), siendo fomentada por especies pioneras (restos orgánicos y semillas viables) procedentes de la periferia.

En ambiente de vulcanismo activo, es muy común que los procesos de sucesión primaria inicien después de eventos eruptivos, debido a la destrucción que se produce con el paso de avalanchas, caídas de ceniza, flujos piroclásticos, flujos de lava y lahares. Estos acontecimientos modifican los procesos ecológicos dentro de los ecosistemas y el grado de afectación-recuperación depende de la cercanía de la vegetación al clímax sucesional (Evans, 2006).

Es importante destacar que los procesos de regeneración dependen del tipo de vegetación próxima al sitio perturbado. En el caso de bosques templados hay variaciones que dependen del clima, de los materiales expuestos del suelo y del aporte de riqueza y abundancia de la vegetación que pueda acceder al área alterada. El proceso comienza con la incorporación de los individuos circundantes, y posteriormente procesos de competencia por la luz, humedad y nutrientes, que favorecen un aumento progresivo en la altura de las especies dominantes, una diversificación de la riqueza y las formas de crecimiento además de la diferenciación de estratos dentro de la nueva comunidad (Whittaker, 1972). Con el paso del tiempo se observa una mayor productividad, biomasa y estabilidad que facilitan la formación, enriquecimiento y estratificación del suelo, lo cual puede conducir al equilibrio dentro de la comunidad (Pritchett, 1991).

Un ejemplo de regeneración vegetal en un ambiente templado subhúmedo (2200 a 2500 m s.n.m.) es el ocurrido en los alrededores del Volcán Xitle (Ciudad de México), donde aproximadamente hace 2000 años se produjo un gran derrame de lava de 80km² de superficie, el cual terminó con la vegetación que ahí habitaba. Actualmente se observan parches de antiguos bosques de pino-encino y de matorrales xerófilos post-disturbio con 265 especies de plantas angiospermas y 21 especies de pteridofitas. Esta vegetación ha prosperado debido a la composición basáltica y escasez de suelo, generando una variación altitudinal en la humedad y acumulación de los sedimentos (Rzedowski, 1986; Cano-Santana y Meave, 1996; Castillo et al., 2004).

El Volcán Parícutín (Michoacán, México) ubicado también en un clima templado, tuvo una intensa actividad eruptiva que produjo grandes cantidades de ceniza y flujos de lava (25km² de superficie) entre el 20 de febrero de 1943 y el 4 de marzo de 1952. En este caso, la sucesión primaria comenzó en 1950 con la presencia de 52 especies herbáceas y arbustivas sobre flujos de lava cercanos al

cráter, destacando las especies *Aegopon cenchroides*, *Aster exilis*, *Crusea sp*, *Eragrostis ciliaris*, *Gaultheria parviflora*, *Gnaphalium* y *Eryngium* y *Mühlenbergia minutissima*. Por otro lado, la sucesión secundaria ocurrió en depósitos de caída de ceniza con la presencia de 41 especies de las cuales dominan *Eupatorium glabratum*, *Senecio salignus*, *Senecio stoechadiformis* y *Lupinus elegans* (Eggler, 1963; Rejmanek et al., 1982; Inbar et al., 1994; Gómez et al., 2006).

Un caso más reciente es el ocurrido en el Volcán Santa Helena (Washington, EUA), donde la erupción del 18 de mayo de 1980 generó lahares, flujos piroclásticos, ceniza y avalanchas en el sector sur del cráter (5 a 20cm de espesor de téfra). La regeneración vegetal fue favorecida por la humedad y la ligera concentración de nutrimentos en el sustrato (nitrógeno y fosforo principalmente) y por las al menos 20 especies que resistieron al evento volcánico, destacando individuos, propágulos y semillas de *Chamerion angustifolium*, *Cirsium arvense*, *Lupinus latifolius* y *Lupinus lepidus*. Cabe mencionar que esta regeneración inició con la especie *Lupinus lepidus* y posteriormente en los 14 años subsecuentes el número de especies se incrementó linealmente; sin embargo, en los últimos años ha disminuido ligeramente con la distancia al borde del bosque. Aunque la sucesión ha sido constante en los sitios de disturbio, la diversidad de coníferas ha sido mermada por las limitaciones de sustratos ricos en nutrimentos, por lo que la especie *Pseudotsuga menziesii* es la más común (Wood, 1993; Del Moral, 1999; Dale et al., 2005).

A diferencia de las comunidades templadas que siguen un patrón de regeneración vegetal muy predecible; en los ecosistemas tropicales la regeneración es completamente aleatoria, lo que genera mayor incertidumbre para determinar el ritmo de la regeneración. El contenido de semillas y propágulos en el sustrato son determinantes en el proceso de regeneración vegetal; sin embargo, en la sucesión primaria la regeneración depende totalmente de los procesos de dispersión (anemocoria y zoocoria principalmente) de las semillas en los sitios que proveerán de las condiciones óptimas para su germinación; ya que la mayoría de las especies (herbáceas y arbustiva) pertenecientes a la vegetación tropical requieren de una mayor temperatura para la viabilidad de las semillas (Gómez-Pompa et al., 1976).

Un ejemplo de regeneración en zonas de clima tropical en nuestro país se puede observar en el Volcán Chichón (Chiapas, México), donde el 28 de marzo de 1982 una columna eruptiva de 20km cubrió con flujos piroclásticos y lluvia de ceniza un área de 25km². Si bien la erupción terminó con 10km de vegetación tropical, las condiciones climáticas beneficiaron la dinámica de la regeneración florística, realizándose de manera muy lenta los primeros cinco años y acelerándose durante los siguientes diez (Ramos, 2002).

De acuerdo con Thornton, 2001, durante la erupción de 1968 en la Isla Motmot (Papua Nueva Guinea) emergió un depósito que formó una nueva isla; para la cual, existen registros de colonización y regeneración vegetal desde el mismo año de su formación. Treinta años después, en 1999 el autor reporta una cubierta vegetal compuesta por cerca de 300 especies vasculares, destacando la presencia de al menos 31 especies de *Ficus* (Shanahan et al., 2001).

Por otro lado, en los restos de chimeneas volcánicas del terciario en el Parque Nacional de Garajonay (Islas Canarias, España), la colonización y regeneración vegetal se ha caracterizado por especies como *Chamaecytisus proliferus*, *Erica arbórea*, *Gonospermum gomerae*, *Ilex perado*, *Myrica faya*, *Laurus azorica*, *Pericallis hansenni* y *Viola riviana*. Es importante destacar que en este sitio habitan 23 especies endémicas, de las cuales 8 están en peligro de extinción (Arbelo et al., 2002; Bañares et al., 2003).

Es evidente que la diversidad de particularidades que se presentan en los procesos de regeneración vegetal está determinada por factores biofísicos (luz, temperatura, humedad, nutrientes del suelo, geomorfología y tipo de ecosistemas que rodean al sitio perturbado); por lo que no se puede tener certeza del patrón de regeneración vegetal en un ambiente lahárico, ya que estos ambientes presentan distintos microambientes con características muy específicas.

2.3 Factores climáticos, edafológicos y geomorfológicos que favorecen el crecimiento vegetal en zonas de transición de bosques de pino-encino a selva baja caducifolia.

Los factores biofísicos son importantes reguladores de la distribución y el crecimiento de los organismos vegetales; es por ello que en este apartado se explicará el impacto que tienen los factores de luz, temperatura, humedad, relieve, suelo y microorganismos; tanto en los bosques de pino-encino como en la selva baja caducifolia.

a) Relación temperatura-humedad.

- La temperatura está determinada por la cantidad de luz presente en el ambiente; es por ello que durante la noche y el invierno se presentan temperaturas inferiores a las diurnas. Asimismo, también se exhibe una distribución diferencial que depende de cambios climáticos en latitud y altitud; por lo que las temperaturas más bajas se registran en las regiones polares y/o de mayor altitud (alpinas), en tanto que las más altas ocurren en regiones cercanas a los trópicos y/o al nivel del mar (Sutcliffe, 1979).

La temperatura además de intervenir en procesos fisiológicos de las plantas, debido a que la energía calorífica aumenta los procesos cinéticos de las moléculas; también actúa en las señales que interrumpen el proceso de crecimiento; un ejemplo ocurre en algunas plantas perennes que en regiones templadas detienen su desarrollo en verano y lo retoman en invierno para florecer en primavera (Daubenmire, 1982).

Se dice que la cobertura vegetal es inversamente proporcional a la temperatura registrada bajo el dosel, ya que en comunidades más cerradas la temperatura disminuye y se registra menor una pérdida de humedad que la que habría en ecosistemas abiertos. Lo anterior se explica porque en el interior de los órganos de las plantas la temperatura suele ser muy similar a la externa, pero cuando hay un incremento de calor aumenta en la transpiración; debido a que los estomas cuticulares se abren generando una pérdida de humedad que de ser continua deriva en el marchitamiento. Cabe mencionar que las temperaturas frías también tienen un efecto negativo en el desarrollo de las plantas, debido a que se generan señales de latencia que si son prolongadas dejan expuestos a los organismos al congelamiento intercelular, deshidratando, deformando o incluso rompiendo las células (Sutcliffe, 1979; Daubenmire, 1982).

- La humedad dentro de los ecosistemas constituye un factor importante que brinda movilidad a los nutrimentos del sustrato y facilita su incorporación a las plantas, esto debido al proceso osmótico que transporta el agua desde las raíces hacia las células del tallo y posteriormente a las de las hojas. La presencia de agua aunado al incremento de temperatura determina la rapidez con que llegan los nutrientes a la parte superior de los individuos, ya que entre mayor sea la transpiración más rápido ascienden los nutrimentos (Daubenmire, 1974); asimismo, el paso de agua al interior de la planta garantiza tanto la realización de reacciones metabólicas necesarias para su crecimiento como la turgencia de las células para mantener su posición erecta, con lo que se evita su marchitez o muerte (Mazliak, 1976).

En síntesis los factores luz, temperatura y humedad son responsables de una gran cantidad de procesos internos dentro de las plantas, influyendo en el establecimiento selectivo de acuerdo a las necesidades y tolerancia de las especies que pretendan habitar los diferentes ecosistemas perturbados.

b) *Relación suelo-relieve-actividad biológica.*

- El suelo es el encargado de aportar nutrientes y dar soporte físico a las plantas, influye en su establecimiento y forma de vida. Su formación se condiciona por el tipo de material parental (volcánico, metamórfico o sedimentario), el clima (cálido, templado o frío), el relieve (abrupto o suavizado), la actividad de los organismos y el tiempo.

A partir del material parental se determina la composición química-mineralógica, la resistencia al intemperismo, la consolidación, el color, la liberación de nutrientes y la textura del sustrato. El clima, a través de la radiación, la precipitación y la temperatura establece la distribución e intensidad de los procesos de lixiviación, translocación y acumulación de minerales. Por su parte, el relieve dependiendo de la altitud, geoforma y exposición inhibe o favorece los procesos de erosión-acumulación. Finalmente, los organismos en función del tiempo contribuirán con la acumulación de materia orgánica, concentración de nutrientes y desarrollo de horizontes del suelo (Siebe et al., 2006).

Los nutrientes resultan muy importantes para el establecimiento de la vegetación. Se forman por las actividades fisiológicas de hongos, algas, bacterias e invertebrados, los cuales disuelven los minerales, fijan los nutrientes e interactúan en relaciones simbióticas con las raíces de las plantas; contribuyendo a la formación de humus. Una vez fijados los nutrientes, se dividen en macronutrientes (azufre, calcio, fósforo, magnesio, nitrógeno y potasio) necesarios en altas concentraciones para la síntesis de proteínas, activaciones enzimáticas y formación de estructuras proteicas y aminoácidos; y en micronutrientes (boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, sodio y zinc) requeridos en pequeñas dosis para la formación de enzimas, la síntesis y catálisis de proteínas, transporte y absorción de azúcares y la fijación de macronutrientes. La falta de alguno o ambos tipos de nutrientes puede ocasionar la muerte del individuo vegetal (Bidwell, 1979; Sutcliffe, 1979).

Por otro lado, la textura de un depósito lahárico (Dávila et al., 2007) es resultado de la fragmentación del material parental y se divide de acuerdo a sus características morfológicas en arenas (fragmentos menores a 0.002mm), limos (fragmentos de 0.002 a 0.02mm) y arcillas (fragmentos de 0.02 a 2mm). Estas características influyen en la absorción de nutrientes y retención del agua, destacando que las arcillas son las partículas que más favorecen el establecimiento vegetal, debido a su buena retención de agua y

materia orgánica; en tanto que las arenas se consideran las más estériles, ya que no retienen la cantidad suficiente de agua para el aprovechamiento de las plantas (Bidwell, 1979).

- El relieve dentro ambientes volcánicos incluye diferentes unidades geomorfológicas: montañas (elevaciones superiores a los 300m con pendientes mayores a los 20°), lomeríos (elevaciones menores a 300m con pendientes menores a 20°), piedemontes (depósitos en la base de las elevaciones con pendientes menores a 20°) y planicies aluviales (superficies relativamente planas con pendientes de 0 a 2°) (García-Ruiz, 1990). En cada una de estas unidades geomorfológicas se observa una acumulación diferencial del material edáfico de acuerdo a la inclinación; es decir, en las pendientes abruptas la capa de sustrato es mínima, contrario a lo que ocurre en pendientes suavizadas donde se observa el mayor desarrollo de suelo. Esta situación determina la composición de la vegetación, ya que en geoformas con pendientes muy abruptas solo se establecerán las especies que posean raíces capaces de sujetarse firmemente al suelo o rocas (García-Ruiz, 1990).
- La actividad biológica de microorganismos (hongos, algas y bacterias) e invertebrados contribuye a la formación de materia orgánica en los suelos. La materia orgánica se compone por restos de vegetales y de animales que con su desintegración enriquecen los suelos aportando mayores concentraciones de nutrientes a la vegetación, su desintegración es realizada mayormente por microorganismos los cuales realizan síntesis de polímeros orgánicos, descomponiendo fibras celulares que pasarán a formar parte del mantillo de la vegetación (García et al., 2003). En la formación de materia orgánica también la temperatura esta cercanamente relacionada, debido a que los aumentos térmicos, incrementan el número de poblaciones microbianas acelerando el proceso de desintegración de la materia orgánica y la formación de suelo (Anderson y Domsch, 1980). Por ejemplo, en lahares y flujos de escombros de clima tropical hay una rápida recuperación y colonización de ambientes, debido a que la descomposición acelerada de materia orgánica incrementa las concentraciones de nutrientes, los cuales son aprovechados por las especies de rápida reproducción y propagación. Mientras que para coladas de lava y depósitos de ceniza de climas templados, la regeneración vegetal es más lenta al no haber una formación constante de suelos ricos en materia orgánica (Eggler, 1963). Sin embargo, Mazliak (1976) afirma que la actividad de los organismos, además de enriquecer los suelos, puede afectar el intercambio iónico, por ejemplo cuando las plantas compiten por los iones que están en bajas concentraciones, cambian el pH del suelo y la disponibilidad de algunos

nutrimentos. Un pH ácido favorece el decremento de las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y molibdeno, así como el aumento de hierro, manganeso, boro y zinc; en tanto que un pH alcalino favorece las concentraciones de fósforo, potasio, azufre, boro y molibdeno.

Es necesario mencionar que cuando ocurre un disturbio se genera una nueva diversidad de ambientes geomorfológicos y un aumento del pH, dado que cambian las condiciones edáficas, vegetativas y de temperatura, variando de manera importante las concentraciones de nutrientes; lo que contribuye a la formación de parches de vegetación con rápidos cambios de abundancia durante las primeras etapas de la regeneración (Antos et al., 2003). También, en ambientes volcánicos se deben tomar en cuenta otros factores tales como los gases emitidos en áreas cercanas a cráteres y fisuras de los edificios volcánicos, los cuales descienden al sustrato creando un ambiente ácido que no es tolerado por muchas especies, así como las caídas de ceniza que dañan a las especies colonizadoras de tamaño pequeño, complejas o que requieren de mayores recursos para sobrevivir (Del Moral, 1999; Antos et al., 2003).

Dado que los bosques de pino-encino se ubican en climas templados con formas geomorfológicas de montaña media ($<2700\pm 100\text{m s.n.m.}$) y pendientes menores a los 35° , son capaces de regular la evolución de procesos geomorfológicos evitando principalmente la erosión laminar causada en la temporada de lluvias; con lo cual se favorece el desarrollo de vegetación que presenta una fuerte afinidad con suelos someros dentro de depósitos ígneos con texturas que pueden ir de arcillosas a arenosas. Contrario a lo anterior, en la vegetación de selva baja caducifolia los procesos de erosión son mínimos debido a que se forman doseles cerrados que evitan el impacto de gotas de lluvia y la formación de arroyadas difusas. Además, la formación de suelo es mucho más acelerada debido a las altas temperaturas que se concentran en su interior, favoreciendo la fragmentación de material parental y la incorporación al suelo de restos orgánicos, esto a pesar de que se establezca sobre depósitos volcánicos rocosos y arenosos.

Capítulo III. El Volcán de Fuego de Colima.

Este estudio se realizó en la Barranca Montegrande situada en el sector Sur del Volcán de Fuego de Colima (Fig. 3), el cual es el cono activo del estratovolcán del Volcán de Colima cuyo cráter se ubica dentro de la caldera del Paleofuego a los $103^{\circ}37'W$, $19^{\circ}30'45''N$, entre los límites de los estados de Colima y Jalisco, con una altitud de 3860 m s.n.m.

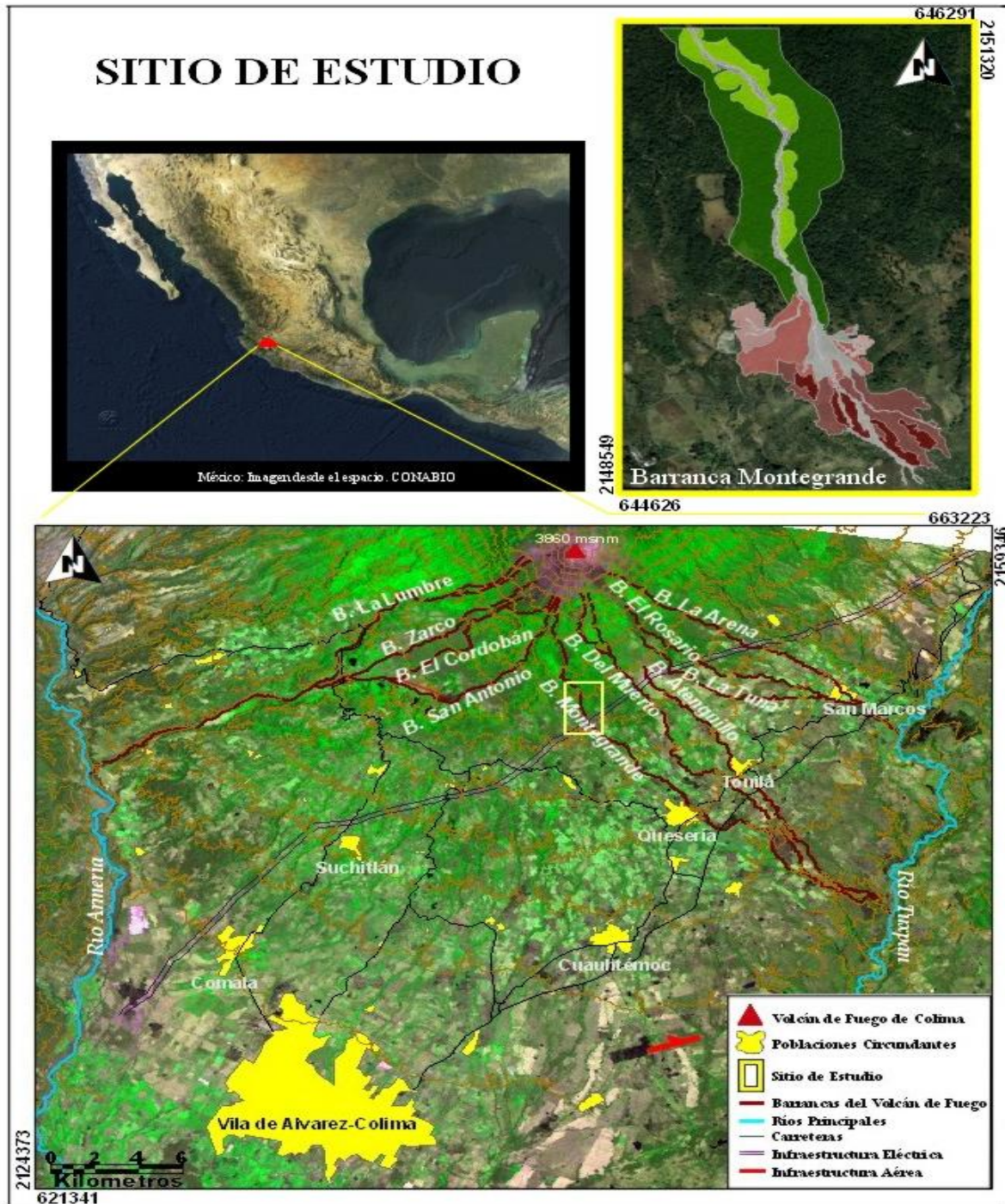


Figura 3. Ubicación de la Barranca Montegrande (Imágenes ASTER, CONABIO y Google Earth).

3.1 Actividad eruptiva del Volcán de Fuego de Colima.

La historia eruptiva del Volcán de Fuego de Colima comienza durante el Pleistoceno en las últimas etapas eruptivas del Nevado de Colima, hace aproximadamente 38,400 años con la formación del primer edificio volcánico conocido como “Paleófuego” (Komorowski et al., 1993); el cual se presume colapso al menos cinco veces (Cortés et al., 2005) y actualmente se expresa con una caldera de 5km de diámetro que rompe hacia sur llamada “El Playon”. De acuerdo con Robin et al., 1987, el Paleofuego finaliza su actividad eruptiva con una imponente erupción tipo “Monte Santa Helena”. Posteriormente, la actividad se desplazo al sur en el interior de la caldera formando el actual Volcán de Fuego de Colima (Komorowski et al., 1997; Macías, 2005).

a) *Actividad histórica del Volcán.*

En los últimos 400 años, el Volcán de Fuego de Colima ha tenido una actividad del tipo explosivo con aproximadamente 43 erupciones, las cuales han sido documentadas por diversos historiadores desde la Época de la Colonia (Macías, 2005). A continuación se presenta el registro de erupciones que han sido documentadas desde el siglo XVI, destacando por su intensidad las de 1585, 1606, 1622, 1818, 1869, 1890, 1903 y 1913 (Apéndice 1).

Entre 1519 y 1994 se han registrado un total de 34 eventos volcánicos, compuestos en su mayoría por erupciones de carácter explosivo con abundante emisión de piroclastos; destacan por intensidad 14 flujos de bloques y ceniza, 13 flujos lava, 12 flujos piroclásticos, 3 emisiones de material incandescente, 2 nubes ardientes y 2 flujos de lodo. También resulta interesante indicar que de los 25 eventos para los que se tiene registro del rumbo cardinal, 11 se dirigieron al sector suroeste, donde se localizan las barrancas La Lumbre, El Zarco, El Cordobán, San Antonio y Montegrande.

b) *Actividad reciente del Volcán.*

Desde finales del siglo pasado la actividad eruptiva del Volcán ha sido mayormente documentada por diversos investigadores pertenecientes a universidades nacionales e internacionales, con lo cual los últimos eventos han sido mejor estudiados. La etapa de actividad eruptiva más reciente comenzó con una alta incidencia de eventos sísmicos el 28 de noviembre 1997 que produjeron la deformación y fracturación N-NW del domo; un año más tarde otra serie de episodios sísmicos ocurrió el 16 de julio de 1998, lo cual llevó al desalojo voluntario de los habitantes de las comunidades La Yerbabuena ubicada a 8km SW del cráter y Juan Barragán a 16km SE (Bretón-González et al., 2002; Ramírez-Ruiz et al., 2002).

Para el 20 de noviembre de 1998, con la formación de un nuevo domo, se generaron tres flujos piroclásticos al SW, un flujo de lava andesítica que se dirigió al SSW al día siguiente y un flujo de

bloques y ceniza que se encaminó hacia la barranca El Cordoban; este último flujo se detuvo hasta febrero de 1999, con un espesor de 20m recorriendo mas de 4000m. Durante los días 23 al 26 de noviembre e inicios de diciembre de 1998 se observó un flujo piroclástico acompañado de intensas lluvias de ceniza en los sectores SW y W; en tanto que en el mes de enero de 1999 se suscitaron explosiones con presencia de balísticos a 4km del cráter (Macías et al., 2006).

El 17 de julio de 1999 esta etapa eruptiva concluyó con la destrucción del domo, debido a una fuerte erupción que produjo una columna de 12km de altura, caída de ceniza a 21km al W en Zapotitlán de Vadillo, incandescencia en los costados del Volcán y un flujo piroclástico tipo souffriere de 6m de espesor; este último descendió por las barrancas San Antonio y Montegrande destruyendo su vegetación en las partes más altas y generando posteriores lahares en la temporada de lluvias (Bretón-González et al., 2002; Navarro-Ochoa et al., 2002; Ramírez-Ruiz et al., 2002; Macías et al., 2006).

En los años siguientes la actividad disminuyó; sin embargo, el 29 de septiembre de 2004 se observó la formación de un nuevo domo de lava en bloques con derrumbes al N y W. Posteriormente, al inicio del mes de octubre se registraron dos flujos de lava, uno al WNW y otro al N (300m de longitud, 150m de ancho y 10m de espesor) y un flujo piroclástico que recorrió 6.14km sobre la barranca La Lumbre, provocado por el colapso de parte del domo. Asimismo, el 31 de octubre descendió un nuevo flujo piroclástico por la ladera norte cuyas dimensiones fueron de 2300m de longitud, 330m de ancho y 20m de espesor. Durante el mes de enero de 2005 siguió la actividad explosiva con columnas de 3000 m s.n.m. y presencia de balísticos a 1km del cráter, esta actividad provocó el 12 de febrero el derrumbe de 100,000km³ del material constituyente del cráter del Volcán y dos flujos piroclásticos que recorrieron 2.5km en la ladera S y 1.2km en la N; además de una columna de 2500 m s.n.m. (Macías et al., 2006; Zobin et al., 2007).

Entre los meses de mayo a julio de 2005 se registraron explosiones con balísticos que alcanzaron distancias de hasta 2.5km, así como 8 columnas de entre 700 y 5000 m s.n.m.; ésta última ocurrida el 5 de junio produjo una onda de choque que llegó a las comunidades de Juan Barragán y San Marcos a 9 y 14 kilómetros del cráter respectivamente. En esta temporada también se observaron caídas de ceniza en La Yerbabuena, La Becerrera, Colima y Villa de Álvarez; y el descenso de flujos piroclásticos por todas las flancos del Volcán, destacando por su magnitud el del 23 de mayo que recorrió las barrancas San Antonio y Montegrande y los que bajaron 5 y 4.8km por la barranca La Arena el 9 de junio y 5 julio (Macías et al., 2006). El 27 de septiembre después de una fuerte

explosión pudo observarse una columna de 3760 m s.n.m. que produjo caída de ceniza en las poblaciones de Cómala, Colima y Villa de Álvarez (UCOL, 2005).

Es importante recordar que el Volcán de Fuego de Colima es el más activo de México y las personas que habitan en un radio de 40km de su cráter están en riesgo debido a la presencia de flujos piroclásticos, explosiones freáticas, caída de ceniza, lahares y lava; por lo que el estudio cada uno de estos eventos resulta primordial para la prevención de posibles desastres (De la Cruz-Reyna, 1993; Bretón-González et al., 2002).

3.2 Características del Volcán de Fuego de Colima.

El Volcán de Fuego de Colima se encuentra en el sector sudoccidental de la Faja Neovolcanica Transmexicana, formando parte del Complejo Volcánico de Colima (Volcán Cántaro, Nevado de Colima y Volcán de Colima), con orientación N-S (Robin et al., 1987; Rodríguez-Elizarrarás, 1995). El Complejo Volcanico de Colima se localiza dentro de una depresión tectónica conocida como “Graben de Colima” limitada por los ríos Armería y Tuxpan. Esta depresión tectónica esta asociada a la interaccion de las tres placas tectónicas de Cocos, Rivera, Pacífico y Norteamericana, conocida como punto triple (Luhr y Carmichael, 1980).

El Complejo Volcánico de Colima se localiza sobre un basamento que cubre parte del Graben de Colima; este basamento consiste en su base de rocas sedimentarias del Cretacico con intrusiones de rocas ígneas de composiciones granítica a granodiorítica. En contacto discordante, las rocas sedimentarias son sobreyacidas por secuencias vulcano-clasticas del Plioceno-Pleistoceno que se extiende desde el Complejo Volcanico de Colima hasta el limite de la costa del Pacifico. (Rodríguez-Elizarrarás, 1995).

Geológicamente se pueden observar al noroeste, norte y noreste, depósitos de lavas antiguas provenientes del volcán anterior al actual Volcán de Fuego y piroclastos de caída del actual; los depósitos fluviales y de lahares secundarios son visibles en el sector suroeste del cráter; en tanto que los depósitos de flujos piroclásticos se evidencian mayormente en las laderas sureste, sur y suroeste; finalmente, en las partes alejadas al cráter se presentan amplios depósitos de avalanchas tanto del Volcán de Fuego como del Nevado de Colima (Martin-Del Pozzo et al., 1995).

En el plano geomorfológico, Martin-Del Pozzo et al., 1995 indican la presencia de 10 principales unidades al interior del Volcán de Fuego de Colima:

- Valle I. Son intensas depresiones con profundidades de 150 a 400m. Ubicados en las laderas norte y noreste del Volcán arriba de los 2000 m s.n.m.

- Valle 2. Incluyen depresiones de 80 a 250m de profundidad localizadas sobre las laderas noroeste, oeste, sur y este de los piedemontes.
- Valle 3. Se trata de depresiones de 40 a 100m de profundidad. Se encuentra confinados a las partes medias de los piedemontes en las laderas sur y sureste.
- Valle 4. Son valles con profundidades superiores a 300m. Se sitúan en las partes bajas de los piedemontes al sureste y al suroeste del Volcán.
- Valle 5. Son valles poco profundos de 20 a 60m. Están dispuestos en la parte inferior de los piedemontes de la ladera suroeste principalmente.
- Valle 6. Es una extensión de área con valles que poseen profundidades menores a 20m y se expresan mayormente al sur del edificio volcánico en la altitudes menores a 1100 m s.n.m.
- Cono Principal. Incluye el área correspondiente al cráter y domo del Volcán de Fuego.
- Elevaciones Volcánicas Bajas. Se trata del cono adventicio al Volcán de Fuego, conocido como Volcancito y las elevaciones llamadas “Los Hijos”.
- Caldera El Playón. Son los restos del antiguo edificio volcánico, llamado “Paleofuego”.
- Llanuras. Son planicies con ligeras pendientes ubicadas al suroeste del volcán en altitudes menores a 700 m s.n.m.

Por otro lado, en el plano edafológico dentro de las laderas del volcán, predominan tanto Cambisoles húmicos y dístricos como Feozems háplicos de moderado desarrollo y limitados por altas pedregosidades. En tanto que dentro de las barrancas, se observan manchones pobres en nutrientes, con superficies ricas en materia orgánica, muy ácidos y con presencia de obsidiana, conocidos como Fluvisoles eutrícos, Vertisoles pélicos y Andosoles vítricos; aunque también se pueden encontrar Litosoles de menos de 10cm de espesor y Regosoles eutrícos y dístricos con nula acumulación de materia (SPP, 1981).

Finalmente, en cuanto a la vegetación del Volcán de Fuego, esta se compone principalmente por cinco ecosistemas (SPP, 1981 e INEGI, 1983):

- ✓ Pastizal inducido (altitud promedio 1400 m s.n.m.). Caracterizado por las especies *Aristida sp.*, *Baccharis sp.*, *Bunchosia sp.*, *Elymus sp.*, *Hyptis stellulata.*, *Lippia sp.*, *Muhlenbergia sp.*, *Saccharum officinarum* y *Setaria spp.*; se localiza desde los 500 hasta los 1800 m s.n.m., teniendo una mayor distribución en el sector sureste del Volcán.
- ✓ Bosque de pino-encino (altitud promedio 2100 m s.n.m.). Contiene a las especies *Pinus ayacahuite*, *P. douglasiana*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. michoacana*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus* y *P. oocarpa*; y encinos de las especies *Quercus aristata*, *Q. candicans*, *Q.*

castanea, *Q. crassifolia*, *Q. laurina*, *Q. macrophylla*, *Q. mexicana* y *Q. rugosa* como especies dominantes; es visible desde los 1500 hasta los 2700 m s.n.m., con una cobertura mas conservada en las laderas noroeste, norte y noreste.

- ✓ Selva baja caducifolia (altitud promedio 825 m s.n.m.). Identificada por *Amphipterygium spp.*, *Bursera excelsa*, *B. fagaroides*, *B. grandifolia*, *B. kerberi*, *B. multijuga*, *Capparis incana*, *C. verrugosa*, *Ceiba aesculifolia*, *Comocladia engleriana*, *Cyrtocarpa procera*, *Forchammeria pallida*, *Jatropha cordata*, *Lonchocarpus eriocarinalis*, *L. lanceolatus*, *Lysiloma acapulcensis*, *L. divaricata*, *Pseudosmodingium perniciosum*, *Spondias purpurea*, *Trichilia colimana* y *T. palmeri*; se distribuye en todas las laderas del Volcán principalmente a lo largo de los cauces de los ríos entre los 400 y los 1700 m s.n.m.

Es importante mencionar que los procesos de erosión fluvial se consideran los principales modeladores del relieve en el edificio volcánico, debido a la constante depositación de materiales piroclásticos, la fuerte pendiente y las intensas precipitaciones, que se intensifican en el sector suroeste. Dado que el Volcán tiene una fuerte pendiente que va de los 40° y 35° en su cima a los 3200 m s.n.m. y se suaviza en su base a 10°; la continua erosión fluvial permitió la formación de diez barrancas muy profundas desde las partes altas del edificio: Atenquique, Del Muerto, El Cordobán, El Durazno, El Limón, El Zarco, La Lumbre, San Antonio, Montegrande y La Arena (Lugo-Hubp et al., 1993; Rodríguez-Elizarrarás, 1995; Capra et al., 2010). Lo anterior representa un peligro inminente para las poblaciones aledañas, el cual aumenta la probabilidad de desensos de lahares durante la temporada de lluvias, tal como ocurrió en el Nevado de Colima cuando un lahar sepulto a la población de Atenquique; en el estado de Jalisco (Saucedo et al., 2008).

3.3 Influencia de los lahares en la Barranca Montegrande.

Particularmente para el Volcán de Fuego de Colima los lahares son considerados corrientes rápidas constituidas por una mezcla de clastos y sedimentos de alrededor del 40-70% en volumen y el resto de agua; que al inicio de la temporada de lluvias (<20mm/hr de precipitación) descienden erosionando los barrancos (Capra et al., 2010; UCOL 2006). Es por ello, que el espesor y alcance de dichos lahares dependerá principalmente de los cambios de morfología, anchura y pendiente previa de los barrancos; por lo que al depositarse producirán escenarios con superficies planas, compactas, levees o acumulaciones de bloques (Smith y Fritz, 1989; Dávila et al., 2007).

a) Características de la Barranca Montegrande.

De acuerdo con la Carta Geológica del Complejo Volcánico de Colima (Cortés et al., 2005), el área estudiada al interior de la Barranca Montegrande (1595 a 1843 m s.n.m.), se encuentra sobre

depósitos de avalancha de escombros con datos para C^{14} de 7,040AP con diversos cambios de pendiente. Dávila et al., 2007, dividió el barranco en tres cambios principales de pendiente, el primer tramo presenta canales de 10m de ancho con una pendiente máxima de 32° desde la cima del volcán hasta 1,6km de distancia; el segundo posee canales de 20m con pendientes de entre 19° y 11° a los 5km y de 7° a los 10km; finalmente en el último tramo la pendiente disminuye paulatinamente de 4° a 2° donde las laderas desaparecen y se pueden observar Abanicos laháricos con un canal de entre 40 y 100m (Fig. 3.3.1).

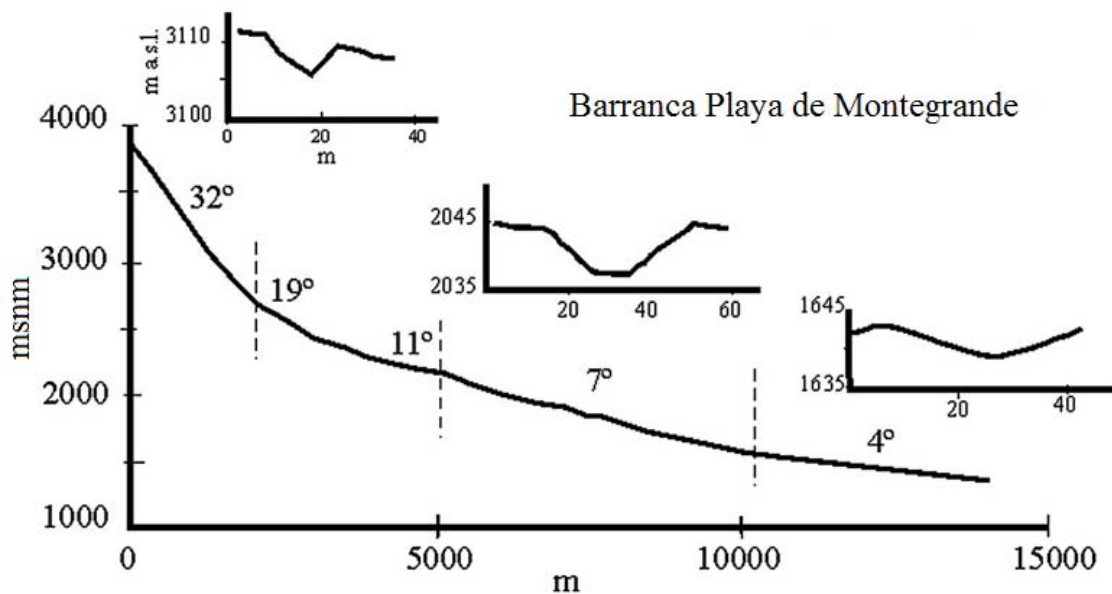


Figura 3.3.1. Perfil longitudinal y cortes transversales del Barranco Montegrande (Tomado de Dávila et al., 2007).

El clima reportado indica que los meses de menor temperatura se presentan de Diciembre a Enero; en tanto que los meses de mayor sequía son Marzo y Abril y los de mayor humedad son Julio, Agosto y Septiembre; con una precipitación anual de 883.2mm (Galindo et al., 1998; CONAGUA-SMN, 2010). Dadas las altas precipitaciones ocurridas durante el verano, el material piroclástico no consolidado derivado de la actividad eruptiva del Volcán; desciende recurrentemente en los meses de Junio a Octubre encauzándose en forma de lahar desde la cima y alcanzando los 15km de distancia al cráter (Dávila et al., 2007).

Dada la alta frecuencia de eventos laháricos desde el año 2000 al interior de la Barranca Montegrande, resulta muy complicado poder diferenciar cada uno de ellos en los depósitos actuales. Sin embargo, Capra et al., 2010 identificó dos tipologías principales: la primera corresponde a flujos de escombros masivos con clastos andesíticos de hasta 20cm y trozos de madera inmersos en una abundante matriz con una fracción arcillosa (granos de $<2\text{mm}$); en tanto que el segundo tipo

textural corresponde flujos hiperconcentrados con granos que van de gravas a arenas y espesores de hasta 50cm intercalados con depósitos fluviales (Terrazas de hasta 2m de espesor) que contienen clastos de 1.2m de diámetro con matriz arenosa.

Actualmente en el área de estudio se observa un ecotono de selva baja caducifolia con bosque de pino-encino, por un lado la selva baja caducifolia se caracteriza por la presencia de los géneros *Barkleyanthus*, *Cyperus*, *Eclipta*, *Inga*, *Leucaena*, *Paspalum*, *Prosthechea*, *Staelia* y *Tillandsia* entre los 1595 y 1700 m s.n.m.; y por el otro, el bosque de pino-encino contienen a los géneros *Artemisia*, *Baccharis*, *Brickellia*, *Bromus*, *Bryum*, *Calamagrostis*, *Calea*, *Cosmos*, *Eupatorium*, *Festuca*, *Muhlenbergia*, *Oxalis*, *Physalis*, *Polytrichum*, *Solanum* y *Vernonia* en el tramo de 1700 a 1843 m s.n.m. (SPP, 1981; INEGI, 1983; UNIBIO, 2010).

b) *Actividad lahárica.*

La actividad lahárica más reciente comenzó con la actividad eruptiva de 1991, registrando en el verano de 1992 un evento lahárico que recorrió 7km de la Barranca Montegrando; posteriormente en 1999 en la misma barranca se observó otro evento lahárico que destruyó una de las tres torres eléctricas ubicadas en su interior (Macías, 2005; Dávila et al., 2007). El 1 de Junio del 2000 a las 16:00 horas, se observó el descenso de un lahar por las barrancas La Lumbre y El Zarco, en esta última desbordándose y sepultando 2 casas y un auto cerca del puente del Cordobán en la comunidad de La Becerrera, además de desbordarse 300m en el puente de la Lumbre (UCOL, 2006).

El Ing. Carlos Navarro Ochoa reporta que en el 2003 y 2004 se observaron cerca de 10 lahares en La Barranca Montegrando y entre los meses de agosto a octubre de 2005 aumento a 26 el número de lahares, destacando por su magnitud tres eventos, uno que descendió 10km sobre la Barranca La Lumbre y de 7 a 8km por la Barranca Montegrando el 30 de mayo; el 27 de septiembre posterior a una fuerte erupción se observó uno que descendió por las barrancas La Lumbre, Montegrando y La Arena; y el último ocurrido en la madrugada del 6 y 7 de octubre que afectó la infraestructura de la Comisión Federal de Electricidad, la cual colocó un nuevo gavión de 2m de alto a los dos ya colocados en tres torres eléctricas (UCOL, 2005).

En el periodo de Junio a Noviembre de 2006 la estación pluviométrica ubicada a 2600 m s.n.m. registro 1383mm de lluvia, lo cual condujo a que 2006 fuera el año con mayor actividad lahárica movilizandando 500,000m³ de material volcánico procedente de la cima, al descender 19 lahares entre el 15 de mayo y 30 de noviembre por las barrancas La Arena, La Lumbre, Montegrando y San Antonio. En esta temporada destaca el lahar ocurrido el 5 de junio en las barrancas La Lumbre y

Montegrade, en esta última se observó la remoción 2000m³ de material con espesores de 1 a 2m a los 1700 m s.n.m. (UCOL, 2006).

En los años siguientes no se dieron reportes de lahares, y fue hasta el 2009 cuando la Red Sismológica Telemétrica del Estado de Colima (RESCO), a través de sismogramas identifico el descenso de dos lahares en la Barranca Montegrade; el primero fue observado el 26 de Octubre a las ~16:30 en tanto que el segundo ocurrió el 27 de Octubre a las ~17:00 (Fig. 3.3.2).

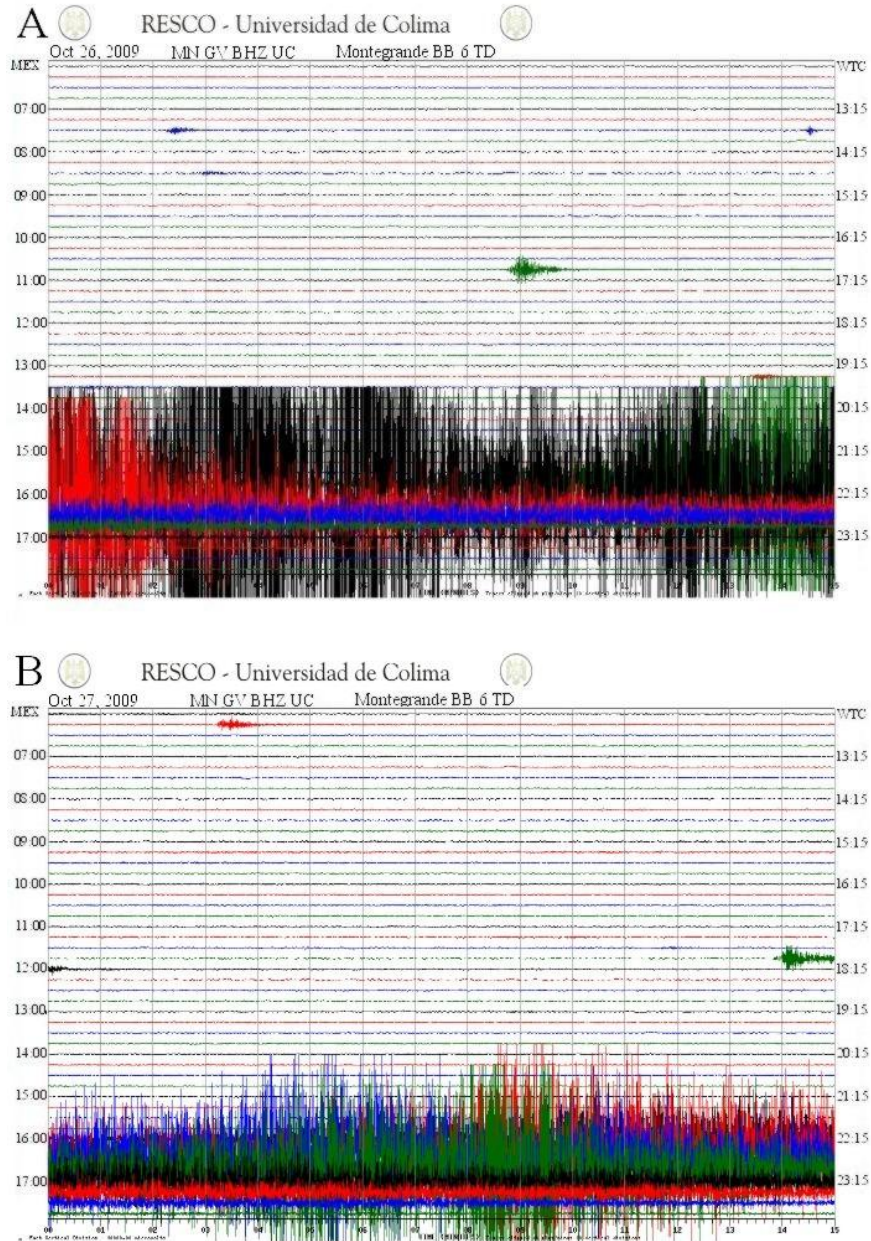


Figura 3.3.2. Sismogramas con registro de lahares en la Barranca Montegrade en 2009. **A.** 26 de Octubre ~16:30. **B.** 27 de Octubre ~17:00.

Se ha observado que el impacto de dichos lahares es diferencial, debido a que en las partes altas del Volcán, los cauces intercalados con flujos de lava tienen una anchura de 6-8m, ahí la fuerte movilización de materiales consolidados produce una intensa erosión; les siguen áreas con pendientes pronunciadas y cauces de 15-20m de amplitud, en estos tramos la vegetación es removida y es común observar marcas de lodo tanto en arboles como en depósitos consolidados que forman parte de las paredes de los barrancos; finalmente en la zona más distal al cráter (15km) donde la pendiente de la ladera es muy suave, se percibe la formación de Abanicos laháricos que dañan la infraestructura eléctrica y los puentes que comunican a las comunidades aledañas al Volcán (Capra et al., 2010).

Dadas las características que se presentan al interior de la Barranca Montegrande, se puede decir que actualmente existe una dinámica de erosión-depositación, originada de la alta incidencia de eventos laháricos que están profundamente ligados a la actividad eruptiva y la temporada de lluvias; con lo cual no sólo ha cambiado en diversas ocasiones la morfología en su interior sino que también ha causado un impacto negativo en la vegetación generando escenarios destructivos que preceden a nuevas etapas de colonización y regeneración vegetal; es por ello que resulta de interés para este estudio el análisis de dicha dinámica.

Capítulo IV. Resultados y Discusión.

1. Distribución espacial de las unidades geomorfológicas expuestas a lahares recientes.

En el transecto altitudinal de 1595 a 1843 m s.n. m. de la Barranca Montegrande se identificaron 10 geoformas en las imágenes satelitales (Fig. 4.1.1), en campo se pudieron caracterizar 3 principales unidades geomorfológicas expuestas a la actividad lahárica reciente: Terrazas Antiguas (5 relictos), Terrazas Recientes (1 deposito discontinuo) y Abanicos Laháricos (5 abanicos de diferente edad de depositación). Estas unidades geomorfológicas se diferencian por la estructura vertical y horizontal de la vegetación que se establece en ellas indicando tres tipos de hábitats diferentes.

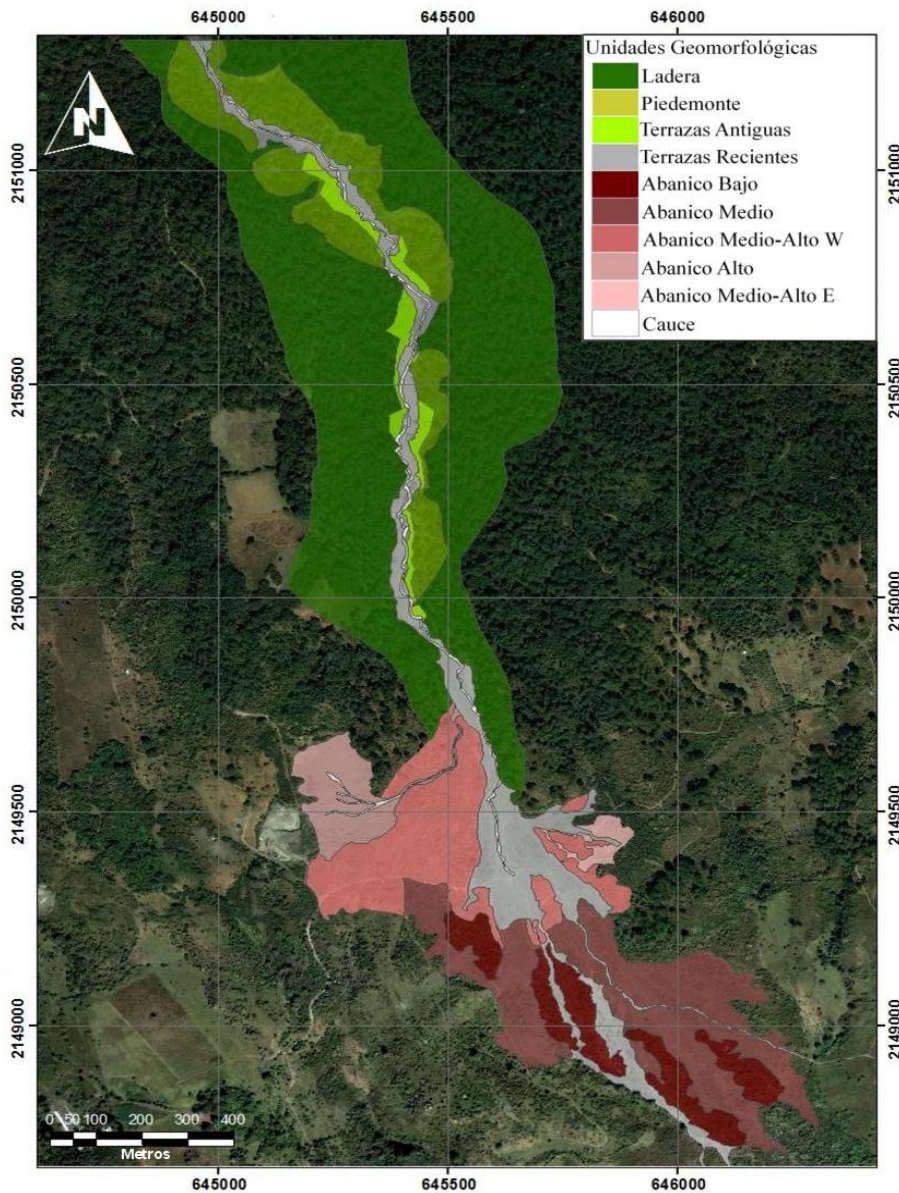


Figura 4.1.1. Mapa de geoformas del sector inferior de la Barranca Montegrande.

Hábitat de Terrazas Antiguas.

En el fondo de la Barranca Montegrande, se identificaron cinco depósitos en el hábitat de Terrazas Antiguas. Su formación se asocia principalmente con los depósitos laháricos derivados de la removilización de las erupciones de 1913, 1954 y 1955, con incipientes suelos que han sido expuestos a posteriores fases erosivas en las que los depósitos pueden ser observados. De manera general este depósito se caracteriza en las partes altas de la Barranca, por la presencia de un solo paquete de lahares con 35% de cantos (>6.4cm) y bloques (>25.6cm) en una matriz franco-arenosa (Fig. 4.1.2 A).

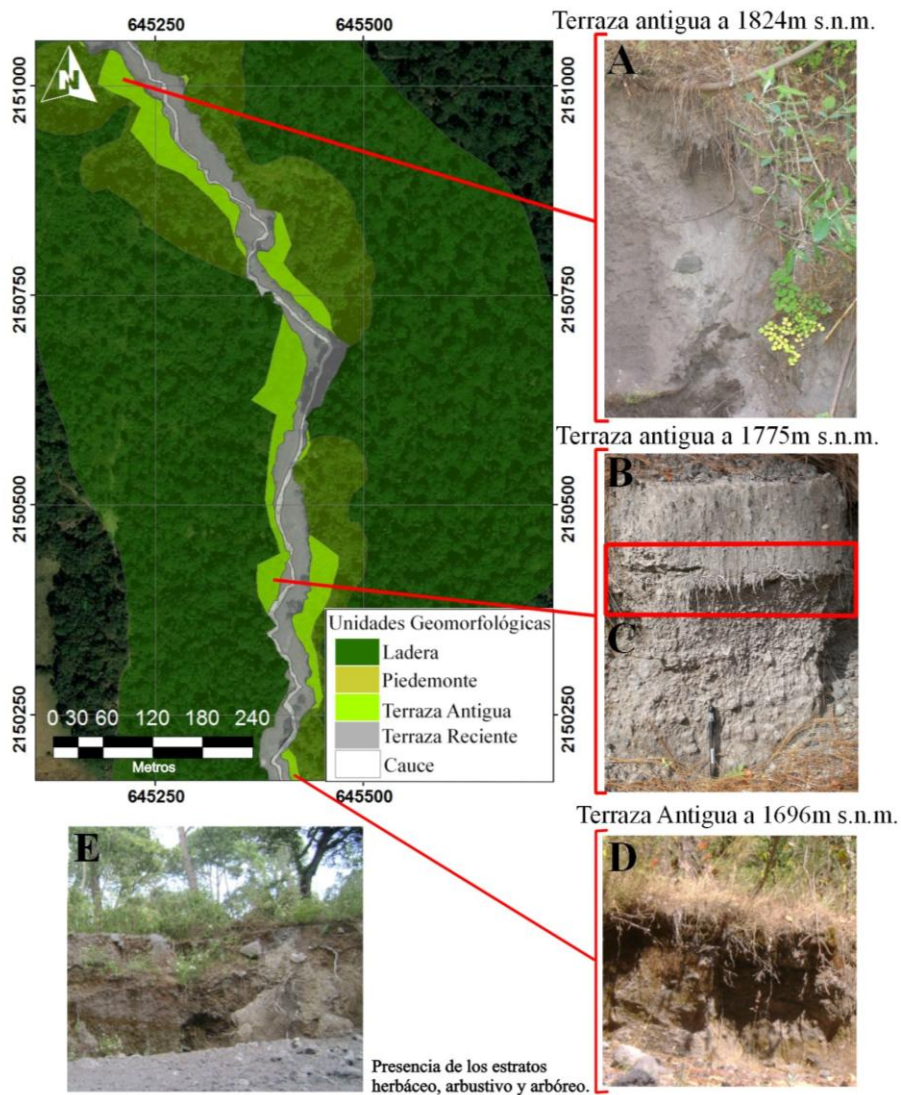


Figura 4.1.2. Hábitat de Terrazas Antiguas. A, C y D. Secuencia de lahares históricos. B. Posible depósito de lahárico de 1999 con acúculas pertenecientes a relictos de vegetación sepultada. E. Vegetación característica de las Terrazas Antiguas.

En la parte media de la Barranca, el hábitat de Terrazas Antiguas revela la existencia de dos depósitos laháricos divididos por una delgada capa de acículas. El depósito superior contiene dos estratos, el primero evidencia una matriz arenosa con muy poca presencia de clastos, mientras que el inferior posee clastos mayores a 2cm con una matriz arenosa. Por otro lado, a los 1775 m s.n.m. el paquete superior tiene 10% de cantos (>6.4cm) y bloques (>25.6cm) en una matriz franco-arenosa; es muy probable pertenezca al lahar de 1999, que recorrió el interior de la barranca y destruyó una de las torres eléctricas a los 1600 m s.n.m. En este caso, la estructura de las acículas esta bien conservada, sugiriendo que han pasado pocos años desde que fueron sepultadas (Fig. 4.1.2 B y C). Finalmente la parte baja de la barranca a los 1696 m s.n.m. se encuentra un depósito que posee una matriz arenosa con 75% de bloques de entre 25.6 y 50cm (Fig. 4.1.2 D).

Cabe destacar que la vegetación establecida sobre el hábitat de Terrazas Antiguas, muestra una estructura vertical de bosque de pino-encino conteniendo estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo (Pinos y encinos de entre 12 y 32m), lo cual evidencia un avanzado desarrollo de la estructura vegetal y una buena estabilidad de la unidad geomorfológica (Fig. 4.1.2 D).

Hábitat de Terrazas Recientes.

Estos depósitos se distribuyen de manera discontinua a ambos lados del cauce de la barranca y corresponden principalmente a los lahares ocurridos en 1999, 2003, 2004, 2005, 2006 y 2009. Debido a que por esta barranca han descendido cerca de 50 lahares desde 1999, es prácticamente imposible diferenciar cada evento (la principal diferencia que se encuentra a lo largo de la superficie de las Terrazas Recientes, es el tamaño de los fragmentos arrastrados).

En la parte alta de la barranca los depósitos presentan un 35% de cantos (>6.4cm) y bloques (>25.6cm) inmersos en una matriz arenosa, aunque en algunas terrazas se observan acumulaciones de bloques (Fig. 4.1.3 A). En la parte media de la barranca predominan depósitos constituidos esencialmente por una matriz franco-arenosa con 10% de cantos mayores a 6.4cm y bloques de entre 25.6 y 30cm (Fig. 1.3 B). Finalmente, en la parte baja de la Barranca a los 1696 m s.n.m. es común encontrar depósitos arenosos que son cubiertos por un 95% de bloques expuestos en superficie con tamaños de entre 25.6 y 50cm, estos depósitos corresponden a un levée lateral que se forma cuando los lahares depositan sólo bloques al inicio de las curvas y material fino al interior de las mismas (Fig. 4.1.3 C).

La vegetación establecida sobre el hábitat de Terrazas Recientes es muy escasa, sin embargo, su estructura vertical es la de un matorral secundario con dos estratos, dominando el herbáceo que no supera los 30cm con algunos arbustos de 150cm en promedio; este hábitat muestra una alta

vulnerabilidad a nuevos eventos laháricos por lo que la vegetación que logra establecerse no lo hace por mucho tiempo.

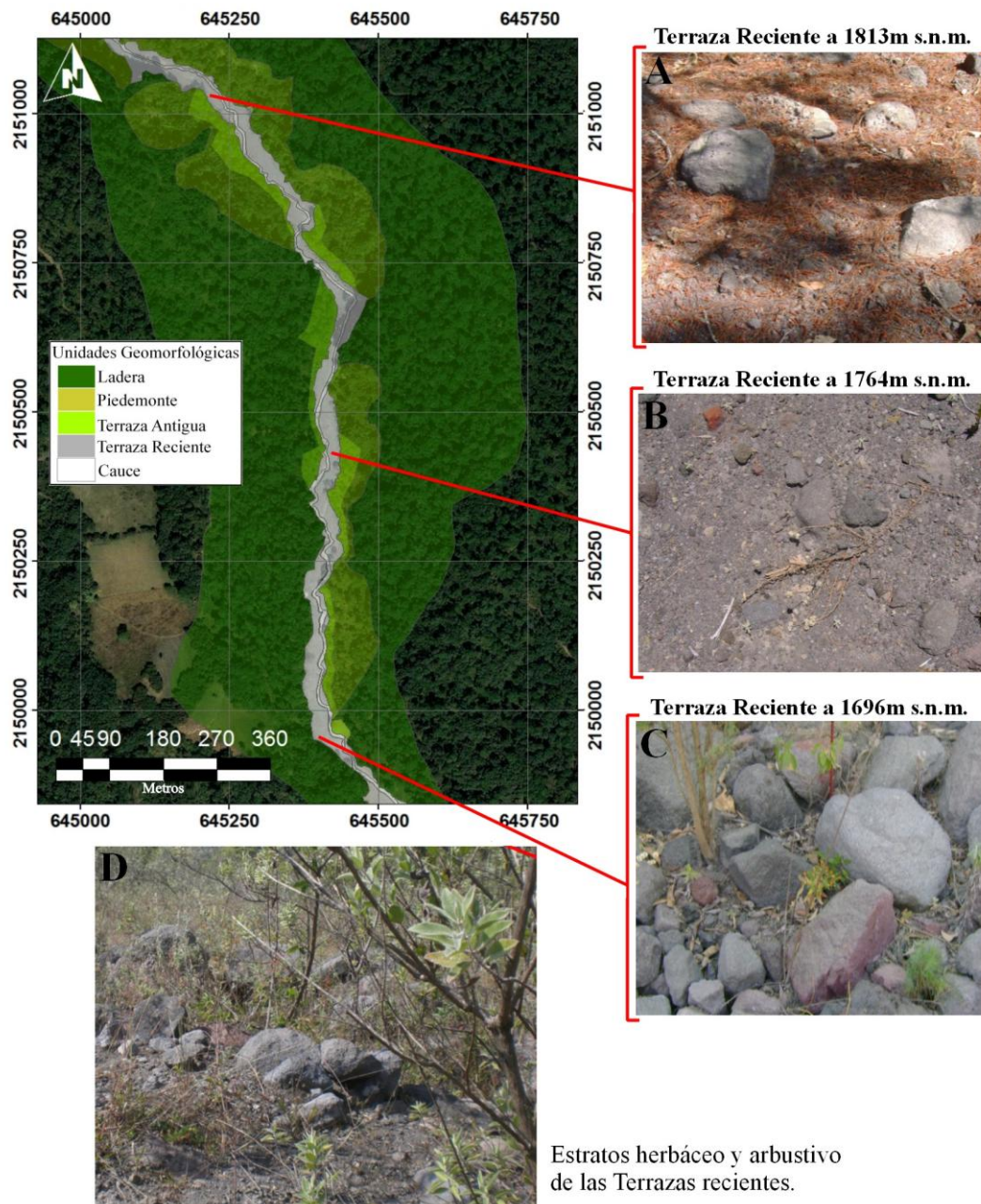


Figura 4.1.3. Hábitat de Terrazas Recientes. **A.** Depósito con proporción media de clastos y bloques. **B.** Depósito con baja cantidad de clastos y bloques. **C.** Depósito con alta cantidad de bloques. **D.** Vegetación de las Terrazas Recientes.

Hábitat de Abanicos Laháricos.

Se identificaron 5 hábitats de Abanicos Laháricos de distinta edad que se extienden en la parte baja de la Barranca (<1690 m s.n.m.), donde la morfología encajada del barranco se abre y la pendiente

del cauce se suaviza, provocando que los lahares disminuyan su velocidad y generen un depósito extendido en forma de cono (Fig. 4.1.4).

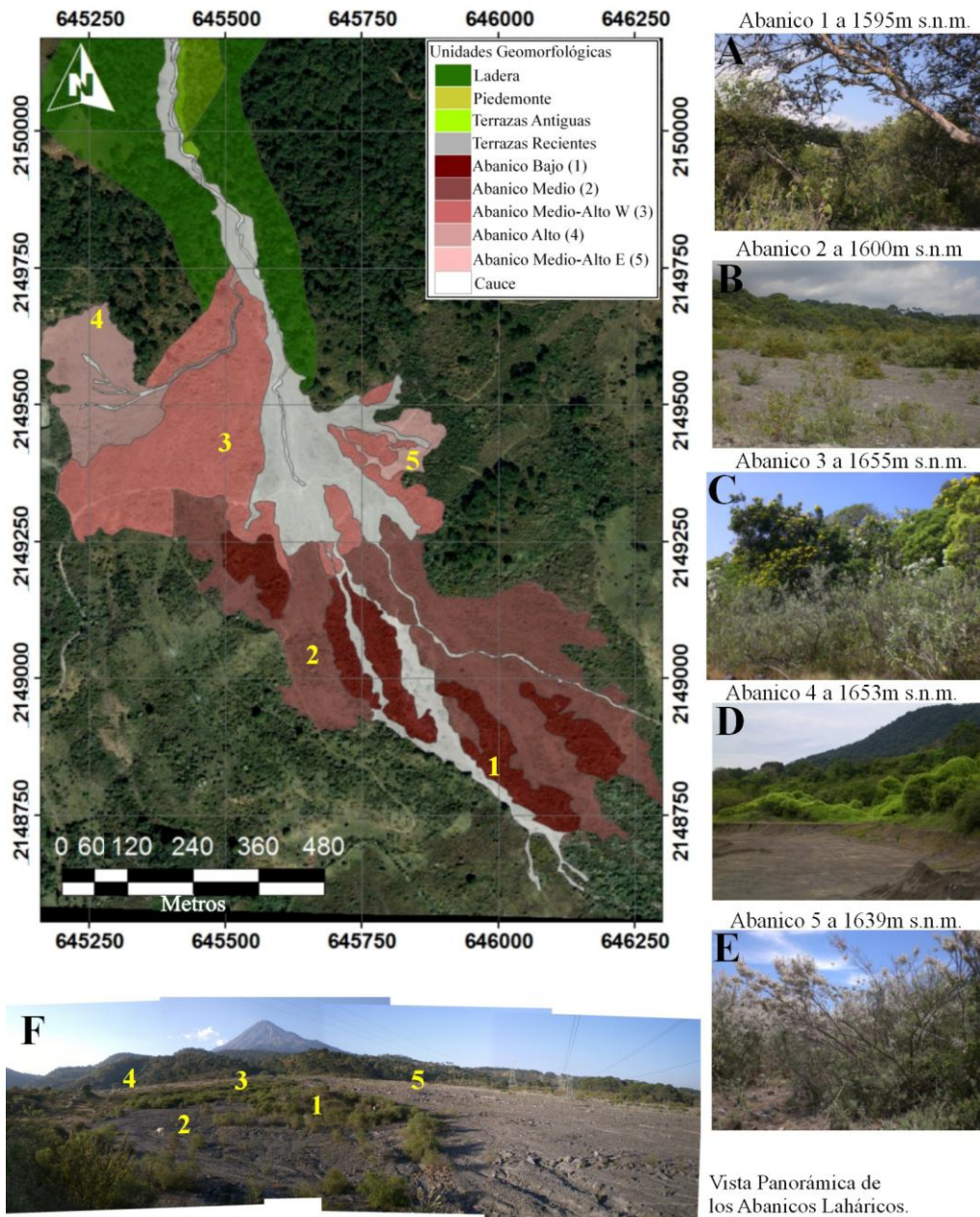


Figura 4.1.4. Hábitat de Abanicos Laháricos. **A.** Vegetación del abanico bajo (1) con diferenciación de estratos. **B.** Vegetación de matorral secundario en el abanico medio (2). **C.** Vegetación con desarrollo de estructura vertical en el abanico medio-alto W (3). **D.** Cantera en el abanico alto (4). **E.** Vegetación relacionada a matorral subtropical del abanico medio-alto E (5). **F.** Panorámica comparativa del desarrollo de la vegetación de los Abanicos Laháricos.

a) Hábitat Abanico Bajo.

Actualmente se observan cinco fragmentos de vegetación entre los 1574 y los 1635 m s.n.m. En interior de cada uno de ellos se identifico cerca de un 10% de cantos (>6.4cm) y bloques (25.6-

30cm) dentro de una matriz franco-arenosa. Por otro lado, en los bordes de los fragmentos se observaron depósitos con una matriz arenosa con 40% de cantos (>6.4cm) y bloques mayores a 25.6cm; mismos que corresponden a nuevos eventos laháricos. La vegetación es característica de ecosistemas tropicales y está compuesta por los estratos herbáceos, arbustivos y arbóreos; es evidente el avanzado desarrollo de la vegetación tanto en la cobertura como en el diámetro de estrato arbóreo y arbustivo; sin embargo, la talla no es representativa del desarrollo ya que el continuo descenso de lahares ha enterrado al estrato herbáceo dejando en algunos casos solo la copa del árbol. Debido al avanzado desarrollo de la vegetación se presume que es el depósito más antiguo de los Abanicos Laháricos que fueron identificados (Fig. 4.1.4 A).

b) Hábitat de Abanico Medio.

Este depósito se forma posteriormente al Abanico Bajo, sostiene un matorral secundario con un dominante estrato herbáceo y dispersos ejemplares de arbustos. Consiste en cuatro fragmentos (1571 a 1644 m s.n.m.) con depósitos que muestran una matriz franco-arenosa, con 40% cantos (>6.4cm) y bloques (>25.6cm). Está sometido a constantes procesos de colonización y regeneración a causa de la actividad lahárica (Fig. 4.1.4 B).

c) Hábitat de Abanico Medio-Alto Oeste.

Expone siete fragmentos formados después del Abanico Medio abarcando desde los 1632 a los 1690 m s.n.m., los cuales poseen un matriz arenosa con la presencia del 75% de cantos con bloques (>25.6cm). La vegetación posee los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo con tallas de hasta 4m; la cual ha tenido un continuo desarrollo en el sector oeste debido a que en este tramo los lahares han quedado encajonados en el interior del cauce (Fig. 4.1.4 C).

d) Hábitat de Abanico Alto.

Es un solo fragmento del lado oeste de la Barranca entre los 1639 y 1664 m s.n.m. Se trata de un depósito con 15% de cantos de hasta 20cm dentro de una matriz arenosa. Su formación posiblemente corresponda a los eventos de 2005-2006, ya que en las ortofotos del año 2000 este depósito no es visible. Este abanico ha servido para la extracción de grava, razón por la cual, la vegetación ha quedado reducida a pequeños manchones de hierbas. Debido a la inestabilidad inducida por el aprovechamiento humano este abanico no se considero en el comparativo con otras unidades laháricas (Fig. 4.1.4 D).

e) Hábitat de Abanico Medio-Alto Este.

Corresponde a un pequeño depósito ubicado en el sector este de la Barranca entre las cotas de 1635 y 1643 m s.n.m., estando formado por una matriz franco-arenosa con 15% de cantos menores a 12cm. Su vegetación muestra estratos herbáceos y arbustivos con tallas de hasta 4m y especies comunes de selvas bajas caducifolias secundarias; además, las ortofotos del año 2000 indican por la falta de cobertura vegetal que su formación corresponde a los eventos de 1999; por lo que la vegetación tiene un desarrollo menor a 11 años (Fig. 4.1.4 E).

La diferencia en las tallas y coberturas de vegetación, así como la morfología y disposición del depósito en la Barranca permitió identificar cinco hábitats de Abanicos de distinta edad, aunque debido a que son depósitos muy antiguos no en todos los casos se pudo inferir la edad de formación.

En resumen los 7 tipos de hábitats descritos en este apartado muestran diferencias muy evidentes en el desarrollo de su vegetación, las cuales no sólo están en función del clima dado por la altitud sino de las características granulométricas, edáficas y de composición vegetal, que proveen la edad y distribución de los depósitos al estar localizados en un ecotono al interior de la Barranca Montegrando. En dichas hábitats se observan características muy particulares en el establecimiento y desarrollo de la vegetación, mismas que se tratarán más adelante; lo cual genera una gran diversidad de comunidades que interactúan con su entorno y muestran preferencia por sitios con baja susceptibilidad a lahares donde los individuos puedan establecerse y prosperar a comunidades más desarrolladas.

2. Factores explicativos en los hábitats expuestos a lahares recientes.

Al ser el Volcán de Fuego de Colima el volcán más activo de México, su monitoreo ha sido constante no sólo a nivel vulcanológico sino pluvial debido al riesgo lahárico; es por ello se han colocado dos estaciones pluviométricas HOBO con un sensor que responde a registros de 0,2 mm de lluvia (Capra et al., 2010) uno en el interior de las Barranca la Arena (1 de Julio, 2007 a 2000 m s.n.m.) y otra en la Barranca Montegrando (23 de Junio, 2008 a 2360 m s.n.m.). Los datos pluviométricos de la estación Montegrando aportados por la Doctora Lucia Capra (Responsable de las estaciones pluviométricas) fueron procesados y comparados con datos del Sistema Meteorológico Nacional (SMN) de la estación DGECOLIMA ubicada en la ciudad de Colima a 444 m s.n.m. (19°14'03''; 103°43'13'') para los años 2008 y 2009, indicando que el periodo de lluvia inicia entre mayo-junio y termina en octubre; mismo que es seguido de un periodo completamente seco. Dado que los muestreos de vegetación fueron a partir de 2009, es importante mencionar que el mes más lluvioso en 2008 fue septiembre mientras que en 2009 fue octubre (Fig.4.2.1).

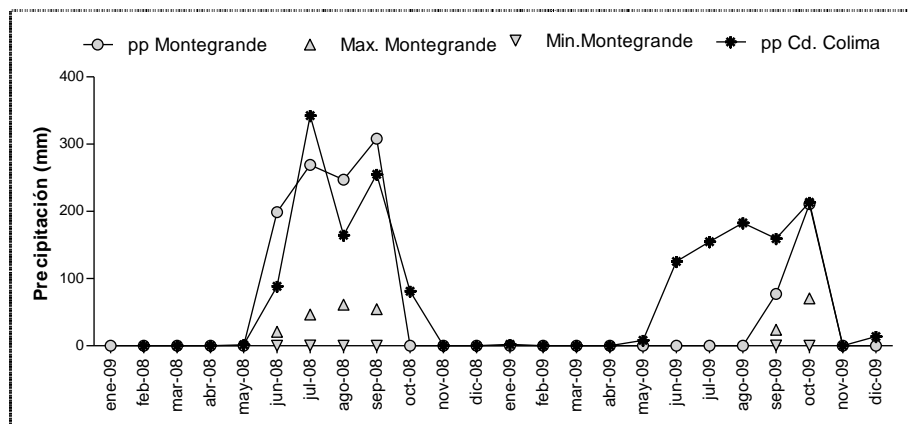


Figura 4.2.1. Comparación del registro de lluvias en la Barranca Montegrando y en la ciudad de Colima.

En 2008, al interior de la Barranca Montegrando el primer registro se presentó el 21 de junio con 2.4mm, el último fue el 3 de octubre con 0.2mm y la máxima precipitación ocurrió el 29 de agosto

con 61.2mm. Por otro lado en 2009, por complicaciones en el aporte de datos, los registros iniciaron el 23 de septiembre con 0.4mm y finalizaron el 29 de octubre con 0.2mm, con una máxima el 21 de octubre con 70.4mm. La comparación de datos del SMN nos indica que la concentración pluvial en la estación ubicada a los 444 m s.n.m. es distinta que la que se registra al interior de la barranca a los 2360 m s.n.m.; sin embargo el periodo de lluvias tiene un lapso de meses muy similar.

En cuanto a la temperatura, los datos obtenidos de la base del Sistema Meteorológico Nacional para los años 2008 y 2009, indican temperaturas promedio de entre 23.5 y 28.4°C (Fig. 4.2.2).

La temperatura máxima ocurre en el mes de agosto con 34.2°C en tanto que la mínima se presenta en marzo con 15°C. Es evidente que los meses de mayor temperatura mínima coinciden con el periodo de lluvias, y con una mayor evaporación del agua aprovechable por las plantas en los suelos. Así, las altas temperaturas y el reducido periodo precipitación ocasionan que en el mes de noviembre comience un estrés hídrico en las plantas, el cual se intensifica hacia los meses de abril y mayo disminuyendo con el inicio de la época de lluvias que trae consigo el descenso de nuevos lahares.

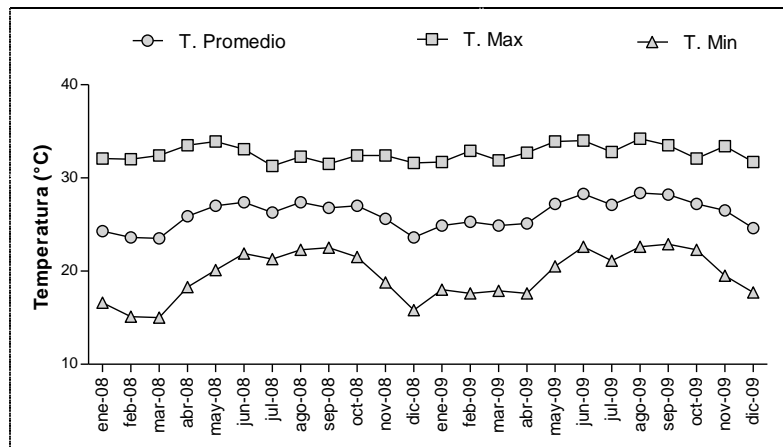


Figura 4.2.2. Régimen térmico para la ciudad de Colima

Dado lo anterior, al interior de la Barranca Montegrande el factor explicativo de mayor influencia en el desarrollo de la vegetación es la actividad lahárica, es por ello que se hizo un análisis más detallado de algunas de las características físicas, químicas y microbiológicas que se presentan en los hábitats de Terraza Antigua, Terraza Reciente y Abanicos Laháricos. Como ya se había mencionado, los lahares son flujos de escombros y su depositación es heterogénea, así que es prácticamente imposible diferenciar estratos y límites de los distintos eventos laháricos recientes. No obstante, al interior de los lahares la distribución del material piroclástico (fragmentos líticos y

cenizas) proveniente de las partes altas del Volcán de Fuego pudo ser dividido de acuerdo con sus características texturales (Rocosisdad), en tres categorías (Fig. 4.2.3):

- **Rocosisdad Fina.** Matriz franco-arenosa de 10-35% de cantos (>6.4cm) y bloques (>25.6cm).
- **Rocosisdad Mediana.** Matriz arenosa con 35-60% de cantos (>6.4cm) y bloques (>25.6cm).
- **Rocosisdad Gruesa.** Matriz arenosa con 60-95% de bloques (>25.6cm).

Esta clasificación permitió caracterizar a los paquetes laháricos del interior de cada hábitat por el porcentaje de rocas en superficie, el cual favorece la formación de microhabitats que diversifican la respuesta de regeneración vegetal (Van Wesemael et al., 1996; Martre, 2002). Así, la rocosidad facilitó el análisis del resto de factores analizados (estabilidad, exposición, inclinación y precipitación, concentración carbono y nitrógeno, densidad aparente, densidad de raíces, estructura, humedad, mantillo, pH, pedregosidad, porosidad y textura); los cuales fueron medidos siguiendo la distribución de esta propiedad, ya que en apariencia la densidad vegetal mostró notorias diferencias de acuerdo al tipo de rocosidad en el que se estableció, lo que sugirió la existencia de micro-hábitats con características físicas, químicas y biológicas que favorecen el establecimiento vegetal (Fig. 4.2.3).

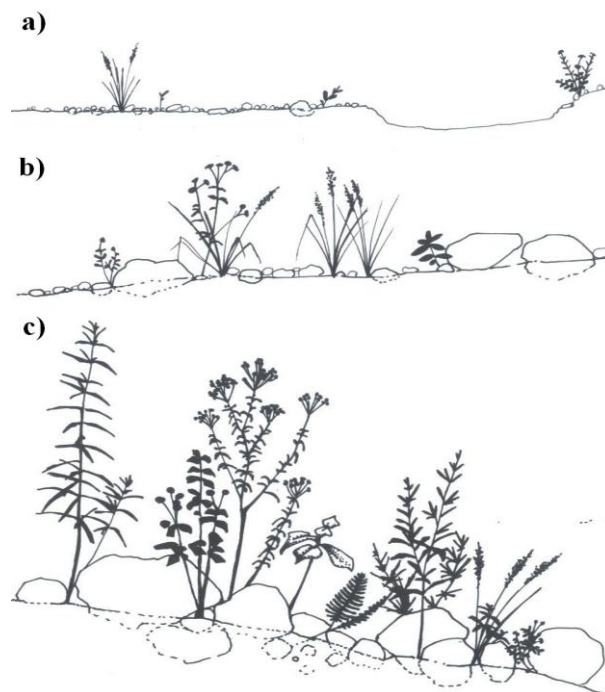


Figura 4.2.3. Rocosisdad al interior de la Barranca Montegrande. a) Fina. b) Media. c) Gruesa.

Dado lo anterior a continuación se describen los resultados de los factores explicativos para cada uno de los hábitats:

Hábitat de Terrazas Antiguas.

Este hábitat se caracteriza por ser la terraza lahárica de mayor altura y cercanía a las laderas del interior de la Barranca Montegrando, en ella se realizaron tres levantamientos de datos, el primero nombrado como *Terraza Antigua Alta* ubicado en la ladera oeste del perfil 60 a 1824 m s.n.m., con pendiente de 10%, morfología plana-convexa y rocosidad mediana, en bosque de pino-encino con mantillo tipo Moder; el segundo con el nombre de *Terraza Antigua Media* en la ladera oeste del perfil 36 a 1775 m s.n.m., con pendiente de 9%, morfología convexa-convexa y rocosidad fina en vegetación de bosque de pino-encino con mantillo Mull; y el tercero designado como *Terraza Antigua Baja* en la ladera este del perfil 9 a 1696 m s.n.m., con pendiente de 7%, morfología convexa-plana y rocosidad gruesa, en vegetación arbustiva con mantillo Mull; cabe destacar que solo en este punto se encontró evidencia de erosión en forma de canales disminuyendo la estabilidad de ladera.

Las características edáficas de los tres levantamientos permiten clasificar los suelos como Haplic-Regosol-arénico en la *Terraza Antigua Alta* y *Terraza Antigua Media*, y Haplic-Regosol-endoesquelético en la *Terraza Antigua Baja* (Fig. 4.2.4).

Estas clasificaciones se determinaron a partir de una serie de propiedades evaluadas en campo (Apéndice 2. Hábitat de Terrazas Antiguas); las cuales califican a los suelos del hábitat de Terraza Antigua como Regosol por estar débilmente desarrollados, anteponiendo el prefijo Haplic al carecer de una caracterización propia. En el caso de los dos primeros perfiles se les agrega el sufijo arénico por tener una textura arenosa a arenosa franca en una capa de 30cm o más de espesor dentro de los primeros 100cm; mientras que al tercer perfil se le agrega el sufijo endoesquelético al presentar más del 40% de bloques gruesos en una profundidad de 50 a 100cm.

La *Terraza Antigua Alta* (Haplic-Regosol-arénico), destaca por presentar una intemperización física más avanzada al tener una mayor profundidad de sus horizontes; en tanto que la *Terraza Antigua Media* (Haplic-Regosol-arénico), se caracteriza por tener un mayor desarrollo pedogenético al exhibir una coloración negra y una relación C/N alta que evidencia procesos de melanización y humificación. Finalmente, el tercer perfil *Terraza Antigua Baja* (Haplic-Regosol-endoesquelético), muestra las propiedades más adversas para el establecimiento vegetal al tener un incipiente suelo que sólo ha logrado intemperizar 11cm de material parental.

Hábitat de Terrazas Antiguas

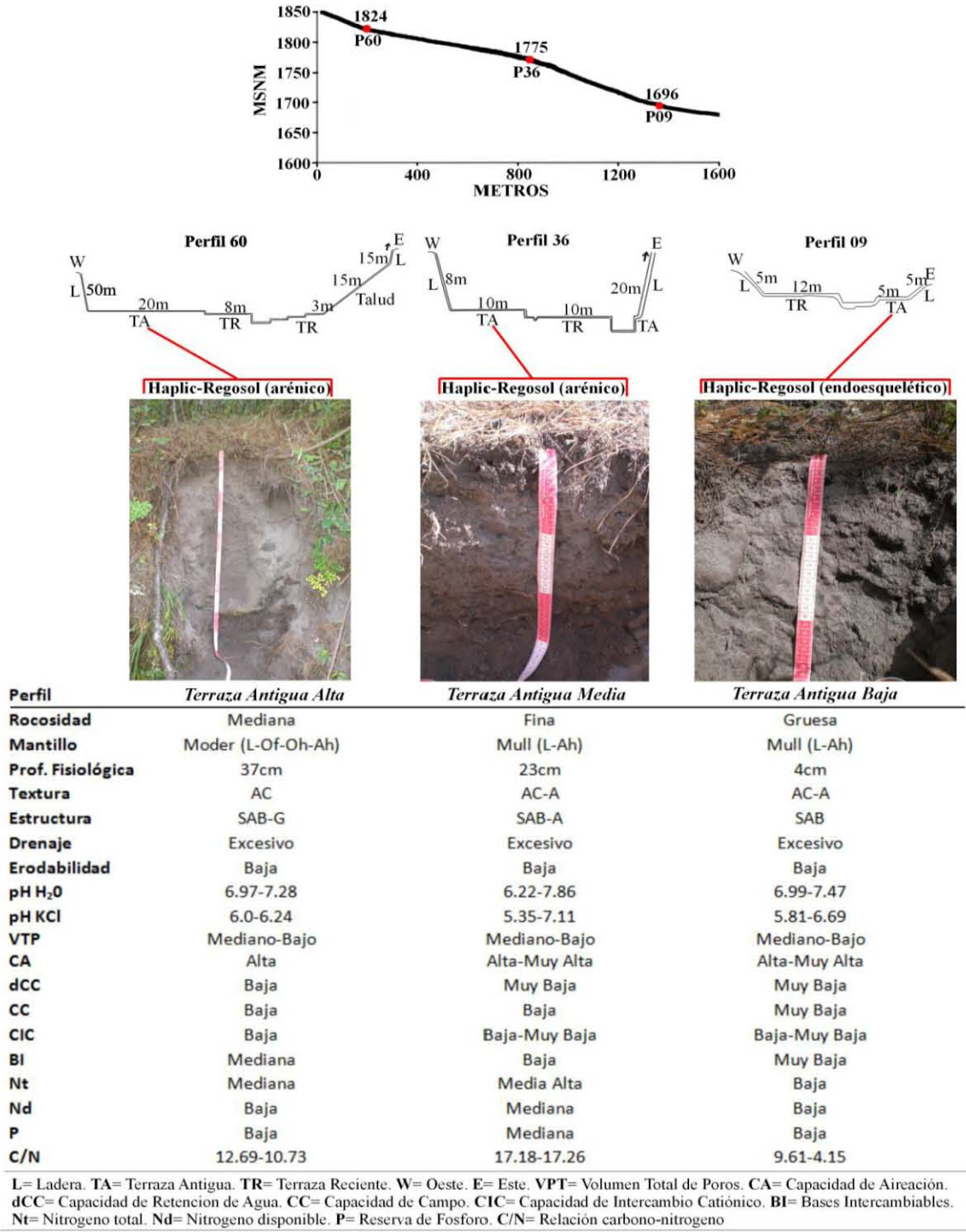


Figura. 4.2.4. Localización y características edáficas del hábitat de Terrazas Antiguas.

Dadas todas estas características, se concluye que el hábitat de Terraza Antigua posee suelos con altas limitaciones hídricas para el establecimiento de la vegetación, la cual estará en un periodo de estrés hídrico durante la temporada de secas debido a la excesiva infiltración posterior a la

temporada de lluvias; dado lo anterior es poco posible que se incorporen especies arbóreas debido a la escasa profundidad fisiológica que no permite el enraizamiento de este estrato vegetal. Es probable que exista una constante formación de nutrientes disponibles para las plantas, dadas las relaciones C/N que favorecen la mineralización más que la humificación; sin embargo, la gran infiltración que se presenta incrementa el lavado de nutrimentos y la baja capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables en los horizontes superficiales, lo que sugiere una escasez de Ca, Mg, K y Na, así como de la disponibilidad nitrógeno y fosforo. Así, la vegetación de las Terrazas Antiguas se enfrenta a una insuficiente humedad y nutrimentos, factores básicos para el establecimiento y desarrollo de las plantas.

Hábitat de Terrazas Recientes.

Este hábitat se caracteriza por pertenecer a una terraza lahárica reciente contigua al cauce de la barranca, en ella se hicieron tres levantamientos edáficos: el primero designado como *Terraza Reciente Alta* en la ladera oeste del perfil 60 a los 1813 m s.n.m., con pendiente casi plana de 0.5%, morfología plana-plana y rocosidad mediana, en vegetación herbácea con mantillo tipo Mull. El segundo nombrado *Terraza Reciente Media* en la ladera este del perfil 36 a los 1764 m s.n.m., con pendiente moderada de 9%, morfología convexa-plana y rocosidad fina, en una vegetación herbácea con mantillo Mull. Y el tercero con nombre *Terraza Reciente Baja* en la ladera oeste del perfil 9 a los 1696 m s.n.m. con pendiente casi plana de 1%, morfología convexa-plana y rocosidad gruesa en vegetación arbustiva sin presencia de mantillo. La erosión laminar estuvo presente en toda la unidad, intensificándose en el tercer perfil y evidenciando también canales de escorrentía, cárcavas y surcos.

Es evidente que este suelo se ha desarrollado *in situ* a partir del material parental lahárico reciente que ha sido mínimamente saprolitizado, estando más desarrollado en la parte alta de barranca al presentar una mayor diferenciación y profundidad de horizontes; los procesos pedogenéticos dominantes son mineralización de materia orgánica (1813 y 1710 m s.n.m.), humificación (1764 m s.n.m.) y formación de estructura subangular en bloques de toda la catena. Pese a que se encuentra en un sitio volcánico, la reacción al aluminio no fue notable, sugiriendo una escasa formación de minerales secundarios como el alofano e imogolita, que producirían una mayor estabilidad de agregados. El desarrollo de la profundidad de los horizontes es gradual en altitud, con profundidades fisiológicas de 23cm en la parte alta, 20cm en la media y 5cm en la baja. De igual forma, pudieron ser observadas variaciones en profundidad de humedad que fue seca a fresca, con densidad aparente de baja a alta y densidad de raíces de extremadamente alta a muy alta en los tres perfiles.

También se observó que en toda el hábitat existe una alta a muy alta capacidad de aireación, un bajo a mediano volumen total de poros, muy baja capacidad de agua disponible, muy baja capacidad de campo, mediana a alta conductividad hidráulica y drenaje natural de bueno en la parte alta a excesivo hacia las partes bajas. Es evidente que el conjunto de estas propiedades determinan condiciones de escasa humedad, lenta elevación de agua del subsuelo por capilaridad a través de los poros, mayor infiltración y baja retención de agua disponible para las plantas, que favorecen un mayor lavado vertical de nutrimentos formados durante la descomposición de la materia orgánica.

Los espesores del mantillo fueron decreciendo del sector alto hasta no ser observado en el sector bajo de la barranca. Sin embargo, dicho espesor no tuvo influencia en la relación C/N, ya que el mantillo Mull, integrado por acículas en la *Terraza Reciente Alta*, tuvo una baja relación C/N (5.93 a 6.57 en el primer horizonte y 3.06 a 7.14 en el segundo) indicando una mayor mineralización; en tanto que en la *Terraza Reciente Media* (con el mismo tipo de mantillo pero con composición de acículas y hojarasca) se presentaron valores de la relación C/N (20.42 a 21.60 en el primer horizonte y 2.42 a 2.58 en el segundo) que corresponden a un mantillo tipo Moder, apuntando a un proceso de humificación de la materia orgánica; asimismo, a pesar de la ausencia de mantillo en la *Terraza Reciente Baja* los valores de C/N (3.45 a 4.38) sugieren un proceso de humificación. Por su parte, la reserva y disponibilidad de nitrógeno, así como el abastecimiento de fósforo tuvieron un decremento al disminuir la altitud. En todo el hábitat, la capacidad de intercambio catiónico fue de baja a muy baja con una saturación de bases de muy baja a baja y pH de ligeramente ácido a ligeramente alcalino, haciendo notable la oscilación de la concentración de cationes de Ca, Mg, K y Na, misma que se incrementa en la región media de la barranca.

Estas características edáficas indican para las *Terrazas Recientes Alta y Media* un suelo del tipo Haplic-Regosol-arénico, en tanto que la *Terraza Reciente Baja* muestra un suelo Haplic-Regosol-dénsico-endoesquelético (Fig. 4.2.5).

Se llegó a estas clasificaciones de acuerdo a propiedades evaluadas en campo (Apéndice 2. Hábitat de Terrazas Recientes); que distinguen a la unidad de Terraza Reciente como Regosol por tener un incipiente desarrollo pedogenético que al carecer de una identificación propia se agrega el prefijo Haplic. En el caso de los dos primeros perfiles se les adicionó el sufijo arénico al presentar una textura arenosa a arenosa franca en una capa de 30cm o más de espesor dentro de los primeros 100cm de profundidad; mientras que al tercer perfil se le añadió el sufijo dénsico por tener una compactación natural dentro de los primeros 50cm, al grado que las raíces no pueden penetrar, y el sufijo endoesquelético al presentar más del 40% de bloques gruesos en una profundidad de 50 a 100cm.

Hábitat de Terrazas Recientes

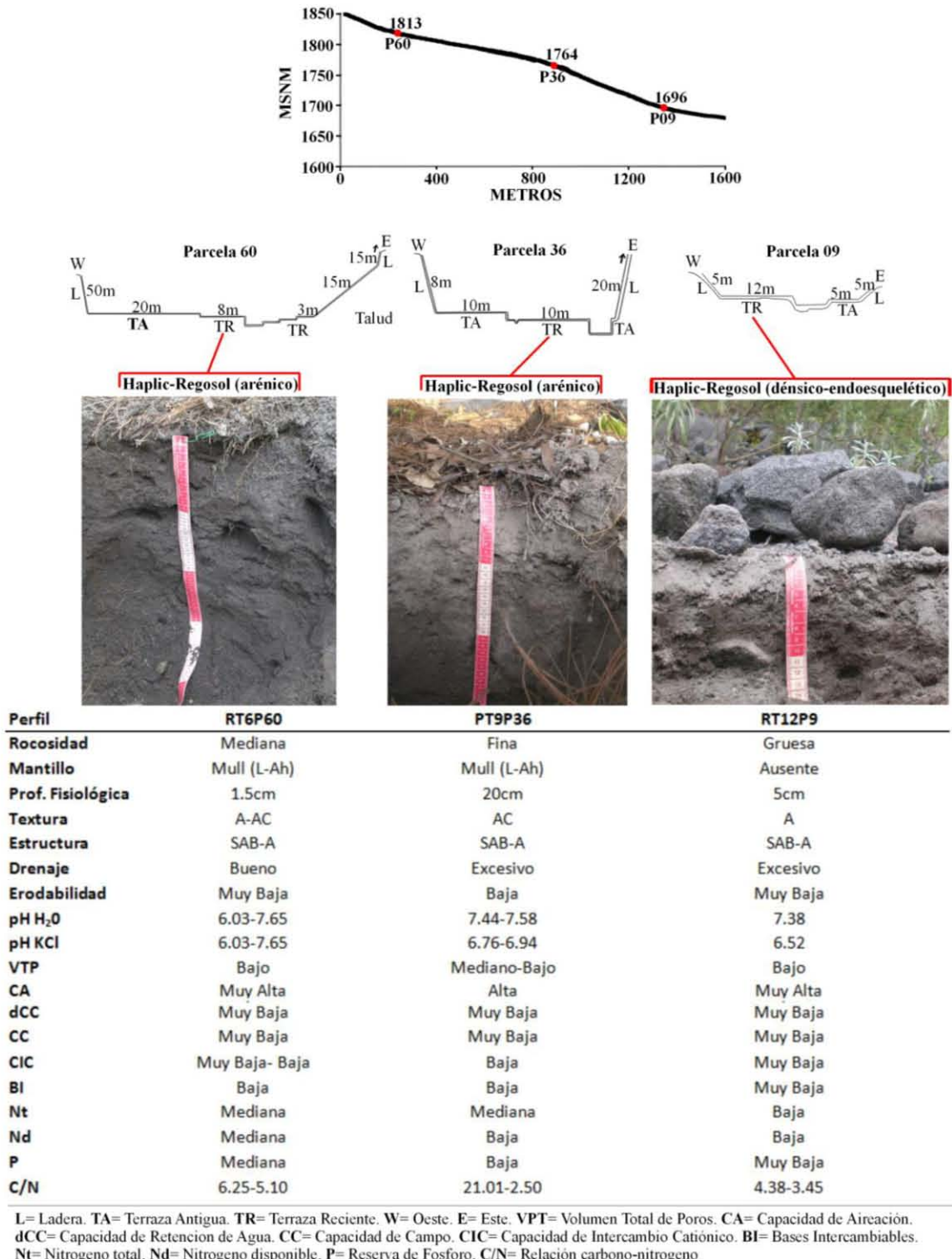


Figura. 4.2.5. Localización y características edáficas del hábitat de Terrazas Recientes.

La *Terraza Reciente Alta* (Haplic-Regosol-arénico), tiene una intemperización más avanzada, con mayor profundidad de sus horizontes y estructura arenosa a franco arenosa; por su parte la *Terraza*

Reciente Media (Haplic-Regosol-arénico) se caracteriza por presentar un mayor desarrollo pedogenético, con coloraciones oscuras y valores altos en la relación C/N, lo cual pone de manifiesto un importante proceso de melanización y humificación; por último, la *Terraza Reciente Baja* (Haplic-Regosol-dénsico-endoesquelético) exhibe las propiedades más hostiles para el establecimiento y desarrollo vegetal, con sólo 5cm de material ligeramente intemperizado en el que sólo se podrían establecer especies adaptadas al estrés.

De acuerdo con estas características, el hábitat de Terraza Reciente representa a suelos con limitaciones hídricas, determinantes en el proceso de establecimiento vegetal, la cual debido a la excesiva infiltración tendrá que adaptarse a periodos de estrés hídrico durante la temporada de secas, haciendo más lenta la incorporación de especies arbóreas y secundarias que tendrán que esperar mejores condiciones edáficas para establecerse. Es muy probable que exista una continua formación de nutrientes disponibles para la vegetación, ya que las relaciones C/N sugieren que el proceso de mineralización tiene mayor presencia respecto al de humificación que se concentra en la parte media de la barranca; sin embargo, la enorme infiltración conduce a una lixiviación de los nutrimentos generados por la descomposición de la materia orgánica, lo cual se manifiesta con la baja capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables en los horizontes superficiales, limitando las concentraciones de Ca, Mg, K y Na, así como la disponibilidad nitrógeno y fosforo. En conclusión, la vegetación del hábitat de Terrazas Recientes debe adaptarse a condiciones de baja humedad y disponibilidad de nutrimentos previa a la época de lluvias; así como seguir incorporando especies con tolerancia al estrés, que puedan favorecer la edafogénesis con el incremento de materia orgánica para una posterior incorporación de especies secundarias.

Hábitat de Abanicos Laháricos.

Estos hábitats se localizan en la parte baja de la Barranca Montegrande, donde las paredes de las laderas se suavizan y pierden altura eliminando el encauzamiento original y favoreciendo la depositación en Abanicos. En esta unidad sólo se realizaron cuatro levantamientos ya que el hábitat de *Abanico Alto* no fue considerado debido a su aprovechamiento minero, por tanto se realizó un perfil por cada abanico con regeneración vegetal natural. El primero se realizó en el hábitat de *Abanico Bajo* al oeste del cauce a los 1595 m s.n.m., con pendiente de 9%, morfología cóncava-plana y rocosidad fina, en un denso matorral con mantillo tipo Mull. El segundo fue en el hábitat de *Abanico Medio* al este del cauce a los 1600 m s.n.m., con pendiente de 5%, morfología plana-plana y rocosidad mediana en un matorral con mantillo tipo Mull. El tercero se tomo en el hábitat de *Abanico Medio-Alto W* al oeste del cauce a los 1655 m s.n.m., con pendiente de 8%, morfología plana-convexa y rocosidad gruesa en un matorral con mantillo tipo Mull. Por último, el cuarto se

hizo en el hábitat de *Abanico Medio-Alto E* al este del cauce en el abanico 5 a los 1639 m s.n.m., con pendiente de 2%, morfología plana-plana y rocosidad fina, en un matorral con mantillo ausente. La erosión que se evidencia es pie de vaca, laminar, canales de escorrentía, cárcavas y surcos.

El análisis de los datos mostró que el suelo se ha desarrollado a partir de la delgada depositación de material piroclástico procedente de la cima del Volcán hasta la cota ubicada entre 1595 y 1655 m s.n.m., el cual desciende durante la temporada de lluvias en forma de lahar. Este material parental ha sido depositado de manera gradual respecto a la distancia al cauce, ya que los suelos cercanos al cauce son muy someros con un límite superior del material parental menor a 29cm, en tanto que los más alejados presentan una mayor cantidad de horizontes delgados con profundidades de material parental mayores a 96cm; no obstante, la cantidad de horizontes en cada perfil, responde al número de eventos laháricos con depositación de material fino más que a un proceso de diferenciación pedogenética. En la mayoría de los Abanicos se observó que los procesos pedogenéticos dominantes son formación de estructura subangular, mineralización y humificación de materia orgánica; e intemperismo con acumulación de óxidos en solo un perfil. La reacción al aluminio fue moderada, indicando una baja formación de alofano e imogolita. Por otro lado, en todos los casos la humedad fue de muy seca en superficie a fresca en profundidad con aumentos graduales de densidad aparente de baja a alta.

Asimismo, la capacidad de aireación fue de alta a muy alta en la mayoría de los Abanicos exceptuando al hábitat de *Abanico Medio-Alto E* que varió de baja a muy alta, indicando que algunos horizontes profundos podrían carecer de oxígeno; lo cual se suma al hecho de que en todos los Abanicos el volumen total de poros fue de bajo a mediano, la capacidad de campo de baja a muy baja y la conductividad hidráulica de muy baja a muy alta, limitando la infiltración de agua en los suelos; misma que se acentúa en el hábitat de *Abanico Medio-Alto E* debido a la presencia de dos horizontes arcillo-arenosos. Estas características evidencian condiciones favorables de humedad para las plantas, así como una baja pérdida de nutrientes por procesos de lixiviación.

En la mayoría de los Abanicos se observaron incipientes mantillos tipo Mull compuestos por restos de gramíneas; sin embargo, dicho espesor no tuvo influencia en la relación Carbono/Nitrógeno (C/N), ya que en el hábitat de *Abanico Bajo* se tuvo una buena relación C/N (9.58 a 10.22 en el primer horizonte y 4.89 a 5.37 en el segundo) indicando un mayor proceso de mineralización; en tanto que el hábitat de *Abanico Medio* presentó los más altos valores en la relación C/N (11.97 a 12.11 en el primer horizonte y 6.40 a 6.80 en el segundo); asimismo, en el hábitat de *Abanico Medio-Alto W* la relación de C/N fue muy baja (5.08 a 5.12 en el primer horizonte y 2.55 a 2.57 en el segundo); finalmente el hábitat de *Abanico Medio-Alto E* a pesar de no tener un mantillo presento

una relación C/N más alta (6.31 a 7.36 en el primer horizonte y 2.12 a 2.28 en el segundo) que el hábitat de *Abanico Medio-Alto W*. Por su parte, la reserva y disponibilidad de nitrógeno, así como el abastecimiento de fósforo tuvieron bajos valores en casi todos los Abanicos, ya que el hábitat de *Abanico Medio* que tuvo la mayor relación C/N también registró disponibilidades medias a altas de nitrógeno y fosforo. En toda la unidad, la capacidad de intercambio catiónico fue de baja a muy baja con una saturación de bases de muy baja a mediana y pH de muy ligeramente ácido a ligeramente alcalino; haciendo notable la disponibilidad de cationes de Ca, Mg, K y Na útiles para la vegetación.

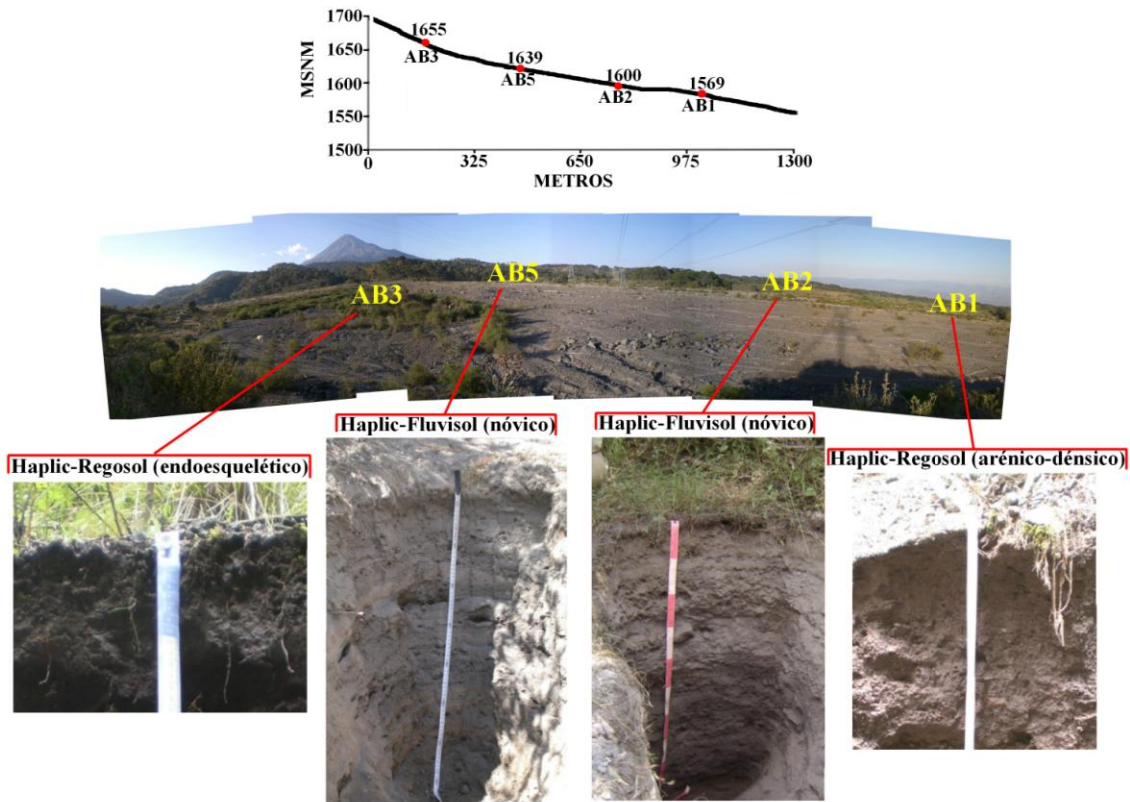
Estas características edáficas permitieron clasificar a los suelos de la siguiente manera (Apéndice 2. Hábitats de Abanicos Laháricos; Fig. 4.2.6):

- *Hábitats de Abanico Bajo y Medio-Alto W*. Haplic-Regosol al tener un incipiente desarrollo pedogenético que no presenta una identificación propia; en el caso del abanico 1 arénico por tener una textura arenosa franca >30cm y dénsico por tener una compactación natural dentro de los primeros 50cm de la superficie al grado que las raíces no pueden penetrar; y en el caso del abanico 3 endoesquelético al evidenciar más del 40% de bloques gruesos en una profundidad de 50 a 100cm.
- *Hábitats de Abanico Medio y Medio-Alto E*. Haplic-Fluvisol al presentar una depositación aluvial con poca diferenciación de horizontes sin identificación propia; y nóvico al ser sedimentos recientes de 5cm o más de espesor en ambos Abanicos.

Es importante mencionar que el hábitat de *Abanico Bajo* (Haplic-Regosol-arénico-endoesquelético), resalta porque a pesar de tener un incipiente mantillo presenta una buena relación carbono-nitrógeno; sin embargo, al poseer muy baja cantidad de agua disponible, muy baja capacidad de campo, alta capacidad de aireación y conductividad hidráulica mediana a alta, aunado una capacidad de intercambio catiónico y concentración de bases intercambiables bajas; existe una alta infiltración y bajo contenido de cationes de Ca, Mg, K y Na debido a lixiviación, lo cual restringe las principales fuentes de recursos para el desarrollo vegetal: Humedad y Nutrientos.

El *Abanico Medio* (Haplic-Fluvisol-nóvico), destaca por presentar condiciones óptimas para el establecimiento vegetal, al tener la más alta relación carbono-nitrógeno, disponibilidades de fosforo y nitrógeno de medias altas a altas, mediana capacidad de intercambio catiónico y alta aireación, con indicadores medios de agua disponible y conductividad hidráulica; condiciones que favorecen la degradación de la materia orgánica en compuestos asimilables, impiden su pérdida por desplazamiento vertical a través de la infiltración y al mismo tiempo conservan la humedad interna.

Hábitat de Abanicos Laháricos



Perfil	<i>Abanico Medio-Alto W (AB3)</i>	<i>Abanico Medio-Alto E (AB5)</i>	<i>Abanico Medio (AB2)</i>	<i>Abanico Bajo (AB1)</i>
Roccosidad	Gruesa	Fina	Mediana	Fina
Mantillo	Mull (L-Ah)	Ausente	Mull (L-Ah)	Mull (L-Ah)
Prof. Fisiológica	4cm	13cm	27cm	20cm
Textura	A	AC-CA	AC-A	AC-A
Estructura	SAB-A	SAB-G	SAB-A	SAB-A
Drenaje	Excesivo	Excesivo	Excesivo	Excesivo
Erodabilidad	Muy Baja	Media	Baja	Baja
pH H ₂ O	7.49-7.71	6.15-7.34	6.39-7.33	7.17-7.63
pH KCl	6.73-7.58	6.01-6.93	6.08-7.13	6.57-7.65
VTP	Bajo	Mediano-Bajo	Mediano-Bajo	Mediano-Bajo
CA	Muy Alta	Muy Alta-Baja	Alta-Muy Alta	Alta-Muy Alta
dCC	Muy Baja	Muy Baja	Mediana	Muy Baja
CC	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Muy Baja
CIC	Muy Baja	Baja-Muy Baja	Baja-Muy Baja	Baja-Muy Baja
BI	Muy Baja	Regular	Mediana	Baja
Nt	Baja	Mediana	Media-Alta	Mediana
Nd	Baja	Baja	Media-Alta	Baja
P	Muy Baja	Baja	Alta	Mediana
C/N	5.10-2.56	6.83-2.20	12.04-6.60	9.90-5.13

L= Ladera. TA= Terraza Antigua. TR= Terraza Reciente. W= Oeste. E= Este. VPT= Volumen Total de Poros. CA= Capacidad de Aireación. dCC= Capacidad de Retención de Agua. CC= Capacidad de Campo. CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico. BI= Bases Intercambiables. Nt= Nitrogeno total. Nd= Nitrogeno disponible. P= Reserva de Fósforo. C/N= Relación carbono-nitrogeno

Figura. 4.2.6. Localización y características edáficas del hábitat de Abanicos Laháricos.

El hábitat de *Abanico Medio-Alto W* (Haplic-Regosol-endoesquelético), se caracteriza por ser tener un solo horizonte de 4cm con baja humedad debido a la alta infiltración que también refleja una considerable pérdida de cationes de Ca, Mg, K y Na al presentar muy baja concentración de bases

intercambiables y muy baja capacidad de intercambio catiónico, por lo cual es el suelo menos favorable para el crecimiento de las plantas.

Finalmente, el hábitat de *Abanico Medio-Alto E* (Haplic-Fluvisol-nóvico) no presenta mantillo pero si una considerable relación carbono-nitrógeno que indica rápidos procesos de mineralización de materia orgánica. Las condiciones hídricas aunadas a la diversidad textural muestran un perfil edáfico muy permeable pero con barreras impermeables (arcillas) que favorecen la retención de agua y aprovechamiento en la época de secas por evapotranspiración. Por otro lado, la rápida mineralización, la mediana concentración de bases intercambiables y la presencia de pH's ligeramente alcalinos, sugiere una buena disponibilidad de cationes de Ca, Mg, K y Na utilizables por la vegetación.

De acuerdo con estas características, los hábitats de Abanicos Laháricos poseen una amplia diversidad de suelos que responde a la periodicidad e intensidad de la depositación del material piroclástico, lo cual está determinado por la distancia al cauce que concentra los fragmentos más grandes en los sitios más cercanos, limitando la diferenciación de horizontes y favoreciendo la infiltración así como la pérdida de nutrientes, en tanto que en los sitios más alejados los sedimentos finos forman suelos con muchos horizontes de mediana infiltración y buena retención hídrica. En general estos hábitats no presentan procesos de humificación, sin embargo, la mineralización es acelerada debido a las buenas condiciones de humedad generadas por las densas cubiertas vegetales, lo cual permite la disponibilidad de nutrientes para el aprovechamiento vegetal durante gran parte del año. En conclusión, la vegetación de los Abanicos Laháricos debe adaptarse a condiciones de baja humedad y disponibilidad de nutrimentos previa a la época de lluvias en los sitios cercanos al cauce, contrario a lo que ocurre en los sitios distales, además debe incorporar especies con tolerancia al estrés hídrico y térmico, ya que al ser un sitio abierto la temperatura tiende a ser más alta que al interior de las laderas, por lo que la composición vegetal debe ser mas tropical.

En resumen se puede decir que los hábitats de Terrazas Antigua y Terraza Reciente son muy similares en cuanto a características edáficas se refiere teniendo una mayor presencia de Regosoles con alta infiltración y procesos pedogenéticos de mineralización y humificación. Esta situación se ve determinada por su localización al interior de dos laderas, las cuales les brindan condiciones microclimáticas totalmente diferentes a las que ofrece la ausencia de laderas en los hábitats de Abanicos Laháricos que se caracterizan por la presencia de Fluvisoles con mediana infiltración y alta mineralización de materia orgánica.

3. Características de la vegetación en las unidades geomorfológicas expuestas a lahares recientes.

La Barranca Montegrando presenta un ecotono entre bosque de pino-encino y selva baja caducifolia como tipo de vegetación principal. En su interior se encontró un total de 70 especies pertenecientes a 28 familias de las cuales destacan por su alta incidencia Compositae, Lamiaceae, Leguminosae y Poaceae, 44 especies son herbáceas, 20 arbustivas y 6 arbóreas, en tanto que 30 son anuales y 40 perennes. A pesar de la gran diversidad de especies la constante actividad lahárica, las características y edad de los depósitos han influido en la distribución de la vegetación, mostrando hábitats diferenciados en estructura y composición florística. A continuación se describen los parámetros y asociaciones de la vegetación al interior de los hábitats de Terrazas Antiguas, Terrazas Recientes y Abanicos Laháricos (Fig. 4.3.1).

Hábitat de Terrazas Antiguas.

La vegetación corresponde a bosque de pino-encino con una estructura compleja que incluye a los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo. En los 8 cuadrantes muestreados (1688 a 1843 m s.n.m.) se encontraron 18 especies de 8 familias. Las familias más representativas son Compositae con 8 especies, Leguminosae con 3 especies y Lamiaceae con 2 especies (Apéndice 3. Hábitat de Terrazas Antiguas).

La estructura vertical consiste en 38.88% de especies herbáceas de las cuales destacan por su incidencia *Cosmos diversifolius* y *Heterotheca subaxillaris* de la familia Compositae, 44.44% de arbustivas representadas por *Senecio salignus* perteneciente a las compuestas y 16.66% de arbóreas con *Buddleia parviflora* de la familia Loganiáceae como especie dominante; es evidente el alto porcentaje de especies arbustivas lo cual sugiere una homogeneidad estructural de este estrato (Fig. 4.3.1).

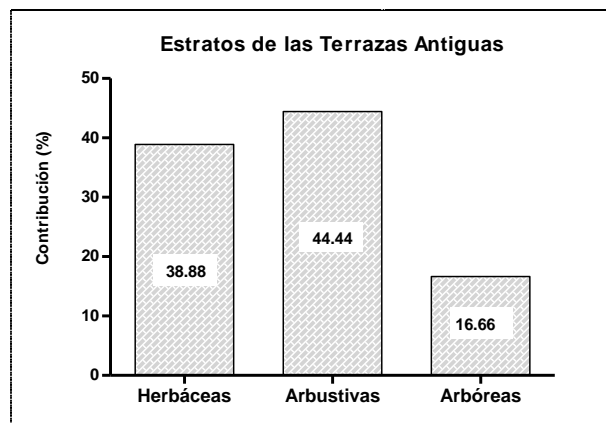


Figura 4.3.1. Estructura vertical en el hábitat de Terrazas Antiguas.

En el hábitat de de Terrazas Antiguas el ciclo de vida de mayor dominancia es el perenne con 66.66% y una alta incidencia de *Buddleia parviflora* y *Senecio salignus*; en tanto que, el porcentaje de especies con ciclo de vida anual representan el 33.33% con altos valores de abundancia en *Cosmos diversifolius* y *Heterotheca subaxillaris*. El hecho de encontrar el doble de especies perennes respecto a las anuales indica que en este depósito existe una mayor estabilidad en la composición florística (Fig. 4.3.2).

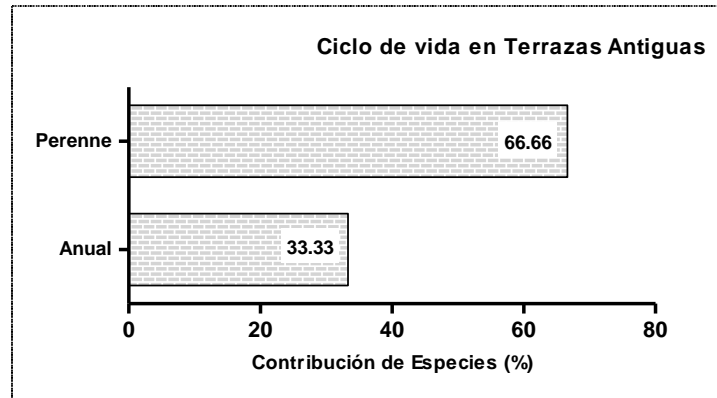


Figura 4.3.2. Ciclo de Vida en el hábitat de Terrazas Antiguas

La riqueza en el hábitat de Terrazas Antiguas indicó la presencia de 18 especies, siendo las de mayor distribución *Baccharis pteronoides*, *Buddleia parviflora* y *Senecio salignus* con registros en cinco cuadrantes. En cuanto a la abundancia, ésta no superó los 405 individuos, con *Baccharis pteronoides*, *Buddleia parviflora*, *Cosmos diversifolius*, *Heteroteca subaxillaris* y *Senecio salignus* como las especies de mayor incidencia. La relación entre los porcentajes de abundancia y riqueza muestra una tendencia inversamente proporcional; ya que las especies que presentan una mayor distribución poseen un menor número de individuos (Fig. 4.3.3).

La mayor riqueza de vegetación fue localizada en los cuadrantes ubicados en la parte media y alta del barranco (1765 a 1813 m s.n.m.) con la presencia de 7 especies por cuadrante; en tanto que la mayor abundancia fue observada en la parte baja y alta (1704 y 1813 m s.n.m.) registrando hasta 100 individuos por cuadrante. Cabe destacar que las especies *Senecio salignus* y *Buddleia parviflora* son las únicas que muestran una mayor capacidad de propagación y una exitosa distribución dentro de las Terrazas Antiguas; asimismo, la distribución tanto de la riqueza como de la abundancia sugiere que la zona de mayor variabilidad florística se encuentra sobre los 1700 m s.n.m., esto debido a la posible competencia interespecifica que indican los altos valores de riqueza y abundancia en unas cuantas especies (Fig.4.3.3).

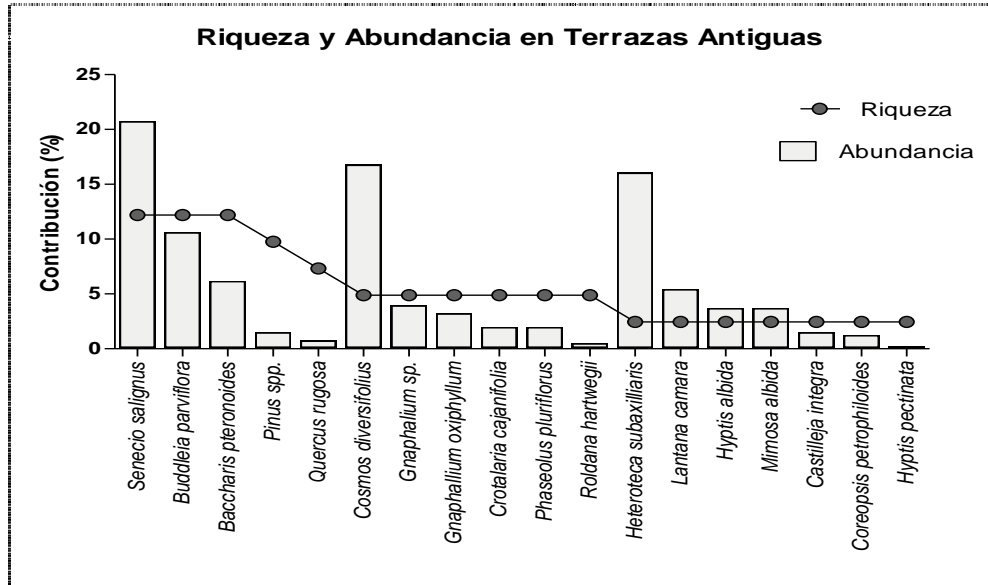


Figura 4.3.3. Relación entre la contribución de la Riqueza y la Abundancia en el hábitat de Terrazas Antiguas.

En cuanto a la cobertura acumulada, en la mayoría de los cuadrantes se observaron valores superiores al 40%; las especies con los valores más altos fueron *Baccharis pteronoides*, *Cosmos diversifolius*, *Mimosa albida* y *Senecio salignus*. En tanto que la talla máxima alcanzada fue de 155cm, con tallas superiores a 50cm en la mayoría de los cuadrantes; las especies con las mayores tallas son *Baccharis pteronoides*, *Buddleia parviflora*, *Crotalaria cajanifolia*, *Hyptis albida*, *Phaseolus pluriflorus*, *Pinus sp.*, *Roldana hartwegii* y *Senecio salignus*, pertenecientes a los estratos arbustivo y arbóreo. La relación entre los porcentajes de cobertura y talla indica que la mayoría de las especies que registran tallas altas tienden a presentar poca cobertura (Fig. 4.3.4).

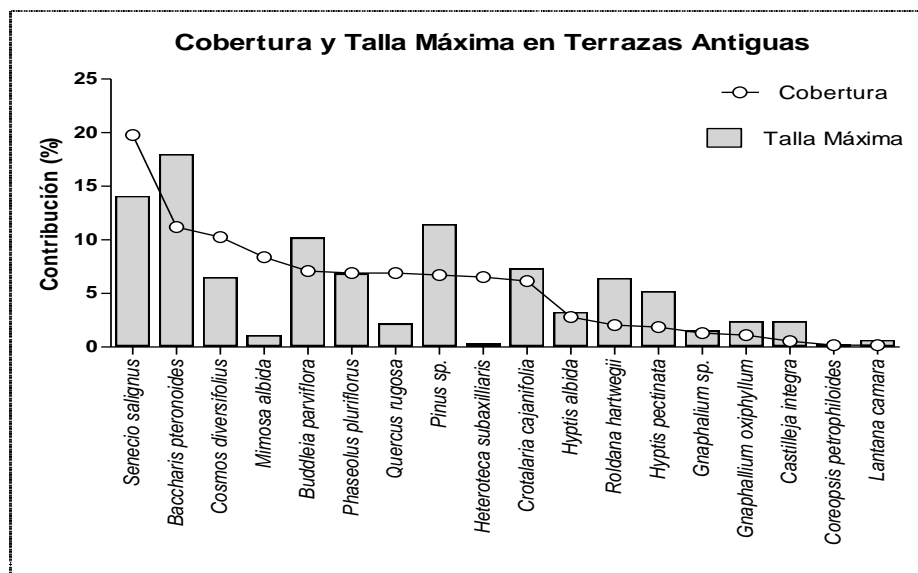


Figura 4.3.4. Relación entre la Cobertura y la Talla Máxima en el hábitat de Terrazas Antiguas.

Las especies que más contribuyen a la formación de amplios doseles son *Baccharis pteronoides*, *Cosmos diversifolius* y *Senecio salignus*, esto al tener valores altos de talla y cobertura. Los cuadrantes de las Terrazas Antiguas muestran altas coberturas; sin embargo, uno de los cuadrantes de la parte alta de la barranca (1813 m s.n.m.) mostró una cobertura muy pobre no superando el 10% de cobertura. En general la talla mostró valores altos en la mayoría de los cuadrantes; no obstante, en dos parcelas ubicadas en la parte alta del barranco los valores fueron inferiores a 20cm, sugiriendo la presencia de especies de bajo desarrollo de dosel y una clara inestabilidad en el cuadrante que también registra una escasa cobertura. La distribución de los porcentajes de ambos parámetros indica que en los depósitos de Terrazas Antiguas existe una buena estabilidad, la cual ha contribuido a la formación de al menos tres estratos vegetales, disminuyendo la competencia interespecífica y generando nichos persistentes para otras formas de vida.

Finalmente, el análisis de conglomerados con datos de abundancia florística de los cuadrantes muestreados arrojó una asociación principal nombrada como *Matorral de Compuestas y Coníferas*, en la que se observan similitudes que van de 0.173 a 0.685 (Fig. 4.3.5).

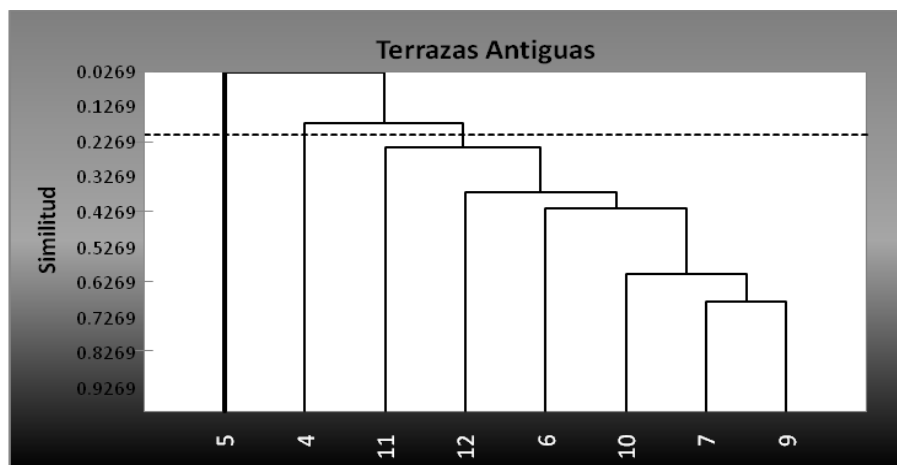


Figura 4.3.5. Clúster del hábitat de Terrazas Antiguas.

Las especies que contribuyeron a este único agrupamiento son *Baccharis pteronoides*, *Pinus spp.* y *Senecio salignus*; para cada cuadrante esta asociación mostró valores de riqueza promedio de 5.33 especies, abundancia promedio de 49.66 individuos, cobertura promedio de 71.66% y talla máxima de 155cm; en tanto que los cuadrantes que no se agruparon (por tener nula similitud con el resto de las parcelas) mostraron una riqueza promedio de 4.5 especies, una abundancia promedio de 53.5 individuos, una cobertura promedio de 52.75 y una talla máxima de 120cm. Lo anterior muestra que los cuadrantes que se agruparon presentan altos valores que sugieren una mayor estabilidad en los parámetros de la vegetación respecto a los cuadrantes no agrupados; los cuales se encuentran en la

parte alta de la barranca y poseen menor cobertura y talla máxima, parámetros indicadores de un mayor avance de la regeneración y asociación vegetal en la zona media y baja de la barranca.

Hábitat de Terrazas Recientes.

Debido al constante descenso de lahares al interior de la Barranca montegrande, el desarrollo de la vegetación en estos depósitos comenzó a partir del último evento lahárico que relleno el cauce en su totalidad; el cual ocurrió en noviembre del año 2006. Actualmente la vegetación forma un incipiente matorral con la presencia los estratos herbáceo y arbustivo; así como plántulas de especies arbóreas. Para determinar la influencia de los lahares en la vegetación se realizaron dos inventarios en este depósito, el cual es el más expuesto al disturbio. Es necesario mencionar que debido a los descensos de los lahares del 26 y 27 de octubre de 2009, se perdieron 11 de las 45 parcelas establecidas inicialmente; es por ello que se presenta una gran variabilidad de los parámetros de estudio en ambos años. Siendo así, en 2009 se cuantificaron 33 especies, en tanto que en 2010 desaparecieron 9 y se integraron 13; dando un total de 35 especies. Así, en los dos años de registro de estos depósitos se encontró un total de 46 especies de 18 familias distribuidas en parcelas muestreadas de los 1688 a los 1843 m s.n.m. Destacan las familias Compositae con 15 especies, así como Lamiacea y Poaceae ambas con 5 especies (Apéndice 3. Hábitat de Terrazas Recientes).

En el año 2009 el estrato herbáceo se conformó por un 60.60% del total de especies, aumentando en 2010 a 71.42%; las especies con una mayor incidencia fueron *Gnaphallium oxiphyllum*, *Muhlebergia minutissima* y *Brickellia nutanticeps*. El estrato arbustivo en 2009 obtuvo 30.30% y en 2010 disminuyó a 20.0%; destacan las especies *Hyptys albida* y *Senecio salignus*. Finalmente, el estrato arbóreo registró en 2009 un porcentaje de 9.09% de especies y en 2010 se redujo a 8.57%; con la dominancia de las especies *Guauzuma ulmifolia* y *Pinus spp.* (Fig. 4.3.6).

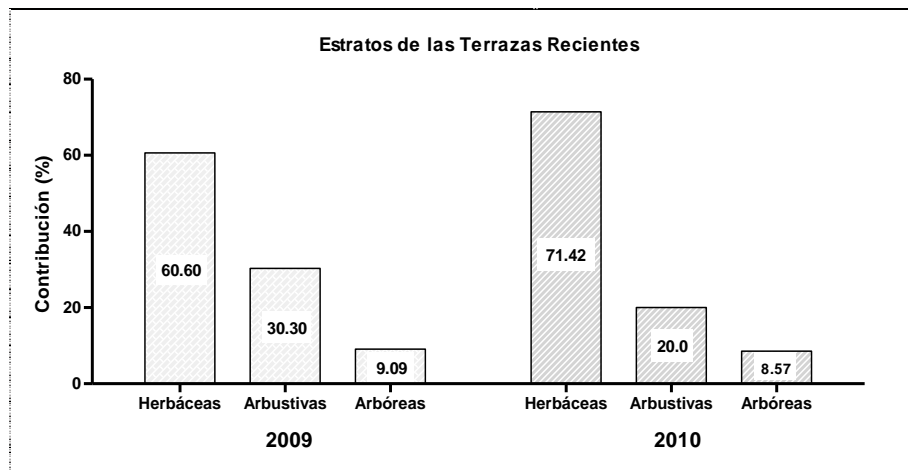


Figura 4.3.6. Estructura vertical en el hábitat de Terrazas Recientes en 2009 y 2010.

En el hábitat de Terrazas Recientes existe una considerable dominancia de especies con ciclo de vida perenne, las cuales en 2009 obtuvieron un 57.57% y en 2010 se redujeron ligeramente a 54.28%; las especies con mayor incidencia fueron *Cyperus rotundus* e *Hyptis albida*. Las especies con ciclo de vida anual obtuvieron un 42.43% en 2009, incrementándose a 45.71% en 2010; destacan *Gnaphallium oxiphyllum* y *Muhlebergia minutissima* por ser las especies de mayor contribución (Fig. 4.3.7).

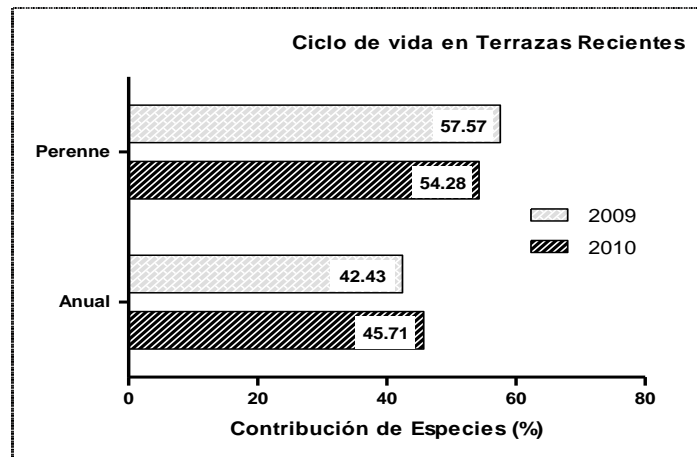


Figura 4.3.7. Ciclo de Vida en el hábitat de Terrazas Recientes en 2009 y 2010.

La riqueza en el hábitat de Terrazas Recientes fue de 46 especies en los dos años de muestreo, 33 en el año 2009 y 35 en 2010; en el transcurso 22 especies permanecieron, 9 desaparecieron y 13 se incorporaron. Las especies de mayor distribución fueron *Gnaphallium oxiphyllum*, *Hyptis albida* y *Gnaphallium sp.*, con una mayor distribución en el año 2009 alcanzando entre 19 y 34 parcelas y disminuyendo en 2010 a un máximo de 22 parcelas obtenidas por *Gnaphallium sp.* La abundancia fue superior en el muestreo del año 2009 con 1156 individuos y 904 en 2010; lo anterior nos indica que a pesar de la pérdida de parcelas, la vegetación ha incrementado su abundancia en los sitios con poco o nulo disturbio de nuevos lahares. Las especies de mayor contribución en ambos años fueron *Gnaphallium oxiphyllum* e *Hyptis albida*, en tanto que *Gnaphallium sp.*, *Muhlebergia minutissima* y *Rhynchelytrum repens* aportaron un considerable número de individuos en 2010 (Fig. 4.3.8).

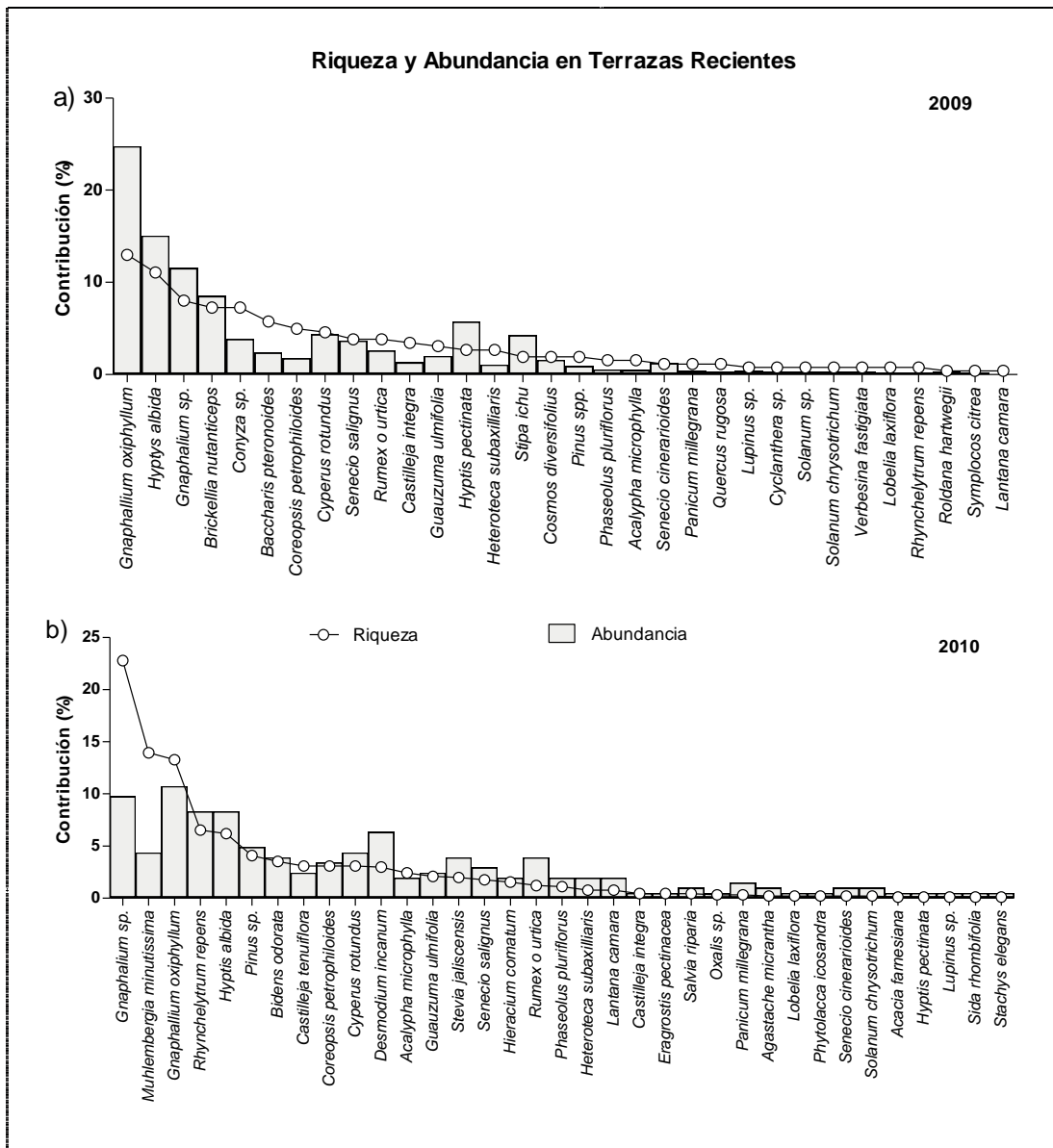


Figura 4.3.8. Abundancia vs Riqueza en el hábitat de Terrazas Recientes en 2009 y 2010.

En el año 2009 la correlación entre la riqueza y la abundancia muestra una tendencia directa, indicando que las especies que presentan una mayor distribución también registran el mayor número de individuos al interior de los depósitos recientes (Fig. 4.3.8a). Asimismo, en 2010 las especies además de mostrar una correlación directa entre la riqueza y la abundancia también indican un buen establecimiento, como lo demuestra el incremento generalizado no solo en las especies características, sino en el resto de las especies que habitan el depósito (Fig. 4.3.8b).

La menor riqueza en el año 2009 se presentó en la sección media de la barranca, con un máximo de 4 especies por parcela (1733 a 1761 m s.n.m.), siendo que en el resto de las parcelas se observaron

hasta 10 especies. Por otro lado, la menor riqueza del año 2010 fue localizada en un sector de la parte media y alta (1774 a 1812 m s.n.m.) con parcelas que presentaron entre 1 y 3 especies; no obstante, se encontraron más de 7 especies por parcela en la mayor parte de los depósitos de lahar reciente. En cuanto a la abundancia, el número de individuos en 2009 no mostró una distribución focalizada; sin embargo, en el año 2010 el menor número de individuos se concentró en la parte media-alta de la barranca (1774 a 1812 m s.n.m.) con valores de entre 1 y 9 individuos por parcela.

Es importante recordar que en el sector medio-alto de 1774 a 1812 es donde se perdieron 5 parcelas y 2 fueron afectadas ligeramente por el descenso de los lahares de 2009, es por ello que los valores tienden a disminuir drásticamente en 2010. Si bien hubo considerables pérdidas en la vegetación, es necesario mencionar que la talla máxima por especie de las parcelas ligeramente afectadas se incrementó de 6.46 en 2009 a 34cm en 2010; lo cual hace constar que el establecimiento y el crecimiento que las plantas puede ser favorable en sitios con disturbio.

En el año 2009 la cobertura acumulada fue de entre 2 y 84% por parcela, mientras que en el año 2010 osciló entre 2 y 110%; lo anterior indica que este parámetro se vio favorecido a pesar de las parcelas perdidas. Las especies que mayor contribución tuvieron en 2009 fueron *Baccharis pteronoides*, *Gnaphallium oxiphyllum*, *Hyptys albida* y *Senecio salignus*; en tanto que para 2010 fueron *Desmodium incanum*, *Gnaphallium sp.*, *Gnaphallium oxiphyllum*, *Hyptys albida*, *Muhlebergia minutissima*, *Rhynchelytrum repens* y *Senecio salignus*.

La talla máxima en 2009 arrojó valores de 11 a 197cm en el total de parcelas, mientras que en 2010 los valores fueron de 20 a 190cm. Las especies que obtuvieron las tallas más altas en 2009 fueron *Baccharis pteronoides*, *Gnaphallium oxiphyllum*, *Hyptys albida* y *Senecio salignus*; asimismo las especies que destacaron por su altura en 2010 fueron *Desmodium incanum*, *Gnaphallium oxiphyllum*, *Hyptys albida*, *Rhynchelytrum repens* y *Senecio salignus* (Fig. 4.3.9)

La correlación entre cobertura y talla durante el año 2009 indica que es directamente proporcional, ya que las pocas especies que poseen tallas más altas también contribuyen a la formación de amplias coberturas vegetales (Fig. 4.3.9a). En el año 2010 esta correlación es más evidente, ya que existe un mayor número de especies que poseen una proporcionalidad entre talla y cobertura. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta la forma de vida de cada especie, por ejemplo, *Muhlebergia minutissima* no alcanza tallas mayores a 62cm al ser una herbácea pero su alta capacidad de propagación le permitió en algunos casos cubrir el 80% de la superficie de una parcela (Fig. 4.3.9b).

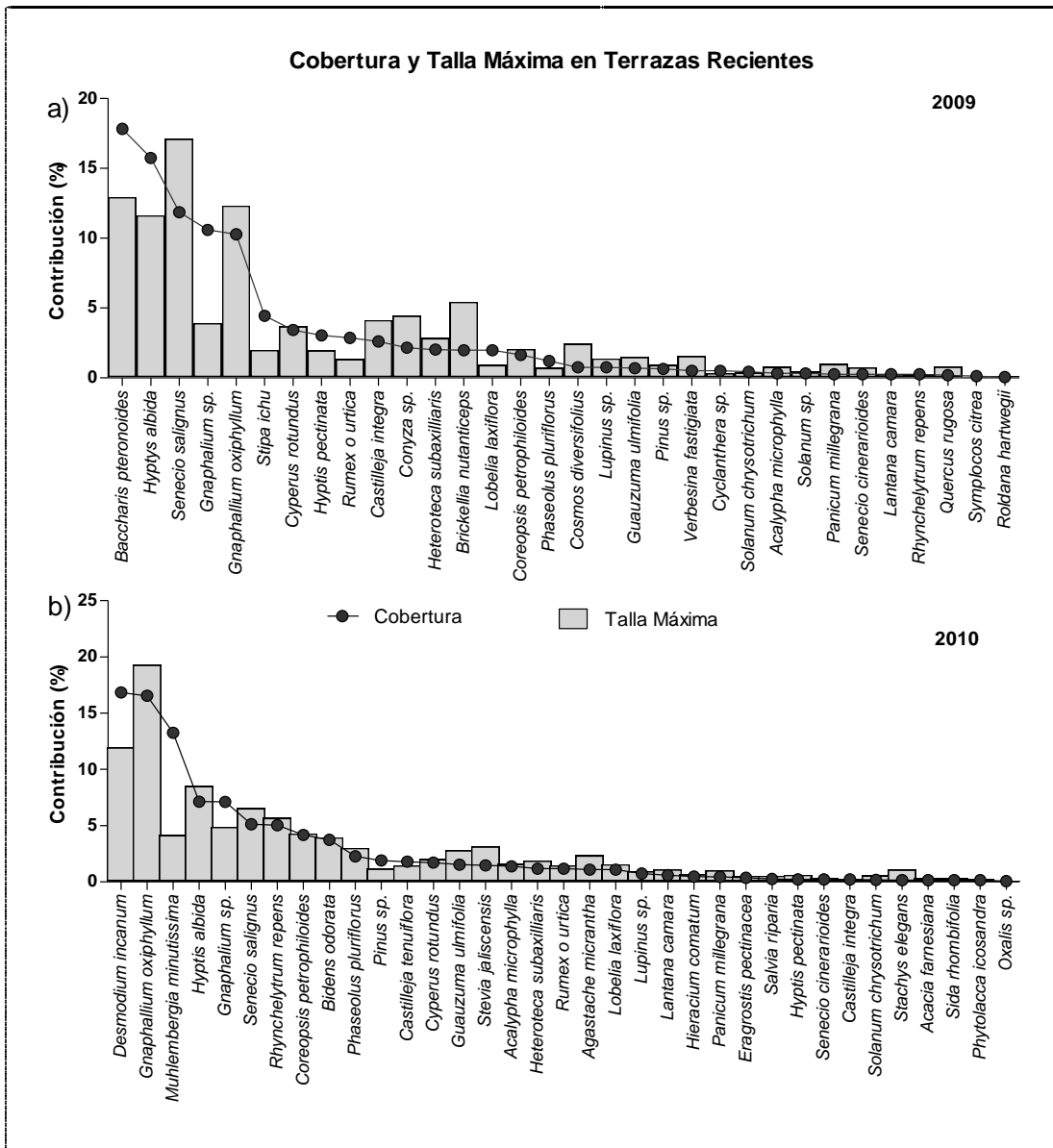


Figura 4.3.9. Cobertura vs Talla en el hábitat de Terrazas Recientes en 2009 y 2010.

El sector que presentó mayor cobertura vegetal acumulada en 2009 se ubica en la parte baja de la barranca (1692 a 1726 m s.n.m.), con cubiertas superiores al 50% por parcela. La misma tendencia se observó en 2010 con el incremento de cobertura acumulada no solo en la región baja, sino también en la media de la barranca (1733 a 1761), alcanzando valores de entre 30 a 110% por parcela. En 2009, los individuos de mayor talla se ubicaron en las parcelas de la zona baja de la barranca (1685 a 1726 m s.n.m.); con plantas que midieron entre 20 y 52cm. Asimismo, en 2010 la distribución de la vegetación más alta (entre 30 y 74cm) se observó en los sectores bajo y alto de la barranca (1689 a 1733 m s.n.m. y 1806 a 1839 m s.n.m.).

El análisis de conglomerados muestra tres asociaciones en 2009, con similitudes de 0.316 a 0.884 (Fig. 4.3.10a), en tanto que en 2010 las similitudes de las tres asociaciones formadas fueron de 0.278 a 0.893, con la similitud máxima de las parcelas 54, 44, 47 y 36, las cuales obtuvieron los registros más bajos al haber sido afectadas considerablemente por los lahares de 2009 y compartir a la especie *Panicum millegrana* (Fig. 4.3.10b).

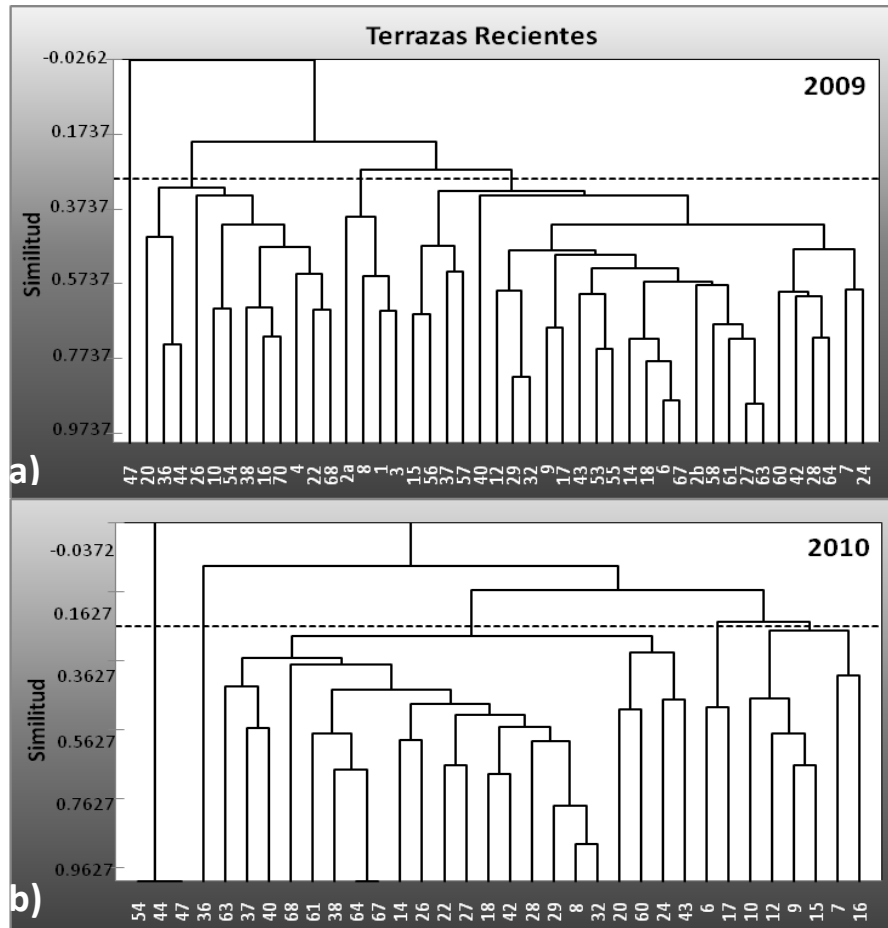


Figura 4.3.10. Clúster del hábitat de Terrazas Recientes a) Muestreo 2009 b) Muestreo 2010.

En 2009 el *Matorral de Salvia y Gordolobo* (primera asociación de izquierda a derecha de la figura 2.10a) se forma por 12 parcelas con las especies *Gnaphalium sp.* e *Hyptis albida*, valores de riqueza promedio de 5.75 especies, abundancia promedio de 20.66 individuos, cobertura promedio de 30.91% y talla máxima promedio de 64.89cm. En tanto que el *Matorral de Compuestas, Gramíneas coquillo y Coníferas* (segunda asociación) formado por 4 parcelas y representado por las especies *Cyperus rotundus*, *Gnaphallium oxiphyllum*, *Pinus sp.* y *Senecio salignus*; presentó valores por parcela de riqueza promedio de 7.5 especies, abundancia promedio de 37.75 individuos, cobertura promedio 28.5% y talla máxima promedio de 93.675cm.

Finalmente, el *Matorral de Compuestas y Salvias* (tercera asociación) contiene 28 parcelas agrupadas por las especies *Brickellia nutanticeps*, *Gnaphalium sp.*, *Gnaphallium oxiphyllum*, *Hyptys albida* e *Hyptis pectinata*; para cada parcela se registró una riqueza promedio de 5.82 especies, abundancia promedio de 26.96 individuos, cobertura de 11.6% y talla máxima promedio de 40.5cm.

En tanto que para 2010, tuvo continuidad el *Matorral de Salvia y Gordolobo* (primera asociación) conformado por *Gnaphalium sp.*, *Gnaphallium oxiphyllum* e *Hyptys albida*. Este agrupamiento contiene para cada una de las 22 parcelas que la forman, una riqueza promedio de 5.9 especies, abundancia promedio de 26.4 individuos, cobertura promedio de 33.63% y talla máxima promedio de 84.5cm. Por primera vez aparece un *Herbazal de Sacamiel y Gramíneas zacáton* (segunda asociación) con solo dos parcelas se forma a partir de *Castilleja tenuiflora* y *Muhlebergia minutissima*, y posee valores por parcela de riqueza promedio de 4 especies, abundancia promedio de 18.5 individuos, cobertura promedio de 33% y talla máxima promedio de 64cm. Por último, el *Matorral de Gramíneas zacáton, Gordolobo, Salvias y Guácimo* (tercera asociación) contiene 6 parcelas y está representado por *Gnaphalium sp.*, *Guauzuma ulmifolia*, *Hyptys albida* y *Muhlebergia minutissima*; con valores para cada parcela de riqueza promedio de 9.66 especies, abundancia promedio de 43.16 individuos, cobertura promedio de 86.66% y talla máxima promedio de 134cm.

Las asociaciones de 2009 se caracterizan por la alta incidencia de las especies *Gnaphallium oxiphyllum* e *Hyptis albida*; sin embargo, las asociaciones de 2010 son más diversas al incluir además a la especie *Muhlebergia minutissima*. En 2010 se observó en la mayoría de las parcelas agrupaciones muy diferentes a las iniciales; lo anterior se explica por el intercambio de especies que se presenta en etapas iniciales de sitios con sucesión vegetal mismo que se observa al interior de la Barranca Montegrando, el cual modifica la composición florística generando nuevas asociaciones.

Hábitat de Abanicos Laháricos.

En general los hábitats de Abanicos Laháricos (1635 y 1690 m s.n.m.) presentan una vegetación tropical con los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo bien definidos; una riqueza de 51 especies pertenecientes a 18 familias y 47 géneros; las familias más representativas son Compositae con 14 especies, Leguminaceae con 8, Poaceae con 7 y Lamiaceae con 5 (Apéndice 3. Hábitat de Abanicos Laháricos).

Es importante mencionar que a pesar de que la composición florística difiere entre los cinco hábitats de Abanicos Laháricos, el estrato herbáceo fue el que más incidió al aportar el 62.74% de la

composición florística, representada por las especies *Muhlebergia minutissima*, *Rhynchelytrum repens* y *Bouteloa eriopoda* de la familia Poaceae, y *Bidens odorata* de la Compositae. El siguiente aporte fue dado por el estrato arbustivo con 29.41%, destacando *Bauhinia subrotundifolia* de la familia Leguminosae, *Senecio salignus* de la Compositae e *Hyptys albida* de la Lamiaceae. Finalmente, el arbóreo obtuvo el 7.84% y se representa por *Acacia farnesiana* de la familia Leguminosae (Fig. 4.3.11).

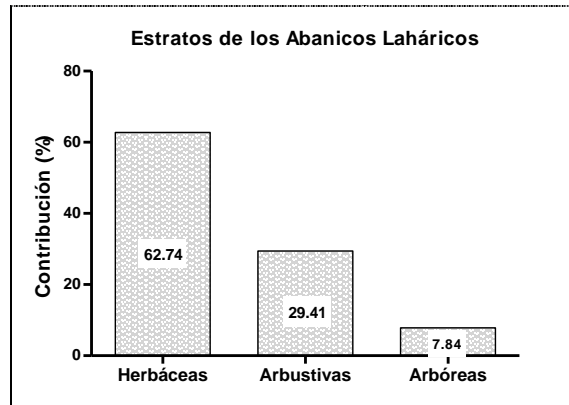


Figura 4.3.11. Estructura vertical en el hábitat de Abanicos Laháricos.

En cuanto al ciclo de vida, el interior de los Abanicos muestra una dominancia de especies perennes que ocupan el 60.79% de la composición florística con una alta incidencia de *Bauhinia subrotundifolia*, *Senecio salignus* e *Hyptys albida*; por otro lado, las especies anuales ocuparon un 39.21% destacando *Muhlebergia minutissima*, *Rhynchelytrum repens*, *Bouteloa eriopoda* y *Bidens odorata* (Fig. 4.3.12); cabe señalar que por el ciclo de vida no destaca ninguna especie del estrato arbóreo, lo cual sugiere la poca estabilidad y permanencia de dicho estrato en los Abanicos.

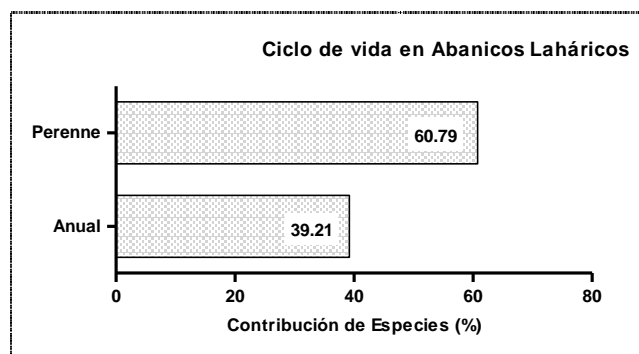


Figura 4.3.12. Ciclo de Vida en el hábitat de Abanicos Laháricos.

La dinámica del total de cuadrantes muestreados al interior de los hábitats de Abanicos Laháricos mostró una riqueza total de 51 especies, la mayor distribución se observó en *Hyptys albida*, *Senecio salignus*, *Lantana camara*, *Rhynchelytrum repens* y *Verbesina fastigiata* con presencia en más de 10 cuadrantes. La abundancia mostró el registro de 3206 individuos, siendo *Muhlebergia*

minutissima, *Rhynchelytrum repens*, *Bauhinia subrotundifolia*, *Senecio salignus*, *Hyptys albida*, *Bouteloa eriopoda* y *Bidens odorata* las especies de mayor incidencia con un aporte que va desde 156 a 664 individuos. La relación entre la abundancia y la riqueza no mostró una tendencia clara, con solo tres especies (*Hyptys albida*, *Rhynchelytrum repens* y *Senecio salignus*) de mayor distribución y densidad en los depósitos (Fig. 4.3.13).

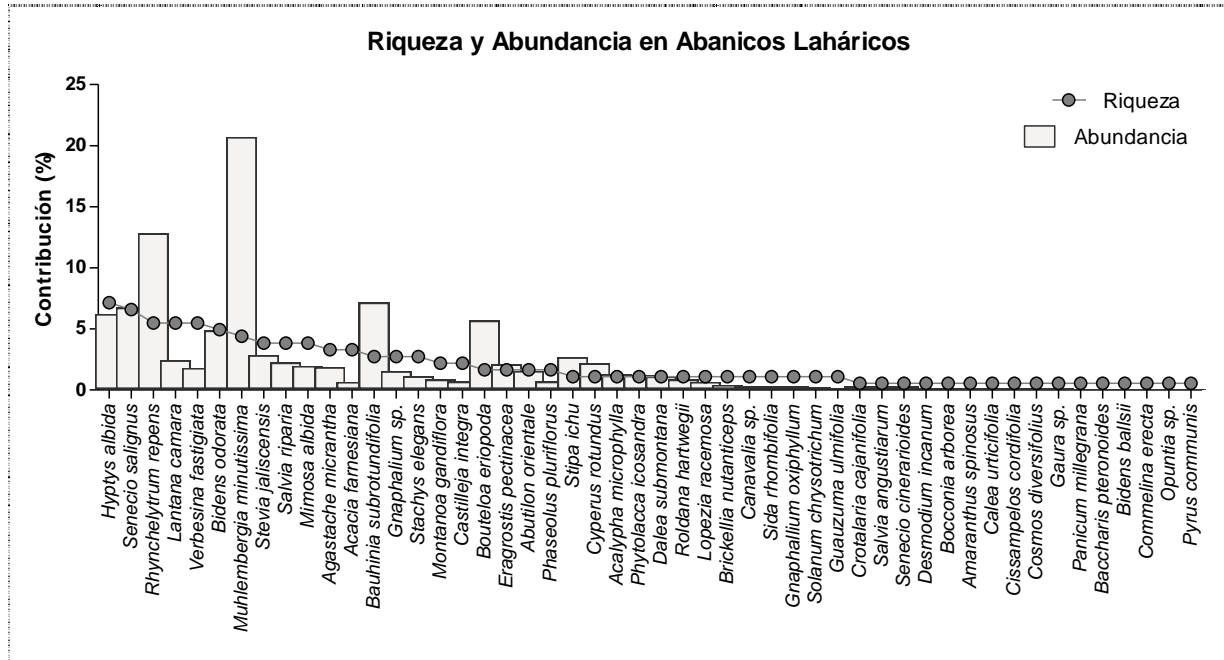


Figura 4.3.13. Abundancia y Riqueza en el hábitat de Abanicos Laháricos.

La distribución de la riqueza muestra dos áreas con valores de superiores a 10 especies por cuadrante; la primera se ubica de los 1664 a 1673 m s.n.m. que corresponden a los depósitos del hábitat del Abanico Medio-Alto W (Fig. 4.1.4 C), en el cual no se observan afectaciones recientes por lahares; por su parte, la segunda área de mayor riqueza se encuentra de los 1595 a 1610 m s.n.m. en el sector Este de los hábitats de los Abanicos Bajo y Medio (Fig. 4.1.4 A y B), donde los lahares afectan de manera parcial a la vegetación principalmente del estrato herbáceo. De igual forma, fue posible observar un mayor número de individuos en el hábitat del Abanico Medio-Alto W y del sector Este de los hábitats de los Abanicos Bajo y Medio. Es necesario mencionar que solo las especies *Bidens odorata*, *Hyptys albida*, *Rhynchelytrum repens* y *Senecio salignus* presentan una alta densidad de individuos ampliamente distribuidos en los hábitats de Abanicos Laháricos.

Por otro lado, la cobertura acumulada mostró valores superiores al 100% en la mayoría de los cuadrantes, siendo *Senecio salignus*, *Hyptys albida*, *Verbesina fastigiata*, *Rhynchelytrum repens*, *Lantana camara* y *Bauhinia subrotundifolia* las especies con mayores aportes. En la talla máxima se encontraron valores de entre 15 y 450cm, destacando las especies *Bocconia arborea*, *Phaseolus*

pluriflorus, *Stachys elegans*, *Montanoa grandiflora*, *Verbesina fastigiata*, *Acacia farnesiana*, *Guauzuma ulmifolia*, *Senecio salignus*, *Hyptis albida*, *Pyrus communis* y *Lantana camara* correspondientes a los estratos arbustivos y arbóreos. De igual forma que en la riqueza y abundancia, la cobertura y la talla máxima no registraron una tendencia directamente proporcional en cada especie, evidenciando que las especies de mayor talla son las que mejor contribuyen a la formación de doseles (Fig. 4.3.14).

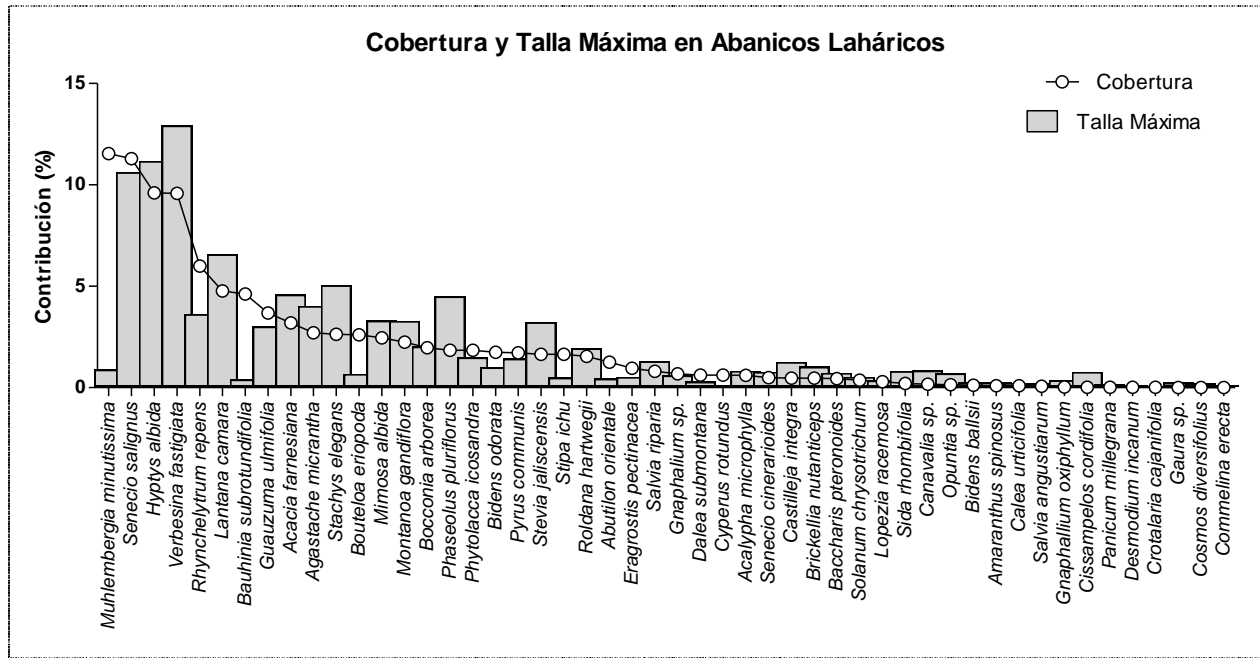


Figura 4.3.14. Cobertura y Talla Máxima en el hábitat de Abanicos Laháricos.

Siendo así, las especies con mayor contribución de biomasa fueron *Senecio salignus*, *Verbesina fastigiata*, *Hyptis albida*, *Acacia farnesiana* y *Agastache micrantha*. Las tallas más altas se obtuvieron en los depósitos del Abanico Medio-Alto E, en el sector sur del Abanico Medio-Alto W y en el sector oeste de los Abanicos Bajo y Medio (Fig. 4.1.4); en dos rangos altitudinales de 1584 a 1595 m s.n.m. y de 1638 a 1657 m s.n.m. Sin embargo, las mayores coberturas se observaron en los depósitos del Abanico lahárico Bajo y del Abanico lahárico Medio-Alto W (Fig. 4.1.4 A y C); en dos rangos de 1595 a 1633 m s.n.m. y de 1644 a 1673 m s.n.m.

Por otro lado, en el análisis de conglomerados con índices de similitud de entre 0.203 y 0.876 se observaron dos asociaciones bien definidas: *Matorral de Salvia* y *Lantana* y *Matorral de Gramíneas zacatón-rosado*, *Jarilla* y *Salvia* (Fig. 4.3.15).

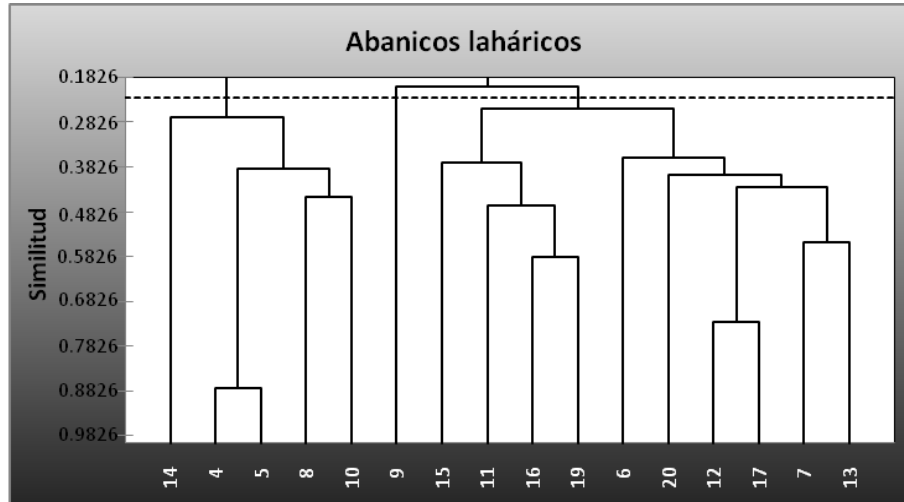


Figura 3.15. Cluster en el hábitat de Abanicos Lahárlicos.

El *Matorral de Salvia y Lantana* (primera asociación) se formó principalmente a partir de las especies *Hyptis albida* y *Lantana camara*, con una riqueza promedio de 10.4 especies por cuadrante, abundancia promedio de 155.6 individuos, cobertura acumulada promedio de 288.8% y talla máxima 356cm. El *Matorral de Gramíneas zacatón-rosado, Jarilla y Salvia* (segunda asociación) está conformado a partir de las especies *Hyptis albida*, *Muhlebergia minutissima*, *Rhynchelytrum repens* y *Senecio salignus*, presentando valores de riqueza promedio de 12.2 individuos por cuadrante, abundancia de 222.3 individuos, cobertura acumulada de 237.9% y talla máxima de 249.8cm.

La distribución del *Matorral de Salvia y Lantana* se concentra en la parte noreste del hábitat de Abanicos Lahárlicos, área que se caracteriza por tener un bajo impacto de los lahares recientes, de ahí que se observen los valores más altos de la cobertura y talla máxima por cuadrante; por otro lado, el *Matorral de Gramíneas zacatón-rosado, Jarilla y Salvia* se distribuye mayormente en los sectores centro y sureste de los Abanicos, caracterizados por un continuo disturbio derivado de los lahares recientes, los cuales al depositarse cubren a los estratos herbáceo y arbustivo favoreciendo el reemplazamiento de especies; es por ello que en estos cuadrantes se presentan altos valores de riqueza y abundancia. Es necesario mencionar que la composición vegetal que se presenta dentro de los hábitats Abanicos Lahárlicos es característica de un matorral subtropical que se define como un estado sucesional de una selva baja secundaria (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 1987), los cual es muy probable debido a que se encuentra inmersa en un sitio propenso a una continua incidencia de lahares y con alta perturbación agrícola y ganadera.

Comparación de la vegetación entre los hábitats.

Al interior de la Barranca Montegrande la vegetación colonizadora muestra una variabilidad marcada de acuerdo al tipo de hábitat. Es por ello necesario hacer una comparación de los parámetros analizados (Riqueza, Abundancia, Talla Máxima y Cobertura Acumulada), con la finalidad de comprender la respuesta de la vegetación al disturbio en cada hábitat.

La mayor riqueza promedio se presentó en el hábitat de Abanicos Laháricos con un promedio de 11.5 especies por parcela. El cuadrante con menor riqueza mostró 3 especies y el más diverso 18 especies. El hábitat de Terrazas Recientes en 2009 obtuvo un promedio de 5.8 especies por parcela, el cual aumentó en 2010 a 6.2 especies con un mínimo de 1 especie para algunas parcelas en ambos años y una diversidad de 10 especies por parcela en 2009 y 16 en 2010. La menor riqueza se encontró en el hábitat de Terrazas Antiguas con un promedio de 5.1 especies por parcela, la parcela de menor riqueza presentó 3 especies y la de mayor diversidad registró 7 especies (Fig. 4.3.16).

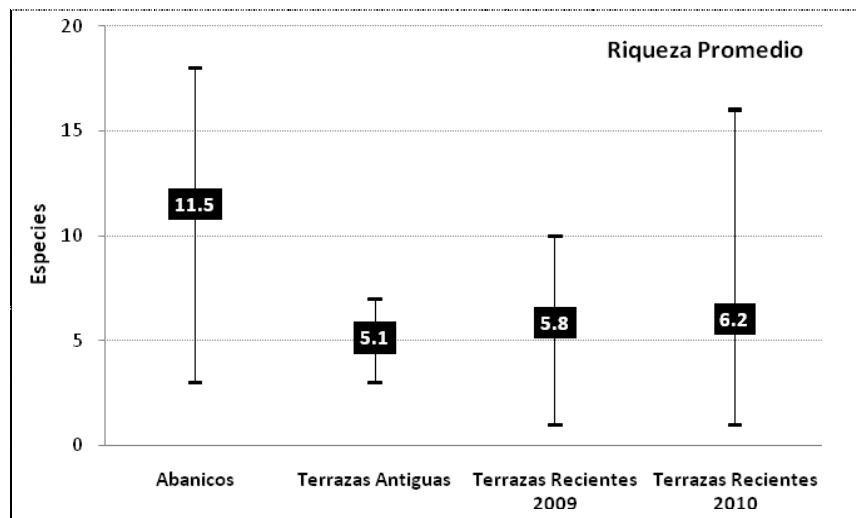


Figura 4.3.16. Comparación de la riqueza promedio en los distintos hábitats.

El hábitat que presentó la mayor abundancia fue la de Abanicos Laháricos con un promedio de 201.3 individuos, un máximo de 398 y un mínimo de 6 plantas. Las Terrazas Antiguas tuvieron una abundancia promedio de 50.6 individuos por parcela, 100 individuos como máximo y 9 como mínimo. Finalmente, el hábitat de Terrazas Recientes registró un ligero incremento en su abundancia promedio, pasando de 25.6 individuos por parcela en 2009 a 26.5 en 2010; sin embargo, las parcelas de mayor y menor abundancia disminuyeron 1 individuo en cada caso (Fig.4.3.17).

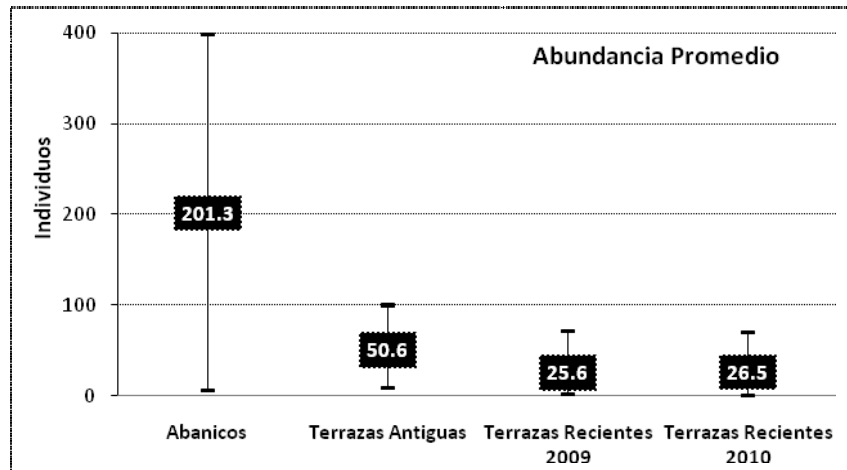


Figura 4.3.17. Comparación de la abundancia promedio en los distintos hábitats.

La talla máxima promedio fue notablemente mayor en el hábitat de Abanicos Laháricos con un promedio de 292.6cm, los individuos más altos obtuvieron 450cm y los más bajos 163cm. El hábitat de Terrazas Antiguas al poseer un incipiente estrato arbóreo obtuvo un promedio de 95.6cm, con individuos de entre 30 y 155cm. El hábitat de Terrazas Recientes obtuvo un considerable aumento, pasando en 2009 de 51.4cm a 86.1cm en 2010 en su talla máxima promedio, además la talla mínima subió 9cm de un año a otro; sin embargo, las parcelas de talla más alta disminuyeron 7cm en 2010 (Fig. 4.3.18).

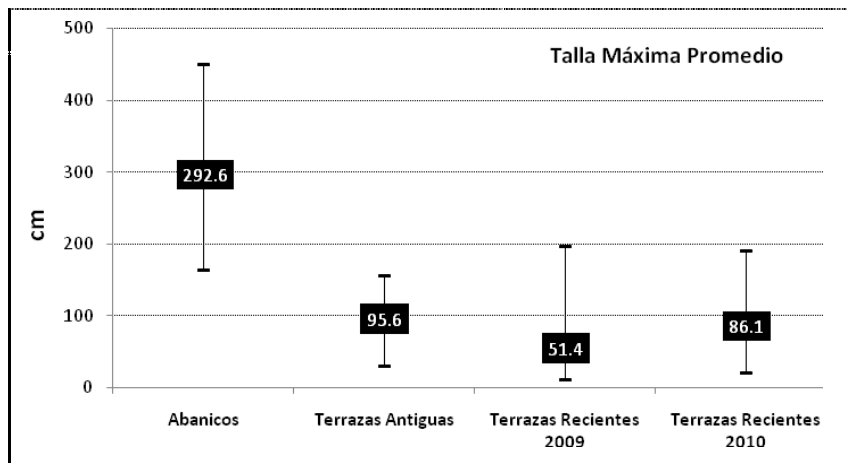


Figura 4.3.18. Comparación de la talla máxima promedio en los distintos hábitats.

La cobertura acumulada promedio mostró al hábitat de Abanicos Laháricos como el más denso, con un promedio de 259.5% variando entre parcelas de 20 a 575%. Siguiendo en cobertura el hábitat de Terrazas Antiguas con un promedio de 66.9% y parcelas que tuvieron entre 8 y 122% de cobertura acumulada promedio. Por último, el hábitat de Terrazas Recientes destacó por obtener un incremento de 18.6 en 2009 a 40.1 en el año 2010, la cobertura mínima fue del 2% en tanto que la máxima aumentó un 24% (Fig. 4.3.19).

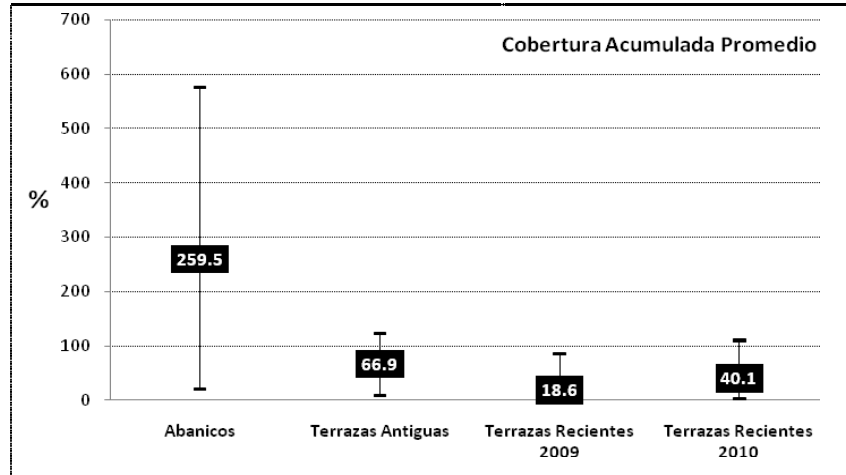


Figura 4.3.18. Comparación de la talla máxima promedio en los distintos hábitats.

Dado que el número de parcelas muestreadas en cada hábitat fue desigual, se utilizó el índice de biodiversidad de Shannon-Wiener, tomando los parámetros de riqueza y abundancia para equiparar la diversidad de especies de acuerdo al tamaño de los diferentes hábitats. Este índice favoreció al hábitat de Terrazas Antiguas con una H (Diversidad de Shannon-Wiener) de 2.381 y una H teórica de 4.169, lo que lleva a tener la mayor biodiversidad con una equitatividad de 0.571 (Fig. 4.3.19).

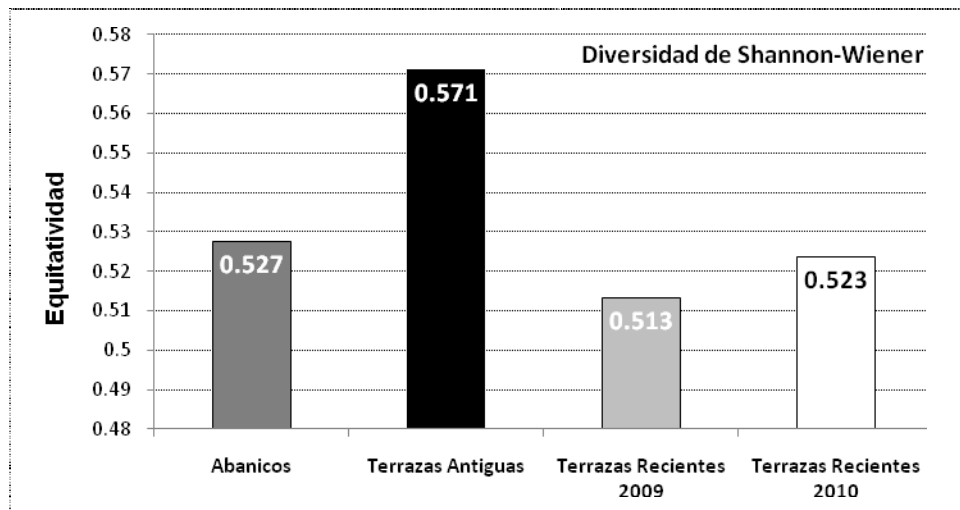


Figura 4.3.19. Equitatividad adquirida del Índice Biodiversidad de Shannon-Wiener.

El segundo hábitat más biodiverso fue el de Abanicos Laháricos con una H estimada de 2.992 y una teórica de 5.672, además de una equitatividad de 0.527. Finalmente, el hábitat de Terrazas Recientes en 2009 obtuvo una H estimada de 2.588 y una teórica de 5.044, en tanto que en 2010 la H estimada fue de 2.686 y la teórica de 5.129; lo anterior muestra un ligero incremento en la equitatividad de un año a otro, pasando de 0.513 en 2009 a 0.523 en 2010 (Fig. 4.3.19).

Como ya se ha visto a lo largo de este subcapítulo, los parámetros de riqueza, abundancia, talla máxima y cobertura acumulada muestran que existe una gran variabilidad en la biodiversidad vegetal en las diferentes unidades, la cual responde principalmente a la distribución y edad de los depósitos; ya que entre más antiguo fue el depósito mayor fue la biodiversidad. Debemos recordar que los hábitats de Terrazas Antiguas y Terrazas Recientes se localizan en un área de vegetación templada, en tanto que los de Abanicos Laháricos están inmersos en vegetación tropical, por lo que la dinámica de cada una de las unidades además incorpora otros factores explicativos que fueron detallados anteriormente, pero que con el análisis de los parámetros de la vegetación podemos caracterizar a cada unidad de la siguiente forma:

- Hábitats de Terrazas Antiguas. Poseen una baja cantidad de especies (18 especies) y de individuos (405 plantas), una cobertura acumulada con distribución irregular (de 8 a 122%) y una talla máxima poco desarrollada (155cm) dado que es el depósito más antiguo de los estudiados. Tiene como especies destacadas en todos los parámetros a *Baccharis pteronoides*, *Buddleia parviflora* y *Senecio salignus*. Estas propiedades sugieren un bajo desarrollo de la vegetación, el cual puede deberse a que se encuentra en el borde de un bosque de pino-encino que no se caracteriza por presentar una gran diversidad de especies. Además el disturbio debido al descenso de nuevos lahares impacta la abundancia, la talla y la cobertura; sin embargo, también sugiere mínimas tasas de recambio de especies; lo cual se reafirma al encontrar una considerable biomasa horizontal y vertical, que se reflejan en valores altos de cobertura y talla máxima de dichos depósitos.
- Hábitat de Terrazas Recientes. La riqueza se ha ido incrementando de un año a otro (33 especies en 2009 a 35 en 2010), la abundancia disminuyó (1156 individuos en 2009 a 904 en 2010), la cobertura acumulada aumento (de 86% en 2009 a 110% en 2010) y la talla máxima se redujo (de 197 a 190cm). *Gnaphallium oxiphyllum* e *Hyptis albida* fueron las especies características en todos los parámetros en 2009, añadiéndose a ellas *Rhynchelytrum repens* en 2010. Estas características indican un constante recambio de especies al haber solo tres especies bien establecidas del total de 35; lo cual es propio de las primeras fases de sucesión que se caracterizan por la incorporación de especies colonizadoras que modifican las condiciones para el establecimiento de especies tardías; además, a pesar de los continuos disturbios laháricos en varios sectores de la Barranca Montegrande, el desarrollo de la vegetación ha prosperado en el transcurso de un año para la mayoría de los parámetros estudiados.

- Hábitat de Abanicos Laháricos. Es la unidad que presenta mayor riqueza (51 especies), con una abundancia mucho mayor que el resto de las unidades (3206 individuos), una cobertura acumulada muy densa (575%) y una talla máxima muy desarrollada (450cm). Las especies que mas destacaron en todos los parámetros son *Hyptys albida*, *Senecio salignus*, *Lantana camara*, *Rhynchelytrum repens* y *Verbesina fastigiata*. Estas especies están asociadas a una vegetación de matorral subtropical asociado a una selva baja caducifolia secundaria, la cual exhibe una amplia diversidad de especies de distintos estratos y formas de vida que poseen un mayor tiempo de desarrollo con respecto a las Terrazas Recientes. Además, el bajo número de especies establecidas también evidencia un reciente proceso de sucesión vegetal proveniente del disturbio ocasionado por la depositación de nuevos lahares, los cuales en esta zona depositan la fracción fina (limos) al perder velocidad; creando espacios con mayor retención de humedad disponible para la incorporación de nuevas especies. Es importante mencionar que en esta area, los lahares afectan los sitios cercanos al cauce de la barranca, por lo que en términos generales no se ve comprometida la biomasa del resto del área perteneciente a los Abanicos Laháricos.

La Barranca Montegrando presenta diferentes etapas de regeneración vegetal, las cuales se caracterizan por diferencias no sólo en composición florística sino en biomasa vegetal; dichas variaciones están relacionadas tanto con su localización en el interior de un ecotono, como con las características edáficas y el continuo impacto por el descenso de nuevos lahares. Esta situación ha producido un intercambio de especies facilitadoras que no respetan los límites entre los diferentes tipos de vegetación tal como lo describe el efecto de borde. Siendo así, la Barranca Montegrando brinda un excelente ejemplo de las primeras etapas de sucesión vegetal, las cuales son cíclicas en los sitios cercanos al cauce debido al repetido descenso de nuevos eventos laháricos y continuas en los sitios alejados donde la alteración se da por eventos laháricos de gran magnitud. Todo en función de la actividad eruptiva del Volcán de Fuego de Colima, la cual al ser más intensa favorecerá la acumulación de material piroclástico en la cima ocasionando su descenso en la temporada de lluvias.

4. Influencia de los factores explicativos en la vegetación.

Dada la información que se ha presentado en capítulos anteriores, se puede resumir que en el Volcán de Fuego de Colima el régimen de lluvias está bien establecido, comenzando en mayo y terminando en octubre; el resto del año se vive una situación de sequía con temperaturas máximas superiores a los 30°C. Esta situación sumada a la alta permeabilidad en la mayoría de los suelos conduce a un medio con poca disponibilidad de humedad durante los meses de sequía lo cual ocasiona un alto estrés hídrico para las plantas, con un limitado transporte de nutrimentos en su interior y una baja turgencia de sus células que ocasiona la marchitez.

Un factor determinante para la regeneración vegetal es el grado de rocosidad que se muestra en la superficie de los depósitos, ya que la presencia de rocas favorece la formación de micro-hábitats con poca exposición a altas temperaturas, bajas tasas de evaporación y por tanto una fuente de humedad que perdura durante los meses posteriores a la temporada de lluvias y ha dado una respuesta variable de los parámetros de la vegetación, lo cual se refleja en la regeneración vegetal tal como se observa en la Tabla 4.4.1.

Tabla 4.4.1 Influencia de la rocosidad en la vegetación y suelo por hábitat.

H	Suelo	Ro	Asociación	R	A	C	TM	Especies
Terrazas Antiguas	Haplic-Regosol (arénico)	Fina	Matorral de Compuestas y Gramíneas	5.3	44.3	86	136.6	<i>Baccharis pteronoides</i> <i>Pinus sp.</i> <i>Senecio salignus</i>
		Media		5.3	45.3	38	58.3	
	Haplic-Regosol (endoesquelético)	Gruesa		4.5	68	82	90	
Terrazas Recientes	Haplic-Regosol (arénico)	Fina	Matorral de Salvia y Gordolobo (2009-10)	5.7	23.1	9.8	30	<i>Gnaphalium sp.</i> <i>Gnaphallium oxiphyllum</i> <i>Hyptis albida</i>
				4.8	22.2	22.5	63.9	
	Haplic-Regosol (arénico)	Media	Matorral de Compuestas, Gramíneas Coquillo y Coníferas (2009)	5.2	27	20.1	46.9	<i>Cyperus rotundus</i> <i>Gnaphallium oxiphyllum</i> <i>Pinus sp.</i> <i>Senecio salignus</i>
				Herbazal de Sacamiel y Gramíneas Zacatón (2010)	6	28.3	42.9	
	Haplic-Regosol (déntrico-endoesquelético)	Gruesa	Matorral de Compuestas y Salvias (2009)	6.6	27.4	24.8	87.6	<i>Brickellia nutanticeps</i> <i>Gnaphalium sp.</i> <i>Gnaphallium oxiphyllum</i> <i>Hyptis albida</i> <i>Hyptis pectinata</i>
				Matorral de Gramíneas Zacatón, Gordolobo, Salvias y Guácimo (2010)	7.7	29.2	59.3 7	
Abanicos Laháricos	Haplic-Regosol (arénico-déntrico)	Fina	Matorral de Salvia y Lantana	11	187.8	272.1	336.8	<i>Hyptis albida</i> <i>Lantana camara</i>
	Haplic-Fluvisol (nóvico)							
	Haplic-Fluvisol (nóvico)	Media	Matorral de Gramíneas, Zacatón-Rosado, Jarilla y Salvia	10.5	143.7	152	195	<i>Hyptis albida</i> <i>Muhlebergia minutissima</i> <i>Rhynchelytrum repens</i> <i>Senecio salignus</i>
	Haplic-Regosol (endoesquelético)	Gruesa		12.6	263.2	313	309	

H= Hábitat. Ro= Rocosidad. R= Riqueza. A= Abundancia. C= Cobertura. TM= Talla Máxima.

Dado lo anterior, el factor rocosidad también contribuye a la edafogénesis, ya que dependiendo del porcentaje de rocas expuestas se acelera o frena los procesos de mineralización, humificación y formación de estructura. Siendo así, se analizó cual es la influencia que tienen estos micro-hábitats en cada uno de los hábitats de estudio, determinando la relación entre los parámetros de la vegetación (Riqueza, Abundancia, Cobertura y Talla Máxima) y las características de los suelos que presentan. Para poder hacer evidente esta relación se recurrió a un análisis de varianza (ANOVA) entre los tres tipos de rocosidad en función de los parámetros de la vegetación en cada hábitat y micro-hábitat; que para la Barranca Montegrande se definió el término micro-hábitats como:

- Un micrositio con tipo de vegetación y rocosidad definidas que reúne condiciones particulares de estabilidad, exposición, inclinación, concentración carbono y nitrógeno, densidad aparente, densidad de raíces, estructura, humedad, mantillo, pH, pedregosidad, porosidad, rocosidad y textura; características que determinan el tipo de suelo, composición florística, establecimiento y desarrollo de las plantas en la regeneración vegetal de las diferentes unidades geomorfológicas expuestas a eventos laháricos recientes (Fig. 4.4.1).

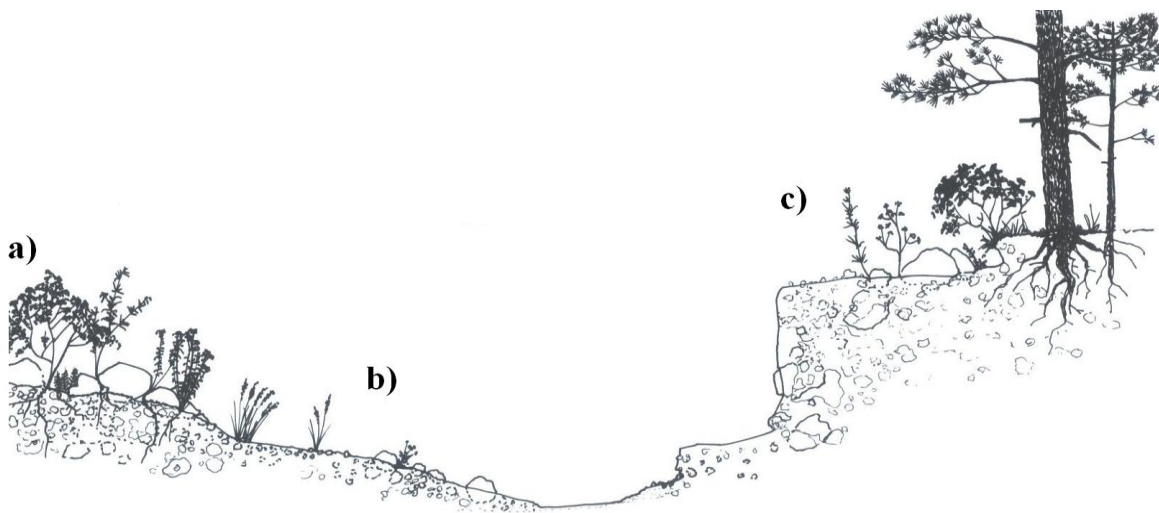


Figura 4.4.1. Microhábitats en la Barranca Montegrande. a) Roccosidad Gruesa. b) Roccosidad Fina. c) Roccosidad Media.

A continuación se muestran los resultados para cada uno de los micro-hábitats al interior de los hábitats de estudio:

Hábitat de Terrazas Antiguas.

El interior de las Terrazas Antiguas se caracteriza por tener valores bajos en los parámetros de la vegetación (riqueza, abundancia, cobertura y talla máxima) pero el más alto valor de equitatividad en el índice diversidad de Shannon-Wiener, indicando una buena estabilidad entre el número de especies y el número de individuos; y por tanto un avanzado grado de sucesión vegetal. En este

hábitat la vegetación corresponde a *Matorral de Compuestas y Gramíneas*, este matorral posee tres micro-hábitats con diferente tipo de rocosidad los cuales están diferenciados por los parámetros de la vegetación. Así, en esta vegetación se encontraron tres parcelas con rocosidad fina y un suelo Haplic-Regosol (arénico) obteniendo promedios en cada una de 5.3 especies, 44.3 individuos, 86% de cobertura y 136.6cm de talla máxima; tres parcelas con rocosidad mediana en un suelo Haplic-Regosol (arénico) con promedios de 5.3 especies, 45.3 individuos, 38% de cobertura y 58.3cm de talla máxima; y dos parcelas que muestran rocosidad gruesa con suelo Haplic-Regosol (endoesquelético) que presenta promedios 4.5 especies, 68 individuos, 82% de cobertura y 90cm de talla máxima.

Resulta interesante analizar cuál es el comportamiento de los parámetros de la vegetación en cada uno de los micro-hábitats de las Terrazas Antiguas, ya que la riqueza promedio se ve favorecida en los depósitos de rocosidad fina y media. Por su parte, la abundancia promedio es notoria en el micro-habitat de rocosidad gruesa. En cuanto a la talla, los individuos más altos fueron encontrados en el micro-habitat de rocosidad fina. Finalmente los valores más altos de la cobertura promedio son muy similares tanto para el micro-habitat de rocosidad fina como para el de rocosidad gruesa.

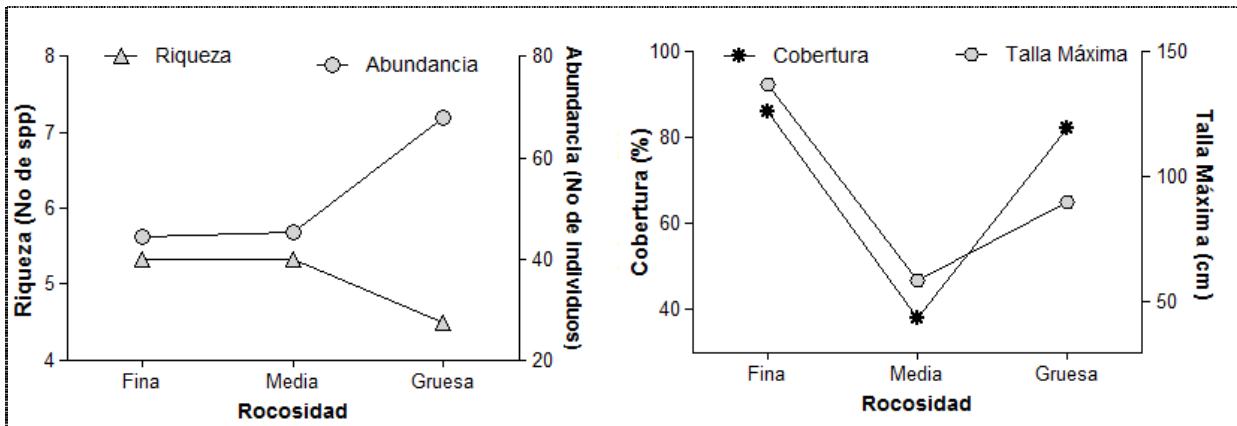


Figura 4.4.2. Respuesta de los parámetros de la vegetación para cada micro-habitat de las Terrazas Antigua.

En apariencia existen variaciones entre los promedios de la respuesta de la vegetación en los diferentes micro-hábitats de las Terrazas Antiguas, dicha respuesta parece ser más favorable en los depósitos de rocosidad fina (Fig. 4.4.2). Sin embargo, dado que no se puede determinar en apariencia si existen diferencias significativas de la respuesta de la vegetación a distintos hábitats, se recurrió al análisis de varianza partiendo de una prueba de hipótesis (siendo la misma para los hábitats de Terrazas Recientes y los Abanicos Laháricos):

- Hipótesis nula; la respuesta promedio de la vegetación es la misma en todos los tipos de rocosidad.

$$H_0: \mu_f = \mu_m = \mu_g$$

- Hipótesis alternativa; la respuesta promedio de la vegetación es diferente en al menos un par de tipos de rocosidad.

$$H_A: \mu_f \neq \mu_m \neq \mu_g$$

Donde H_0 es la hipótesis nula, H_A es la hipótesis alternativa, μ_f es el promedio de rocosidad fina, μ_m es el promedio de la rocosidad media y μ_g es el promedio de la rocosidad gruesa.

Dicha hipótesis se evaluó con un análisis de la varianza unilateral ANOVA (razón de varianza o significancia), la cual es obtenida de la distribución F. Siendo así, los resultados arrojados por el ANOVA con una distribución F de tablas de 5.79, al 95% de confianza con 2 grados de libertad del numerador y 5 del denominador; muestran que en ninguno de los parámetros, la F calculada tiene una respuesta promedio de la vegetación significativamente diferente según el tipo de rocosidad (Tabla 4.4.2).

Tabla 4.4.2. Tabla ANOVA para el tipo de rocosidad en el hábitat de Terrazas Antiguas.

ANOVA		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Riqueza	Between Groups	1.042	2	0.521	0.146	0.868
	Within Groups	17.833	5	3.567		
	Total	18.875	7			
Abundancia	Between Groups	806.542	2	403.271	0.295	0.757
	Within Groups	6833.333	5	1366.667		
	Total	7639.875	7			
Cobertura	Between Groups	4056.000	2	2028.000	1.591	0.292
	Within Groups	6372.000	5	1274.400		
	Total	10428.000	7			
Talla	Between Groups	9288.542	2	4644.271	2.690	0.161
	Within Groups	8633.333	5	1726.667		
	Total	17921.875	7			

Asimismo, la riqueza y la abundancia muestran valores de significancia cercanos a 1 por lo que la división del cuadrado medio entre grupos dividido entre el cuadrado medio dentro de los grupos indica una varianza muy similar, apoyando la hipótesis de que la respuesta promedio de la vegetación es igual para cada micro-hábitat. Esta situación permite concluir que para los micro-hábitats de Terrazas Antiguas la hipótesis nula no se rechaza ya que no existe evidencia en los datos que conduzca a su rechazo; no obstante, no se debe descartar una variabilidad en los micro-hábitats que si bien aun no es estadísticamente significativa, en apariencia es notoria por lo que se sugiere realizar nuevos muestreos en los próximos años.

Hábitat de Terrazas Recientes.

Las Terrazas Recientes en 2009 mostraron la equitatividad en el índice de diversidad de Shannon-Wiener mas baja respecto al resto de las unidades de estudio, evidenciando la existencia de especies con muchos individuos conviviendo con especies que registran un muy bajo número de individuos; lo cual sugiere un reemplazamiento de especies. El promedio de las variables de la vegetación en cada una de las 17 parcelas que conforman el micro-hábitat de *Matorral de Salvia y Gordolobo* con rocosidad fina y suelo Haplic-Regosol (arénico) fue de 5.7 especies, 23.17 individuos, 9.85% de cobertura y 30.08cm de talla máxima. En tanto que los promedios en las 16 parcelas del micro-hábitat de *Matorral de Compuestas, Gramíneas Coquillo y Coníferas* con rocosidad mediana en suelo Haplic-Regosol (arénico) indican la presencia de 5.25 especies, 27 individuos, 20.12 % de cobertura y 46.94cm de talla máxima. Por último, en las 12 parcelas del micro-hábitat de *Matorral de Compuestas y Salvias* con rocosidad gruesa y suelo Haplic-Regosol (dénscico-endoesquelético) obtuvieron promedios 6.66 especies, 27.41 individuos, 24.87% de cobertura y 87.61cm de talla máxima.

Los valores de desviación estándar y error estándar en las Terrazas Recientes en el año 2009 se muestra muy altos en todos los casos, mostrando una variabilidad muy alta en los parámetros de la vegetación, lo cual puede ser consecuencia del reciente establecimiento de las plantas. En términos de la rocosidad se observa una menor variabilidad de la abundancia, cobertura y talla en el *Matorral de Salvia y Gordolobo*, no siendo así en el micro-hábitat de *Matorral de Compuestas, Gramíneas Coquillo y Coníferas* que posee datos más homogéneos de la riqueza.

La distribución de los datos de vegetación en los hábitats de las Terrazas Recientes para 2009, indica que existe un mejor establecimiento de la vegetación en el micro-hábitat de *Matorral de Compuestas y Salvias* con rocosidad gruesa. Esta discrepancia en la respuesta de las plantas a la rocosidad se acentúa en la talla y la cobertura, que siguen un gradiente granulométrico de valores promedio bajos en la rocosidad fina con *Matorral de Salvia y Gordolobo* a valores promedio altos en el micro-hábitat con rocosidad gruesa (Fig. 4.4.3).

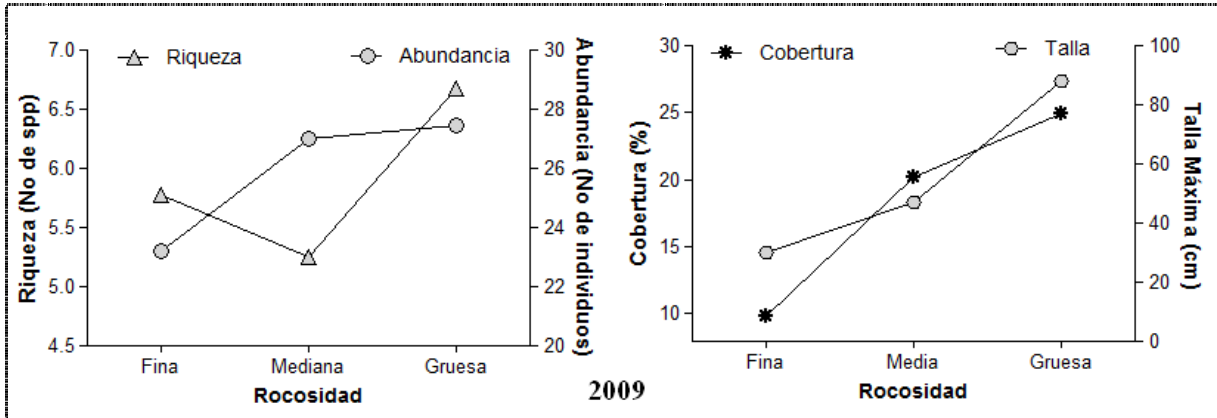


Figura 4.4.3. Respuesta de los parámetros de la vegetación para cada microhábitat de las Terrazas Recientes en 2009.

Bajo la hipótesis nula de que la respuesta promedio de la vegetación es la misma en todos los tipos de rocosidad, los resultados obtenidos del análisis de varianza con una distribución de F de tablas de 3.22 con una confianza de 95%, 2 grados de libertad del numerador y 42 del denominador indican que la riqueza, la abundancia y la cobertura poseen una respuesta muy similar al presentar un valor inferior al dado por la distribución de F en tablas; por lo que la hipótesis nula no puede ser rechazada para esos casos. También es importante mencionar que para la abundancia los valores de significancia son cercanos a 1, sugiriendo que los micro-hábitat poseen una varianza muy similar y por tanto una igual respuesta promedio de la vegetación. Dados estos resultados se puede concluir que para la riqueza, abundancia y cobertura la hipótesis nula no se rechaza ya que no existe evidencia en los datos que conlleve a su rechazo (Tabla 4.4.3).

Tabla 4.4.3. Tabla ANOVA para el tipo de rocosidad en el hábitat de Terrazas Recientes para el año 2009.

ANOVA		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Riqueza09	Between Groups	13.852	2	6.926	1.407	0.256
	Within Groups	206.725	42	4.922		
	Total	220.578	44			
Abundancia09	Between Groups	170.613	2	85.306	.264	0.769
	Within Groups	13553.387	42	322.700		
	Total	13724.000	44			
Cobertura09	Between Groups	1757.050	2	878.525	2.267	0.116
	Within Groups	16277.695	42	387.564		
	Total	18034.744	44			
Talla09	Between Groups	23775.753	2	11887.876	6.403	0.004
	Within Groups	77976.613	42	1856.586		
	Total	101752.366	44			

No obstante, la respuesta promedio de la vegetación para la talla presenta una respuesta significativamente diferente en al menos un par de tipos de rocosidad (Tabla 4.4.4). Lo anterior permite concluir que los datos disponibles no son compatibles con la hipótesis nula, lo que lleva a

aceptar la hipótesis alternativa como verdadera. Dado este resultado se aplicó una prueba HSD de Tukey (Diferencia verdaderamente significativa) para saber que par de medias son diferentes, tomando en cuenta un $\alpha = 0.05$, $k = 3$ y $N-k = 42$; donde α es la significancia, k el número de tratamientos (hábitats) y N el tamaño de la población de datos.

Dado que el tamaño de muestra de cada hábitats es diferente, se utilizó la ecuación corregida para Tukey por Spjøtvoll y Stoline que sustituye a n (tamaño de muestra de la media) por n^*_j (tamaño más pequeño de las medias a comparar) :

$$HSD^* = q_{\alpha,k,N-k} \sqrt{\text{Cuadrado Medio Residual} / n^*_j}$$

Esta prueba se realizó en el paquete estadístico SPSS indicando que el micro-hábitat de *Matorral de Compuestas y Salvias* con rocosidad gruesa presenta una respuesta promedio diferente al resto de los micro-hábitat; concluyendo que las condiciones que presentan los depósitos de Terrazas Recientes en 2009 favorecieron la altura de la vegetación en rocosidad gruesa (Tabla 4.4.4).

Tabla 4.4.4. Tabla de Tukey comparación de Talla de los hábitats de Terrazas Recientes 2009.

Rocosisdad	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1.00	17	30.0824	
2.00	16	46.9438	
3.00	12		87.6083

Por otro lado, las Terrazas Recientes en 2010 presentaron un menor reemplazamiento de especies con una equitatividad en el índice de Shannon-Wiener ligeramente más alta que en 2009. En el *Matorral de Salvia y Gordolobo* se observa que las 11 parcelas con rocosidad fina con suelo Haplic-Regosol (arénico) poseen un promedio de 4.81 especies, 22.27 individuos, 22.59% de cobertura y 63.91cm de talla máxima. En el *Herbazal de Sacamiel y Gramínea Zacatón* las 15 parcelas con rocosidad mediana en suelo Haplic-Regosol (arénico) presentaron promedios por parcela de 6 especies, 28.33 individuos, 42.93% de cobertura y 87.2cm de talla máxima. Finalmente, los promedios en las 8 parcelas de rocosidad gruesa, suelo Haplic-Regosol (dénscico-endoesquelético) y vegetación de *Matorral de Gramíneas Zacatón, Gordolobo, Salvias y Guácimo* fueron de 7.75 especies, 29.25 individuos, 59.37% de cobertura y 114.37cm de talla máxima.

La desviación estándar y el error estándar en las Terrazas Recientes en 2010 indican valores muy heterogéneos en todos los casos; no obstante, para la riqueza y la abundancia se observa que el micro-hábitat de rocosidad media con vegetación de *Herbazal de Sacamiel y Gramínea Zacatón* presenta menor variación respecto a los otros micro-hábitat, asimismo se puede apreciar que la cobertura y la talla son mas homogéneas en los depósitos con rocosidad fina y vegetación *Matorral de Salvia y Gordolobo*.

Los parámetros de la vegetación en los micro-hábitats de Terrazas Recientes en el año 2010 evidencian que la vegetación ha tenido un mayor establecimiento en los depósitos con rocosidad gruesa, lo anterior al seguir un gradiente granulométrico desde los depósitos con rocosidad fina que registran promedios bajos en todos los parámetros hasta la rocosidad gruesa con las respuestas promedio de la vegetación más altas (Fig. 4.4.4).

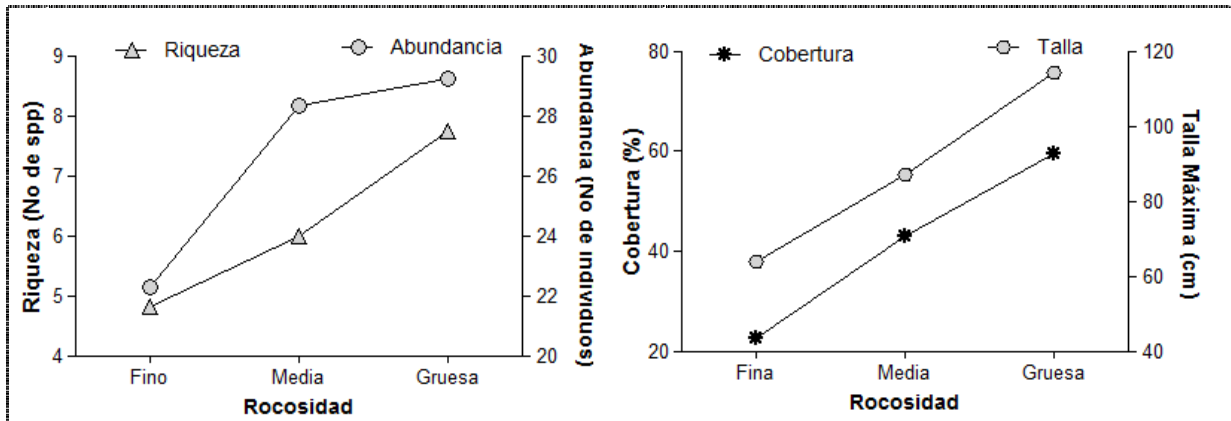


Figura 4.4.4. Respuesta de los parámetros de la vegetación para cada hábitat de las Terrazas Recientes en 2010.

Con la hipótesis nula de que se tiene la misma respuesta promedio de la vegetación en los diferentes tipos de rocosidad, el análisis de varianza con una distribución de F de tablas de 3.304 con una confianza de 95%, 2 grados de libertad del numerador y 33 del denominador muestra que tanto la riqueza como la abundancia no sobrepasan la distribución F de tablas a pesar de que los valores de significancia muestran una varianza heterogénea. Debido a esto se concluye que la hipótesis nula no puede ser rechazada para la riqueza y la abundancia ya que no existe evidencia en los datos que sugiera su rechazo (Tabla 4.4.5).

Tabla 4.4.5. Tabla ANOVA para el tipo de rocosidad en el hábitat de Terrazas Recientes para el año 2010.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Riqueza10	Between Groups	39.834	2	19.917	2.277	0.119
	Within Groups	271.136	31	8.746		
	Total	310.971	33			
Abundancia10	Between Groups	307.220	2	153.610	0.467	0.631
	Within Groups	10197.015	31	328.936		
	Total	10504.235	33			
Cobertura10	Between Groups	6464.378	2	3232.189	4.466	0.020
	Within Groups	22435.217	31	723.717		
	Total	28899.596	33			
Talla10	Between Groups	11830.698	2	5915.349	3.970	0.029
	Within Groups	46195.184	31	1490.167		
	Total	58025.882	33			

Sin embargo, para la cobertura y la talla la respuesta promedio de la vegetación muestra diferencias significativas que llevan a concluir que los datos disponibles no son compatibles con la hipótesis nula pero sirven de apoyo para el planteamiento de otra hipótesis, esto permite aceptar la hipótesis alternativa como verdadera y aplicar una prueba HSD de Tukey para reconocer la diferencia entre las medias.

Tabla 4.4.6. Tabla de Tukey comparación de Talla y cobertura de los microhábitats de Terrazas Recientes 2010.

Rocosisdad Cobertura	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1.00	11	22.5909	
2.00	15	42.9333	42.9333
3.00	8		59.3750

Rocosisdad Talla	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1.00	11	63.9091	
2.00	15	87.2000	87.2000
3.00	8		114.3750

Los resultados de la prueba de Tukey para cobertura y talla indican que las diferencias de la respuesta de la vegetación a la rocosidad son mayores entre los microhábitats de rocosidad fina y gruesa, lo cual sugiere que en la rocosidad gruesa la vegetación es más densa y alta en comparación con la rocosidad fina (Tabla 4.4.6). Estos resultados muestran nuevamente que el hábitat de rocosidad gruesa favorece el desarrollo de especies que han logrado establecerse en ellos, al tener los valores de los parámetros de la vegetación más altos.

Hábitat de Abanicos Laháricos.

Los Abanicos Laháricos mostraron una equitatividad en el índice de diversidad de Shannon-Wiener ligeramente más alta que las Terrazas Recientes, indicando una mayor estabilidad entre la composición y la abundancia vegetal. Las variables de la vegetación obtuvieron promedios de 11 especies, 187.85 individuos, 272.14% de cobertura y 336.85cm de talla máxima en las 7 parcelas con rocosidad fina, vegetación de *Matorral de Salvia y Lantana*, suelos Haplic-Fluvisol (nóvico) y Haplic-Regosol (arénico-endoesquelético). En el caso de la vegetación de *Matorral de Gramíneas Zacatón-Rosado, Jarilla y Salvia* se observaron dos tipos de rocosidad; 4 parcelas de rocosidad mediana y suelo Haplic-Fluvisol (nóvico) con promedios menores de 10.5 especies, 143.75 individuos, 152% de cobertura y 195cm de talla máxima; y 5 parcelas con rocosidad gruesa en suelo Haplic-Regosol (endoesquelético) con los valores más altos en las variables de la vegetación mostrando promedios de 12.6 especies, 263.2 individuos, 313% de cobertura acumulada y 309cm de talla máxima. Los valores de desviación estándar son cercanos al promedio indicando que los parámetros de la vegetación en los Abanicos Laháricos son uniformes.

Los datos obtenidos en los micro-hábitat de Abanicos Laháricos muestran una gran heterogeneidad con valores de desviación estándar y error estándar alejados de la media. No obstante, en el micro-hábitat de rocosidad media la variabilidad fue menor en cuanto a abundancia, cobertura y talla, así como en el micro-hábitat de rocosidad fina que mostro valores un poco más homogéneos de riqueza de especies.

En apariencia existe una diferencia de la respuesta de la vegetación a los tipos de rocosidad de los hábitats de Abanicos Laháricos, misma que registra los valores más bajos en el micro-hábitat de rocosidad mediana (*Matorral de Gramíneas Zacatón-Rosado, Jarilla y Salvia*). Los valores más altos de la respuesta promedio de la vegetación a riqueza, abundancia y cobertura se observaron en el micro-hábitat de rocosidad gruesa (*Matorral de Gramíneas Zacatón-Rosado, Jarilla y Salvia*), en tanto que la mayor talla promedio se observo en el micro-hábitat con rocosidad fina y vegetación de *Matorral de Salvia y Lantana* (Fig. 4.4.5).

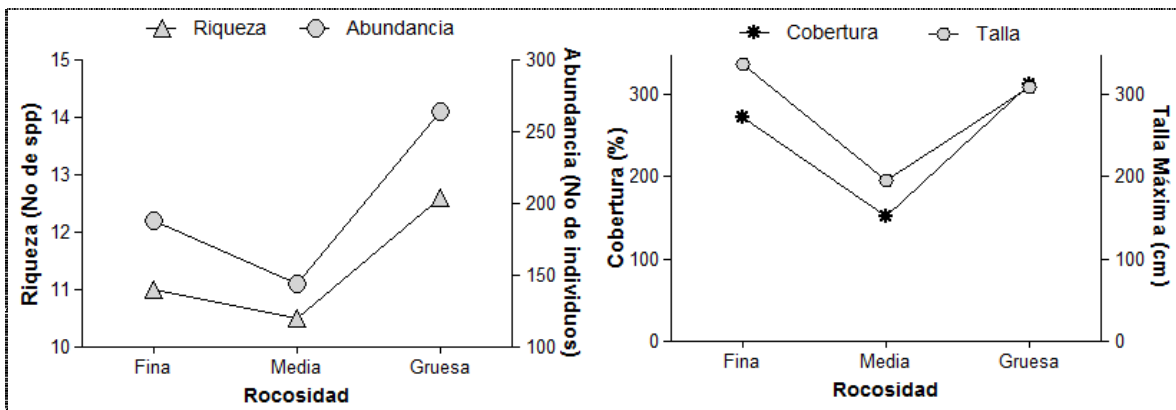


Figura 4.4.5. Respuesta de los parámetros de la vegetación para cada micro-hábitat de los Abanicos Laháricos.

Siendo así, bajo el planteamiento de la hipótesis nula de que se tiene la misma respuesta promedio de la vegetación en todos los hábitats, el análisis de varianza con una distribución de F de tablas de 3.81 con 95% de confianza, 2 grados de libertad del numerador y 13 del denominador determina que ninguno de los parámetros de la vegetación presenta una respuesta promedio de la vegetación significativamente diferente en relación al tipo de rocosidad que caracterice a los micro-hábitats, por lo que este hábitat la rocosidad no influye en la distribución de la vegetación (Tabla 4.4.7).

Tabla 4.4.7. Tabla ANOVA para el tipo de rocosidad en los hábitats de Abanicos laháricos.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Riqueza	Between Groups	11.550	2	5.775	.253	.780
	Within Groups	296.200	13	22.785		
	Total	307.750	15			
Abundancia	Between Groups	33657.343	2	16828.671	.858	.447
	Within Groups	254872.407	13	19605.570		
	Total	288529.750	15			
Cobertura	Between Groups	61312.893	2	30656.446	1.606	.238
	Within Groups	248166.857	13	19089.758		
	Total	309479.750	15			
Talla	Between Groups	53158.580	2	26579.290	2.493	.121
	Within Groups	138604.857	13	10661.912		
	Total	191763.438	15			

Finalmente es necesario mencionar que aunque los valores de significancia evidencian una varianza heterogénea al presentar una significancia alejada de 1, se concluye que para el caso de los Abanicos Laháricos la hipótesis nula no puede ser rechazada ya que no existe evidencia en los datos que conduzca a su rechazo; no obstante que para el hábitat de Abanicos Laháricos el micro-hábitat de rocosidad mediana es el menos favorecedor en el desarrollo de la vegetación.

Es evidente que existen diferencias entre los promedios de los parámetros de la vegetación de acuerdo a la rocosidad, sin embargo aun no es estadísticamente significativa en la mayoría de los casos, lo cual se puede deber al bajo tamaño de muestra que se ve limitado por la baja dimensión espacial y la baja cantidad de hábitats que se presentan en la Barranca Montegrando. Sin embargo, los parámetros de la vegetación muestran que la respuesta promedio sí se ve ligeramente influenciada por el tipo de rocosidad en todos los hábitats y micro-hábitats del sitio de estudio; por lo que se recomienda hacer muestreos en años posteriores para poder determinar con certeza la dinámica que brinda el tipo de rocosidad a la vegetación que ahí se establece.

Conclusiones.

En el interior de la Barranca Montegrande existen tres unidades geomorfológicas (hábitats) derivadas de la actividad lahárica, estas fueron identificadas como Terrazas Antiguas, Terrazas Recientes y Abanicos Laháricos y poseen diferencias en la estructura vertical y horizontal de la vegetación.

La cronología asociada a la estructura arbórea y al registro de erupciones históricas indica que las Terrazas Antiguas muy posiblemente se formaron durante la gran erupción de 1913 y los lahares de 1954-1995. Por su parte, las Terrazas Recientes han tenido su formación con las erupciones de 1999, 2003, 2004, 2005, 2006 y 2009, mostrando un paquete lahárico difícil de diferenciar debido a los procesos de erosión-acumulación. Finalmente, la formación de los Abanicos Laháricos no pudo ser datada en todos los casos, sin embargo, con ayuda de la estructura de la vegetación, posición geográfica y uso de ortofotos digitales (2000 y 2007) se logró determinar que el Abanico Medio-Alto debe su formación a los eventos laháricos de 1999 y el Abanico Alto a los de 2005-2006.

Tanto en el hábitat de Terrazas Antiguas como en el de Terrazas Recientes destacan las especies *Baccharis pteronoides*, *Buddleia parviflora*, *Gnaphallium oxiphyllum* y *Senecio salignus*, las cuales se identifican por ser elementos florísticos pertenecientes a un bosque de pino-encino. En tanto que en los hábitats de Abanicos Laháricos las especies dominantes fueron *Hyptis albida*, *Senecio salignus*, *Lantana camara*, *Rhynchelytrum repens* y *Verbesina fastigiata*, especies pertenecientes a una selva baja caducifolia.

Los hábitats de Abanicos Laháricos fueron los que presentaron los más altos valores en los parámetros de la vegetación (riqueza, abundancia, cobertura y talla máxima), seguidos de los hábitats de Terrazas Recientes con alta riqueza, abundancia y talla, y de los hábitats de Terrazas Antiguas con altos valores de cobertura.

Por otro lado, debido a que la temporada de lluvias (mayo-octubre) es seguida de una sequía con altas temperaturas y a que el material lahárico posee una alta infiltración de agua, se infiere que la vegetación presenta un estrés hídrico que limita el transporte de nutrimentos y reduce la turgencia celular, ocasionando la muerte de muchos individuos por marchitez. Sin embargo, en el interior de los hábitats la vegetación ha encontrado tres diferentes tipos de micro-hábitats que responden a la depositación diferencial de los fragmentos laháricos: rocosidad fina, rocosidad media y rocosidad gruesa.

Estos micro-hábitats se caracterizan por presentar condiciones ambientales y edáficas que influyen de forma desigual en el establecimiento, desarrollo, estructura y asociación de la vegetación en cada uno de los hábitats:

- Hábitat de Terrazas Antiguas. En él se encontraron tres micro-hábitats de *Matorral de Compuestas y Coníferas*, en los de rocosidad fina y media se observó un suelo Haplic-Regosol (arénico), en tanto en el de rocosidad gruesa un Haplic-Regosol (endoesquelético). La vegetación del micro-hábitat con rocosidad fina (Terraza Antigua Media) tiene el mejor desarrollo estructural, el cual se asocia a un pH ligeramente alcalino que indica concentraciones moderadas de calcio, potasio, manganeso y sodio, y a una mediana presencia de nitrógeno y fósforo, esto a pesar de que la relación carbono-nitrógeno tiene una mayor humificación que indica que la transformación de los restos orgánicos está produciendo complejos inorgánicos (huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) que no son aprovechables por las plantas.
- Hábitat de Terrazas Recientes. Se presentaron tres micro-hábitats, uno de *Matorral de Salvia y Gordolobo* con rocosidad fina en un suelo Haplic-Regosol (arénico); un segundo que en 2009 tenía un *Matorral de Compuestas, Gramíneas Coquillo y Coníferas* que se degradó estructuralmente a un *Herbazal de Sacamiel y Gramíneas Zacatón* en 2010 asociado a una rocosidad media con suelo Haplic-Regosol (arénico); y un tercero que en 2009 tuvo un *Matorral de Compuestas y Salvias* que se enriqueció a un *Matorral de Gramíneas Zacatón, Gordolobo, Salvias y Guácimo* en 2010 cuya rocosidad fue gruesa en un suelo Haplic-Regosol (déntrico-endoesquelético). En este hábitat el mejor establecimiento y desarrollo de la vegetación ocurrió en el micro-hábitat de rocosidad gruesa, donde la degradación de los restos orgánicos está generando iones aprovechables por las plantas al presentar un proceso de mineralización la materia orgánica. Además, las cavidades entre las rocas gruesas guardan temperaturas inferiores a la externas, por lo que la evapotranspiración es mínima; situación que favorece tanto a la actividad microbiana degradadora como a la conservación de humedad aprovechable para las plantas, lo cual se refleja en las diferencias significativas que resultaron para talla y cobertura en rocosidad gruesa.
- Hábitat de Abanicos Laháricos. Se registraron dos micro-hábitats. El primero en un *Matorral de Salvia y Lantana* con rocosidad fina que se expresó en dos tipos de suelos Haplic-Fluvisol (nóvico) y Haplic-Regosol (arénico-endoesquelético); en tanto que el segundo se observó en un *Matorral de Gramíneas Zacatón-Rosado, Jarilla y Salvia* que se distribuye tanto en la rocosidad mediana con suelo Haplic-Fluvisol (nóvico) como en la rocosidad gruesa con suelo

Haplic-Regosol (endoesquelético). Los valores más altos de los parámetros de la vegetación los tiene el micro-hábitat de rocosidad gruesa que a pesar de tener limitaciones en sus concentraciones de calcio, magnesio, potasio, sodio, fósforo y nitrógeno al presentar un pH bajo, los procesos de mineralización de la materia orgánica junto con la reserva de humedad que brindan las rocas han logrado un exitoso establecimiento y desarrollo de la vegetación.

Si bien no se encontraron diferencias significativas en casi todos los parámetros de la vegetación para la mayoría de los hábitats, sí se pudo observar que tanto la talla como la cobertura del hábitat de Terrazas Recientes responden de manera significativa a los microhábitats, demostrando que el aumento de biomasa al interior de la barranca si esta influenciado por la rocosidad del suelo, tal como ocurrió en el Volcan Paricutín cuando la sucesión vegetal comenzó en los depósitos rocosos aportados por los flujos de lava; depósitos que favorecen la permanencia de la humedad y concentración de nutrimentos, elementos identificados tanto para el Volcán Xitle como para el Santa Helena como clave para el establecimiento de las plantas.

En general, las propiedades edáficas de los depósitos laháricos muestran que no son suelos aptos para la agricultura debido a su escaso desarrollo y alta infiltración, por lo que se recomienda se evite su alteración antropica a fin de continuar con los procesos de acumulación de materia orgánica y desarrollo de la vegetación natural evitando la erosión de los depósitos y favoreciendo la edafogénesis en los sitios que no presentan alta afectación por lahares.

En conclusión, la hipótesis inicial resultó verdadera al determinar que dentro de la Barranca Montegrande la constante actividad lahárica facilita la formación de hábitats y micro-hábitats que poseen condiciones ambientales y edáficas muy particulares, las cuales se expresan en una gran diversidad florística, con la representación de *Baccharis pteronoides*, *Buddleia parviflora*, *Hyptis albida*, *Gnaphallium oxiphyllum*, *Lantana camara*, *Rhynchelytrum repens*, *Senecio salignus* y *Verbesina fastigiata* como especies con alta tolerancia al disturbio que encabezan la regeneración vegetal mismas que podrían ser utilizadas en las primeras etapas de estudios de restauración ecológica como especies regeneradoras de ambientes perturbados.

Referencias.

- Anderson, J. P. y Domsch, K. H. 1980. *Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils*. Soil Science. 130 (211-216).
- Anthony K. y Connolly S. 2004. *Environmental limits to growth: Physiological niche boundaries of corals along turbidity-light gradients*. Oecologia. 141 (373-384).
- Antos, J., Halpern, C., Miller, R., Cromack, K. y Halaj, M. 2003. *Temporal and Spatial Changes in Soil Carbon and Nitrogen after Clearcutting and Burning of an Old-Growth Douglas-Fir Forest*. Department of agriculture. USA 19 vol. 3 (152).
- Arbelo, C., Rodríguez, A., Guerra, J. y Mora, J. 2002. *Calidad del suelo y sucesión vegetal en andosoles forestales de las Islas Canarias*. Edafología 9 vol. 1 (31-38).
- Bañares, A., Marrero, M., Carqué, E. y Fernández, A. 2003. Plan de recuperación de la flora amenazada del Parque Nacional de Garajonay. La Gomera (Islas Canarias). Germinación y restituciones de *Pericallis hanseni*, *Gonospermum gomerae* e *Ilex perado* spp. Lopezlilloi. Botánica Macaronésica. 24 (3-16).
- Benavides, A., Hernández, R., Ramírez, H. y Sandoval, A. 2010. *Tratado de Botánica Económica Moderna*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila. (1-20).
- Benítez, H. y Bellot, M. 2007. *Biodiversidad: uso, amenazas y conservación*. Conabio. s/n.
- Bretón-González, M., Ramírez, J. J. y Navarro-Ochoa, C. 2002. *Summary of the historical eruptive activity of Volcán de Colima, México 1519-2000*. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 117 (21-46).
- Bidwell, R. 1979. *Fisiología vegetal*. AGT Editor S.A. México. (123-175).
- Billings, W. D. 1968. *Las plantas y el ecosistema, México*. Ed. Herrero Hnos. Sucesores, S. A. 168 pp.
- Bustamante, R. y Grez, A. 1995. *Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos*. Ciencia y ambiente, 11 vol. 2 (58-63).
- Castillo, S., Montes, G., Romero, M., Martínez, Y., Guadarrama, P., Sánchez, I. y Núñez, O. 2004. *Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel (DF., México)*. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 74 (51-75).
- Camarero, J. J. y Fortín, M. J. 2006. *Detección cuantitativa de fronteras ecológicas y ecotonos*. Ecosistemas 15 vol. 3 (76-87).
- Cano-Santana, Z. y Meave, J. 1996. *Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle*. Ciencias UNAM. (41-58).
- Capra, L., Borselli, L., Varley, N., Norini, G., Gavilanes-Ruiz, J.C., Sarocchi, D. y Caballero, L. 2010. *Rainfall-triggered lahars at Volcán de Colima, Mexico: surface hydro-repellency as initiation process*. Journal of Volcanology and Geothermal research. Volume 189, Issues 1-2 (105-117).
- Carta Geológico-Minera Colima. E13-3 Colima, Jalisco y Michoacán. 1999 Esc. 1:250,000. Servicio Geológico Mexicano. 1 mapa.
- Cartas topográficas: Venustiano Carranza (E13B24), Ciudad Guzmán (E13B25), Cómala (E13B34) y Cuauhtémoc (E13B35). Escala 1:50 000. INEGI
- Cayuela L. 2006. *Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México: Efectos sobre la diversidad de árboles*. Ecosistemas. 15 vol. 3 (192-198).
- Chinchilla, C. 2008. *Dinámica de la vegetación a lo largo de gradientes ecológicos en el departamento de El Progreso*. Universidad de San Carlos Guatemala. (12).
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2010: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios_veg/doctos/tipos_valle.html
- CONAGUA-SMN (Comisión Nacional del Agua-Servicio Meteorológico Nacional). 2010. Temperatura y Precipitación. Comisión Nacional del Agua. Sistema Nacional Meteorológico: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=77
- Cortés, A., Garduño-Monroy, V.H., Navarro-Ochoa, C., Komorowski, J.C., Saucedo, R., Macías, J.L. y Gavilanes-Ruiz, J.C. 2005. *Cartas Geológicas y Mineras 10. Carta Geológica del Complejo Volcánico de Colima, con Geología del Complejo Volcánico de Colima: México D.F.* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Escala 1:10,000, mapa con texto explicativo (37).
- Cortez-Fernández, C. 2006. *Variación altitudinal de la riqueza y abundancia relativa de los Anuros del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata*. Ecología en Bolivia, 41 vol. 1 (46-64).
- Cowles, H. 1901. *The physiographic ecology of Chicago and vicinity: a study of the origin, development and classification of plant societies*. Bot. Gaz.
- Cronquist, A. 1992. *Introducción a la Botánica*. Compañía Editorial Continental S.A. México.
- Dale, V.H., Campbell, D. R., Adams, W. M., Crisafulli, C. M., Dains, V., Frenzen, P. M. y Holland, R. 2005. *Plant Succession on the Mount St. Helen Debris-Avalanche Deposit*. (59-74) In Dale, V.H., Swanson, F.J. y Crisafulli, C.M. (editors) Ecology Responses to the 1980 Eruption of Mount St. Helens. New York: Springer-Verlag.

- Davila, N., Capra, L., Gavilanes-Ruiz, J. C., Varley, N., Norini, G. y Gómez-Vázquez, A. 2007. *Recent lahars at Volcan de Colima (México): Drainage variation and spectral classification*. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 165 (127-141).
- Daubenmire, R. F. 1974. *Plants and environment*. John Willey and Sons Inc. (193-255).
- Daubenmire, R. 1982. *Ecología Vegetal*. Editorial Limusa. México.
- Del Moral, R. y Wood, D. 1993. *Early primary succession on the volcano Mount St. Helens*. Journal of Vegetation Science. 4 (223-234).
- Del Moral, R. 1999. *Plant succession on pumice at mount St. Helens, Washington*. American Midland Naturalist. 141 (101-114).
- Del Moral, R. y Eckert, A. 2005. *Colonization of volcanic deserts from productive patches*. American Journal of Botany. 92 vol. 1 (27-36).
- De la Cruz-Reyna, S. 1993. *The historical eruptive activity of Colima Volcano*. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 55 (51-68).
- Demant, A. 1978. *Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación*. Revista del Instituto de Geología, UNAM. 2 (172-187).
- Devlin, P. 1975. *Fisiología vegetal*. Ediciones Omega. Barcelona España. (45-70).
- Eggler, W.A. 1963. *Plant life of Parícutín volcano, México, eight years after activity ceased*. American Midland Naturalist. 69 (38-68).
- Emck, P., Moreira-Muñoz, A. y Richter, M. 2006. *El clima y sus efectos en la vegetación*. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. (11-36)
- *Escribano R., Encinas, A. y Martín, M. 1997. Ecotonos: importancia de la transición entre las agrupaciones arbóreas y el matorral en la gestión forestal. Estudio de casos. II Congreso Forestal Español. (295-300).*
- Evans, M. 2006. *Caracterización de la vegetación natural de sucesión primaria en el Parque Nacional Volcán Pacaya y Laguna de Calderas, Guatemala*. Tesis Maestría Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Tropical. Costa Rica. 91pp.
- FAO. 2000. Los principales factores ambientales y de suelos que influyen sobre la productividad y el manejo. Manual on integrated soil management and conservation practices.
- FAO. 2010. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales México: Informe Nacional.1-68.
- Flores, M., Jiménez, L., Madrigal, S., Moncayo, R., y Takaki, T. 1971. *Memoria del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana*. México: Secretaria de Recursos Hidráulicos.
- Flores-Villela, O., y Gerez, P. 1994. *Biodiversidad y conservación en México: Vertebrados, vegetación y uso del suelo*. Conabio-UNAM, México. 333pp.
- Fortín, M. J. 1997. *Effects of data types on vegetation boundary delineation*. Canadian Journal of Forest Research. 27 (1851-1858).
- Galindo-Estrada, I., Elizalde-Torres, A., Solano-Barajas, R. y Cruz-Calvario, M., 1998. *Climatología del Volcán de Fuego de Colima*. Universidad de Colima, Colima, Col., México. 73pp.
- García, C., Gil-Sotres, F., Hernández, T. y Trasar-Cepeda, C. 2003. *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana*. Mundi-Prensa. Madrid. 371pp.
- García-Ruiz, J.M. (1990). *La montaña: Una perspectiva geoecológica*. En: Geoecología de las áreas de montaña (J.M. García Ruiz, edr.). Geoforma Ediciones. Logroño. (15-32).
- Gómez, M., Lindig, R. y Galindo, S. 2006. *Effect of tephra depth on vegetation development in areas affected by volcanism*. Plant Ecology 183 (207-213).
- Gómez-Pompa, A., Vázquez-Yanes, C., Butanda-Cervera, A. y Del Amo, S. 1976. *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México*. Editorial Alhambra Mexicana.
- Gutiérrez, P. y Bárcenas, R. 2008. *Catalogo de encinos (quercus spp.) del herbario de la UAQ en el estado de Queretaro, México*. Universidad Autónoma de Queretaro.
- Haruki, M. y Tsuyuzaki, S. 2001. *Woody plant establishment during the early stages of volcanic succession on Mount Usu, northern Japan*. Ecological Research. 16 (451-457).
- Herrerías-Diego, Y. y Benítez-Malvido. 2005. *Consecuencias de la fragmentación de ecosistemas*. Diplomado en Restauración Ecológica. En: Temas sobre restauración ecológica. Sánchez, O., Peters, E., Márquez-Huitzil, R., Vega, E., Portales, G., Valdez, M. y Azuara, D. (eds.) (113-126). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, United States Fish and Wildlife Service, Unidos para la Conservación A. C.
- Inbar, M., Lugo-Hubp, J. y Villers, L. 1994. *The geomorphological evolution of Parícutín cone and lava flows, México, 1943-1990*. Geomorphology. 9 (57-76).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1983. Carta de Uso de Suelo y Vegetación Cuauhtémoc (E13B35). Escala 1:50 000.
- Jones A. 1997. *Environmental biology*. Routledge. Ed. USA. 197pp.

- Komorowski, J.C., Navarro-Ochoa, C., Cortés, A., Siebe, C. y Rodríguez-Elizarrarás, S. 1993. *Multiple collapse of Volcán Colima, Mexico, since 10000 yr BP. Implications for eruptive style, magma yield, edifice stability and volcanic risk*. En: IAVCEI. General Assembly, Camberra, Australia, Resume 60pp.
- Komorowski, J.C., Navarro-Ochoa, C., Cortés, A., Saucedo, R. y Gavilanes-Ruiz, J.C. 1997. *The Colima Complex: Quaternary multiple debris avalanche deposits, historical pyroclastic sequences (pre 1913, 1991 and 1994)*. En: IAVCEI, Puerto Vallarta, México, 1997, Plenary Assembly, Excursión guidebook: Guadalajara, Jalisco, Gobierno del Estado de Jalisco, Secretaria General, Unidad Editorial. (1-38).
- Köppen, W. 1948. *Climatología de México*. Fondo de Cultura Económica. 478 pp.
- Larson, D. L. 2003. *Native weeds and exotic plants: relationships to disturbance in mixed-grass prairie*. Plant Ecology 169 (317-333).
- Lawrence, R. y Ripple, W. 2000. Fifteen years of revegetation of Mount St. Helens. Ecology. 81 vol. 10. (2742–2752).
- León, V., Guidobono, J. y Busch, M. 2007. *Abundancia de Mus musculus en granjas avícolas: efectos locales vs efectos espaciales*. Ecología Austral. 17 (189-198).
- Leopold, A. 1959. Vegetation Zones of México. Ecology. 31 (507-518).
- López, F. 2004. *Estructura y función en bordes de bosques*. Ecosistemas. 13 vol. 1.
- Lugo-Hubp, J., Martin-Del Pozzo, A. y Vazquez-Selem, L. 1993. Estudio geomorfológico del complejo volcánico de Colima. Geofísica. 32 vol. 4 (633-641).
- Luhr, J. F. y Carmichael, I. S. E. 1980. *The Colima volcanic complex, México-I. Post-caldera andesites from Volcan Colima*. Contributions to Mineralogy and Petrology. 71(343-372).
- Macías, J. 2005. *Geología e historia de algunos de los grandes volcanes activos de México*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen conmemorativo del Centenario. Temas selectos de la geología mexicana. Tomo LVII. 3 (379-424).
- Macías, J. L., Saucedo, R., Gavilanes-Ruiz, J. C., Varley, N., Velasco-García, S., Bursik, M., Vargas-Gutiérrez, V. y Cortés, A. 2006. *Flujos piroclásticos asociados a la actividad explosiva del Volcán de Colima y perspectivas futuras*. GEOS. 25 vol. 3 (340-351).
- Maderey, L. E. y Jiménez, A. 2005. *Principios de Hidrogeografía*. Estudio del Ciclo Hidrológico. Serie de textos universitarios. 1 (23).
- Martin-Del Pozzo, A.L., Sheridan, M.F., Barrera, D., Lugo-Hubp, J. y Vázquez-Selem, L., 1995, *Mapa de peligros, Volcán de Colima, escala 1:50,000*. México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica. 1 mapa.
- Martre, P., North, G., Bobich, E. y Nobel, P. 2002. *Root deployment and shoot growth for two desert species in response to soil rockiness*. Americal Journal of Botany. 89 (1933-1939).
- Matteucci, S. y Colma, A. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*. Serie Biología. Monografía 22. OEA. Washington, USA. (79-102).
- Mazliak, P. 1976. *Fisiología vegetal: Nutrición y metabolismo*. Ediciones Omega. Barcelona, España. (132-144).
- Muñoz, J., Rangel, K. y García, A. 2005. *Plant Colonization of Recent Lahar Deposits on Popocatepetl Volcano, Mexico*. [Physical Geography](#). 3 (192-215).
- Naour, K. 2004. *Efecto de la desinfección de esporas, intensidad de luz y cloración del agua de riego, sobre el desarrollo de prótalos de helechos exóticos y nativos presentes en Chile*. Tesis de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales Escuela de Agronomía. Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile. (25-27).
- Navarro-Ochoa, C., Gavilanes-Ruiz, J.C. y Cortés-Cortés, A. 2002. *Movement and emplacement of lava flows at Volcán de Colima, México: November 1998–February 1999*: Journal of Volcanology and Geothermal Research, 117 vol. 1-2 (155-167).
- Naughton, S. J. y Wolf, L. L. 1984. *Ecología General*. Ediciones Omega. Barcelona España.
- Nixon, K. C. 1993. *The genus Quercus México*. En: Ramammmoorthy T. P., Bye, R., Lot, A. y Fa, J. (Eds.) *Biological Diversity of México: Origins and Distribution*. Oxford University Press. Nueva York. (447-458).
- Odum, E., 1972. *Ecología. México*. Interamericana. 278pp.
- Odum, E. y Barrett, G. 2006. Fundamentos de ecología. Thomson. 5(312-313).
- Peña, J., Monroy, A., Alvarez, F. y Orozco, M. 2005. *Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical*. Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 8 (91-98).
- Pritchett, W. 1991. *Suelos forestales, propiedades, conservación y mejoramiento*. Editorial. Limusa- Grupo Noriega Editores, México. 634p.
- Ramírez-Ruiz, J. J., Santiago-Jiménez, E., Alatorre-Chávez, M. y Bretón-González, M. 2002. *EDM. Deformation monitoring of the 1997-2000 activity at Volcán de Colima*. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 117 (61-67).
- Ramos, S. G. 2002. *Volcán Chichón, aspectos ambientales a 20 años de su erupción*. El Chichón 1982-2002. 421pp.

- Rejmanek, M., Haagerova, R. y Haager, J. 1982. *Progress of plant succession on the Paricutin Volcano: 25 years after activity ceased*. American Midland Naturalist. 108 (194-198).
- RESCO (Red Sismológica Telemétrica del Estado de Colima). 2009: <http://resco.ucol.mx/>
- Robin, C., Mossand, P., Camus, G., Cantagrel, J. M., Gurgaud, A. y Vincent, P. 1987. *Eruptive history of the Colima Volcanic Complex (México)*. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 31 (99-113).
- Rodríguez-Elizarrarás, S. 1995. *Estratigrafía y Estructura del Volcán de Colima, México*. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 12 vol. 1 (22-46).
- Rzedowski, J y Mc Vaugh. 1966. *La vegetación de Nueva Galicia*. University Herbarium. University of Michigan. (23-55).
- Rzedowski, J. 1986. *Vegetación de México*. Ed. Limusa, México, DF. 352pp.
- Rzedowski, J. y Calderón de Rzedowski, G. 1987. El bosque tropical caducifolio de la región mexicana de Bajío. Trace. 12 (12-21).
- SAHOP (Subsecretaría De Asentamientos Humanos Y Obras). 1981. *Plano de vegetación y uso de suelo*. Escala 1:4 millones. Programa nacional de desarrollo ecológico de los asentamientos humanos, México D.F.
- Sarabia, A. 1999. *Los convidados del Volcán*. Editorial Planeta-CONACULTA. México D.F.
- Saucedo, R., Macías, J. L., Sarocchi, D., Bursik, M. y Rupp, B. 2008. *The rain-triggered Atenuique volcaniclastic debris flow of October 16, 1955 at Nevado de Colima Volcano, México*. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 173 (69-83).
- Shanahan, M., Harrison, R., Yamuna, R., Boen, W. y Thornton, I. W. B. 2001. *Colonization of an island volcano, Long Island, Motmot, in ist caldera lake*. En V. Colonization by figs (Ficus spp.), their dispersers and pollinators. Journal of Biogeography. 28 (1365-1377).
- Siebe, C., Jahn, R. y Starhr, K. 2006. Manual para la descripción y evaluación de suelos en el campo. 2da Edición. Publicación Especial 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. 57 pp.
- Smith, G. y Fritz, W. 1989. *Volcanic Influences on terrestrial sedimentation*. Geology. 17 (375-376).
- Smith, R. y Smith, T. 1998. Elements of ecology. The Benjamin Cumming Publish. Company. Inc.
- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto). 1981. *Síntesis Geográfica de Colima*. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. México D. F. 131pp
- Sutcliffe, J. 1979. *Las plantas y la temperatura*. Omega, Barcelona. 75 p
- Terradas, J. 2001 *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Ed Omega.
- Thornton, I. W. B. 2001. *Colonization of an island volcano, Long Island, Motmot, in ist Caldera Lake*. En I. General Introduction. Journal of Biogeography. 28 (1299-1310).
- Titus, H. y Tsuyuzaki, S. 2003. *Distribution of plants in relation to microsites on recent volcanic substrates on Mount Koma, Hokkaido, Japan*. Ecological Research. 18 (91-98).
- UCOL, 2005. *Boletines Anteriores*. Observatorio Vulcanológico. Universidad de Colima, Colima: <http://www.ucol.mx/volcan/boletines/index.htm>
- UCOL 2006. *Detección de lahares*. Observatorio Vulcanológico. Universidad de Colima, Colima: <http://www.ucol.mx/volcan/flujo.php>
- UNIBIO (Unidad de Informática para la Biodiversidad). 2010. MEXU. Consulta de ejemplares del Herbario Nacional. Unidad Informática para la biodiversidad: <http://unibio.unam.mx/minidigir/main.jsp?accion=sc&colecciones=MEXU.Herbario>
- Van Wesemael, B., Poesen, J., Kosmas, C., Danalatos, N. y Nachtergaele. 1996. *Evaporation from cultivated soils containing rock fragments*. Journal of Hidrology. 182 (65-82).
- Whittaker, R. H. 1972. *Evolution and measurement of species diversity*. Taxón 21 (213-251).
- Zobin, V., Santiago-Jiménez, H., Ramírez-Ruiz, J., Reyes-Dávila, G., Bretón-González, M. y Navarro-Ochoa, C. 2007. *Quantification of volcanic explosions from tilt records Volcán de Colima, México*. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 166 (117-124).

Apéndice 1. Actividad histórica del Volcán de Fuego de Colima (Modificada de Macías, J. L. 2005).

Año	Tipo de Erupción	Caída	Flujos	Observaciones	Referencia
1519-1523	Explosiva		Nubes ardientes	Reporte del conquistador Gonzalo de Umbria.	Clavijero, F. 1780
1576	Vulcaniana o Pliniana		Flujo de bloques y ceniza	Fuerte actividad sísmica	Arreola, J. 1915 Barcena, M. 1887
1585	Explosiva	Ceniza llega a 220km	Nube ardiente al SW	Fuerte actividad sísmica Muerte de ganado	Arreola, J. 1915 Tello, F. 1651
1590	Explosiva	Espesor considerable de ceniza	Flujo de bloques y ceniza	Posterior plaga mata a varias personas	Mota-Padilla, 1742 Orozco, M. 1888 Waitz, P. 1935
1606	Posible Pliniana o Peleana	Ceniza a 50km y 200km	Flujo piroclástico al WSW	Caída de ceniza en Michoacán	Arreola, J. 1915 Medina, F. 1983 Tello, F. 1651
1611	Vulcaniana	Gran cantidad de ceniza, arena y escoria	Flujo de bloques y ceniza		Barcena, M. 1887 Medina, F. 1983 Tello, F. 1651
1612-1613	Peleana	Frecuentes explosiones	Flujo piroclástico	Constante actividad sísmica sentida también en Zapotlan y Guadalajara	Waitz, P. 1935
1622	Explosiva	Ceniza llega a 400km al NNE		Caída de ceniza en Zacatecas	Orozco, M. 1888 Tello, F. 1651
1690	Posible Peleana o Pliniana	Presencia de ceniza	Posible generación de Flujos piroclásticos	Fuerte actividad sísmica	De la Cruz, S. 1993 Luhr, J. 1990 Medina, F. 1983 Macias, J. 2006
1711	Explosiva	Gran cantidad de ceniza		Caída de ceniza en Guadalajara	Puga, G. 1889-1890
1744	Explosiva	Considerable caída de ceniza	Flujo de lodo	Caída de ceniza en la ciudad de Colima	AGI, 1744
1770	Explosiva	Ceniza llega a 550km al N	Flujos piroclásticos	En Barranco La Joya el ganado fue enterrado por los flujos piroclásticos.	Ponce de León en BNM, 1789
1771	Explosiva	Considerable caída de ceniza	Posible flujo de bloques y ceniza	Caída de ceniza en Guadalajara	Barcena, M. 1987
1780	Explosiva		Material incandescente al S	Incendios en laderas	Ponce de León en BNM, 1789
1806	Explosiva	Ceniza densa y oscura		La nube permanece durante varios días	AHA, 1806
1807-1808	Explosiva		Emisiones de material incandescente	Se ilumina durante toda la noche la ciudad de Colima	Arreola, J. 1915 Barcena, M. 1987
1818	Pliniana	Escoria y ceniza con 20cm de espesor	Flujo Piroclástico al SE en la Barranca del Muerto	Dstrucción de domo, formación de cráter mayor a 500m de diámetro. Caída de ceniza en Zapotlan, Guadalajara, Guanajuato, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro, Estado de México y Ciudad de México.	Arreola, J. 1915 Barcena, M. 1887 Luhr, J. 1990 Sartorius, C. 1869 Waitz, P. 1935
1869-1874	Cono adventicio "Volcancito" con altura de 300m desde 3200m s.n.m.	Caída de tefra, columna más alta el 13 de agosto 8000m s.n.m. al NE Lluvia de arena en Zapotlan	Flujo de lava al NE avanzaron 3 o 4 diariamente sobre el Playón Posteriores emisiones de lava y escoria Flujo piroclástico en Barranca El Conejo Flujo de bloques y ceniza	Se estima que un volumen de lava de 0.17km ³ fue emitido por el "Volcancito" Caída de ceniza en Zapotlan, San Gabriel, Tonila, Rancho La Joya, San Marcos, Puebla, Veracruz, Guerrero, Oaxaca y Ciudad de México	Barcena, M. 1887 ECOL, 1871 Luhr, J. 1990 Orozco, M. 1869 Waitz, P. 1935 Sartorius, C. 1869

Año	Tipo de Erupción	Caída	Flujos	Observaciones	Referencia
1880	Efusiva		Flujo de lava al SW Flujo de bloques y ceniza al SE	Incuantificables eventos durante los años 1880 y 1881	Kerber, E. 1882 Saucedo, R., 2002
1885	Vulcaniana	Considerable caída de ceniza	Flujo de lava y balísticos SW Flujo de bloques y ceniza	Caída de ceniza en la ciudad de Colima Incendios en las laderas Barcena reporta el crecimiento de un domo	Barcena, M. 1887
1889	Explosiva	Abundante caída de ceniza a 75km al NW y 110km al NE	Flujos Piroclásticos al SE y SW	Actividad asociada a sismicidad Lluvia de ceniza durante varias horas en la ciudad de Tecolotlán Caída de ceniza en Poncitlan	Arreola, J. 1915 DOGEJ, 1889 Medina, F. 1983
1890	Explosiva	Abundante caída de ceniza a 100km de radio y 300km NE	Flujo de bloques y ceniza	Caída de ceniza en Zapotlan, Guanajuato y Silao VEI 4	Arreola, J. 1915 De la Cruz, S. 1993 Medina, F. 1983
1891-1895	Explosiva	Emisión de tefra	Flujos de lava	Caída de ceniza en la ciudad de Colima	Arreola, J. 1915 Medina, F. 1983
1899-1902	Explosiva	Considerable caída de ceniza		Más de 1000 erupciones para cada año. Caída de arena fina en Zapotlan	Arreola, J. 1915 Díaz, S. 1906 Starr, F. 1903
1903	Explosiva	Considerable 25.5km al NE 200km NE Lluvia de granos porfíricos a 20km al SE Nube de ceniza y arena al E-NE	Emisión de balísticos al W y SW	Caída de ceniza en Tuxpan, Tecalitlan, Zapotlan, Guadalajara, Uruapan y la Ciudad de Colima. Cultivos fueron cubiertos por una fina y gris capa de ceniza. Colecta de granos porfíricos en Piaya y El Platanar	Arreola, J. 1915 Ordoñez, E. 1903 Starr, F. 1903
1904-1906	Explosiva	Abundantes emisiones de ceniza	Material piroclástico	Crecimiento de domo de lava. Avalancha de bloques de lava	De la Cruz, S. 1993 Díaz, S. 1906
1913	Pliniana	Columna de 21km de altura Dispersión a 725km al NE Caída de arena 3 Flujos de ceniza en la B. Montegrande.	Flujos piroclásticos a 15km al S con depósitos de ceniza y bloques de 40cm de espesor	Espesor de ceniza de 15cm en Zapotlan Caída de ceniza en Saltillo Volumen total estimado de 0.9km ³ El edificio pierde 100m de altura y se forma un cráter de 400m de diámetro	Arreola, J. 1915 Saucedo, R., 1997 Waitz, P. 1935
1930	Efusiva		Flujo de lava de 150m	La incandescencia fue observada en la Hacienda La Esperanza	Zehle, W. 1932
1954-1955	Altas precipitaciones		Lahares en la ladera S del Volcán	Derivado del paso de un huracán.	Padilla, R. 2007
1961-1962	Efusiva		Flujo de lava andesítico al N alcanza 1km aproximadamente Flujo de lava al NE y NW Flujo de bloques y ceniza al S 4.5km	Domo de lava activo	Luhr, J. 1990 Mooser, F. 1961

Año	Tipo de Erupción	Caída	Flujos	Observaciones	Referencia
1975-1976	Efusiva		Flujo de bloques de lava al NE y SE 2.5km Flujo de lava al SE 3.5km Flujos piroclásticos Flujo de bloques y ceniza 1km	El flujo de lava se divide al llegar al Volcancito Domo de 100m de diámetro y 15m sobre el nivel del cráter	Thorpe, R. 1977
1981-1982	Explosiva	Columna oscura de ceniza	Flujo andesítico de lava al S 1km Flujo de bloques y ceniza 2km	Sismicidad en San Marcos	De la Cruz, S. 1993 Luhr, J. 1990
1987	Freática	Columna de 1000m al SE	Flujo de bloques y ceniza Talud de escoria y arena al SW	Explosión en cráter deja 100-150m de diámetro. Avalancha tipo Merapi.	Luhr, J. 1990 Smithsonian Institution, 1987
1991	Explosiva	Nube de ceniza 1.5km	Material incandescente, flujos piroclásticos y flujos de lava de 300m, 200m y 2km al SW por la Barranca El Cordobán	Crecimiento de nuevo domo y parcial colapso al SW. Avalancha tipo Merapi 4km	Rodríguez, S. 1991 Saucedo, R., 2001
1994	Freática	Lluvia de ceniza al W	Incandescencia al SW. Balísticos hacia El Playón	Avalancha de rocas. Diámetro de cráter de 140m con profundidad de 50m	Núñez, F. 1994 Saucedo, R., 2001

Apéndice 2. Descripción de perfiles edáficos.

Hábitat de Terrazas Antiguas.

- Terraza Antigua Alta:

I. Información acerca de la localidad

- Número del perfil:** 60
- Clasificación del suelo WRB:** Haplic-Regosol (arénico).
- Fecha de descripción:** 10 de diciembre de 2009.
- Localización:** Barranca Montegrando.
 - Coordenadas UTM: 645271; 2151018.
 - Altitud: 1824m s.n.m.
- Forma del terreno**
 - Posición fisiográfica: En el piedemonte volcánico al interior la unidad de Terraza Antigua de la ladera Oeste de la Barranca Montegrando, con una forma de la vertiente plana en planta, convexa en perfil (LV).
 - Pendiente: 10%, fuertemente inclinada. Exposición: NW.
- Uso de suelo/vegetación:** Bosque templado de pino-encino.
- Clima:** Aw = Cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación pluvial que varía de 1100 a 2000 mm al año, periodo de lluvias de junio a octubre, temperatura media anual de 25° a 27°C, libre de heladas y época seca de 7 a 9 meses.

II. Información general acerca del suelo

- Material parental:** Deposito lahárico.
- Drenaje natural:** Excesivo, con rápida infiltración y sin evidencia de agua interna libre.
- Condiciones de humedad en el perfil:** Seco.
- Profundidad del manto freático:** Desconocida.
- Presencia de rocas superficiales:** Sí, 35% de clastos (<20cm) y bloques (>30cm).
- Evidencia de Erosión:** Ninguna.
- Presencia de sales en suelo:** No.
- Influencia humana:** Ninguna.

III. Descripción breve del perfil

Perfil medianamente profundo de tres horizontes, excesivamente drenado, con color húmedo de café grisáceo amarillento a negro parduzco, de apariencia uniforme difusa, con pedregosidad mediana en casi toda su extensión y una rocosidad mediana. La textura es arenosa franca en todos los horizontes. Presenta desarrollo de estructura subangular en bloques con muy baja estabilidad de agregados de grado de estructura débil y tamaño fino (5 a 10mm) en los dos primeros horizontes y granular en el último. Todo el perfil es friable con abundante porosidad, variando el tamaño de poros de gruesos a finos y el incremento de la densidad aparente en profundidad. La distribución de raíces es extremadamente alta, con la mayor densidad en los primeros 37 cm.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Prof. (cm)	Características
Mantillo Moder	L 0-2	Hojarasca compuesta principalmente por acículas de pinos con algunas hojas de <i>Quercus</i> , vegetación rastrera y musgos.
	Of 2-4	Posee restos orgánicos notoriamente fragmentados con poca actividad biológica de insectos y hongos fundamentalmente.
	Oh 4-5.5	Muestra estructuras vegetales muy fragmentadas con gran cantidad de raíces finas e incipiente capa de excretas de nematodos.

Horizonte	Prof. (cm)	Características
Ah	0-7	Color café grisáceo amarillento (10YR 4/2); textura arenosa franca; contenido bajo de materia orgánica (1.4%); ligeramente ácido (pH=6); humedad seca (pF 4); débil estructura subangular en bloques finos con muy baja estabilidad de agregados; baja pedregosidad (5%); muchos poros inped-exped, finos y medianos, así como pocos vesiculares gruesos; densidad aparente baja (1.2); densidad de raíces extremadamente alta (>50/dm ²); y límite uniforme y claro. Moderada reacción al aluminio activo.
C1	7-37	Color negro parduzco en húmedo (10YR 3/2); textura arenosa franca; contenido medio de materia orgánica (2.2%); moderadamente ácido (pH=5); humedad fresca (pF 3); débil estructura subangular en bloques finos con baja estabilidad de agregados; moderada pedregosidad (20%); muchos poros vesiculares finos y medianos, así como pocos intersticiales; densidad aparente alta (1.6); densidad de raíces extremadamente alta (>50/dm ²); y límite uniforme y difuso. Alta reacción al aluminio activo.
C2	37-74	Color negro parduzco en húmedo (10YR 3/2); textura arenosa franca; contenido bajo de materia orgánica (1.9%); ligeramente ácido (pH=6); humedad fresca (pF 3); estructura granular con muy baja estabilidad; moderada pedregosidad (20%); muchos poros vesiculares finos y medianos; densidad aparente alta (1.6); densidad de raíces baja (3-5/dm ²); y límite uniforme y difuso. Moderada reacción al aluminio activo.

V. Procesos pedogenéticos dominantes

Este suelo parece haberse formado *in situ* a partir de la alteración del material parental lahárico procedente de las partes altas del Volcán, el cual se presenta ligeramente saprolitizado. Los procesos pedogenéticos dominantes son la mineralización de materia orgánica así como la formación de estructura subangular en bloques de grado débil. La reacción al aluminio activo sugiere la formación de minerales secundarios de bajo orden estructural como alofano e imogolita; es decir que la estructura podría deberse al predominio de arcillas no cristalinas. Al presentar un mantillo tipo Moder se deberían tener valores de 18-29 en la relación carbono-nitrógeno; sin embargo, en los primeros 7cm superficiales se observan bajos valores de 12.69 y un testigo de 10.73; lo cual indica un proceso mayor de mineralización que de humificación de la materia orgánica. El suelo estudiado presenta los siguientes indicadores estimados a partir del levantamiento en campo, a partir de los cuales podemos evaluar su eficiencia en el desempeño de las funciones de los suelos.

- Textura arenosa franca.
- pH de 5 a 6 en campo, de 6.7 a 7.28 en H₂O y de 6 a 6.24 en KCl.
- Profundidad fisiológica mediana (37 cm).
- Capacidad de aireación (CA) alta.
- Volumen total de poros (VPT) bajo a mediano (35 a 41%).
- Capacidad de agua disponible (dCC) y Capacidad de Campo (CC) bajas.
- Drenaje natural excesivo, con conductividad hidráulica (Kf) alta a muy alta.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) baja.
- Saturación de bases intercambiables (BI) mediana.
- Erodabilidad baja, protegida por un mantillo Moder (L-Of-Oh-Ah).
- Nitrógeno de reserva (Nt) mediano y disponible (Nd) bajo.
- Fósforo bajo.

La escasa profundidad, la presencia de un material parental consolidado, el drenaje natural y la posición en el relieve de este suelo lo hacen adecuado para seguir conservándolo como vegetación natural de bosque templado. Lo anterior debido a las bajas dCC y CC en la mayor parte del perfil, la CA alta y el drenaje natural excesivo; que lo hacen un suelo con limitaciones físicas para ser soporte de vegetación arbustiva y arbórea, ya que en la temporada de secas sufrirá estrés hídrico.

Además la profundidad fisiológica somera puede condicionar el desarrollo de algunas especies arbóreas. También son limitantes la CIC baja y la media concentración de BI con pH's que varían de ligeramente ácidos a neutros, mismas que condicionan la presencia cationes de Ca, Mg, K y Na a causa de procesos de lixiviación; esto, junto con la baja disponibilidad de nitrógeno y fósforo, representan una seria restricción en cuanto a aporte de nutrientes para las plantas.

De igual forma, su densidad aparente baja a alta, estructura y porosidad, limitan en cierto grado el potencial de este suelo para ser hábitat de organismos, ya que en superficie no provee un sustrato estable para la construcción de galerías y en profundidad simplemente no permite su establecimiento; además se enfrentan a tener que adaptarse a condiciones de falta de humedad en la época de secas.

Por otro lado, la capacidad de este suelo como filtro, transformador y amortiguador es baja debido a su baja CIC y a que posee bajas cantidades de materia orgánica humificada, por lo que los iones contaminantes en solución tenderán a ser lavados verticalmente. Respecto a la función de regulador del ciclo hidrológico, su contribución es notable por su conductividad hidráulica alta que indica que el agua se infiltra fácilmente. Este suelo tiene el potencial de ser un sumidero incipiente de carbono, siempre y cuando la materia orgánica proveniente de la mineralización, se degrade a huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

En general este suelo no es apto para la agricultura, aunque es ligeramente sensible a la erosión y al empobrecimiento en nutrientes si no se le maneja adecuadamente; sin embargo, y a pesar de todas las limitantes que muestra para el establecimiento de las plantas, la vegetación ha logrado establecerse y desarrollarse de manera exitosa, tal como lo muestra el tipo de mantillo Moder compuesto por hojarasca proveniente de estratos arbóreos principalmente.

Dadas estas características, la clasificación de este suelo como un Regosol se debe a que no se presenta un suelo significativamente desarrollado y la influencia de los procesos pedogenéticos es mínima, registrando un solo horizonte Ah y dos horizontes C.

• *Terraza Antigua Media:*

I. Información acerca de la localidad

- a. **Número del perfil:** 36
- b. **Clasificación del suelo WRB:** Haplic-Regosol (arénico).
- c. **Fecha de descripción:** 11 de diciembre de 2009.
- d. **Localización:** Barranca Montegrando.
 - Coordenadas UTM: 645386; 2150451.
 - Altitud: 1775m s.n.m.
- e. **Forma del terreno**
 - Posición fisiográfica: En el piedemonte volcánico al interior la unidad de Terraza Antigua de la ladera Oeste de la Barranca Montegrando, con una forma de la vertiente convexa en planta, convexa en perfil (VV).
 - Pendiente: 9%, moderadamente inclinada. Exposición: S.
- f. **Uso de suelo/vegetación:** Bosque templado de pino-encino.
- g. **Clima:** Aw = Cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación pluvial que varía de 1100 a 2000 mm al año, periodo de lluvias de junio a octubre, temperatura media anual de 25° a 27°C, libre de heladas y época seca de 7 a 9 meses.

II. Información general acerca del suelo

- a. **Material parental:** Deposito lahárico.
- b. **Drenaje natural:** Excesivo, con rápida infiltración y sin evidencia de agua interna libre.
- c. **Condiciones de humedad en el perfil:** Seco.
- d. **Profundidad del manto freático:** Desconocida.
- e. **Presencia de rocas superficiales:** Sí, 10% de clastos (>12cm) y bloques (< 30cm).
- f. **Evidencia de Erosión:** Ninguna.
- g. **Presencia de sales en suelo:** No.
- h. **Influencia humana:** Veredas y alambrado.

III. Descripción breve del perfil

Perfil poco profundo de tres horizontes, con drenaje excesivo, con color en húmedo de negro a café grisáceo, de apariencia uniforme en su mayoría, con baja pedregosidad y rocosidad fina en casi toda su extensión. La textura es de arenosa franca a arenosa en profundidad. Tiene desarrollo de estructura subangular en bloques, con alta a muy baja estabilidad de agregados de grado de estructura moderada a débil y tamaño medio (10 a 20mm) en los dos primeros horizontes y masiva en el último. El perfil es friable con poros en abundancia, variando el tamaño de gruesos a medianos y la densidad aparente de baja a alta en profundidad. La distribución de raíces es extremadamente alta, con la mayor densidad en los primeros 23 cm.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Prof. (cm)	Características
Ah	0-5/6	Color negro (10YR 2/1); textura arenosa franca; contenido medio de materia orgánica (3.1%); moderadamente ácido (pH=5); humedad seca (pF 4); moderada estructura subangular en bloques medianos con muy alta estabilidad de agregados; baja pedregosidad (5%); muchos poros inped-exped, finos, así como pocos vesiculares y gruesos intersticiales; densidad aparente baja a media (1.2-1.4); densidad de raíces extremadamente alta (>50/dm ²); y límite abrupto-irregular. Nula reacción al aluminio activo.
C1	5/6-23	Color negro parduzco en húmedo (7.5YR 3/1); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.5%); moderadamente ácido (pH=5); humedad seca (pF 4); débil estructura subangular en bloques medianos con muy baja estabilidad de agregados; muy baja pedregosidad (3%); muchos poros vesiculares finos y gruesos comunes; densidad aparente alta (1.6); densidad de raíces muy alta (21-50/dm ²); y límite uniforme y gradual. Baja reacción al aluminio activo.
C2	23-33	Color negro parduzco en húmedo (7.5YR 3/2); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.5%); moderadamente ácido (pH=6); humedad fresca (pF 3); estructura masiva; moderada pedregosidad (25%); muchos poros vesiculares finos y pocos medianos; densidad aparente alta (1.8); densidad de raíces alta (11-20/dm ²); y límite uniforme y claro. Moderada reacción al aluminio activo.

V. Procesos pedogenéticos dominantes

Probablemente este suelo se formó *in situ* debido a la alteración del material parental lahárico, el cual tiene una saprolitización moderada. Como procesos pedogenéticos dominantes se observa la formación de estructura subangular en bloques y la degradación de materia orgánica que ha favorecido a la humificación, al generar un horizonte oscuro. Solo se tuvo una moderada reacción al aluminio en el último horizonte, lo cual nos indica una lixiviación de las arcillas no cristalinas formadas en horizontes más superficiales. En los primeros 5 a 6cm superficiales la relación carbono-nitrógeno, mostró valores de 17.26 con un testigo de 17.18; lo cual indica un proceso de humificación de materia orgánica proveniente de un delgado litter compuesto principalmente por acículas presentes en el mantillo tipo Mull.

El perfil de suelo presentó los siguientes indicadores obtenidos en campo, con los cuales podemos evaluar la eficiencia que posee en el desempeño de las funciones edáficas.

- Textura arenosa.
- pH de 5 en campo, de 6.22 a 7.86 en H₂O y de 5.35 a 7.11 en KCl.
- Profundidad fisiológica somera (23 cm).
- Capacidad de aireación (CA) de alta a muy alta.
- Volumen total de poros (VPT) mediano a bajo (44 a 35.5%).
- Capacidad de agua disponible (dCC) muy baja y Capacidad de Campo (CC) baja.
- Drenaje natural excesivo, con conductividad hidráulica (Kf) mediana a alta.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) baja a muy baja.
- Saturación de bases intercambiables baja.
- Erodabilidad baja, acentuada por un mantillo Mull (L-Ah).
- Nitrógeno de reserva (Nt) mediano a alto y disponible (Nd) mediano.
- Fósforo mediano.

Debido a la escasa profundidad, el drenaje natural excesivo y la posición en el relieve de este suelo, la Terraza Media debe seguir conservándose en su forma natural de bosque templado. Al tener baja cantidad de agua disponible, baja capacidad de campo, alta capacidad de aireación y el drenaje natural excesivo, tanto el soporte de vegetación arbustiva como el de arbórea tiene un estrés hídrico en la temporada de secas debido a la escasez de agua aprovechable en el suelo para las plantas. Por otro lado, existe una somera profundidad fisiológica que no permitirá el enraizamiento de árboles al tener un horizonte cementado muy próximo a la superficie por su cercanía al material parental. Los valores de baja a muy baja CIC y la baja concentración de bases intercambiables representan otra limitación, debido a que existe una lixiviación de cationes de Ca, Mg, K y Na, misma que se evidencia con el incremento del pH en profundidad; sin embargo la disponibilidad media de nitrógeno y fósforo, cumplen con un aporte de nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas.

Asimismo, la presencia de una densidad aparente baja a alta, una estructura ligeramente desarrollada y abundante porosidad, limitan el medio para el establecimiento de microfauna, que además de tener limitantes hídricas, tiene limitantes de recursos alimenticios al tener un escaso desarrollo de mantillo.

Por otra parte, este suelo tiene una baja capacidad como filtro, transformador y amortiguador, al registrar CIC de bajas a muy bajas y baja concentración de BI iones, por lo que los contaminantes no presentan limitaciones para infiltrarse al subsuelo. Además la alta relación C/N, sugiere que con el movimiento vertical de iones el suelo se empobrece de nutrimentos disponibles para el desarrollo vegetal. Debido a su alta conductividad hidráulica que permite la rápida infiltración cumple como regulador del ciclo hidrológico, favoreciendo al manto acuífero. Este suelo es viable como reserva de carbono, si su desarrollo edáfico no se ve interferido por el hombre, con lo cual se seguiría con el proceso de humificación y posterior formación de huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Dicho suelo no es apto para la agricultura, por lo que la vegetación natural aunada a los procesos de humificación serán los que limiten la tasa de erosión y con el paso del tiempo favorezcan la edafogénesis.

Dado lo anterior, este suelo fue clasificado como un Regosol debido a un pobre desarrollo del suelo y una baja influencia de los procesos pedogenéticos, identificando un solo horizonte Ah; seguido de dos C.

• *Terraza Antigua Baja:*

I. Información acerca de la localidad

- a. **Número del perfil:** 09
- b. **Clasificación del suelo WRB:** Haplic-Regosol (endoesquelético).
- c. **Fecha de descripción:** 11 de diciembre de 2009.
- d. **Localización:** Barranca Montegrande.
- Coordenadas UTM: 645442; 2149961.
- Altitud: 1696m s.n.m.
- e. **Forma del terreno**
- Posición fisiográfica: En el piedemonte volcánico al interior la unidad de Terraza Antigua de la ladera Este de la Barranca Montegrande, con una forma de la vertiente convexa en planta, plana en perfil (VL).
- Pendiente: 7%, moderadamente inclinada. Exposición: SE.
- f. **Uso de suelo/vegetación:** Matorral en bosque templado de pino-encino.
- g. **Clima:** Aw = Cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación pluvial que varía de 1100 a 2000 mm al año, periodo de lluvias de junio a octubre, temperatura media anual de 25° a 27°C, libre de heladas y época seca de 7 a 9 meses.

II. Información general acerca del suelo

- a. **Material parental:** Deposito lahárico.
- b. **Drenaje natural:** Excesivo, con rápida infiltración y sin evidencia de agua interna libre.
- c. **Condiciones de humedad en el perfil:** Seco.
- d. **Profundidad del manto freático:** Desconocida.
- e. **Presencia de rocas superficiales:** Sí, 75% de bloques (20-50cm).
- f. **Evidencia de Erosión:** Si, canales de escorrentía.
- g. **Presencia de sales en suelo:** No.
- h. **Influencia humana:** Ninguna.

III. Descripción breve del perfil

Perfil somero de dos horizontes, con drenaje excesivo, con color en húmedo de café grisáceo a café grisáceo amarillento, de apariencia uniforme en su mayoría, con mediana pedregosidad y rocosidad gruesa. La textura es de arenosa a arenosa franca en profundidad. Tiene desarrollo de estructura subangular en bloques, con baja a media estabilidad de agregados de grado de estructura media a fina y tamaño fino (5-10mm) en ambos horizontes. Es un perfil friable con poros abundantes que varían de gruesos a finos y una densidad aparente que va de baja a alta en profundidad. La distribución de raíces es de muy alta a mediana, con la mayor densidad en los primeros 4 cm.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Prof. (cm)	Características
Ah	0-4	Color café grisáceo (10YR 5/1); textura arenosa a arenosa franca; materia orgánica de 0.6%; ligeramente ácido (pH=6); humedad seca (pF 4); débil estructura subangular en bloques medianos a finos con baja a media estabilidad de agregados; baja pedregosidad (15%); muchos poros vesiculares medios y finos, así como pocos gruesos intersticiales; densidad aparente baja (1.2); densidad de raíces muy alta (21-50/dm ²); y límite abrupto-uniforme. Baja reacción al aluminio activo.
C1	4-10/11	Color café grisáceo amarillento (10YR 4/1); textura arenosa; materia orgánica de 1.1%; ligeramente ácido (pH=6); humedad seca (pF 4); débil estructura subangular en bloques finos con baja estabilidad de agregados; mediana pedregosidad (25%); muchos poros vesiculares y medios finos; densidad aparente alta (1.6); densidad de raíces muy alta (21-50/dm ²); límite irregular y gradual. Baja reacción al aluminio.

V. Procesos pedogenéticos dominantes

Este suelo se formó *in situ* debido a la alteración del material parental lahárico, el cual tiene una saprolitización incipiente. Como procesos pedogenéticos dominantes se observa la ligera formación de estructura subangular en bloques y la escasa degradación de materia orgánica que indica procesos de mineralización debido a que en los 11cm que tiene de espesor la relación carbono-nitrógeno, arrojó valores de 10.76 con un testigo de 8.46 en el primer horizonte y de 5.35 con un testigo de 2.95 en el segundo; indicando que la fracción de nutrientes aprovechables producida durante la mineralización de materia orgánica es ligeramente lixiviada. El tipo de mantillo encontrado en este perfil es del tipo Mull y se compone básicamente por acículas.

A continuación se presentan los siguientes indicadores obtenidos en campo, con los cuales se puede evaluar la eficiencia que posee este suelo en el desempeño de las funciones edáficas.

- Textura arenosa.
- pH de 6 en campo, de 6.99 a 7.47 en H₂O y de 5.81 a 6.69 en KCl.
- Profundidad fisiológica muy somera (4 cm).
- Capacidad de aireación (CA) de alta a muy alta.
- Volumen total de poros (VPT) mediano a bajo (41 a 35.5%).
- Capacidad de agua disponible (dCC) y Capacidad de Campo (CC) muy bajas.
- Drenaje natural excesivo, con conductividad hidráulica (Kf) mediana a alta.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) baja a muy baja.
- Saturación de bases intercambiables muy baja.
- Erodabilidad baja, acentuada por un incipiente y disperso mantillo Mull (L-Ah).
- Nitrógeno de reserva (Nt) y disponible (Nd) bajos.
- Fósforo bajo.

Este suelo posee una mínima profundidad, un gran drenaje natural y una no favorable posición en el relieve por lo que lo recomendable es que se conserve naturalmente como bosque templado. Además posee una dCC y una CC muy bajas, que sumadas al excesivo drenaje natural limitan drásticamente el soporte de estratos de la vegetación superiores al herbáceo; ya que las condiciones de humedad son prácticamente nulas en los meses previos debido a la gran infiltración que se observa. En este mismo sentido, la vegetación arbórea no podrá establecerse ya que el material parental se presenta a 11cm de la superficie y posee una fuerte resistencia al enraizamiento por lo que se necesita un mayor grado de intemperismo. Los valores de baja a muy baja CIC en conjunto con el muy bajo contenido de BI, revelan pobres concentraciones de cationes de Ca, Mg, K y Na. Lo anterior junto con la baja disponibilidad nitrógeno y fósforo, muestra un pobre aporte de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas.

Definitivamente, el interior de este suelo no favorece el desarrollo de un nicho para la microfauna al poseer una densidad aparente de baja a alta, una estructura mínimamente desarrollada y tener un espesor muy somero; ya que se ve limitado en humedad una parte del año y no brinda los nutrientes necesarios para realizar actividades metabólicas propias de los microorganismos.

Este suelo posee una baja capacidad como filtro, transformador y amortiguador, al tener evaluaciones bajas a muy bajas de CIC, muy baja concentración de BI, baja cantidad de materia orgánica mineralizada y humificada, así como una escasa profundidad; situación que demuestra una baja aportación de los elementos necesarios para evitar la acidez del suelo por factores externos. La regulación del ciclo hidrológico se ve favorecida por la alta conductividad hidráulica, que enriquece al manto acuífero. Este suelo aun no es viable como reserva de carbono, debido a su escaso

desarrollo y su baja cantidad de materia orgánica y no es apto para la agricultura, ya que tiene un escaso desarrollo pedogenéticos que incluso afecta al establecimiento de la vegetación natural, lo cual acelera los procesos de erosión.

Este suelo fue clasificado como un Regosol debido al incipiente desarrollo del suelo y el escaso avance de los procesos pedogenéticos, identificando un solo horizonte Ah y un solo horizonte C.

Hábitat de Terrazas Recientes.

- *Terraza Reciente Alta:*

I. Información acerca de la localidad

- a. **Número del perfil:** 60
- b. **Clasificación del suelo WRB:** Haplic-Regosol (arénico).
- c. **Fecha de descripción:** 10 de diciembre de 2009.
- d. **Localización:** Barranca Montegrande.
 - Coordenadas UTM: 645236; 2150987.
 - Altitud: 1813m s.n.m.
- e. **Forma del terreno**
 - Posición fisiográfica: En el piedemonte volcánico al interior la unidad de Terraza Reciente de la ladera oeste de la Barranca Montegrande, con una forma de la vertiente plana en planta, plana en perfil (LL).
 - Pendiente: 0.5%, Casi plana. Exposición: NW.
- f. **Uso de suelo/vegetación:** Herbazal.
- g. **Clima:** Aw = Cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación pluvial que varía de 1100 a 2000 mm al año, periodo de lluvias de junio a octubre, temperatura media anual de 25° a 27°C, libre de heladas y época seca de 7 a 9 meses.

II. Información general acerca del suelo

- a. **Material parental:** Deposito lahárico.
- b. **Drenaje natural:** Bueno, sin rapidez de infiltración y con evidencia de agua interna libre a profundidad sin especificar la duración.
- c. **Condiciones de humedad en el perfil:** Seca a Fresca.
- d. **Profundidad del manto freático:** Desconocida.
- e. **Presencia de rocas superficiales:** Sí, existe un 35% de clastos (<20cm) y bloques (>30cm).
- f. **Evidencia de Erosión:** Laminar
- g. **Presencia de sales en suelo:** No.
- h. **Influencia humana:** Ninguna.

III. Descripción breve del perfil

Perfil ligeramente profundo de dos horizontes, bien drenado, con color negro parduzco, de apariencia uniforme difusa, con pedregosidad mediana y rocosidad mediana. La textura es de arenosa a arenosa franca. Presenta desarrollo de estructura subangular en bloques con baja estabilidad de agregados de grado de estructura medio y tamaño fino (5 a 10mm) en el primer horizonte y masiva en el último. Todo el perfil es friable con abundante porosidad, variando el tamaño de poros de medianos a finos y el incremento de la densidad aparente de media a alta en profundidad. La distribución de raíces es de extremadamente alta a alta, con la mayor densidad en los primeros 1.5cm.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Prof. (cm)	Características
Ah	0-1.5	Color negro parduzco (10YR 3/1); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.5%); ligeramente ácido (pH=6); humedad seca (pF 4); mediana estructura subangular en bloques granulares finos con baja estabilidad de agregados; baja pedregosidad (3%); muchos poros medianos intersticiales, así como pocos vesiculares; densidad aparente media (1.4); densidad de raíces extremadamente alta (>50/dm ²); y límite uniforme y difuso. Sin reacción al aluminio activo.
C1	1.5-23	Color negro parduzco (10YR 3/2); textura arenosa arenosa-franca; contenido bajo de materia orgánica (1.8%); moderadamente ácido (pH=5); humedad fresca (pF 3); con estructura masiva; baja pedregosidad (15%); muchos poros finos y pocos medianos; densidad aparente alta (1.8); densidad de raíces alta (11-20/dm ²); y límite uniforme y difuso. Leve reacción al aluminio activo.

V. Procesos pedogenéticos dominantes

Este suelo se ha formado *in situ* a partir de la alteración del reciente material parental lahárico procedente de las partes altas del Volcán, el cual se presenta mínimamente saprolitizado. Los procesos pedogenéticos dominantes son la mineralización de materia orgánica así como la formación de estructura subangular en bloques de grado medio. La reacción al aluminio activo sugiere una escasa formación de alofano e imogolita. Al presentar un mantillo tipo Mull con una relación carbono-nitrógeno de 6.57 con un testigo de 5.93 en el primer horizonte, y 7.14 con un testigo de 3.06 en el segundo; evidenciando un proceso de mineralización de la materia orgánica y una incipiente humificación dada la coloración oscura del suelo, así como una lixiviación al ser mayor la relación C/N en el segundo horizonte.

Este suelo presenta los siguientes indicadores para evaluar su eficiencia en el desempeño de las funciones de los suelos, mismos que fueron estimados en campo.

- Textura arenosa a arenosa franca.
- pH de 6 a 5 en campo, de 6.03 a 7.65 en H₂O y de 5.6 a 6.58 en KCl.
- Profundidad fisiológica somera (23 cm).
- Capacidad de aireación (CA) muy alta.
- Volumen total de poros (VPT) bajo (36 a 39.5%).
- Capacidad de agua disponible (dCC) y Capacidad de Campo (CC) muy bajas.
- Drenaje natural bueno, con conductividad hidráulica (Kf) de alta a mediana.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) muy baja a baja.
- Saturación de bases intercambiables (BI) baja.
- Erodabilidad muy baja, protegida por un mantillo Mull (L-Ah).
- Nitrógeno de reserva (Nt) y disponible (Nd) mediano.
- Fósforo mediano.

La mínima profundidad, la escasa saprolitización, el drenaje natural y su vulnerabilidad a nuevos eventos laháricos sugieren que debe seguir conservándose naturalmente. Esto debido a las muy bajas dCC y CC en el perfil, la CA muy alta, el buen drenaje natural y la conductividad hidráulica alta a mediana; que producen un suelo con limitaciones físicas para el buen desarrollo de vegetación arbustiva y arbórea, ya que en la temporada de secas sufrirá estrés hídrico. Sumado a esta condición se observa una pobre profundidad fisiológica que condiciona el establecimiento de algunas especies arbóreas que necesitan un espacio amplio para el enraizamiento. Por otro lado, la muy baja CIC, con pH's ligeramente ácidos limita el contenido de BI, por lo que se da una baja concentración nutrientes aprovechables por la vegetación debido a la falta de cationes de Ca, Mg, K y Na; sin

embargo, la mediana disponibilidad de nitrógeno y fósforo, podrían contribuir a la nutrición de las plantas.

Asimismo, su densidad aparente alta, su estructura masiva y baja porosidad en profundidad, limitan su viabilidad como hábitat de organismos, ya que en profundidad no se observa un sustrato estable para la construcción de galerías y en superficie la baja humedad no favorece las reacciones metabólicas necesarias para la formación de nutrimentos.

La capacidad de este suelo como filtro, transformador y amortiguador es limitada debido a su muy baja CIC, baja concentración de BI y a que posee bajas cantidades de materia orgánica humificada con coloraciones oscuras del perfil, por lo que los iones en solución son lixiviados. No obstante, debido a su capacidad de infiltración que enriquece al manto acuífero hacen que este suelo cumpla con un papel importante como regulador del ciclo hidrológico. Este suelo aun no tiene el potencial de ser un sumidero de carbono, debido a las bajas concentraciones de materia orgánica humificada; además no es apto para la agricultura debido a la infiltración y escasez de nutrientes y la poca erosión; que podría aumentar con un manejo inadecuado.

Con estas características, la clasificación de este suelo fue de Regosol al no tener horizontes bien desarrollados con una mínima influencia de procesos pedogenéticos es mínima, registrando un solo horizonte Ah y un horizonte C.

• *Terraza Reciente Media:*

I. Información acerca de la localidad

- a. **Número del perfil:** 36
- b. **Clasificación del suelo WRB:** Haplic-Regosol (arénico).
- c. **Fecha de descripción:** 10 de diciembre de 2009.
- d. **Localización:** Barranca Montegrando.
 - Coordenadas UTM: 645439; 2150461.
 - Altitud: 1764m s.n.m.
- e. **Forma del terreno**
 - Posición fisiográfica: En el piedemonte volcánico al interior la unidad de Terraza Antigua de la ladera este de la Barranca Montegrando, con una forma de la vertiente convexa en planta, plana en perfil (VL).
 - Pendiente: 9%, moderadamente inclinada. Exposición: SW.
- f. **Uso de suelo/vegetación:** Herbazal.
- g. **Clima:** Aw = Cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación pluvial que varía de 1100 a 2000 mm al año, periodo de lluvias de junio a octubre, temperatura media anual de 25° a 27°C, libre de heladas y época seca de 7 a 9 meses.

II. Información general acerca del suelo

- a. **Material parental:** Deposito lahárico.
- b. **Drenaje natural:** Excesivo, con rápida infiltración y sin evidencia de agua interna libre.
- c. **Condiciones de humedad en el perfil:** Seco.
- d. **Profundidad del manto freático:** Desconocida.
- e. **Presencia de rocas superficiales:** Sí, 10% de clastos mayores a 12cm y bloques menores a 30cm
- f. **Evidencia de Erosión:** Laminar con terrazas de hojarasca.
- g. **Presencia de sales en suelo:** No.

h. **Influencia humana:** Veredas y alambrado.

III. Descripción breve del perfil

Perfil poco profundo de dos horizontes, con drenaje excesivo, con color en húmedo de café grisáceo a negro parduzco, de apariencia uniforme en su mayoría, con baja pedregosidad y rocosidad fina. La textura es arenosa franca en todo el perfil. Tiene desarrollo de estructura subangular en bloques, con alta estabilidad de agregados de grado de estructura débil y tamaño fino (5 a 10mm) en el primer horizonte y masiva en el último. El perfil es disgregable con poros en abundancia, variando el tamaño de medianos a finos y la densidad aparente de media a alta en profundidad. La distribución de raíces es de extremadamente alta a baja, con la mayor densidad en los primeros 2cm.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Prof. (cm)	Características
Ah	0-2	Color café grisáceo (10YR 4/1); textura arenosa franca; contenido bajo de materia orgánica (1.2%); ligeramente ácido (pH=6); humedad seca (pF 4); débil estructura subangular en bloques finos con alta estabilidad de agregados; baja pedregosidad (3%); muchos poros vesiculares medianos y finos; densidad aparente mediana (1.4); densidad de raíces extremadamente alta (>50/dm ²); y límite uniforme-gradual. Baja reacción al aluminio activo.
C1	2-20	Color negro parduzco en húmedo (10YR 3/1); textura arenosa franca; contenido bajo de materia orgánica (1.8%); ligeramente ácido (pH=6); humedad seca (pF 4); con estructura masiva; baja pedregosidad (7%); muchos poros finos y pocos medianos; densidad aparente alta (1.6); densidad de raíces baja (3-5/dm ²); y límite uniforme y gradual. Baja reacción al aluminio activo.

V. Procesos pedogenéticos dominantes

Este suelo tiene una formación *in situ* por la alteración del material parental lahárico, el cual tiene una saprolitización mínima. Como procesos pedogenéticos dominantes se observa la débil formación de estructura subangular en bloques y la degradación de materia orgánica, al generar horizontes oscuros. La reacción al aluminio fue baja en ambos horizontes, lo cual indica escasa presencia de alofano. En los primeros 2cm la relación carbono-nitrógeno, mostró valores de 21.60 con un testigo de 20.42, mientras que de los 2 a los 20cm disminuyó a 2.58 con un testigo de 2.42; lo cual indica un proceso de humificación de materia orgánica proveniente del interior de un delgado litter compuesto principalmente por acículas presentes en el mantillo tipo Mull, por lo que el desarrollo edafogenético se ve favorecido.

El perfil de suelo presentó los siguientes indicadores obtenidos en campo, con los cuales se puede determinar la eficiencia que tiene en el desempeño de las funciones edáficas.

- Textura arenosa franca.
- pH de 6 en campo, de 7.44 a 7.58 en H₂O y de 6.76 a 6.94 en KCl.
- Profundidad fisiológica somera (20 cm).
- Capacidad de aireación (CA) alta.
- Volumen total de poros (VPT) mediano a bajo (41 a 35%).
- Capacidad de agua disponible (dCC) y Capacidad de Campo (CC) muy bajas.
- Drenaje natural excesivo, con conductividad hidráulica (Kf) alta a mediana.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) baja.
- Saturación de bases intercambiables baja.
- Erodabilidad baja, protegida por un mantillo Mull (L-Ah).
- Nitrógeno de reserva (Nt) mediano y disponible (Nd) bajo.
- Fósforo bajo.

Este suelo debe seguir conservándose como de forma natural al poseer una escasa profundidad, un drenaje natural excesivo y una posición en el relieve vulnerable a la actividad lahárica. Además se caracteriza por tener muy baja cantidad de agua disponible, muy baja capacidad de campo, alta capacidad de aireación, drenaje natural excesivo, conductividad hidráulica de media a alta y mínima profundidad fisiológica; esto reduce las posibilidades de tener agua disponible en la temporada de secas ya que la mayor parte del agua obtenida en lluvias es infiltrada durante el año o evaporada con el aumento de temperatura; lo cual limita al establecimiento de vegetación arbórea que no tenga un buen soporte al estrés hídrico y no sea capaz de enraizarse dada la compactación del suelo. Al presentar una baja capacidad de campo y una baja concentración de bases intercambiables se ve limitada la concentración de cationes de Ca, Mg, K y Na, lo cual aunado a la disponibilidad media de fósforo, evidencia un restringido aporte de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas; sin embargo, al presentar pH´ ligeramente alcalinos es probable que la limitación no sea drástica.

La alta densidad aparente, la estructura ligeramente desarrollada y la abundante porosidad, condicionan el establecimiento de microfauna, que si bien tienen limitantes hídricas las concentraciones de nutrimentos podrían ser una ventaja para ellos.

Por otro lado, este suelo registra una capacidad de intercambio catiónico muy baja, alta infiltración que podría favorecer la lixiviación de iones en solución y pH´s ligeramente alcalinos, lo que lo califica con una moderada capacidad de filtro, transformador y amortiguador. Su papel como regulador del ciclo hidrológico es importante al favorecer la recarga del manto acuífero con alta conductividad hidráulica. Este suelo es viable como reserva de carbono, si su desarrollo edáfico no se ve interferido por el hombre o nuevos eventos laháricos, con lo cual se seguiría un proceso de humificación y posterior formación de huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Dadas estas condiciones este suelo no es apto para la agricultura, por lo que es recomendable que no se le altere antrópicamente esperando que los procesos de humificación sigan como hasta ahora y favorezcan su desarrollo edafogenético.

Se clasificó este suelo como un Regosol ya que posee un incipiente desarrollo de horizontes mínimamente saprolitizados con una baja influencia de los procesos pedogenéticos, identificando un solo horizonte Ah; seguido de un C.

• *Terraza Reciente Baja:*

I. Información acerca de la localidad

- a. **Número del perfil:** 09
- b. **Clasificación del suelo WRB:** Haplic-Regosol (désico, endoesquelético).
- c. **Fecha de descripción:** 11 de diciembre de 2009.
- d. **Localización:** Barranca Montegrande.
 - Coordenadas UTM: 645403; 2149 953.
 - Altitud: 1696m s.n.m.
- e. **Forma del terreno**
 - Posición fisiográfica: En el piedemonte volcánico al interior la unidad de Terraza Antigua de la ladera oeste de la Barranca Montegrande, con una forma de la vertiente convexa en planta, plana en perfil (VL).
 - Pendiente: 1%, casi plana. Exposición: SE.
- f. **Uso de suelo/vegetación:** Matorral.

- g. **Clima:** Aw = Cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación pluvial que varía de 1100 a 2000 mm al año, periodo de lluvias de junio a octubre, temperatura media anual de 25° a 27°C, libre de heladas y época seca de 7 a 9 meses.

II. Información general acerca del suelo

- a. **Material parental:** Deposito lahárico.
 b. **Drenaje natural:** Excesivo, con rápida infiltración y sin evidencia de agua interna libre.
 c. **Condiciones de humedad en el perfil:** Seco.
 d. **Profundidad del manto freático:** Desconocida.
 e. **Presencia de rocas superficiales:** Sí, 95% de bloques de entre 20 y 50cm
 f. **Evidencia de Erosión:** Si, canales de escorrentía, erosión laminar, cárcavas y surcos.
 g. **Presencia de sales en suelo:** No.
 h. **Influencia humana:** Ninguna.

III. Descripción breve del perfil

Se trata de un perfil muy somero con el incipiente desarrollo de un horizonte, drenaje excesivo, color en húmedo café parduzco, de apariencia uniforme, con alta pedregosidad en toda su extensión y rocosidad gruesa en superficie. La textura es arenosa. Tiene desarrollo de una débil estructura subangular en bloques, con muy baja estabilidad de agregados de grado medio que rompe a granular. Es un perfil muy deleznable con muchos poros grandes, medianos y finos, así como una baja densidad aparente. La distribución de raíces es muy alta, con la mayor densidad en los primeros 5 cm.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Prof. (cm)	Características
Ahm	0-5	Color café grisáceo (7.5YR 4/1); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1%); ligeramente ácido (pH=6); humedad seca (pF 4); débil estructura subangular en bloques medianos que rompen a finos con muy baja estabilidad de agregados; mediana pedregosidad (40%); muchos poros vesiculares grandes, medios y finos, así como pocos gruesos intersticiales; densidad aparente baja (1.2); densidad de raíces muy alta (21-50/dm ²); y límite claro-uniforme. Baja reacción al aluminio activo.

V. Procesos pedogenéticos dominantes

Debido a la alteración del material parental lahárico la formación de este suelo fue *in situ*, con una saprolitización incipiente. Los procesos pedogenéticos dominantes son la ligera formación de estructura subangular en bloques y la escasa degradación de materia orgánica que indica procesos de mineralización con una relación carbono-nitrógeno de 4.38 y un testigo de 3.45 en el único horizonte; indicando que la fracción de nutrimentos aprovechables producida durante la mineralización de materia orgánica es mínimamente lixiviada. Este perfil no tiene un mantillo.

Los siguientes indicadores obtenidos en campo permiten la evaluación de la eficiencia que posee este suelo en el desempeño de las funciones edáficas.

- Textura arenosa.
- pH de 6 en campo, de 7.38 en H₂O y de 5.81 a 6.52 en KCl.
- Profundidad fisiológica muy somera (5 cm).
- Capacidad de aireación (CA) muy alta.
- Volumen total de poros (VPT) bajo (39.5%).
- Capacidad de agua disponible (dCC) y Capacidad de Campo (CC) muy bajas.
- Drenaje natural excesivo, con conductividad hidráulica (Kf) alta.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) muy baja.
- Saturación de bases intercambiables muy baja.

- Erodabilidad media, acentuada por la ausencia de mantillo.
- Nitrógeno de reserva (Nt) y disponible (Nd) bajos.
- Fósforo muy bajo.

Este suelo tiene una escasa profundidad, un excesivo drenaje natural, una no favorable posición en el relieve y una considerable erosión por lo que lo mejor es que se conserve naturalmente. De igual forma las muy bajas capacidades de agua disponible y de campo, la incipiente profundidad fisiológica, la alta conductividad hidráulica y el drenaje natural son importantes limitantes del soporte de estratos de la vegetación; ya que favorecen condiciones de baja humedad en los meses previos a la temporada de lluvias. Además, los valores de muy baja capacidad de intercambio catiónico y muy bajo contenido de bases intercambiables, sugieren pobres concentraciones de cationes de Ca, Mg, K y Na; que sumadas a las bajas disponibilidades nitrógeno y fósforo evidencia una gran carencia de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas.

Definitivamente, este suelo no provee un nicho para el establecimiento de organismos al tener una estructura mínimamente desarrollada, un espesor muy somero y una ausencia de mantillo; limitando tanto la humedad una parte del año como los nutrimentos provenientes de la materia orgánica

Este suelo posee una baja capacidad como filtro, transformador y amortiguador, al registrar evaluaciones muy bajas de CIC, una muy baja concentración de bases intercambiables, una escasa profundidad y una mínima cantidad de materia orgánica humificada; características que no aportan los elementos necesarios para evitar la acidez del suelo. En cuanto a la regulación del ciclo hidrológico, este suelo juega un rol importante debido a la alta conductividad hidráulica, que enriquece al manto acuífero. Estas características muestran que este suelo aun no es viable para reserva de carbono, debido a su incipiente desarrollo, su mínima cantidad de materia orgánica y su ausencia de mantillo, por lo que además no es apto para la agricultura ya que esto aceleraría los procesos de erosión.

Este suelo fue clasificado como un Regosol debido al pobre desarrollo del suelo y la mínima influencia de procesos pedogenéticos, identificando un solo horizonte Ahm.

Hábitat de Abanicos Laháricos.

• Abanico Bajo:

I. Información acerca de la localidad

- a. **Número del perfil:** 1
- b. **Clasificación del suelo WRB:** Haplic-Regosol (arénico-dénsico).
- c. **Fecha de descripción:** 12 de diciembre de 2009.
- d. **Localización:** Barranca Montegrande.
- h. **Coordenadas UTM:** 646037; 2148831.
- i. **Altitud:** 1595m s.n.m.
- e. **Forma del terreno**
 - Posición fisiográfica: En el piedemonte volcánico al interior la unidad de Abanico Lahárico al oeste del cauce la Barranca Montegrande, con una forma del terreno cóncava en planta, plana en perfil (CL).
 - Pendiente: 9%, moderadamente inclinada. Exposición: S.
- f. **Uso de suelo/vegetación:** Matorral denso.

- g. **Clima:** Aw = Cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación pluvial que varía de 1100 a 2000 mm al año, periodo de lluvias de junio a octubre, temperatura media anual de 25° a 27°C, libre de heladas y época seca de 7 a 9 meses.

II. Información general acerca del suelo

- a. **Material parental:** Deposito lahárico.
 b. **Drenaje natural:** Excesivo, con rápida infiltración y sin evidencia de agua interna libre.
 c. **Condiciones de humedad en el perfil:** Seco.
 d. **Profundidad del manto freático:** Desconocida.
 e. **Presencia de rocas superficiales:** Sí, 10% de clastos (>12cm) y bloques (< 30cm).
 f. **Evidencia de Erosión:** Escorrentía.
 g. **Presencia de sales en suelo:** No.
 h. **Influencia humana:** Ganado.

III. Descripción breve del perfil

Perfil poco profundo con cuatro horizontes, drenaje excesivo, color en húmedo de café grisáceo a negro parduzco, de apariencia uniforme, con baja pedregosidad y rocosidad fina. La textura es arenosa franca en superficie y arenosa en los horizontes inferiores del perfil. Tiene desarrollo de estructura subangular en bloques de baja estabilidad de agregados con grado de estructura muy débil y tamaño fino (5 a 10mm) que rompe granos simples en los dos primeros horizontes y masiva en los dos últimos. El perfil es friable presenta abundantes poros que varían de gruesos a finos y una densidad aparente de baja a alta en profundidad. La distribución de raíces es de extremadamente alta a muy alta, con la mayor densidad en los primeros 7cm.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Prof. (cm)	Características
Ah1	0-3	Color café grisáceo (7.5YR 4/1); textura arenosa a arenosa franca; contenido medio de materia orgánica (2.5%); ligeramente ácido (pH=6); humedad seca (pF 4); muy débil estructura subangular en bloques finos con baja estabilidad de agregados que rompen a subangular finos y de grano simple; baja pedregosidad (2%); muchos poros expuestos vesiculares finos y pocos intersticiales gruesos; densidad aparente baja (1.2); densidad de raíces extremadamente alta (>50/dm ²); y límite uniforme-claro. Sin reacción al aluminio activo.
Ah2	3-7	Color negro parduzco (10YR 3/2); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.5%); ligeramente ácido (pH=6); humedad seca (pF 4); muy débil estructura subangular en bloques finos con muy baja estabilidad de agregados que rompe a granos simples; baja pedregosidad (3%); muchos poros vesiculares finos y comunes vesiculares medianos; densidad aparente baja (1.3); densidad de raíces extremadamente alta (>50/dm ²); y límite uniforme y gradual. Sin reacción al aluminio activo.
C1	7-20	Color negro parduzco (10YR 3/2); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.1%); ligeramente ácido (pH=5-6); humedad seca (pF 4); estructura masiva; baja pedregosidad (5%); muchos poros vesiculares finos; densidad aparente alta (1.7); densidad de raíces muy alta (21-50/dm ²); y límite uniforme y gradual. Sin reacción al aluminio activo.
C2	20-29	Color negro parduzco (7.5YR 3/2); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.5%); ligeramente ácido (pH=6); humedad fresca (pF 3); estructura masiva; baja pedregosidad (18%); muchos poros vesiculares finos; densidad aparente alta (1.8); densidad de raíces muy alta (21-50/dm ²); y límite uniforme y abrupto. Sin reacción al aluminio activo.

V. Procesos pedogenéticos dominantes

A partir de la alteración del material parental lahárico se ha formado este suelo que tiene una formación *in situ*, el cual tiene una mínima saprolitización. Los procesos pedogenéticos que se evidencian son la débil formación de estructura subangular en bloques y la degradación de materia orgánica, con formación de horizontes oscuros. No hubo reacción al aluminio, por lo que no hay presencia de alofano. En los primeros 3cm se tiene una relación carbono-nitrógeno de 10.22 con un testigo de 9.58, mientras que de los 3 a los 7cm disminuyó a 5.37 con un testigo de 4.89; indicando un proceso de mineralización de materia orgánica proveniente del incipiente mantillo tipo Mull compuesto de vegetación tropical.

Estos son los indicadores obtenidos en campo que permiten determinar la eficiencia que este suelo tiene en el desempeño de las funciones edáficas.

- Textura arenosa a arenosa franca.
- pH de 6 en campo, de 7.17 a 7.63 en H₂O y de 6.57 a 7.65 en KCl.
- Profundidad fisiológica somera (29 cm).
- Capacidad de aireación (CA) alta a muy alta.
- Volumen total de poros (VPT) mediano a bajo (44 a 35.5%).
- Capacidad de agua disponible (dCC) y Capacidad de Campo (CC) muy bajas.
- Drenaje natural excesivo, con conductividad hidráulica (Kf) alta a mediana.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) baja a muy baja.
- Saturación de bases intercambiables baja.
- Erodabilidad baja, acentuada por un pobre mantillo Mull (L-Ah).
- Nitrógeno de reserva (Nt) mediano y disponible (Nd) bajo.
- Fósforo mediano.

Dados el excesivo drenaje, la poca profundidad y la vulnerabilidad lahárica de su posición conviene conservar este suelo de forma natural. Igualmente, los indicadores de muy baja cantidad de agua disponible, muy baja capacidad de campo, alta a muy alta capacidad de aireación, drenaje natural excesivo y baja profundidad fisiológica disminuyen las posibilidades de tener agua aprovechable en la temporada de secas; no obstante la conductividad hidráulica de alta a media en profundidad puede ser útil para retener el agua obtenida durante las lluvias limitando la evaporación cuando aumente la temperatura; lo anterior aunado a la densa cubierta vegetal puede favorecer el establecimiento de la vegetación al mantener la humedad necesaria para el transporte de nutrimentos al interior de las plantas.

El hecho de que se presente una baja a muy baja capacidad de campo y una baja concentración de bases intercambiables sugiere una baja concentración de cationes de Ca, Mg, K y Na; no así la presencia de pH's ligeramente alcalinos. Además, la buena relación C/N indica que el proceso de mineralización de materia orgánica aunado a la disponibilidad media de fósforo, proporcionan buen aporte de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas.

Asimismo, al existir una densidad aparente baja, un débil desarrollo de estructura, una abundante porosidad y una densa cubierta vegetal hay un exitoso establecimiento de microfauna que ha degradado rápidamente los restos orgánicos gracias a las superficiales condiciones de humedad, mismo que se reafirma con la presencia de un incipiente mantillo.

Este suelo posee una capacidad de intercambio catiónico muy baja y una concentración de bases intercambiables baja pero pH's ligeramente alcalinos y mediana conductividad hidráulica, calificándolo con una limitada capacidad como filtro, transformador y amortiguador, con baja lixiviación de iones en solución. Su regulación del ciclo hidrológico consiste en incrementar la

recarga del manto acuífero con alta conductividad hidráulica. En este suelo es viable como reserva de carbono, siempre y cuando no se vea interferido su desarrollo edáfico por eventos laháricos de mayor magnitud, con lo cual continuaría un proceso de mineralización y posterior formación de huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Dado lo anterior este suelo no es el indicado para la agricultura, por lo que la recomendación es no siga alterando por la actividad ganadera para que este disturbio no se sume al disturbio lahárico y los procesos pedogenéticos sigan como hasta ahora y favorezcan su desarrollo edafogénico.

Este suelo se clasificó como un Regosol al poseer un ligero desarrollo de horizontes levemente saporitizados con baja influencia de los procesos pedogenéticos, identificando dos horizontes Ah y dos C.

• *Abanico Medio:*

I. Información acerca de la localidad

- a. **Número del perfil:** 2
- b. **Clasificación del suelo WRB:** Haplic-Fluvisol (nóvico).
- c. **Fecha de descripción:** 12 de diciembre de 2009.
- d. **Localización:** Barranca Montegrande.
 - Coordenadas UTM: 646073; 2149097.
 - Altitud: 1600m s.n.m.
- e. **Forma del terreno**
 - Posición fisiográfica: En el piedemonte volcánico al interior la unidad de Abanico Lahárico al este del cauce de la Barranca Montegrande, con una forma del terreno plana en planta, plana en perfil (LL).
 - Pendiente: 5%, moderadamente inclinada. Exposición: W.
- f. **Uso de suelo/vegetación:** Matorral.
- g. **Clima:** Aw = Cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación pluvial que varía de 1100 a 2000 mm al año, periodo de lluvias de junio a octubre, temperatura media anual de 25° a 27°C, libre de heladas y época seca de 7 a 9 meses.

II. Información general acerca del suelo

- a. **Material parental:** Deposito lahárico.
- b. **Drenaje natural:** Excesivo, con rápida infiltración y sin evidencia de agua interna libre.
- c. **Condiciones de humedad en el perfil:** Seco.
- d. **Profundidad del manto freático:** Desconocida.
- e. **Presencia de rocas superficiales:** Sí, 40% clastos (<20cm) y bloques (>30cm).
- f. **Evidencia de Erosión:** Pie de vaca.
- g. **Presencia de sales en suelo:** No.
- h. **Influencia humana:** Ganado.

III. Descripción breve del perfil

Es un perfil considerablemente profundo con siete horizontes, excesivamente drenado, con color húmedo de café muy oscuro a café grisáceo amarillento, de apariencia uniforme, baja pedregosidad en casi toda su extensión y una rocosidad mediana. La textura es arenosa franca en superficie y arenosa en el resto de los horizontes. Muestra un débil desarrollo de estructura subangular en bloques con alta a mediana estabilidad y tamaño medio (10 a 20mm) a fino (5 a 10mm) en los dos primeros horizontes y granular en los siguientes. Todo el perfil es friable con variaciones de abundante porosidad fina a pocos poros medios en profundidad y un incremento de

la densidad aparente; además la distribución de raíces es extremadamente alta, con la mayor densidad en los primeros 13 cm.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Prof. (cm)	Características
Ah1	0-3	Color café muy oscuro (10YR 2/1); textura arenosa franca; contenido medio de materia orgánica (2.5%); ligeramente ácido (pH=6); humedad seca (pF 4); débil estructura subangular en bloques medianos con alta estabilidad de agregados; baja pedregosidad (2%); pocos poros vesiculares gruesos; densidad aparente baja (1.2); densidad de raíces extremadamente alta (>50/dm ²); y límite uniforme y claro. Sin reacción al aluminio activo.
Ah2	3-13	Color café grisáceo amarillento (10YR 4/2); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.2%); ligeramente ácido (pH=5-6); humedad seca (pF 4); débil estructura subangular en bloques medios que rompe a finos con mediana estabilidad de agregados; baja pedregosidad (2%); muchos poros finos vesiculares y pocos medios vesiculares; densidad aparente alta (1.6); densidad de raíces extremadamente alta (>50/dm ²); y límite uniforme y abrupto. Sin reacción al aluminio activo. Límite inferior con dos líneas café-rojizas de 1mm de grosor.
C1	13-27	Color café grisáceo muy oscuro en húmedo (10YR 3/2); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.1%); moderadamente ácido (pH=5-6); humedad seca (pF 4); estructura masiva; moderada pedregosidad (30%); muchos poros vesiculares finos y pocos medianos; densidad aparente alta (1.8); densidad de raíces alta (11-20/dm ²); y límite abrupto y ondulado. Sin reacción al aluminio activo. Límite inferior con capa café-rojiza ondulada de 3mm de grosor.
C2	27-45	Color negro parduzco en húmedo (7.5YR 3/1); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.5%); ligeramente ácido (pH=6); humedad seca (pF 4); estructura masiva; moderada pedregosidad (10%); muchos poros vesiculares finos; densidad aparente alta (1.6); densidad de raíces baja (3-5/dm ²); y límite uniforme y abrupto. Sin reacción al aluminio activo. Límite inferior con capa plana café-rojiza de 2mm de grosor.
C3	45-59	Color café grisáceo en húmedo (10YR 4/1); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.0%); ligeramente ácido (pH=6); humedad fresca (pF 3); estructura masiva; sin pedregosidad; muchos poros vesiculares finos; densidad aparente media (1.4); densidad de raíces media (6-10/dm ²); y límite uniforme y gradual. Moderada reacción al aluminio activo.
C4	59-68	Color café grisáceo en húmedo (10YR 4/1); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.5%); ligeramente ácido (pH=6); humedad fresca (pF 3); estructura masiva; sin pedregosidad; muchos poros vesiculares finos; densidad aparente alta (1.6); densidad de raíces media (6-10/dm ²); y límite uniforme y gradual. Moderada reacción al aluminio activo.
C5	68-96	Color café grisáceo amarillento (10YR 4/2); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.5%); ligeramente ácido (pH=6); humedad fresca (pF 3); estructura masiva; sin pedregosidad; muchos poros vesiculares finos; densidad aparente alta (1.6); densidad de raíces media (6-10/dm ²); y límite uniforme y claro. Sin reacción al aluminio activo.

V. Procesos pedogenéticos dominantes

Este suelo se ha formado *in situ* a partir de la alteración del material parental lahárico que durante el descenso de lahares aporta delgados depósitos provenientes de las partes altas del Volcán, este material se encuentra ligeramente saprolitizado. Los procesos pedogenéticos que se observaron son la mineralización de materia orgánica, la formación de estructura subangular en bloques de grado débil e intemperismo químico al observar evidencia de acumulación de óxidos. La reacción al Aluminio activo solo se presentó en dos horizontes profundos, lo cual sugiere que la formación alofano e imogolita ocurrió durante la exposición superficial de esos horizontes o que existe un fuerte proceso de lixiviación. La relación carbono-nitrógeno en los primeros 3 cm superficiales fue de 12.11 y un testigo de 11.97, en tanto que de 3 a 13cm fue de 6.80 con un testigo de 6.40; indicando un proceso mayor de mineralización que de humificación de la materia orgánica de un matillo Mull.

El suelo estudiado muestra los siguientes indicadores estimados en campo, a partir de los cuales se evalúa cual es la eficiencia en el desempeño de las funciones de los suelos.

- Textura arenosa franca a arenosa.
- pH de 5 a 6 en campo, de 6.39 a 7.81 en H₂O y de 6.08 a 7.13 en KCl.
- Profundidad fisiológica mediana (27 cm).
- Capacidad de aireación (CA) alta a muy alta.
- Volumen total de poros (VPT) mediano a bajo (35.5 a 44%).
- Capacidad de agua disponible mediana (dCC) y Capacidad de Campo (CC) baja.
- Drenaje natural excesivo, con conductividad hidráulica (Kf) mediana a alta.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) baja a muy baja.
- Saturación de bases intercambiables (BI) mediana.
- Erodabilidad baja, acentuada por un mantillo Mull (L -Ah).
- Nitrógeno de reserva (Nt) media alta y disponible (Nd) media alta.
- Fósforo alta.

Este es un perfil que debe conservarse naturalmente dado que es bastante profundo, posee material parental consolidado, fuerte drenaje natural y una posición en el relieve poco vulnerable a la actividad lahárica. Las características relacionadas con la funcionalidad hídrica muestran mediana cantidad de agua disponible, la conductividad hidráulica de media a alta y la buena profundidad fisiológica, que sugieren la presencia de agua disponible para el aprovechamiento de las plantas; sin embargo, la baja capacidad de campo, la capacidad de aireación de alta a muy alta y el drenaje natural excesivo, reducen las posibilidades de tener agua disponible en la temporada de secas debido a una fuerte capacidad de infiltración, lo cual se reafirma con la presencia de acumulaciones de óxidos en horizontes subsuperficiales que pudieron haberse formado en condiciones aerobias.

Al presentar una baja a muy baja capacidad de campo y una mediana concentración de bases intercambiables, se condiciona la concentración de cationes de Ca, Mg, K y Na; sin embargo, al presentar pH ligeramente alcalinos esta limitación tal vez no sea tan severa; además se observa una buena disponibilidad de nitrógeno y una alta de fósforo, mismos que favorecen el desarrollo de las plantas.

En este suelo el establecimiento de microfauna se restringe a los dos primeros horizontes ya que en el resto se observa alta densidad aparente, estructura masiva y poca porosidad, lo cual representa una limitante física que sumada a las deficientes condiciones hídricas, representan una fuente de estrés por humedad.

En cuanto a la capacidad de este suelo como filtro, transformador y amortiguador se registra una capacidad de intercambio catiónico muy baja pero pH's ligeramente alcalinos y una concentración mediana de bases intercambiables, lo que lo califica con una moderada capacidad para retener iones en solución. En el ciclo hidrológico el papel regulador de este suelo se limita a la recarga del manto acuífero debido a la alta conductividad hidráulica. En este suelo es viable como reserva de carbono, si se reduce su uso de pastoreo y no es alcanzado por nuevos eventos laháricos, lo cual favorecería un proceso de humificación y posterior formación de huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Debido a estas características este suelo no es apto para la agricultura, por lo que lo recomendable es que no se siga alterando para favorecer su desarrollo edafogenético.

Este suelo se clasificó como un Fluvisol al formarse a partir de depósitos aluviales genéticamente jóvenes y presentar estratificación con una débil diferenciación de horizontes, identificando dos horizontes Ah; seguidos de cinco C.

• *Abanico Medio-Alto W:*

I. Información acerca de la localidad

- a. **Número del perfil:** 3
- b. **Clasificación del suelo WRB:** Haplic-Regosol (endoesquelético).
- c. **Fecha de descripción:** 11 de diciembre de 2009.
- d. **Localización:** Barranca Montegrando.
 - Coordenadas UTM: 645563; 2149466.
 - Altitud: 1655m s.n.m.
- e. **Forma del terreno**
 - Posición fisiográfica: En el piedemonte volcánico al interior la unidad de Abanico Lahárico al oeste del cauce de la Barranca Montegrando, con una forma del terreno plana en planta, convexa en perfil (LV).
 - Pendiente: 8%, moderadamente inclinada. Exposición: SE.
- f. **Uso de suelo/vegetación:** Matorral Arbustivo.
- g. **Clima:** Aw = Cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación pluvial que varía de 1100 a 2000 mm al año, periodo de lluvias de junio a octubre, temperatura media anual de 25° a 27°C, libre de heladas y época seca de 7 a 9 meses.

II. Información general acerca del suelo

- a. **Material parental:** Deposito lahárico.
- b. **Drenaje natural:** Excesivo, con rápida infiltración y sin evidencia de agua interna libre.
- c. **Condiciones de humedad en el perfil:** Seco.
- d. **Profundidad del manto freático:** Desconocida.
- e. **Presencia de rocas superficiales:** Sí, 75% de clastos con bloques (22-50cm).
- f. **Evidencia de Erosión:** Si, canales de escorrentía, erosión laminar, cárcavas y surcos.
- g. **Presencia de sales en suelo:** No.
- h. **Influencia humana:** Ninguna.

III. Descripción breve del perfil

Es un perfil muy somero con el pobre desarrollo de un horizonte, tiene drenaje excesivo, color en húmedo negro parduzco, de apariencia uniforme, con mediana pedregosidad y rocosidad gruesa en superficie. La textura es arenosa. Tiene un débil desarrollo de estructura subangular en bloques, con muy baja estabilidad de agregados muy finos (<5mm). Es un perfil muy deleznable con muchos

poros vesiculares medianos y finos, así como poros comunes grandes intersticiales y una baja densidad aparente. La distribución de raíces es alta, con la mayor densidad en los primeros 4 cm.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Prof. (cm)	Características
Ah	0-4	Color negro parduzco (10YR 3/1); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.4%); ligeramente ácido (pH=6); humedad seca (pF 4); débil estructura subangular en bloques muy finos con muy baja estabilidad de agregados; mediana pedregosidad (10%); muchos poros vesiculares medianos y finos, así como comunes gruesos intersticiales; densidad aparente baja (1.2); densidad de raíces alta (11-20/dm ²); y límite claro-uniforme. Sin reacción al aluminio activo.

V. Procesos pedogenéticos dominantes

Dada la ligera alteración del material parental lahárico la formación de este suelo fue *in situ*, con una incipiente saprolitización. Los procesos pedogenéticos dominantes son la débil formación de estructura subangular en bloques y una mínima degradación de materia orgánica indicando procesos de mineralización con una relación carbono-nitrógeno de 5.12 y un testigo de 5.08 en el único horizonte. Este perfil tiene un mantillo tipo Mull.

Los siguientes indicadores obtenidos en campo permiten la evaluación de la eficiencia en el desempeño de las funciones edáficas que posee este suelo.

- Textura arenosa.
- pH de 6 en campo, de 7.71 en H₂O y de 7.58 a 6.52 en KCl.
- Profundidad fisiológica muy somera (4 cm).
- Capacidad de aireación (CA) muy alta.
- Volumen total de poros (VPT) bajo (39.5%).
- Capacidad de agua disponible (dCC) y Capacidad de Campo (CC) muy bajas.
- Drenaje natural excesivo, con conductividad hidráulica (Kf) alta.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) muy baja.
- Saturación de bases intercambiables muy baja.
- Erodabilidad muy baja, acentuada por el mínimo mantillo Mull (L -Ah).
- Nitrógeno de reserva (Nt) y disponible (Nd) bajos.
- Fósforo muy bajo.

Este suelo tiene una incipiente profundidad, un excesivo drenaje natural y un volumen de poros bajo, por lo que lo mejor es conservarlo naturalmente. Asimismo, presenta muy bajas capacidades de agua disponible y de campo, una profundidad fisiológica muy somera, una alta conductividad hidráulica y un drenaje natural que limita el establecimiento de vegetación debido a las condiciones de baja humedad en la temporada de secas. Además, los valores de muy baja capacidad de intercambio catiónico y muy bajo contenido de bases intercambiables, sugieren pobres concentraciones de cationes de Ca, Mg, K y Na; que aunadas a las bajas disponibilidades nitrógeno y fósforo muestra una carencia de nutrientes aprovechables por las plantas.

Este suelo provee un nicho muy austero para los organismos que al tener una estructura mínimamente desarrollada, un espesor muy somero y pobre cobertura de mantillo; se enfrenta a limitantes tanto la humedad una parte del año como los nutrimentos provenientes de la materia orgánica

El suelo posee una muy baja capacidad como filtro, transformador y amortiguador, ya que las evaluaciones muy bajas de capacidad de intercambio catiónico y contenido de bases

intercambiables BI, así como la escasa profundidad y una mínima cantidad de materia orgánica humificada; muestran que este suelo no es capaz de retener iones en solución evitando que sean lixiviados. La regulación del ciclo hidrológico se ve favorecida por la gran capacidad de infiltración que posee. Es por ello que este suelo aun no es viable para reserva de carbono o uso agrícola, debido a su incipiente desarrollo, su mínima cantidad de materia orgánica y alta infiltración.

Dadas estas características, este suelo fue clasificado como un Regosol que se caracteriza por tener un pobre desarrollo edáfico y una baja influencia de procesos pedogenéticos, identificando un solo horizonte Ah.

• *Abanico Medio-Alto E:*

I. Información acerca de la localidad

- a. **Número del perfil:** 5
- b. **Clasificación del suelo WRB:** Haplic-Fluvisol (nóvico).
- c. **Fecha de descripción:** 17 de abril de 2010.
- d. **Localización:** Barranca Montegrande.
 - Coordenadas UTM: 645854; 2149449.
 - Altitud: 1639m s.n.m.
- e. **Forma del terreno**
 - Posición fisiográfica: En el piedemonte volcánico al interior la unidad de Abanico Lahárico al este del cauce de la Barranca Montegrande, con una forma del terreno plana en planta, plana en perfil (LL).
 - Pendiente: 2%, Casi plano. Exposición: SW.
- f. **Uso de suelo/vegetación:** Matorral arbustivo.
- g. **Clima:** Aw = Cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación pluvial que varía de 1100 a 2000 mm al año, periodo de lluvias de junio a octubre, temperatura media anual de 25° a 27°C, libre de heladas y época seca de 7 a 9 meses.

II. Información general acerca del suelo

- a. **Material parental:** Deposito lahárico.
- b. **Drenaje natural:** Excesivo, con rápida infiltración y sin evidencia de agua interna libre.
- c. **Condiciones de humedad en el perfil:** Seco.
- d. **Profundidad del manto freático:** Desconocida.
- e. **Presencia de rocas superficiales:** Sí, 15% de clastos menores a 12cm.
- f. **Evidencia de Erosión:** Laminar.
- g. **Presencia de sales en suelo:** No.
- h. **Influencia humana:** Vereda.

III. Descripción breve del perfil

Es un perfil muy profundo con siete horizontes, excesivamente drenado, con color húmedo negro parduzco, con apariencia irregular, baja pedregosidad en toda su extensión y una rocosidad fina. La textura es arenosa franca en superficie y franca arenosa en la mayoría de los horizontes incluyendo uno arcillo arenoso. Presenta un muy débil desarrollo de estructura subangular en bloques con baja a muy baja estabilidad y tamaño muy fino (<5mm) en un horizonte subsuperficial, el resto presenta estructura granular. Todo el perfil es muy friable con variaciones de abundante porosidad de micro a medio en profundidad y un incremento de la densidad aparente; sin embargo, la distribución de raíces es baja, con la mayor densidad de los 7 a los 13cm.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Prof. (cm)	Características
Ah1	0-7	Color café muy oscuro (7.5YR 3/2); textura arenosa franca; contenido bajo de materia orgánica (1.6%); ligeramente ácido (pH=6); humedad muy seca (pF 5); sin estructura con granos simples muy débiles; baja pedregosidad (5%); muchos poros esféricos expeditivos muy finos; densidad aparente baja (1.2); densidad de raíces extremadamente baja (3-5/dm ²); y límite difuso e irregular. Ligera reacción al aluminio activo.
Ah2	7-13	Color café muy oscuro (7.5YR 2.5/2); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.4%); muy ligeramente ácido (pH=6.5); humedad seca (pF 4); muy débil estructura granular fina; baja pedregosidad (2%); muchos poros esféricos expeditivos muy finos; densidad aparente media (1.4); densidad de raíces media (6-10/dm ²); y límite irregular y abrupto. Alta reacción al aluminio activo.
C1	13-25	Color café grisáceo en húmedo (7.5YR 4/2); textura franco arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.0%); muy ligeramente ácido (pH=6.5); humedad muy seca (pF 5); moderada estructura granular muy fina; baja pedregosidad (2%); muchos poros esféricos expeditivos medianos a muy finos; densidad aparente alta (1.6); densidad de raíces baja (3-5/dm ²); y límite gradual y irregular. Alta reacción al aluminio activo.
C2	25-29	Color negro parduzco en húmedo (10YR 3/2); textura franco arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.4%); neutro (pH=7); humedad seca (pF 4); estructura granular fina; baja pedregosidad (1%); muchos poros esféricos expeditivos muy finos; densidad aparente alta (1.4); densidad de raíces baja (3-5/dm ²); y límite uniforme y abrupto. Ligera reacción al aluminio activo.
C3	29-33	Color negro parduzco en húmedo (10YR 3/2); textura arcillo arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.2%); neutro (pH=7); humedad seca (pF 4); estructura granular; baja pedregosidad (1%); comunes poros expeditivos cilíndricos medianos a finos; densidad aparente baja (1.2); densidad de raíces baja (3-5/dm ²); y límite abrupto e irregular. Ligera reacción al aluminio activo.
C4	33-37	Color negro parduzco en húmedo (10YR 3/2); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.2%); muy ligeramente ácido (pH=6.5); humedad muy seca (pF 5); muy débil estructura granular gruesa; alta pedregosidad (50%); muchos poros expeditivos esféricos, cilíndricos y tubulares muy finos; densidad aparente alta (1.6); densidad de raíces muy baja (1-2/dm ²); y límite abrupto e irregular. Alta reacción al aluminio activo.
C5	37-54	Color negro parduzco en húmedo (10YR 3/2); textura arenosa; contenido bajo de materia orgánica (1.2%); neutro (pH=7); humedad seca (pF 4); muy débil estructura granular fina; baja pedregosidad (10%); muchos poros micro expeditivos e impedidos esféricos; densidad aparente media (1.4); densidad de raíces muy baja (1-2/dm ²); y límite abrupto y uniforme. Alta reacción al aluminio activo.

V. Procesos pedogenéticos dominantes

Aparentemente este suelo se ha formado *in situ* a partir de la alteración del material parental lahárico proveniente de las partes altas del Volcán. Este material se encuentra ligeramente saprolitizado. Solo se observó mineralización de materia orgánica como proceso pedogenético. La reacción al aluminio activo se presentó de manera intensa en cuatro horizontes profundos, lo cual surge una alta formación de alofano e imogolita debido a lixiviación. La relación carbono-nitrógeno en los primeros 7 cm superficiales fue de 7.36 y un testigo de 6.31, en tanto que de 7 a 13 cm fue de 2.28 con un testigo de 2.12; indicando que el proceso de mineralización es mayor que el de humificación de la materia orgánica.

Estos son los indicadores estimados en campo, con los cuales se evalúa la eficiencia en el desempeño de las funciones de los suelos.

- Textura arenosa a franca arenosa.
- pH de 6 a 7 en campo, de 6.15 a 7.34 en H₂O y de 6.01 a 6.93 en KCl.
- Profundidad fisiológica mediana (13cm).
- Capacidad de aireación (CA) baja a muy alta.
- Volumen total de poros (VPT) mediano a bajo (33 a 41%).
- Capacidad de agua disponible (dCC) y Capacidad de Campo (CC) muy bajas.
- Drenaje natural excesivo, con conductividad hidráulica (Kf) muy baja a muy alta.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) muy baja a mediana.
- Saturación de bases intercambiables (BI) regular.
- Erodabilidad baja, acentuada por la ausencia de mantillo.
- Nitrógeno de reserva (Nt) mediana y disponible (Nd) baja.
- Fósforo baja.

La conservación de este perfil debe ser naturalmente dado que es bastante profundo, posee material parental consolidado, fuerte drenaje natural y una posición en el relieve muy poco vulnerable a la actividad lahárica. La funcionalidad hídrica muestra muy baja cantidad de agua disponible, muy baja capacidad de campo, capacidad de aireación de baja a muy alta, conductividad hidráulica de muy baja a muy alta, baja profundidad fisiológica, y drenaje natural excesivo; indicando una baja presencia de agua disponible para el aprovechamiento de las plantas en la temporada de secas debido a una fuerte infiltración.

Al tener muy baja capacidad de campo y una regular concentración de bases intercambiables, la concentración de cationes de Ca, Mg, K y Na se ve restringida; sin embargo, con pH's ligeramente alcalinos la limitación no parece ser tan drástica; sin embargo, se observa una baja disponibilidad de nitrógeno y fósforo, indicando su carencia para el aprovechamiento de las plantas mismos que favorecen el desarrollo de las plantas.

El establecimiento de microfauna en este suelo se da en el primer horizonte debido a que en el resto de los horizontes se observa alta densidad aparente, poca humedad, poca porosidad y gran variabilidad en la conductividad hidráulica; características que derivan sitios con alta infiltración y sitios impermeables, situación que representan una fuente de estrés por excesiva o nula humedad.

La capacidad de este suelo como filtro, transformador y amortiguador deriva de una capacidad de intercambio catiónico muy baja pero pH's muy ligeramente alcalinos y una regular concentración de bases intercambiables, que lo califica con una moderada capacidad para retener iones en solución. Este suelo tiene un papel ligero como regulador en el ciclo hidrológico en la recarga del manto acuífero debido a su variable conductividad hidráulica. En este suelo aun no es viable como reserva de carbono, debido a que actualmente la materia orgánica se degrada más en compuestos propios de mineralización que de humificación; sin embargo, si este suelo con el tiempo intensifica los procesos pedogenéticos y no es alcanzado por nuevos eventos laháricos, podría tener una posterior humificación y formación de estructura. Debido a estas característica este suelo no es apto para la agricultura, por lo que lo recomendable es que no se siga alterando para favorecer su desarrollo edafogenético.

Este suelo fue clasificado como un Fluvisol debido a que su formación fue a partir de depósitos aluviales recientes y poseer una estratificación con una débil diferenciación de horizontes, identificando dos horizontes Ah y cinco C.

Apéndice 3. Registro de especies encontradas al interior de la Barranca Montegrande.

• Hábitat de Terrazas Antiguas.

Especies	Familias	Forma de Crecimiento	Ciclo de Vida
<i>Baccharis pteronoides</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Buddleia parviflora</i>	Loganiaceae	Árbol	Perenne
<i>Castilleja integra</i>	Scrophulariaceae	Hierba	Anual
<i>Coreopsis petrophiloides</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Cosmos diversifolius</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Crotalaria cajanifolia</i>	Leguminosae	Arbusto	Perenne
<i>Gnaphalium spp.</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Gnaphallium oxiphyllum</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Heterotheca subaxillaris</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Hyptis albida</i>	Lamiaceae	Arbusto	Perenne
<i>Hyptis pectinata</i>	Lamiaceae	Arbusto	Perenne
<i>Lantana camara</i>	Verbenaceae	Arbusto	Perenne
<i>Mimosa albida</i>	Leguminosae	Arbusto	Perenne
<i>Phaseolus pluriflorus</i>	Leguminosae	Arbusto	Perenne
<i>Pinus spp.</i>	Pinaceae	Árbol	Perenne
<i>Quercus rugosa</i>	Fagaceae	Árbol	Perenne
<i>Roldana hartwegii</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Senecio salignus</i>	Compositae	Arbusto	Perenne

• Hábitat de Terrazas Recientes.

Especies	Familias	Forma de Crecimiento	Ciclo de Vida
<i>Acacia farnesiana</i>	Leguminosae	Árbol	Perenne
<i>Acalypha microphylla</i>	Euphorbiaceae	Hierba	Perenne
<i>Agastache micrantha</i>	Lamiaceae	Hierba	Perenne
<i>Baccharis pteronoides</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Bidens odorata</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Brickellia nutanticeps</i>	Compositae	Hierba	Perenne
<i>Castilleja integra</i>	Scrophulariaceae	Hierba	Anual
<i>Castilleja tenuiflora</i>	Scrophulariaceae	Hierba	Anual
<i>Conyza spp.</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Coreopsis petrophiloides</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Cosmos diversifolius</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Cyclanthera spp.</i>	Cucurbitaceae	Hierba	Anual
<i>Cyperus rotundus</i>	Cyperaceae	Hierba	Perenne
<i>Desmodium incanum</i>	Leguminosae	Hierba	Perenne
<i>Eragrostis pectinacea</i>	Poaceae	Hierba	Anual
<i>Gnaphalium spp.</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Gnaphallium oxiphyllum</i>	Compositae	Hierba	Anual

Especies	Familias	Forma de Crecimiento	Ciclo de Vida
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	Árbol	Perenne
<i>Heteroteca subaxillaris</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Hieracium comatum</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Hyptys albida</i>	Lamiaceae	Arbusto	Perenne
<i>Hyptis pectinata</i>	Lamiaceae	Arbusto	Perenne
<i>Lantana camara</i>	Verbenaceae	Arbusto	Perenne
<i>Lobelia laxiflora</i>	Campanulaceae	Hierba	Perenne
<i>Lupinus spp.</i>	Leguminosae	Hierba	Anual
<i>Muhlenbergia minutissima</i>	Poaceae	Hierba	Anual
<i>Oxalis spp.</i>	Oxalidaceae	Hierba	Anual
<i>Panicum millegrana</i>	Poaceae	Hierba	Anual
<i>Phaseolus pluriflorus</i>	Leguminosae	Hierba	Perenne
<i>Phytolacca icosandra</i>	Phytolaccaceae	Hierba	Perenne
<i>Pinus spp.</i>	Pinaceae	Árbol	Perenne
<i>Quercus rugosa</i>	Fagaceae	Árbol	Perenne
<i>Rhynchelytrum repens</i>	Poaceae	Hierba	Anual
<i>Roldana hartwegii</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Rumex urtica</i>	Polygonaceae	Hierba	Anual
<i>Salvia riparia</i>	Lamiaceae	Hierba	Anual
<i>Senecio cinerarioides</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Senecio salignus</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae	Hierba	Perenne
<i>Solanum chrysotrichum</i>	Solanaceae	Arbusto	Perenne
<i>Solanum spp.</i>	Solanaceae	Hierba	Anual
<i>Stachys elegans</i>	Lamiaceae	Hierba	Anual
<i>Stevia jaliscensis</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Stipa ichu</i>	Poaceae	Hierba	Perenne
<i>Symplocos citrea</i>	Symplocaceae	Arbusto	Perenne
<i>Verbesina fastigiata</i>	Compositae	Arbusto	Perenne

• *Hábitat de Abanicos Laháricos.*

Especies	Familias	Forma de Crecimiento	Ciclo de Vida
<i>Abutilon orientale</i>	Malvaceae	Hierba	Anual
<i>Acacia farnesiana</i>	Leguminosae	Árbol	Perenne
<i>Acalypha microphylla</i>	Euphorbiaceae	Hierba	Perenne
<i>Agastache micrantha</i>	Lamiaceae	Hierba	Perenne
<i>Amaranthus spinosus</i>	Amaranthaceae	Hierba	Anual
<i>Baccharis pteronoides</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Bauhinia subrotundifolia</i>	Leguminosae	Arbusto	Perenne
<i>Bidens ballsii</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Bidens odorata</i>	Compositae	Hierba	Anual

Especies	Familias	Forma de Crecimiento	Ciclo de Vida
<i>Bocconia arborea</i>	Papaveraceae	Árbol	Perenne
<i>Bouteloua eriopoda</i>	Poaceae	Hierba	Anual
<i>Brickellia nutanticeps</i>	Compositae	Hierba	Perenne
<i>Calea urticifolia</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Canavalia spp.</i>	Leguminosae	Hierba	Anual
<i>Castilleja integra</i>	Scrophulariaceae	Hierba	Anual
<i>Cissampelos cordifolia</i>	Menispermaceae	Hierba	Anual
<i>Commelina erecta</i>	Comelinaceae	Hierba	Perenne
<i>Cosmos diversifolius</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Crotalaria cajanifolia</i>	Leguminosae	Arbusto	Perenne
<i>Cyperus rotundus</i>	Cyperaceae	Hierba	Perenne
<i>Dalea submontana</i>	Leguminosae	Hierba	Anual
<i>Desmodium incanum</i>	Leguminosae	Hierba	Perenne
<i>Eragrostis pectinacea</i>	Poaceae	Hierba	Anual
<i>Gaura spp.</i>	Onagraceae	Hierba	Perenne
<i>Gnaphalium spp.</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Gnaphalium oxiphyllum</i>	Compositae	Hierba	Anual
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	Árbol	Perenne
<i>Hyptis albida</i>	Lamiaceae	Arbusto	Perenne
<i>Lantana camara</i>	Verbenaceae	Arbusto	Perenne
<i>Lopezia racemosa</i>	Onagraceae	Hierba	Anual
<i>Mimosa albida</i>	Leguminosae	Arbusto	Perenne
<i>Montanoa gandiflora</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Muhlenbergia minutissima</i>	Poaceae	Hierba	Anual
<i>Opuntia spp.</i>	Cactaceae	Arbusto	Perenne
<i>Panicum millegrana</i>	Poaceae	Hierba	Anual
<i>Paspalum convexum</i>	Poaceae	Hierba	Perenne
<i>Phaseolus pluriflorus</i>	Leguminosae	Hierba	Perenne
<i>Phytolacca icosandra</i>	Phytolaccaceae	Hierba	Perenne
<i>Pyrus communis</i>	Rosaceae	Árbol	Perenne
<i>Rhynchelytrum repens</i>	Poaceae	Hierba	Anual
<i>Roldana hartwegii</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Salvia angustiarum</i>	Lamiaceae	Hierba	Anual
<i>Salvia riparia</i>	Lamiaceae	Hierba	Anual
<i>Senecio cinerarioides</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Senecio salignus</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae	Hierba	Perenne
<i>Solanum chrysotrichum</i>	Solanaceae	Arbusto	Perenne
<i>Stachys elegans</i>	Lamiaceae	Hierba	Anual
<i>Stevia jaliscensis</i>	Compositae	Arbusto	Perenne
<i>Stipa ichu</i>	Poaceae	Hierba	Perenne
<i>Verbesina fastigiata</i>	Compositae	Arbusto	Perenne