



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA**  
**INSTITUTO DE GEOLOGÍA**

**INFLUENCIA DEL RELIEVE SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN UNA  
CATENA EN LADERAS DE MONTAÑA DEL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO.**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS**

PRESENTA:

**ALMA BELLA LÓPEZ LÓPEZ**

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS:

Dr. Gerardo Cruz Flores, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

Dr. Lorenzo Vázquez Selem, Instituto de Geografía

Dra. Blanca Prado Pano, Instituto de Geología

Dra. Christina Siebe Grabach, Instituto de Geología

Dr. Jorge Gama Castro, Instituto de Geología

MÉXICO, D.F., 2014.



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.

**OFICIO/PCT/GTJ/704/2013.**

**Asunto:** Aprobación de título de tesis y  
Asignación de jurado para Examen de  
grado

**BIOL. ALMA BELLA LOPEZ LOPEZ**  
Estudiante de Maestría  
Ciencias Ambientales  
Presente.

El Comité Académico del Posgrado, reunido en sesión ordinaria el 24 de septiembre del año en curso, analizó y **APROBÓ** su solicitud de jurado para examen de grado, con la tesis **"INFLUENCIA DEL RELIEVE SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN UNA CATENA EN LADERAS DE MONTAÑA DEL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO"**, designando a los siguientes investigadores:

<b>Dr. Jorge Gama Castro</b>	<b>Presidente</b>
<b>Dr. Lorenzo Vázquez Selem</b>	<b>Vocal</b>
<b>Dr. Gerardo Cruz Flores</b>	<b>Secretario</b>
<b>Dra. Christina Siebe Grabach</b>	<b>Suplente</b>
<b>Dra. Blanca Lucía Prado Pano</b>	<b>Suplente</b>

Sin otro particular por el momento, reciba un saludo cordial.

Atentamente.  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Ciudad Universitaria a 7 de octubre de 2013  
**COORDINADOR DEL PROGRAMA**



**DR. GUSTAVO IZARD TOLSON JONES**

c.c.p. **Archivo** de Geofísica, Geología, Geografía e Investigaciones en Matemáticas  
Aplicadas y en Sistemas, Centros de Ciencias de la Atmósfera y de Geociencias,  
**GITJ/mlro.** Facultades de Ciencias e Ingeniería.  
Tels. 5622-4130, 5622-4324 ext. 122,  
<http://www.pctierra.unam.mx>  
[pctierra@unam.mx](mailto:pctierra@unam.mx)

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mis padres y hermanos por su apoyo y confianza.*

*A los miembros del jurado, por sus comentarios y aportaciones que enriquecieron este trabajo.*

*Al doctor Gerardo Cruz Flores, mi doctor..., persona llena de calidez humana. Gracias por su confianza, apoyo y asesoría en este proyecto.*

*Al doctor Lorenzo Vázquez Selem por su apoyo y asesoría en este trabajo.*

*A mis amigos y hermanos: Carmelo Cortes, Luis Barragán, Raquel Domínguez y Cesia Miranda.*

*A CONACyT por el apoyo económico otorgado en el período como estudiante.*

## Índice de contenido

1	RESUMEN	4
2	INTRODUCCIÓN	6
3	OBJETIVOS	7
	3.1 <i>Objetivo general</i>	7
	3.2 <i>Objetivos particulares</i>	7
4	MARCO TEÓRICO	8
	4.1 <i>Suelo y relieve</i>	9
	4.2 <i>Exposición de la ladera</i>	11
	4.3 <i>Vegetación</i>	12
	4.4 <i>Ambientes ribereños</i>	14
5	ÁREA DE ESTUDIO	16
	5.1 <i>Clima</i>	17
	5.2 <i>Geología y estratigrafía</i>	18
	5.3 <i>Suelos</i>	20
	5.4 <i>Geoforma</i>	22
	5.5 <i>Hidrología</i>	22
	5.6 <i>Vegetación</i>	22
	5.7 <i>Perturbación</i>	23
6	MATERIAL Y MÉTODOS	24
	6.1 <i>Gabinete</i>	24
	6.2 <i>Campo</i>	25
	6.3 <i>Laboratorio</i>	28
7	RESULTADOS	30
	7.1 <i>Clasificación de la cuenca de Alcalica</i>	30
	7.2 <i>Modelo de exposición y radiación de Alcalica</i>	33
	7.3 <i>Catena en ladera solana.</i>	37
	7.4 <i>Catena en ladera umbría</i>	44
	7.5 <i>Conductividad hidráulica e hidrofobicidad de ambas catenas</i>	51
	7.6 <i>Descripción de las características de suelo de ambas catenas</i>	52
	7.7 <i>Barrenación de suelo adyacente al río (fondo de valle)</i>	56
	7.8 <i>Vegetación</i>	58
8	DISCUSIÓN	60
	8.1 <i>Exposición de ladera</i>	60
	8.2 <i>Análisis de las propiedades del suelo de las catenas de ladera solana y ladera umbría</i>	61
	8.3 <i>Clasificación de suelo</i>	63
	8.4 <i>Kf e hidrofobicidad</i>	65
	8.5 <i>Vegetación</i>	66
	8.6 <i>Suelo adyacente al río, ambientes ribereños (AR)</i>	67
	8.7 <i>Influencia geomorfológica y pedológica en el control hídrico de laderas</i>	68
9	CONCLUSIONES	71
10	REFERENCIAS	72
11	ANEXOS	75

## Índice de figuras.

Figura 1	Estratigrafía de suelo y modelo hidrológico basado en la topografía y propiedades del suelo	8
Figura 2	Influencia de la forma y posición de la ladera sobre el flujo del agua en el suelo	9
Figura 3	Elementos de una catena según el Modelo de Ruhe	9
Figura 4	Afectación de las propiedades de suelo, composición de la vegetación y microclima por exposición de la ladera	11
Figura 5	Movimiento del agua en una ladera	12
Figura 6	Estructura y función de la ribera	14
Figura 7	Delimitación del área natural protegida Izta-Popo y área de influencia	16
Figura 8	Edad de los depósitos de ceniza de acuerdo a la altitud en los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl	18
Figura 9	Composición estratigráfica del volcán Popocatepetl	19
Figura 10	Mapa general de suelos del Parque Nacional Izta-Popo	21
Figura 11	Sitios de muestro	24
Figura 12	Imágenes del trabajo realizado en campo	26
Figura 13	Esquema de las barrenaciones realizadas en el fondo del valle	27
Figura 14	Trabajo realizado en el laboratorio	29
Figura 15	Clasificación taxonómica de los ejemplares colectados	29
Figura 16	Delimitación de la cuenca de Alcalica	30
Figura 17	Curva hipsométrica de Alcalica	32
Figura 18	Modelo de radiación solar anual, mapa de exposición e inclinación del relieve de la cuenca de Alcalica	34
Figura 19	Temperatura atmosférica de ambas laderas	35
Figura 20	Humedad relativa de ambas laderas	36
Figura 21	Variación de la capacidad de aireación , capacidad de retención de agua disponible , capacidad de campo, pH y conductividad eléctrica en los perfiles de ladera solana	42
Figura 22	Variación de hierro y aluminio extractables con ditionito y oxalato de ladera solana	43
Figura 23	Perfil de suelo del pie de ladera umbría, depósito de pómez ocre y características del vidrio volcánico	46
Figura 24	Variación de la capacidad de aireación, capacidad de retención de agua disponible , capacidad de campo, pH y conductividad eléctrica en los perfiles de la ladera umbría	49
Figura 25	Variación de hierro y aluminio extractables con ditionito y oxalato de ladera umbría	50
Figura 26	Media de conductividad hidráulica determinada en ambas laderas	51
Figura 27	Repelencia al agua de los horizontes superficiales de suelo	51
Figura 28	Criterio de clasificación con respecto a la profundidad de las laderas solana y umbría	52
Figura 29	Variación del pH y de la conductividad eléctrica de las laderas solana y umbría	53
Figura 30	Contenido de carbono orgánico en mantillo	54
Figura 31	Diagrama de los perfiles de suelo en un valle de Alcalica	55
Figura 32	Profundidad media del suelo en las vertientes derecha e izquierda del río	56
Figura 33	Media de la conductividad hidráulica (Kf) del suelo adyacente al río	56
Figura 34	Barrenación de suelo a diferentes distancias del margen del río	57
Figura 35	Imagen de la vegetación en los sitios altos de ambas laderas	59

## Índice de cuadros.

Cuadro 1	Amplitud mínima recomendada para ambientes ribereños	15
Cuadro 2	Características de suelo, vegetación e hidrología del Parque Nacional IztaPopo	17
Cuadro 3	Espesor promedio de los depósitos de caída del Popocatépetl	19
Cuadro 4	Unidades de suelo propuestas por Miehllich	20
Cuadro 5	Ubicación y asignación de clave a las posiciones del modelo de Ruhe	25
Cuadro 6	Características de la cuenca de Alcalica	31
Cuadro 7	Altitud y pendiente de Alcalica.	32
Cuadro 8	Superficie de área expuesta de la cuenca de Alcalica	33
Cuadro 9	Resumen de las propiedades edafo-ecológicas de la catena en ladera solana	37
Cuadro 10	Descripción de horizontes por posición en el relieve de ladera solana	41
Cuadro 11	Resumen de las propiedades edafo-ecológicas de la catena en ladera umbría	44
Cuadro 12	Descripción de horizontes por posición en el relieve de ladera umbría	47
Cuadro 13	Índice de valor Importancia, frecuencia y dominancia por estrato de vegetación del hombro de ladera	58
Cuadro 14	Índice de valor Importancia, frecuencia y dominancia por estrato de vegetación del lomo de ladera	60
Cuadro 15	Funciones geomorfológicas claves creadas por la vegetación en laderas	68
Cuadro 16	Características de relieve, historia de uso de suelo y estimación de la calidad de suelo y potencial de erosión en sitios de Chieng Khoi	69

## 1. RESUMEN

Palabras clave: exposición, geomorfología, control hídrico de laderas.

En una ladera, el movimiento del agua y el material que transporta responde a las características geomorfológicas y pedológicas del lugar. Los ríos de montaña se ubican entre dos laderas opuestas que en muchos casos, están expuestas a diferente cantidad de luz solar presentando elementos de clima, suelo y vegetación particulares. Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue evaluar las diferencias espaciales de las propiedades edáficas en una catena, a través de un valle con laderas de orientación opuesta (norte y sur); así como su influencia en el control hídrico de laderas. El estudio se realizó en una barranca a una altitud de 2900 m en el Parque Nacional Izta-Popo. Se creó un modelo de elevación digital en ArcMap 9.3 para conocer el área de mayor exposición y de radiación solar, así como los datos hidrológicos de la cuenca. Después se seleccionó el sitio de estudio y se realizó una evaluación edafocológica en cada posición de la catena: cumbre (SU), hombro (SH), lomo (BS), pie de ladera (FS) y fondo de valle (TS); se registraron datos de temperatura y humedad atmosférica. Se midió conductividad hidráulica (Kf) e hidrofobicidad de suelo y se determinó el Índice de Valor de Importancia en la vegetación y algunas propiedades físicas y químicas de los suelos en cada sitio. Los suelos en ladera baja tuvieron texturas gruesas, mayor porcentaje de piedras y se clasificaron como Andosoles vitricos. Esto contrastó con los de ladera alta, donde el tamaño de grano fue más fino y la pedregosidad menor al <1%, y los suelos clasificaron como Andosoles silándicos. Las orientaciones S y SW reciben mayor insolación y en ellas dominan los géneros *Pinus* y *Senecio*. Los suelos tienen una mayor conductividad eléctrica (CE), acidez y contenido de carbón en los primeros horizontes; y en el FS y TS incrementa la pedregosidad en superficie y en el perfil de suelo. En cambio la ladera umbría mostró suelos con baja CE y pH casi neutro, recibe menor cantidad de luz solar y tiene una cobertura dominada por *Abies religiosa*. Los resultados muestran mayor inestabilidad en ladera solana, que ha modificado la pedogénesis del lugar; este desequilibrio se generó a través del tiempo y la diferencia de insolación podría ser la causa. Las laderas presentaron dos historias evolutivas diferentes, que han provocado variaciones en las características de suelo y en la vegetación; tales situaciones se explican principalmente por diferencias en las condiciones microclimáticas y por la posición topográfica.



## ABSTRACT

**Keywords: slope aspect, geomorphology and water control of hillside.**

On a hillside, the water movement and material transports responds to the geomorphological and soil characteristics of the site. The mountain streams are located between two opposite slopes are exposed to different amounts of sunlight presenting particular elements of climate, soil and vegetation. Therefore the objective of this research was to evaluate spatial differences in soil properties in a catena, through a valley with slopes of opposite orientation (north and south) as well as its influence on the water control of hillside. The study was carried out in a canyon at an altitude of 2900 m in the Izta-Popo National Park. A digital elevation model was created in ArcMap 9.3 in order to know the area of greatest exposure and solar radiation and hydrologic data of the watershed. After the study site it was selected and pedo-ecological evaluation was performed at each position of the catena: Summit (SU), Shoulder (SH), Backslope (BS), Foothlope (FS) and Toeslope (TS), the temperature and humidity data was recorded. Hydraulic conductivity (kf) and the soil hydrophobicity were measured and the Importance Value Index in vegetation was determined as well as some physical and chemical soil properties at each site. Soils in lower slope had thick textures, higher percentage of stones and were classified as vitric Andosols, meanwhile soils with upper slope had finer grain size and stoniness less than 1 % which were classified as silandic Andosols. The south-facing slope are dominated by *Pinus* and *Senecio* because receive more sunlight; its soils has a higher electrical conductivity, acidity and carbon content in the upper horizons, and in the FS and TS increases surface stoniness in the soil profile. On the other in north-facing slope shows soils with lower CE and PH near neutral due receive less sunlight and was dominated by *Abies religiosa*. The results show greater instability in south-facing slope, which has changed pedogenesis place, this imbalance was generated over time and the difference in insolation might be the cause. The slopes presented two different evolutionary histories that have caused variations in the characteristics of soil and vegetation; such situations are mainly explained by differences in microclimate and topographic position.

## 2. INTRODUCCIÓN

El relieve determina el movimiento del agua en laderas, valles y cuencas, lo cual provoca diferencias espaciales en las propiedades del suelo (Chun-Chih, *et al.*, 2004). Entre los factores que afectan el flujo natural del agua, se incluye: la posición en la catena (cumbre, hombro de ladera, lomo de ladera, pie de ladera y fondo de valle), forma de la ladera (curvatura, longitud, rugosidad y pendiente), características de la cubierta vegetal y del suelo (permeabilidad, porosidad e hidrofobicidad) (Conacher, 2002).

El agua acarrea sólidos disueltos y partículas suspendidas, los moviliza y redeposita, provocando la erosión del suelo y carga de sedimentos en el río (Sparovek *et al.*, 2003). Transporta de esta forma minerales, materia orgánica, residuos de fertilizantes, pesticidas, nutrimentos y sustancias tóxicas (metales pesados y patógenos). Estos materiales de retorno pueden alterar los componentes ecológicos de la cuenca: la biota acuática, la fauna, el suelo, la vegetación, así como la cantidad y calidad del agua que llega a los ríos (Fi-John *et al.*, 2008).

Por otro lado, los ríos de montaña se ubican en dos laderas opuestas, que dependiendo de su orientación están expuestas a diferente cantidad de luz solar; por lo anterior presentan elementos climáticos, pedológicos y de vegetación particulares, relacionados tanto con la orientación como con la morfología del lugar. Estas características de suelo y vegetación influyen a su vez en los procesos que regulan el flujo hídrico de las laderas hacia el cauce.

Se han realizado varios estudios para determinar la influencia que ejerce el suelo adyacente al río y viceversa; sin embargo, poco se han considerado los aspectos geomorfológicos (Lecome, *et al.*, 2009). La mayoría de las investigaciones se realiza a cortas distancias del margen del río, incluso en la Ley de Aguas Nacionales en México, se menciona que la amplitud de afectación del río es de 25 m., sin tomar en cuenta los patrones de drenaje del paisaje ni la vinculación del río con las laderas adyacentes. Tales características deben considerarse en actividades de manejo y conservación.

## **HIPÓTESIS**

En el occidente del Parque Nacional Izta-Popo, la configuración dominante de las barracas es de este a oeste; por lo que presentan laderas con orientación contrastante (al norte y sur a uno y otro lado de la misma barranca) y en consecuencia características ambientales desiguales. La exposición norte y sur en laderas opuestas determinan diferencias en el suelo, la vegetación y el drenaje, en sus respectivas posiciones topográficas.

Por tanto, la temperatura será mayor y la humedad atmosférica menor en una ladera expuesta al sur (solana) que en una ladera expuesta al norte (umbría). En consecuencia, se prevé menor humedad de los horizontes superficiales del suelo y con ello mayor hidrofobicidad, menor infiltración y lixiviación de los productos del intemperismo en ladera solana, y mayor avance del frente de intemperismo en la ladera umbría. Se espera también una respuesta en la vegetación, mostrando especies características de ambientes más húmedos en la ladera umbría.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar las características de las propiedades del suelo en diferentes posiciones topográficas en laderas de orientación contrastante (umbría-solana), en una barranca del Parque Nacional Izta-Popo, así como la influencia geomorfológica y pedológica en la dinámica del agua dentro de la misma.

#### **3.2 Objetivos particulares**

- Medir la temperatura y humedad atmosférica en ladera solana y ladera umbría.
- Comparar las propiedades edáficas de acuerdo a la posición del relieve en una catena (hombro, lomo, pie y fondo de valle), en laderas opuestas.
- Evaluar la infiltración e hidrofobicidad de los suelos de dos catenas, en una ladera norte y otra en ladera sur.
- Caracterizar la vegetación dominante en ambas laderas.
- Determinar la influencia geomorfológica y pedológica en el control hídrico de laderas de montaña.

#### 4. MARCO TEÓRICO

En una ladera el movimiento del agua y el material que transporta responde a las características ambientales del lugar, tales como la geomorfología y pedología (Conacher, 2002).

Los procesos activos en una ladera, como lo son el drenaje subsuperficial y superficial, erosión y traslocación de materiales, dependen de diferentes elementos: capacidad de infiltración de agua en el suelo, la pendiente, la curvatura y la posición en el relieve (Schoeneberger & Wysocki, 2005). La superficie puede ser constructiva, erosiva o una combinación de ambas y crear diferentes horizontes a lo largo del perfil del suelo (figura 1).

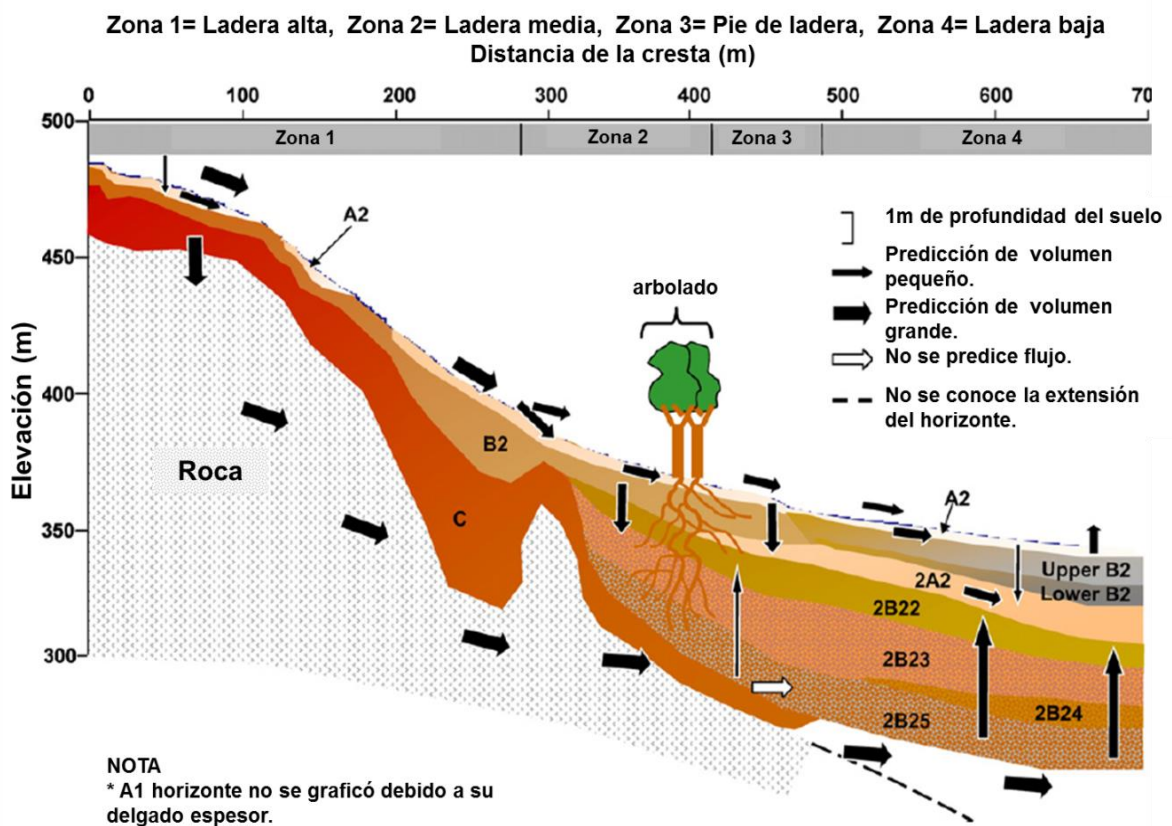


Figura 1: Estratigrafía de suelo y modelo hidrológico basado en la topografía y propiedades del suelo (Tomado de Ticehurst *et al.*, 2007).

La superficie del terreno podría establecer áreas de flujo convergente y divergente que determine áreas de alta o baja infiltración, concentración o no del agua y acumulación de materia orgánica (figura 2).

Su estudio puede simplificarse mediante la evaluación de una catena, que es una secuencia de perfiles de suelo en un transecto perpendicular desde la parte superior a la base de una colina, los cuales están relacionados por su ubicación topográfica. La catena incluye

información sobre estratigrafía superficial, hidrología de la ladera y los cambios secuenciales de la morfología de los suelos.

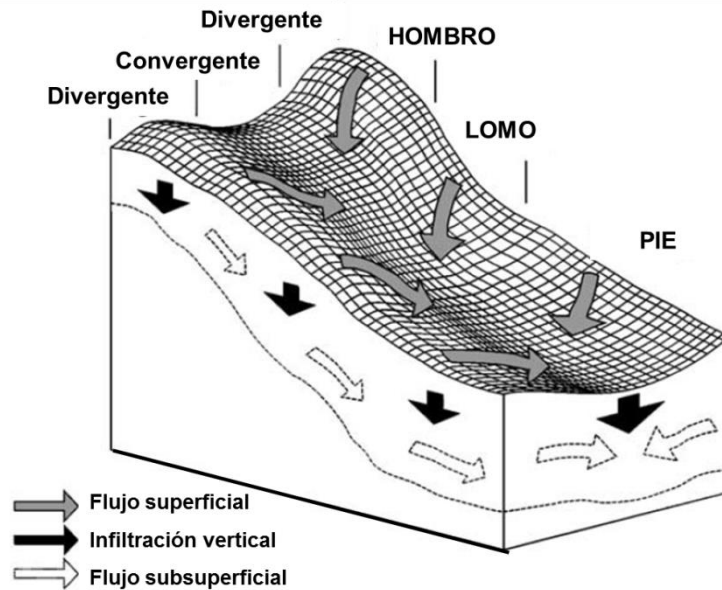


Figura 2: Influencia de la forma y posición de la ladera sobre el flujo del agua en el suelo (Tomado Schoeneberger & Wysocki, 2005).

#### 4.1 Suelo y relieve

La génesis y el desarrollo del suelo están en función del clima, el material parental, la biota, el tiempo y el relieve. Este último es un factor que condiciona la distribución de energía en un sistema morfoedológico.

En una catena dominan procesos de transformación, lixiviación y acumulación, y la diferencia entre los suelos se explica por la intensidad de los procesos mencionados.

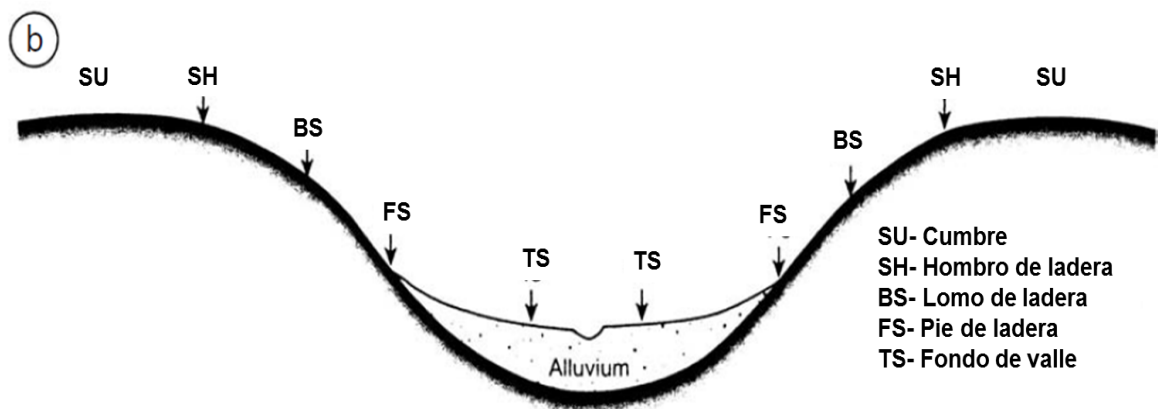


Figura 3: Elementos en una catena según el modelo de Ruhe (Tomado de Schaetzl & Anderson, 2005).

La ladera posee un componente erosivo (en el hombro de ladera), de transporte y de depósito (en el pie de ladera), las propiedades del suelo varían según la variabilidad de estos procesos. En el modelo de Ruhe se describen cinco elementos de una catena (figura 3):

- Cresta o cumbre (summit): Posición generalmente estable, con un mínimo de erosión o acreción. Dominada más por el intemperismo químico que por intemperismo físico; excepto donde la cumbre es estrecha, la precipitación es alta o el suelo es poco permeable. El agua que cae infiltra verticalmente dando lugar a suelos húmedos con mayor contenido de materia orgánica, horizontes más gruesos y mejor diferenciación de horizontes, que en los demás elementos de la ladera. También el agua puede fluir lateralmente en la parte superior de un acuitardo y eventualmente alcanzar el hombro de ladera.
- Hombro de ladera (shoulder): en este sitio la escorrentía y erosión son máximas, el suelo puede ser delgado o estar ausente, en general los suelos suelen ser más jóvenes, con bajo contenido de materia orgánica y relativamente secos. La erosión elimina el material más fino de los hombros, los suelos pueden ser de textura más gruesa.  
La superficie es inestable y los movimientos en masa son comunes; gran parte de esta inestabilidad es iniciada por flujos laterales de agua en subsuperficie.
- Lomo de ladera (backslope): es el sitio de transporte, se ubica entre una zona dominada por la erosión y otra de acumulación. El agua y escombros se mueven sobre y a través de las dorsales, los flujos de agua dependen de la curvatura de la ladera. Los movimientos de solifluxión y reptación son característicos de esta zona.
- Pie de ladera (footslope): la mayoría de las formas del relieve son cóncavas, posición que recibe sedimentos y agua, el material es acarreado en suspensión y solución a través del flujo superficial y subsuperficial.  
La humedad de estos sitios acentúa la productividad primaria neta, que a su vez provee de mayor cantidad de litter. Todos estos factores se combinan para que esta geoforma y la planicie tengan un mayor contenido de materia orgánica (MO).
- Fondo de valle (toeslope): Es el final del pie y extensión del pie de ladera, es una zona de depósito aluvial, es un sitio de construcción, a partir de sedimento que proviene de ladera arriba pero también de los ríos que inundan y depositan sedimento en la llanura de inundación. Los sedimentos tienden a tener mayor humedad, texturas finas y están estratificados debido a los procesos de lavado y transporte de material.

A estos elementos de posición sobre el relieve, se debe agregar el factor de pendiente que se puede clasificar de la manera siguiente: pendiente < 2 %, el terreno es llano; 5 %, el terreno es suave; 10 %, es accidentado medio; 15 % accidentado; 25 %, fuerte accidentado; 50 %, escarpado y > 50 %; muy escarpado. La topografía modifica el clima local y regional e influye en la precipitación, la temperatura, la radiación solar y la humedad relativa; en consecuencia influye para alterar la pedogénesis, composición, estructura y distribución de la vegetación. Por ejemplo, en regiones húmedas la precipitación excede a la evapotranspiración lo que resulta en un exceso de agua para el drenaje, por lo que las láminas de agua subterránea imitan la topografía de la superficie (Schoeneberger & Wysocki, 2005).

### 4.3 Exposición de ladera

La exposición de la ladera es un factor potencialmente significativo en generar características diferentes en el ecosistema (Yimer *et al.*, 2006); ya que indica la dirección e incidencia del sol, alterando principalmente el contenido de humedad atmosférico y edáfico.

En el hemisferio norte los terrenos expuestos hacia el norte (laderas umbrías), la cantidad de calor generada por el sol y recibida por la superficie del suelo son menores; como consecuencia, los ciclos de humedad y secado en el perfil son más largos que en terrenos expuestos hacia el sur (laderas solanas). En concordancia, la composición de especies vegetales en suelos expuestos hacia el norte produce mayor acumulación de materia orgánica humificada que en los suelos expuestos al sur (Chun-Chih *et al.*, 2004) (figura 4).

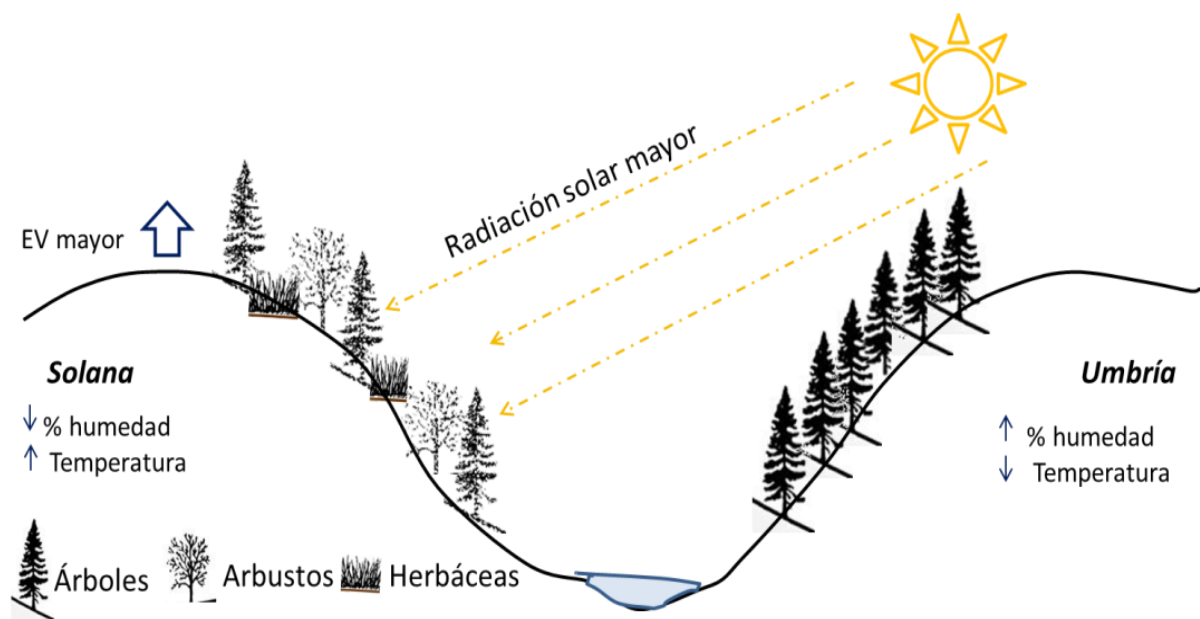


Figura 4: Afectación de las propiedades de suelo, composición de la vegetación y microclima por exposición de la ladera. EV = evapotranspiración (Elaboración propia).

### 4.3 Vegetación

En un ecosistema forestal las precipitaciones son modificadas por las características de la cubierta vegetal; ya que se altera la intensidad, cantidad y distribución de la lluvia, antes de alcanzar el suelo del bosque. Este proceso se conoce con el nombre de redistribución de precipitaciones y además, la evapotranspiración de estas comunidades puede ser substancial en el diseño local del flujo de agua (Llorens & Domingo, 2007).

La vegetación puede interceptar al agua de la precipitación, la cual puede evaporarse o alcanzar la superficie del suelo por el dosel ('throughfall') o por el fuste ('stemflow'). En este punto existen varias vías de recorrido: 1) infiltrar y llegar al agua subterránea, 2) fluir lateralmente o 3) escurrir sobre la superficie (overland flow o runoff) (figura.5). La escorrentía e infiltración suele modificarse por la cantidad y calidad de mantillo.

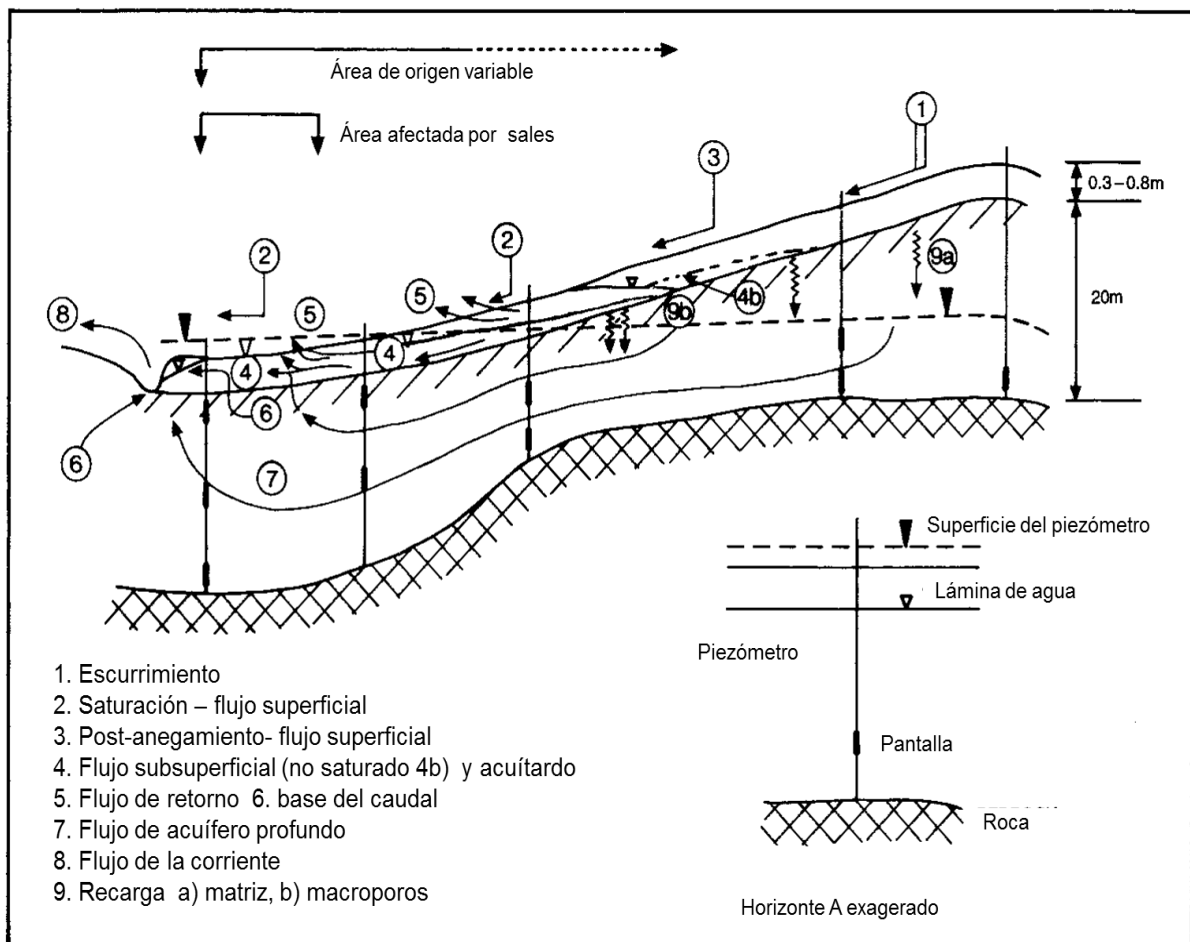


Figura 5: Movimiento del agua en una ladera (Tomado de Conacher, 2002).

Por otro lado, el origen de nutrientes y recursos (sostén y agua) para la vegetación depende de las propiedades del suelo. Su establecimiento, crecimiento y distribución es heterogéneo, obedece a la posición en el relieve y a las características edáficas (Chun-Chih *et al.*, 2004).



Según Green & Hawkins (2005) las especies de coníferas y latifoliadas compiten en un amplio rango de condiciones ambientales (temperatura, humedad entre otros), la mayoría de las veces determinadas por el relieve.

Por ejemplo, el bosque de *Abies* es una comunidad bien definida. Se presenta generalmente en altitudes entre 2700 y 3500 m, casi siempre sobre suelos profundos, bien drenados, ricos en materia orgánica y húmedos durante todo el año. Para *Abies balsamea* su crecimiento se favorece en condiciones de alta humedad y baja radiación solar y viceversa el diámetro del tallo disminuye en períodos de poca humedad y alta insolación. La humedad influye en el crecimiento en del tallo del *Abies* en un 36% seguido por la radiación solar (32.3%), precipitación (5.5%) y la temperatura del aire (1.4%). (Duchesne & Houle, 2011).

Los pinares son característicos de las montañas de México y en general los pinares tienen abundantes gramíneas amacolladas. Tal condición está correlacionada con los frecuentes incendios que sufren estas comunidades vegetales. Las trepadoras y las epífitas en general no son frecuentes, pero en los cauces de los arroyos o en otros lugares favorecidos con humedad a menudo aumenta su abundancia.

Existen algunos elementos en la flora actual de la cuenca de México que señalan afinidad a regiones muy húmedas, como:

*Acer negundo* var. *mexicana*

*Fraxinus uhdei*

*Celastrus pringlei*

*Ilex toluicana*

*Citharexylum affine* *Meliosma dentata*

*Coriaria ruscifolia* ssp. *microphylla*

*Oreopanax xalapensis*

*Cornus disciflora*

*Symplocos citrea*:

La presencia y la distribución de estas plantas indican la existencia de climas más húmedos en el pasado, que el actual (Rzedowski, 2001).

#### 4.4 Ambientes ribereños (AR)

El río integra las características ecológicas de la cuenca que drena. Por lo tanto, la composición del agua está en función de la naturaleza de las rocas, de la evolución de los suelos y de la vegetación terrestre, y refleja los fenómenos fisicoquímicos y biológicos que ocurren en la cuenca junto con las consecuencias de la actividad humana.

La importancia y complejidad de los sistemas lóticos montañosos también es conocida (figura 6); regulan la temperatura (Meleason & Quinn, 2004), aproximadamente el 85% de la luz solar es interceptada y la energía solar que alcanza directamente la superficie de los ríos se reduce en un 15% en verano, en bosques de coníferas (Nakamura & Yamada, 2005).

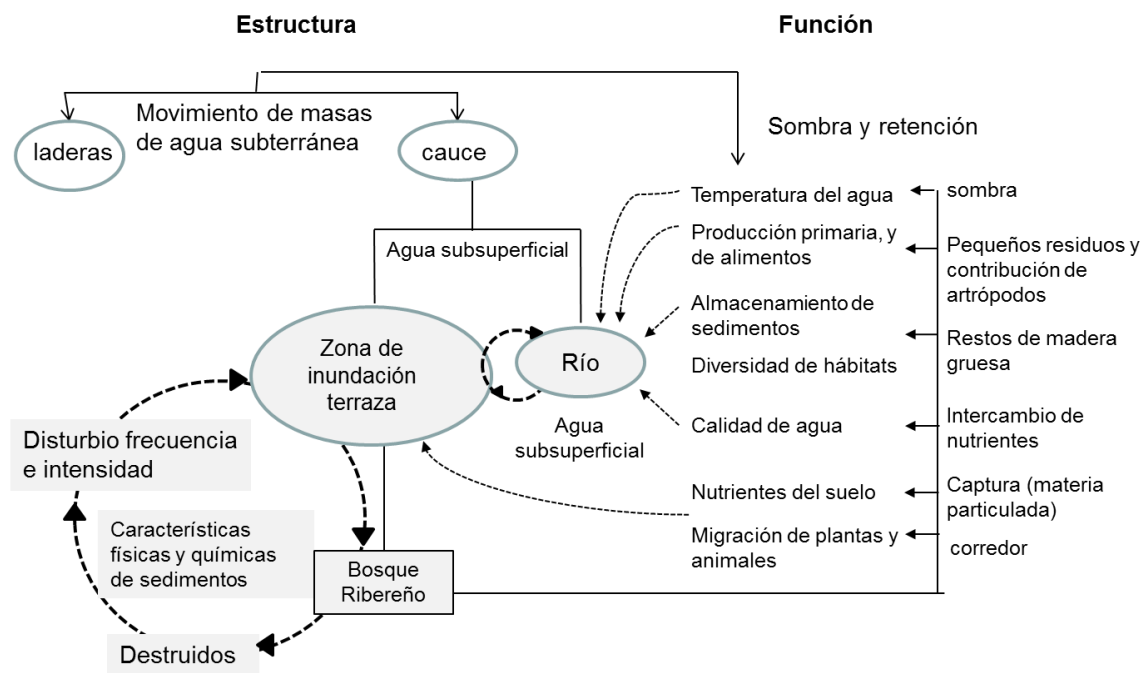


Figura 6: Estructura y función de la ribera (Naiman *et al.*, 2005).

Son zonas filtro y de amortiguamiento de contaminantes, reducen la influencia de nutrientes agrícolas y químicos en corrientes de agua superficial hasta en un 44% (Mander *et al.*, 1997; Anbumozhi *et al.*, 2005).

Se consideran tanto ecotonos entre las zonas terrestre y acuática como corredores entre regiones (Anbumozhi *et al.*, 2005). La significancia de un ecotono es que todo el material transferido entre el ecosistema es regulado según los límites (Mander *et al.*, 1995). Son eco-regiones florística y estructuralmente más diversas, se encuentran entre los sistemas ecológicos más complejos de la biosfera que comprende procesos biológicos, geológicos, químicos e hidrológicos en el flujo continuo y bidireccional entre el agua, suelo y vegetación (Nainam *et al.*, 2005) (Figura 6).

A nivel internacional la UNESCO (1990) establece el proyecto “el rol de los ecotonos suelo/subsuelo para el manejo y restauración”, delinea el efecto “buffer” esencial de los AR. Las Naciones Unidas (2002) identifican a las montañas en el programa “torres de agua del mundo”, y se suman otros esfuerzos como la Iniciativa para la Investigación en Montañas (MRI).

En México la diversidad orográfica, ha favorecido la existencia de estos ecosistemas; identificándose alrededor de 172 grandes ríos perennes que transportan en promedio 375 billones de m<sup>3</sup> de agua anualmente. Sin embargo, no se conoce la superficie que ocupan, ni el significado económico ni ecológico para el país, a pesar de ser zonas federales y estar consideradas como zonas de reserva permanentes en la Ley Federal de Aguas.

### **Amplitud de los ambientes ribereños**

Por otra parte, no hay consenso sobre la amplitud de influencia de los ambientes ribereños; ésta se modifica según el proceso que regule (Cuadro 1), la vegetación y la pendiente (ecuación 1).

La amplitud óptima de 52 m es útil cuando se evalúa la retención de sedimentos (Sparovek *et al.*, 2003), 25 m para la regeneración del arbolado (Sarr *et al.* 2011), en árboles de hoja ancha 30 m, coníferas 50 m y puede ser muy variable según la pendiente (Nakamura & Yamada 2005).

Cuadro 1: Amplitud mínima recomendada para ambientes ribereños (Lazdinis & Angelstam, 2005).

<b>Función de ecotonos ribereños</b>	<b>Amplitud mínima recomendada (m)</b>
<i>Ambiente terrestre</i>	
Hábitat de aves	20-200
Migración de flora y fauna	25
Vegetación ribereña	10-30
<i>Ambientes acuáticos</i>	
Hábitat adecuado para peces, anfibios y reptiles.	10>45
Regulación de lixiviación de nutrientes	10-50

$$\text{Amplitud del AR} = 8m + \% \text{ pendiente} \times 0.6 \quad \text{Ecuación 1: ríos en general}$$

$$\text{Amplitud del AR} = 16m + \% \text{ pendiente} \times 1.2 \quad \text{Ecuación 2: ríos importantes}$$

## 5. ÁREA DE ESTUDIO

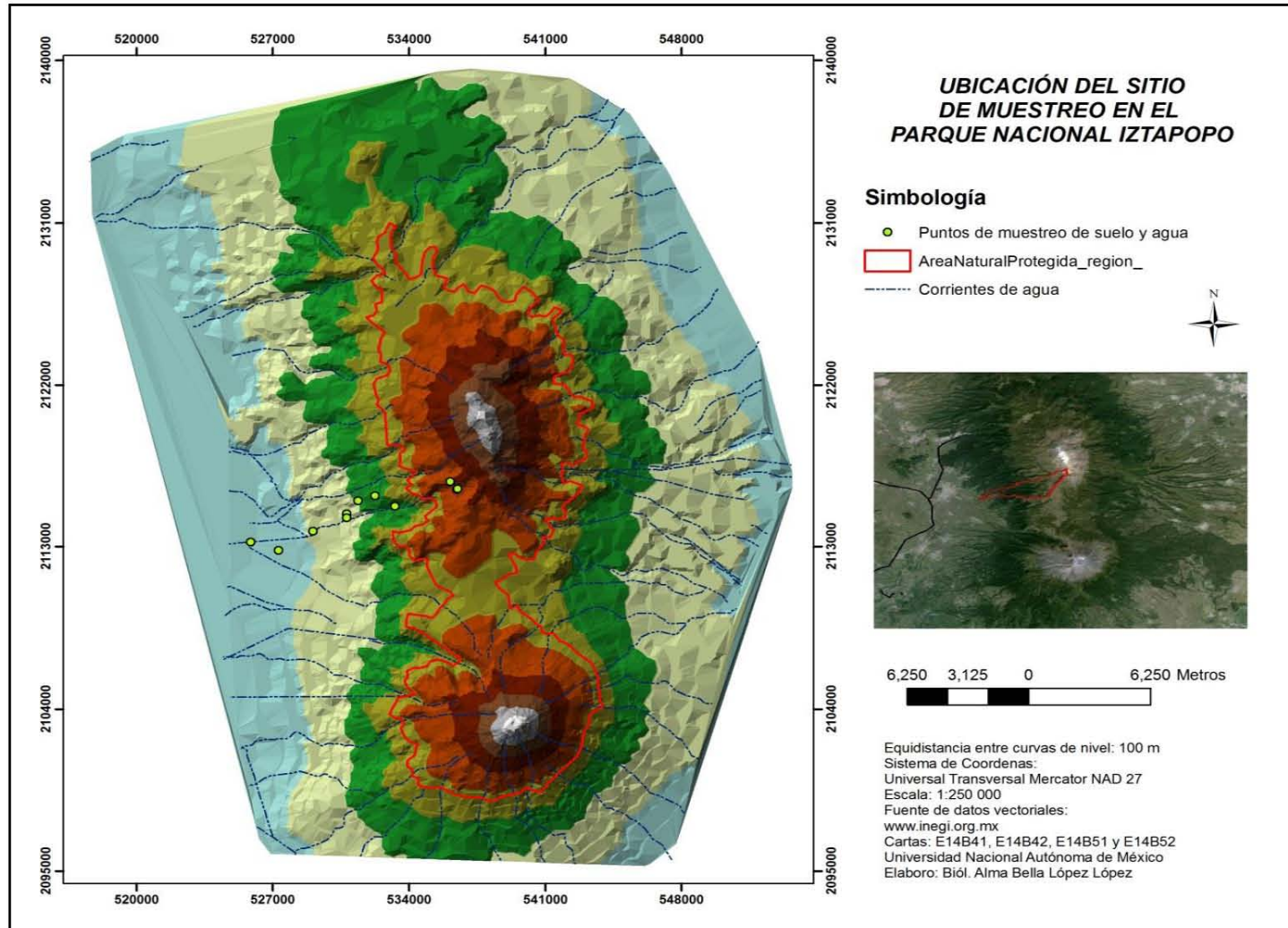


Figura 7: Delimitación del área natural protegida Iztapa-Popo y área de influencia (Elaborado en ArcMap 9.3).

El Parque Nacional Izta-Popo (PNIP) y su área de influencia se localiza en la parte centro-oriental del Eje Volcánico Transversal, ocupa parte de la Sierra Nevada en su porción sur y la Sierra de Río Frío en la parte norte; se ubica entre las coordenadas geográficas 18°59'00.43" y 19°28'09.44" de latitud norte y 98°34'55.88" y 98°46'40.95" de longitud oeste. Comprende los límites de los estados México, Puebla y Morelos. Este conjunto montañoso tiene una orientación N-S y representa el límite SW de la cuenca endorréica de México.

La zona de influencia. Se establece por debajo de la cota de 3000 m, en ella se encuentran 25 municipios y 27 poblados que interactúan de forma directa e indirecta con el parque (figura 7).

### 5.1 Clima

La precipitación anual oscila entre 800 y 1200 mm, se presenta en diversas formas: nieve, lluvia, aguanieve y granizo. Generalmente las tormentas se producen en el este y son dirigidas por los vientos hacia el oeste. En la estación húmeda, los volcanes son afectados por los vientos alisios del noreste y los ciclones tropicales, y en la seca por los vientos altos del oeste. Las lluvias ocasionales de invierno son generadas por los nortes del Golfo de México.

Cuadro 2: Características de suelo, vegetación e hidrología del Parque Nacional Izta-Popo

Altitud	<sup>1</sup> Recursos hídricos	<sup>2</sup> Regimen térmico y de humedad del suelo	<sup>3</sup> Vegetación	<sup>4</sup> Proceso geomorfológico
4500	Caída de nieve y granizo Pocos	C - ustic usofrigid	Sin vegetación	Volcánico acumulativo (cono)
4000- 4500	escurrimientos, primeros manantiales	C - ustic usofrigid	Zacatonal alpino	Piedemonte, volcánico- acumulativo.
3500- 4000	Incremento de la velocidad y volumen de los arroyos	B - udic mesic/frigid	<i>Pinus hartweggi</i>	Erosión fluvial moderada
2500- 3500	Incremento en la cantidad de agua	A - ustic isomesic	<i>Abies religiosa</i> , <i>Pinus</i> sp, <i>Quercus</i> sp, <i>Alnus</i> , <i>Arbutus</i>	Erosión fluvial intensa
2300- 2500	Depósito de sedimentos	A - ustic isomesic	<i>A. religiosa</i> , <i>Pinus</i> sp, <i>Quercus</i> sp, <i>Alnus</i> , <i>Arbutus</i> .	Acumulativo fluvial

Tomado de <sup>1,3</sup>Escamilla., 2007; <sup>2</sup>Miehlich, 1991 y <sup>4</sup>Franco R. O., 2005.

La precipitación alcanza su valor máximo (1200 mm) alrededor de la cota de 3600 m, a partir de la cual, tiende a decrecer, fenómeno conocido como: *techo de nubosidad* situado alrededor de los 3600 en montañas mayores a 4000 (Escamilla., 2007).

El cambio del gradiente térmico en el parque oscila de -0.56 C a -0.68 ° C por cada 100 m de altitud (Escamilla., 2007; CONANP, 2012), por lo cual se asume que el gradiente térmico varía en las diferentes laderas de la Sierra Nevada por condiciones locales de topografía, orientación y microclima de cada una (cuadro 2). Mientras que el coeficiente P/T o disponibilidad hídrica tiende a incrementar gradualmente, resultando en un comportamiento inverso.

### 5.2 Geología y estratigrafía

Los materiales más antiguos que componen la Sierra Nevada son lavas de composición intermedia del Pleistoceno temprano sobre un basamento de calizas a más de 2 km de profundidad (Franco, 2005).

La mayor parte del desarrollo de los estratovolcanes que conforman esta cadena ha ocurrido a lo largo del Pleistoceno medio y tardío; en el caso del Popocatepetl, la actividad se ha extendido al Holoceno y hasta la actualidad, y el Iztaccíhuatl consiste de lavas dacíticas y andesíticas del Pleistoceno.

Las últimas erupciones del Popocatepetl ocurridas en los últimos 25 mil años cubren la mayor parte de la Sierra Nevada ( (Miehlich, 1991; Arana *et al.*, 2010) (figuras 8 y 9).

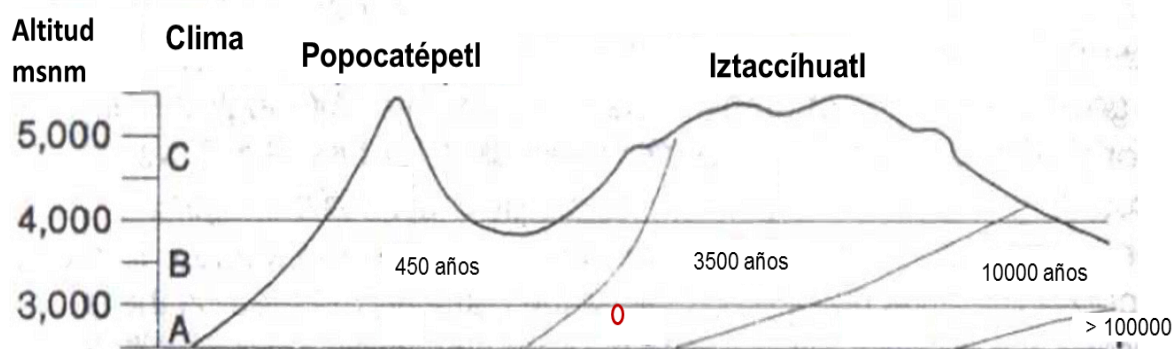


Figura 8: Edad de los depósitos de ceniza de acuerdo a la altitud en los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, el ovalo rojo es la ubicación aproximada de la catena (Miehlich, 1991).

Miehlich (1991) indica que las capas de ceniza 1C, 1P, 2C, 2P, 3C cubren por lo menos el 75% de la superficie de la Sierra Nevada (Miehlich, 1991). En el cuadro 3 se muestra la edad y espesor de los depósitos de ceniza.

Cuadro 3: Espesor promedio de los depósitos de caída del Popocatépetl ( (Miehlich, 1991).

Ceniza	Edad años	Popocatépetl Iztaccíhuatl	
		cm	
1C	<1000	50	40
1P	<1000	30	10
2C	4000-5000	45	55
2P	3500-5000	65	20
3C	>10000	110	120

C= ceniza, P= pómez

Durante los últimos 20 000 años, la actividad explosiva del Popocatépetl ha sido caracterizada por cuatro eventos mayores, con producción de pómez y ceniza (14000, 5000, 2150 y 1100 años) y cuatro menos expuestos, ocurridos hace 11000, 9000, 7000 y 1800 años AP. La historia geológica del Popocatépetl se resume en el la figura 9.

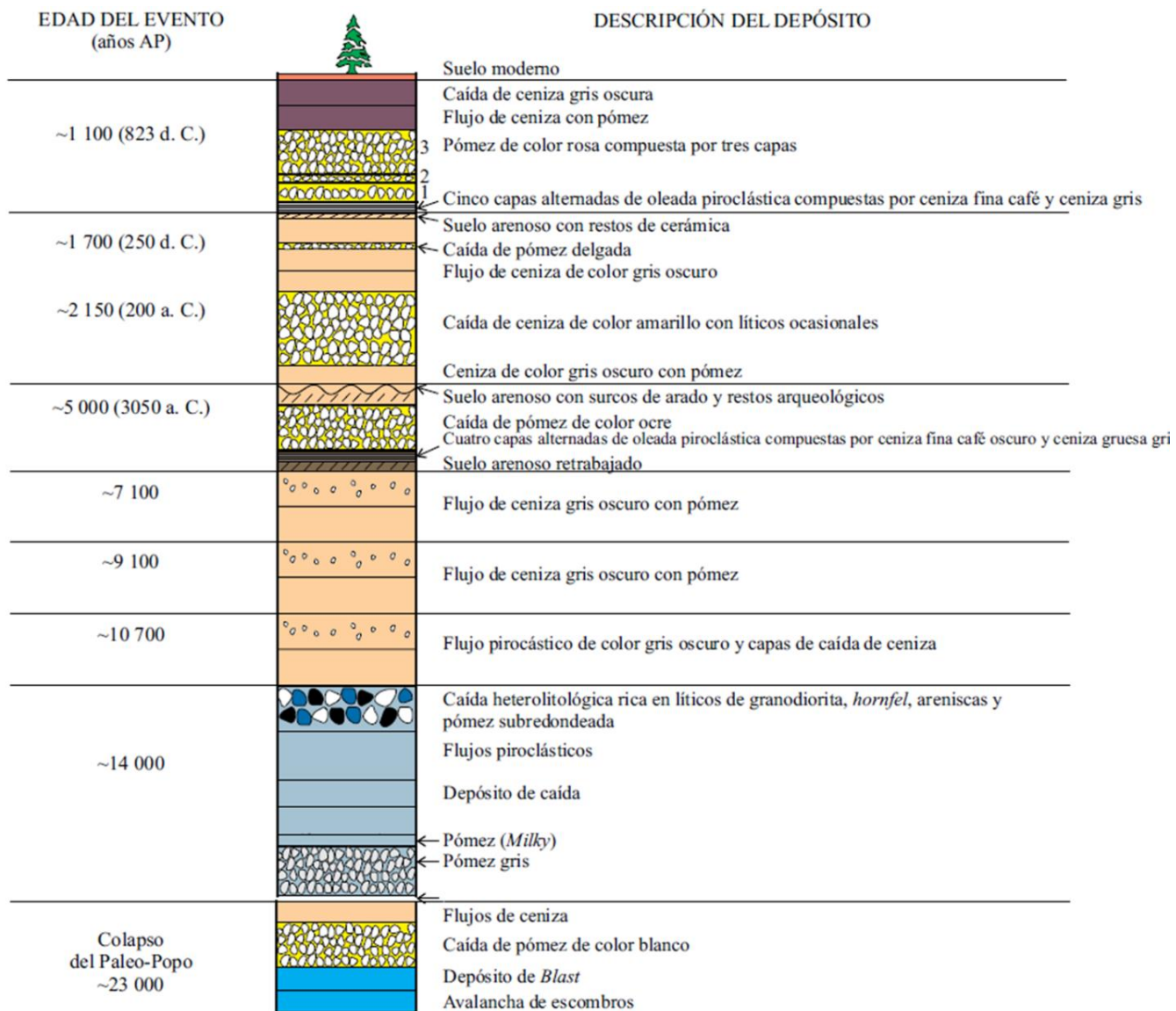


Figura 9: Composición estratigráfica del volcán Popocatépetl desde hace 23000 años, modificada por Siebe & Macías (2004) (Tomado de Macías, 2005).

### 5.3 Suelos

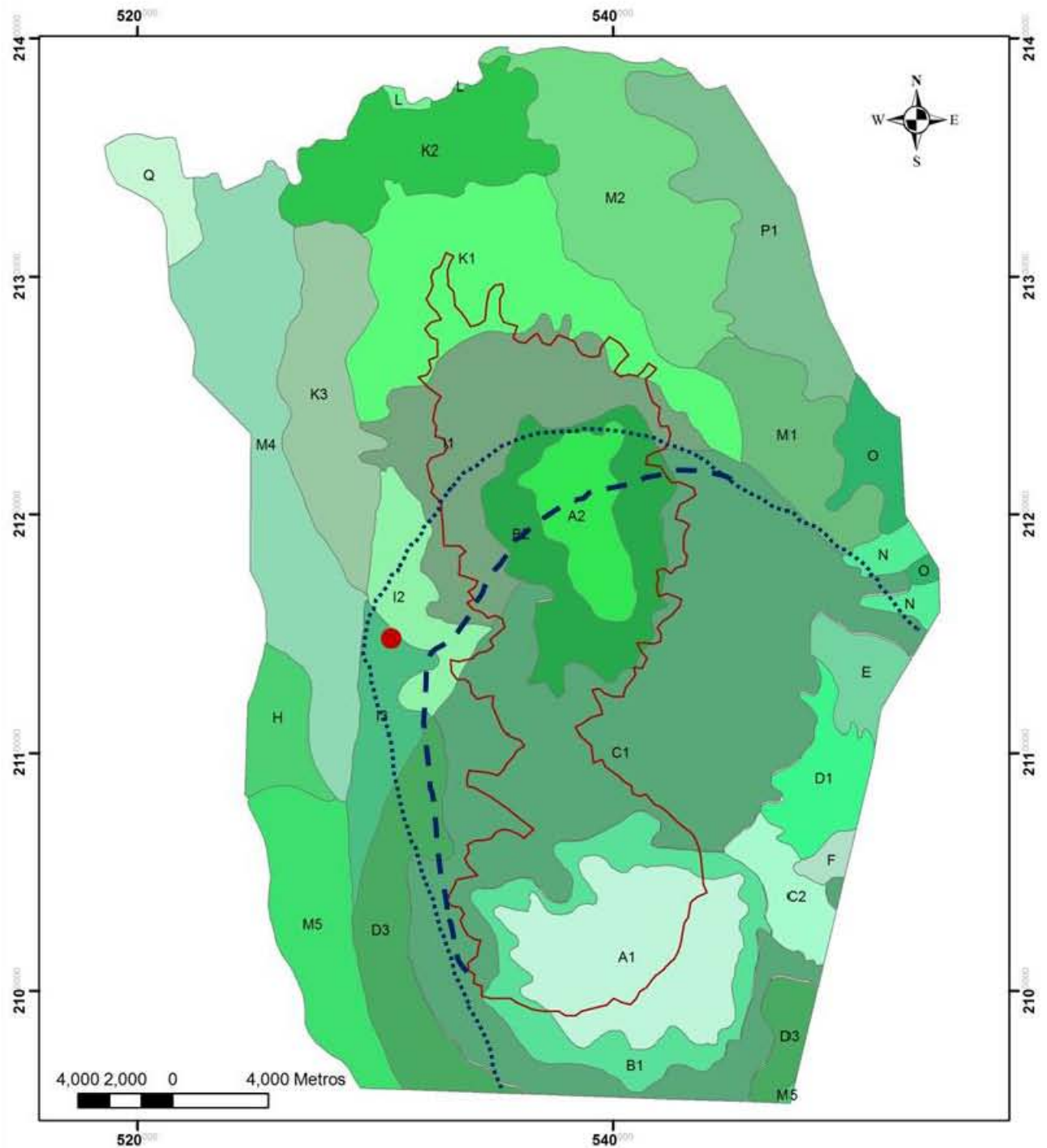
En el Programa de Manejo del Parque Nacional IztaPopo (2006) se menciona como la unidad de suelo dominante al Andosol háplico, mientras que los tipos Andosol úmbrico y vítrico son los más frecuentes, además de Leptosol lítico, Regosol eutríco y dístrico, así como Cambisol y Fluvisol. Sin embargo, el aporte de ceniza continuamente interrumpe los procesos de erosión y formación de suelo.

El material parental de los suelos está formado por cenizas volcánicas recientes y pómez (tefras) de diferente edad. El desarrollo de los suelos depende de la edad del material parental, en general los más jóvenes (450 años) se localizan cerca del Popocatepetl y los de mayor antigüedad al norte del Iztaccíhuatl. Sin embargo el clima local, relieve y biota modifican la pedogénesis (Miehlich, 1991) (cuadro 4 y figura 10).

Cuadro 4: Unidades de suelo propuestas por Miehlich 1991.

Unidad de suelo (Miehlich 1991)	FAO (1974)	
	Dominante	Acompañante
<b>B2</b>	Andosol vítrico, Andosol húmico	Andosol vítrico, Andosol húmico
<b>C1</b>	Andosol vítrico	Regosol dístrico, litosol
<b>D3</b>	Andosol vítrico, Andosol vítrico.	Fluvisol
<b>I1</b>	Andosol vítrico, Cambisol dístrico	Litosol
<b>I2</b>	Andosol húmico, Cambisol dístrico	Andosol vítrico.
<b>I3</b>	Andosol húmico/ócrico	Andosol vítrico.
<b>K1</b>	Andosol vítrico	Andosol húmico, Cambisol dístrico, Fluvisol.
<b>K2</b>	Andosol vítrico	Andosol húmico/ócrico, Litosol.
<b>L</b>	Andosol húmico , Andosol vítrico	Litosol, Fluvisol.
<b>M1</b>	Andosol mólico, Andosol húmico/ócrico	Andosol ócricos-fase duripan, Andosol húmico, regosol eútrico
<b>M2</b>	Andosol mólico, Andosol húmico/ócrico.	Cambisol eutríco fase duripan, Duripan
<b>M3</b>	Andosol mólico, Andosol húmico/ócrico.	Andosol húmico, regosol dístrico, Cambisol dístrico, Cambisol eutríco fase duripan, Andosol húmico, Litosol.
<b>M4</b>	Andosol húmico/ócrico, Andosol vítrico.	Andosol mólico, Andosol vítrico, Cambisol eutríco fase duripan.
<b>M5</b>	Andosol húmico/ócrico, Andosol vítrico	Andosol mólico, Regosol eutríco, Cambisol vítrico.
<b>Q</b>	Cambisol eutríco, fase de duripan, Cambisol eutríco fase duripan, Cambisol vítrico, fase duripan	Andosol mólico.





● Ubicación de la catena  $I_3$   
 Las letras simbolizan la unidad de suelo.

..... Capa de pómez  $2P_2$   
 - - - - Capa de pómez  $1P_2-1P_4$   
 — Área natural protegida

Figura 10: Mapa general de suelos del Parque Nacional Izta-Popo, propuesto por Miehlich 1991. Realizado en Arc Map 9.3. Leyenda: ver Cuadro 4.

#### **5.4 Geoforma.**

El relieve es originado por la dinámica interna de la Tierra, por lo que predominan formas de paisaje volcánico. También actúan procesos erosivos y acumulativos que son controlados por la litología, vegetación, pendiente y condiciones climáticas locales.

La erosión fluvial y glacial han transformado significativamente las laderas de los estratovolcanes, en especial las del Iztaccíhuatl (White, 1962; Vázquez-Selem, 2011).

#### **Diseño fluvial**

Gran parte de los escurrimientos funcionan como fronteras entre formas de relieve, por lo que se denominan de contacto geomorfológico. El diseño fluvial en la zona se puede generalizar como radial centrífugo consecuencia de la estructura geológica (Franco, 2005). La parte acumulativo fluvial se presenta en zonas de transición entre el relieve de montaña y las planicies.

Se localizan superficies cóncavas, generalmente en la cabecera de los escurrimientos y funcionan como una zona de captura de agua pluvial, formando circos de erosión (activos o pasivos). Su desarrollo depende del tipo de roca, inclinación, altitud y orientación (retención de humedad-insolación).

Otra forma dominante son los barrancos (relieve erosivo fluvial): Corrientes estacionales o permanentes que deben su presencia a los flujos de agua encausados.

#### **5.5 Hidrología**

La vertiente noroeste del parque drena a la cuenca del valle de México. Las corrientes superficiales permanentes e intermitentes provienen principalmente del deshielo de los glaciares y de las precipitaciones pluviales; ambas alimentan las corrientes subterráneas del sistema.

#### **5.6 Vegetación**

La Sierra Nevada es el remanente más importante de bosques de coníferas y praderas de alta montaña en el centro del país. Hasta los 3,100 m de altitud se encuentran asociaciones dominadas por *Pinus montezumae*, con especies de los géneros *Quercus*, *Abies*, *Arbutus*, *Alnus*, *Salix* y *Buddleia*.

También se encuentran ecotonos de *Pinus ayacuite* con *Abies religiosa* y *Pinus montezumae* con *Pinus hartwegii*. En estos bosques el dosel no es muy cerrado, por lo que pueden desarrollarse diversas herbáceas. En las partes más elevadas y abruptas a 3600 m se establece *P. hartwegii*. Mientras que *A. religiosa* posee un rango altitudinal entre 2400 y 3500 m.

Las asociaciones de bosques de encino son complejas, de los 2400 a los 3100 m se hallan agrupaciones de *Q. laurina* con *Q. crassifolia*, *Q. rugosa*, *Abies*, *Arbutus*, *Juniperus* y *Pinus* (CONANP, 2012)

El fuego y pastoreo constituyen los principales factores causantes de la alteración de las comunidades vegetales alpinas. Conforme incrementa la altitud disminuye el número de estratos, la riqueza, la talla y la cobertura de la vegetación. No obstante la vegetación también sigue un patrón horizontal determinado por la topografía, microclima y propiedades del suelo (Escamilla, 2007).

### **5.7 Perturbación**

Las ruinas arqueológicas encontradas en la cumbre del Tláloc por ejemplo, muestran que la Sierra Nevada ha estado sujeta a interferencias humanas por varios siglos. Actualmente, la presión antrópica ejercida en estas montañas ha sido documentada ampliamente (Miehlich, 1991; Velázquez, 2002; Hernández & Granados, 2006; CONANP, 2012).

Entre los principales problemas están: la tenencia de la tierra, la tala clandestina (ocoteo y obtención de carbón), los incendios forestales, la ganadería, la extracción de recursos silvícolas (plantas comestibles y medicinales), el crecimiento urbano, la cercanía a la metrópoli y el cambio de uso de suelo (CONANP, 2012).

*Ambientes Ribereños*: Estos sitios son utilizados como fuente de agua para los poblados cercanos. También son receptores de descargas de contaminantes a través del drenaje doméstico (UNAM, 2012).

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Gabinete

Aunque son abundantes las referencias bibliográficas del estudio de los ríos (Lecome *et al.*, 2009), existen escasas investigaciones sobre el vínculo suelo-vegetación y suelo-paisaje relacionado con la posición en la catena y exposición en el PNIP. Debido a ello se siguió el procedimiento que a continuación se describe.

Inicialmente se recopiló información del lugar mediante el uso de cartas (E14B41, E14B42, E14B51 y E14B52) de suelo, vegetación y topografía 1:50,000 de INEGI (2000), así como los trabajos realizados en la zona.

Después de ubicar las principales corrientes de agua permanentes de la zona, se eligió el sitio de muestreo. Estos sitios de estudio se localizan al occidente del Iztaccíhuatl, en dos laderas opuestas al río Alcalica, cerca del municipio de Amecameca.

El lugar se examinó a detalle mediante fotografías aéreas e imágenes satelitales de Google Earth, se buscaron caminos de fácil acceso, cuerpos lóticos cercanos, laderas semejantes (forma, material parental, altitud, pendiente) opuestas al río, y finalmente que cumplieran con el modelo de Ruhe (figura 11).

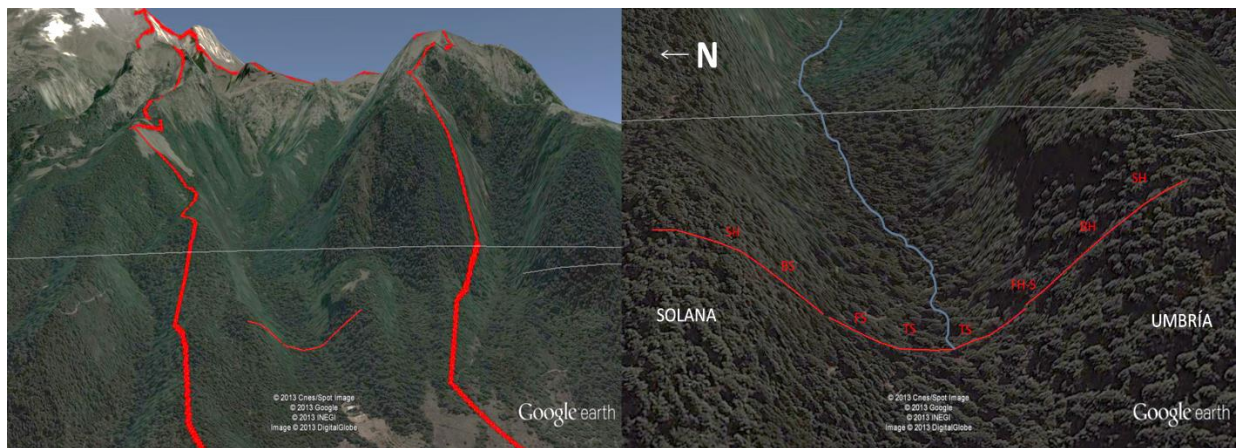


Figura 11: Sitios de muestro (imagen tomada de Google Earth, 2012).

Con el propósito de reconocer el vínculo existente entre la red de drenaje y el relieve de la microcuenca de Alcalica, también se delimitó el parteaguas, la superficie al interior del polígono y los datos hidrográficos de la cuenca (anexo I).

También se creó un modelo de radiación solar anual, exposición de las laderas y de pendientes de la cuenca de Alcalica en el Sistema de Información Geográfica ArcMap 9.3. En el modelo de radiación se utilizaron los datos vectoriales de INEGI 1:50000, y se usó la

extensión del programa llamada *Solar Radiacion*. Éste utiliza como fuente de datos un modelo de elevación digital de la zona, latitud central y el tiempo de la radiación acumulada que se requiera. Los datos de salida de la insolación se presentan en watt hora metro<sup>-2</sup>.

## 6.2 Campo

En campo se verificaron y establecieron las diferentes posiciones de la catena en ambas laderas (en un rango de elevación de 100 m). Los sitios de la catena fueron ubicados geográficamente con un GPS garmin ETREX 30 y se les asignó una clave (cuadro 5, figura 11). La temperatura y humedad atmosférica fue medida cada media hora durante tres días (17-19 de noviembre de 2013) en el hombro y lomo de cada ladera con un *data logger* marca *HOBO*<sup>®</sup>. Los *data loggers* se colocaron en las ramas de los árboles aproximadamente a un metro de altura del suelo (anexo II).

Cuadro 5: Ubicación y asignación de clave a las posiciones del modelo de Ruhe

Posición en la catena	Catena 1: Ladera solana					Catena 2: Ladera umbría				
	Perfil	Clave	Longitud	Latitud	Altitud	Perfil	Clave	Longitud	Latitud	Altitud
				m					m	
Hombro	1	SHs	2114743	2114743	2948	5	SHu	531063	2114334	2948
Lomo de ladera	2	BSs	2114787	2114787	2925	6	BSu	531056	2114435	2940
Pie de ladera	3	FSs	2114550	2114550	2905	7	FSu	530981	2114743	2885
Fondo de valle	4	TSs	2114498	2114498	2880	8	TSu	531028	2114545	2883

\*s: solana y u: umbría

## Suelo

Una vez ubicados los diferentes sitios de muestreo, se excavaron ocho calicatas y se llevó a cabo la descripción del perfil del suelo y la evaluación edafo-ecológica siguiendo el procedimiento descrito por Siebe *et al.* (1996) en cada punto de la catena (anexo III y IV): SU, SH, BS, FS y TS de las laderas norte y sur. Los suelos se clasificaron de acuerdo a los lineamientos establecidos en la World Reference Base for Soil Resources, IUSS, 2008.

Además se determinó la conductividad hidráulica saturada de campo ( $K_f$ ) mediante el infiltrómetro de doble anillo, hidrofobicidad por el método de gota, y se colectaron muestras de suelo de cada horizonte en bolsas de plástico para su posterior análisis físico y químico en el laboratorio (figura 12).

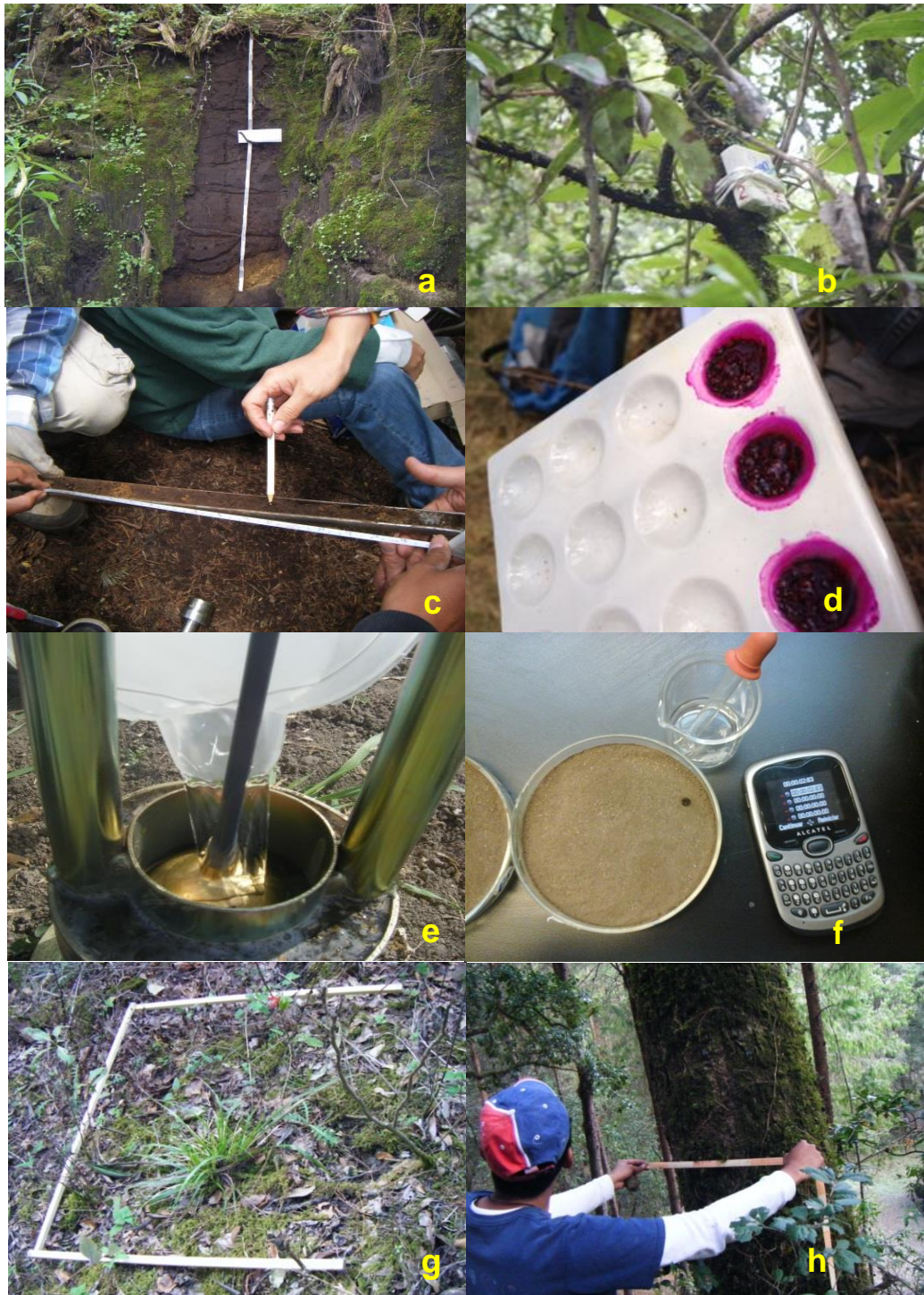


Figura 12: Imágenes del trabajo realizado en campo a) descripción de perfil de suelo, b) instalación de los *data loggers*, c) caracterización del suelo mediante el uso de barrenas, d) reacción del suelo al NaF, e) conductividad hidráulica, f) hidrofobicidad, g) muestreo de mantillo y h) de vegetación.

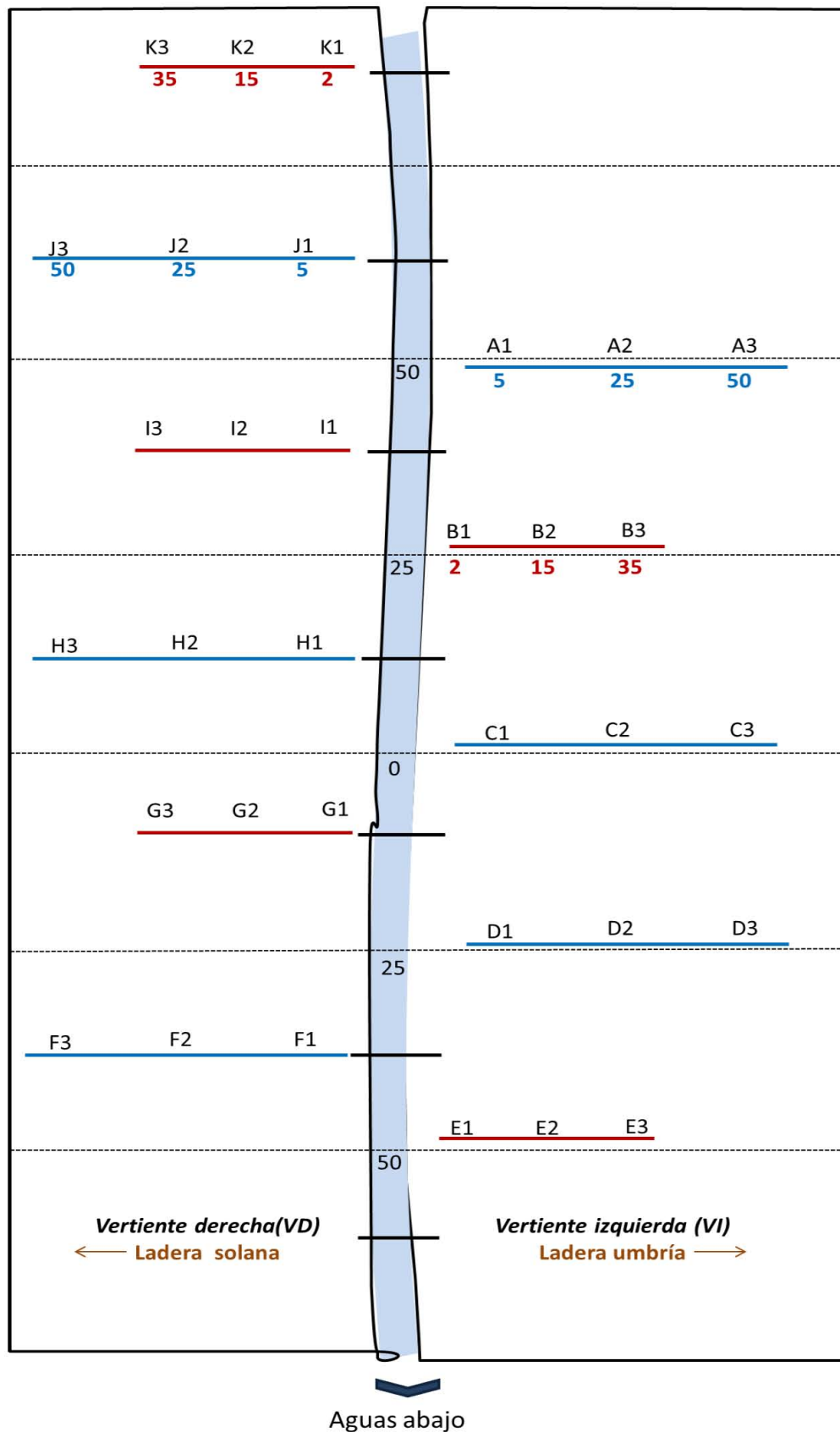


Figura 13: Esquema de las barrenaciones realizadas en el fondo del valle a una distancia del cauce de 5, 25 y 50 m (línea azul) y de 2, 15 y 35 m (línea roja) cada 12.5 m a lo largo del río (las líneas punteadas indican distancias de 25 m).

**Evaluación de propiedades del suelo adyacente hasta 50 m en ambos márgenes del río (fondo de valle).** Cerca de la corriente de agua, además de evaluar la Kf e hidrofobicidad del suelo a través de las metodologías antes descritas, se barrenó una superficie equivalente a una hectárea (100 m a lo largo del río y 50 m en cada costado) (figuras 12, 13 y anexo V y se hizo la prueba de Al activo, color y textura de suelo en los diferentes horizontes reconocidos.

### ***Vegetación***

La estructura de la vegetación se determinó siguiendo el muestreo de Gentry, que consiste en el levantamiento de la información sobre transectos lineales. Este modelo es utilizado para estimar los valores absolutos y relativos de frecuencia, densidad, y dominancia (basado en el área basal o cobertura), para calcular el Índice de Valor de Importancia. Se colectaron ejemplares de tejido vegetal y prensaron para su posterior determinación taxonómica.

La descripción de la vegetación se realizó en los sitios altos de las catenas (hombro y lomo de ladera solana y ladera umbría); ya que estos sitios tienen mayor afectación por efecto de la radiación. Con el objetivo de hallar diferencias ligadas a la exposición y se reforzó estimando el índice de similitud.

La amplitud de muestreo se modificó según el estrato de vegetación:

- Arbóreo: radio de 10 m x 10 m, para cubrir un área de 100 m<sup>2</sup>.
- Herbáceo y arbustivo: cuadrantes de 1m<sup>2</sup>.

El muestreo se realizó en transectos lineales por duplicado cada 10 m en el estrato arbóreo y cada 5 m en la vegetación arbustiva y herbácea.

### **Mantillo**

Se colectaron dos muestras de mantillo en cada punto de la catena de las dos laderas en un cuadrante de 1m<sup>2</sup>. El material fue llevado a laboratorio, secado a 60 °C durante una semana y pesado. La biomasa de mantillo fue expresada como masa en peso seco de carbono por metro cuadrado.

### **6.3 Laboratorio**

Las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente, tamizadas con una malla de 2 mm de abertura y guardadas en frascos. Se determinó el pH activo con agua (relación 1:2), conductividad eléctrica (relación 1:5) y pH potencial (relación 1:2) con CaCl<sub>2</sub> 0.01M (Jackson, 1982). Se cuantificó hierro y aluminio por espectrofotometría de absorción



atómica, la extracción se hizo con ditionito-citrato-bicarbonato de sodio para óxidos cristalinos y oxalato de amonio a un pH de 3.25 en la oscuridad por cuatro horas para minerales de bajo orden estructural (anexo VI).



Figura 14: Trabajo realizado en el laboratorio (pH y extracción de hierro y aluminio).

Los ejemplares de vegetación colectados se colocaron en una cámara de secado para su posterior clasificación taxonómica, la cual se hizo siguiendo las claves taxonómicas de la flora del Valle de México (Rzedowski, 2001) (figura 15).



Figura 15: Clasificación taxonómica de los ejemplares colectados.

### ***Análisis estadístico***

Para establecer las diferencias de clima entre los sitios de ladera solana y ladera umbría, los datos fueron analizados estadísticamente utilizando la prueba t de Student con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$  en el programa STATGRAPHICS Centurion XV.II. Los datos obtenidos del muestreo en campo y trabajo realizado en laboratorio fueron analizados por medio de un análisis de varianza (ANOVA) de una vía. La asociación entre diferentes variables fue medida por el Coeficiente de correlación de Pearson.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Clasificación de la cuenca de Alcalica

Alcalica es una corriente de agua superficial perenne que corre de este a oeste en el occidente del Parque Nacional Izta-Popo y representa 0.2% de la cuenca del Valle de México. No obstante su extensión, esta cuenca geo-morfológicamente es representativa de las barrancas del occidente del parque Izta-Popo.

Alcalica se origina en la parte suroeste del Iztaccíhuatl a 4650 m, recibe aporte del deshielo de los glaciares y campos de nieve estacionales del volcán, de tributarios más pequeños y en temporada de lluvias, de las laderas adyacentes.

La parte baja de Alcalica está alrededor de 2600 m; en su recorrido continúa al NW y confluye en el arroyo Panoaya con otras corrientes que descienden de los volcanes, después pasa por San Mateo y Tenango del Aire, donde cambia su rumbo al norte para finalmente comunicarse a la red de canales de la zona de Mixquic.

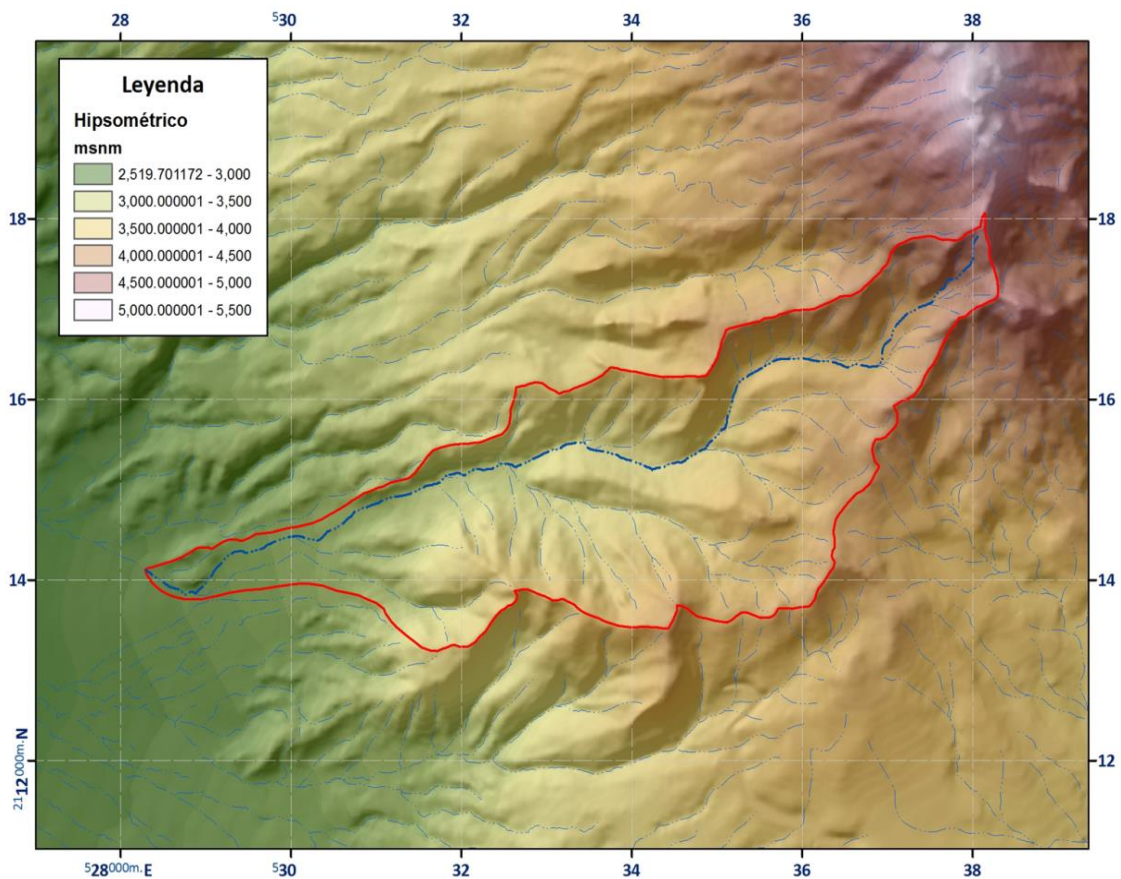


Figura 16: Delimitación de la cuenca de Alcalica (Elaborado en ArcMap 9.3).

La forma y tamaño de la Cuenca Alcalica indican que ésta es pequeña y oval alargada, la relación de elongación (Re) está asociada al relieve e indica que la formación de avenidas y concentración de agua son poco frecuentes.

Esto coincide con el factor de forma, donde la relación del área es pequeña con respecto a la longitud máxima, en consecuencia el desagüe en la cuenca es rápido y la relación entre la precipitación y la crecida en las desembocaduras se retrasa; no obstante en esta última puede ser súbita (Cuadro 4).

El diseño fluvial en la zona se puede generalizar como paralelo y subparalelo, debido a la disposición de los piroclastos y coladas de lava que controlan la dirección del escurrimiento de los ríos.

Cuadro 6: Características de la cuenca de Alcalica.

<b>Clasificación por su uso:</b>	Forestal –urbana	
<b>Función Ambiental:</b>	Regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos	
<b>Función Ecológica:</b>	Provee rutas para las interacciones del agua.	
<b>Función Hidrológica:</b>	Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración Descarga del agua como escurrimiento	
<b>Función Socioeconómica:</b>	Provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad, además de proveer del líquido para riego agrícola, granjas porcinas, ganado y hogares en la parte baja.	
<b>Clima:</b>	Cb'(w2): Semifrío, subhúmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C , temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente bajo 22°C. (CONABIO, 2000) Cuenca semifría subhúmeda (INEGI, 2000).	
<b>Relieve:</b>	Sierra volcánica con estrato volcanes, en las partes bajas llanura aluvial con lomerío. Moderadamente inclinado	
<b>Tamaño:</b>	23.21 km <sup>2</sup> , Cuenca Pequeña	
<b>Evacuación:</b>	Exorreica	
<b>Perímetro:</b>	26.01 km	
<b>Área:</b>	18.52 km <sup>2</sup>	
<b>Longitud Máxima:</b>	12.00 km	
<b>Ancho:</b>	1.54 km	
<b>Coefficiente de Compacidad (Kc):</b>	1.70	Oval Oblonga
<b>Relación de Elongación (Re):</b>	0.405	Fuertemente asociado al relieve y alargado
<b>Factor de Forma (Kf):</b>	0.129	Fuertemente asociada al relieve
<b>Desnivel altitudinal:</b>	1,145 m	

La curva hipsométrica muestra que Alcalica es una cuenca Tipo B o cuenca de pie de montaña, estable y en fase madura (figura 13, anexo I). Por otra parte, el 50% del área de la cuenca tuvo una elevación media de 3,534.98 m.

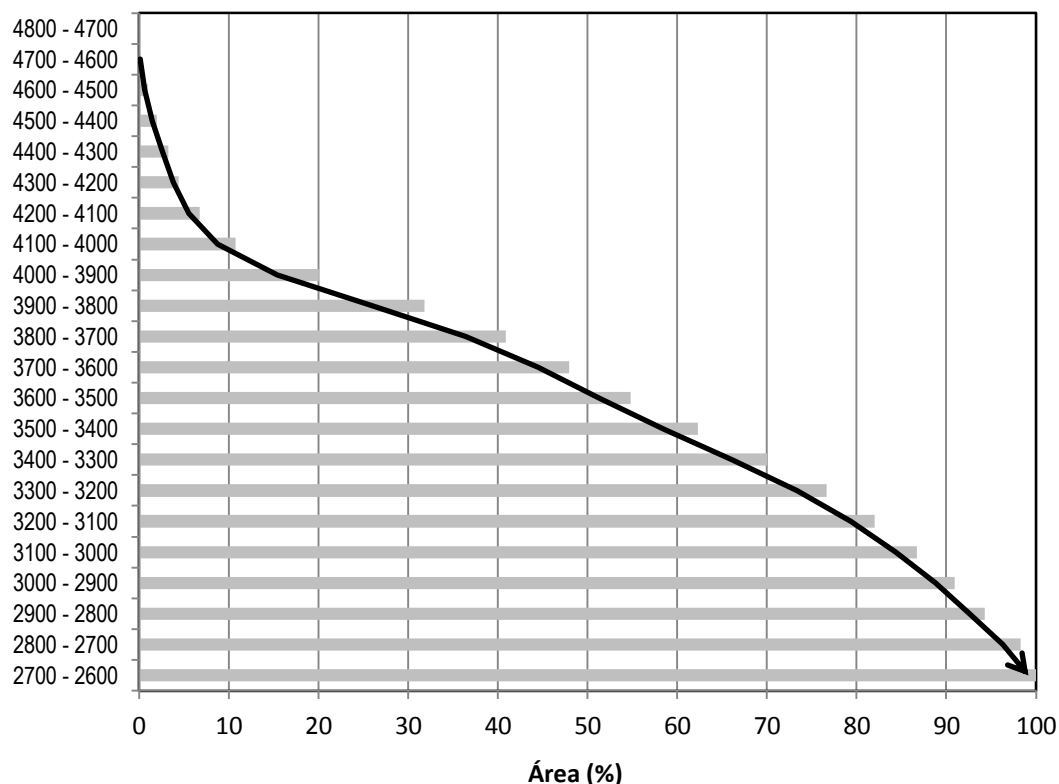


Figura 17: Curva hipsométrica de Alcalica.

Entre los factores descriptores de una cuenca se tiene la pendiente de la cuenca. Ésta se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie del terreno en ese punto y la vertical. La pendiente (8.81 %) cercana a 10, representa un tipo de relieve accidentado medio.

Esta característica favorece a la escorrentía, dando como respuesta mayor velocidad del agua en las corrientes y menor tiempo de concentración.

Cuadro 7: Altitud y pendiente de Alcalica.

Altitud media (Hm):	3,534.98 m
Altitud más frecuente:	3,050 m
Altitud mediana (H <sub>50</sub> ):	2,950 m
Pendiente de la cuenca:	8.81 % (5.03°)

## 7.2 Modelo de exposición y radiación de Alcalica

En el modelo de exposición se encontró que Alcalica exhibe superficies orientadas principalmente hacia el NW, SW, N y S, representando cerca del 80% del área de la cuenca (figura 19 y cuadro 8).

Cuadro 8: Superficie de área expuesta de la cuenca de Alcalica.

Exposición	Superficie (km <sup>2</sup> )	% de Exposición
NW	5.55	23.81
SW	5.46	23.45
S	3.51	15.04
W	3.14	13.46
N	3.08	13.21
Plano	0.97	4.16
SE	0.92	3.94
NE	0.49	2.12
E	0.09	0.38

El modelo de radiación mostró valores bajos en la orientación noroeste y menores al norte; mientras que al sur y suroeste la cantidad de luz solar recibida es mayor. El efecto de sombra por exposición de la ladera inicia en pendientes mayores al 10% según el modelo de relieve (figura 19); es decir que en los sitios planos a moderadamente inclinados no tienen tal efecto.

Las diferencias temperatura y humedad relativa medidas en tres días consecutivos son estadísticamente significativas entre el lomo de ladera solana (BSs) y lomo de ladera umbría (BSu). El BSs es más cálido 1°C que el BSu ( $P < 0.05$ ). La mayor diferencia en la temperatura se presentó entre las 9:30 am y las 4:30 pm alcanzando una separación máxima de 4.19°C a la 1:30 pm. El BSu tuvo 14.2 % ( $P < 0.005$ ) en promedio mayor humedad relativa que el BSs. El mayor contraste se registró igual que la temperatura, entre las 9:30 am y las 4:30 pm. Y la diferencia máxima fue de 40.4% a la 1:30 (figuras 19 y 20).

En tanto que los hombros de ambas catenas mostraron un comportamiento de temperatura similar, en promedio la temperatura para el hombro de ladera solana (SHs) fue de 9.5 °C y para el hombro de ladera umbría (SHu) fue de 9.4°C. Pero el SHs mostró menor humedad relativa en promedio (HR= 75.1%) ( $P < 0.05$ ) que el SHu (HR=91.4) entre las 9:30 am y 4: 00 pm (figuras 19 y 20). En general, se observó que la ladera solana es más cálida que la ladera umbría, este efecto es mayor en el lomo de ladera. El registro de los datos de temperatura y humedad relativa se encuentran en el Anexo 2.

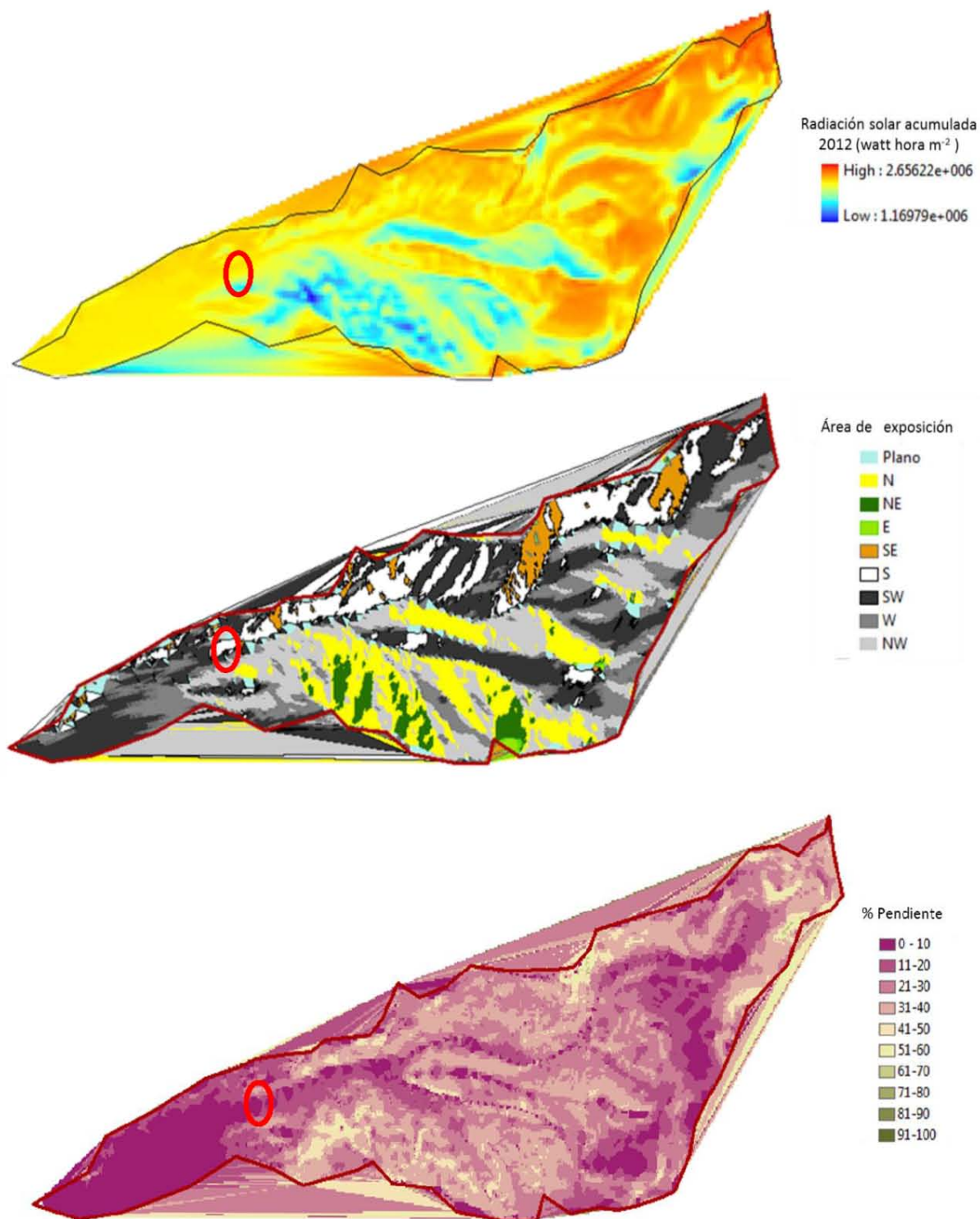
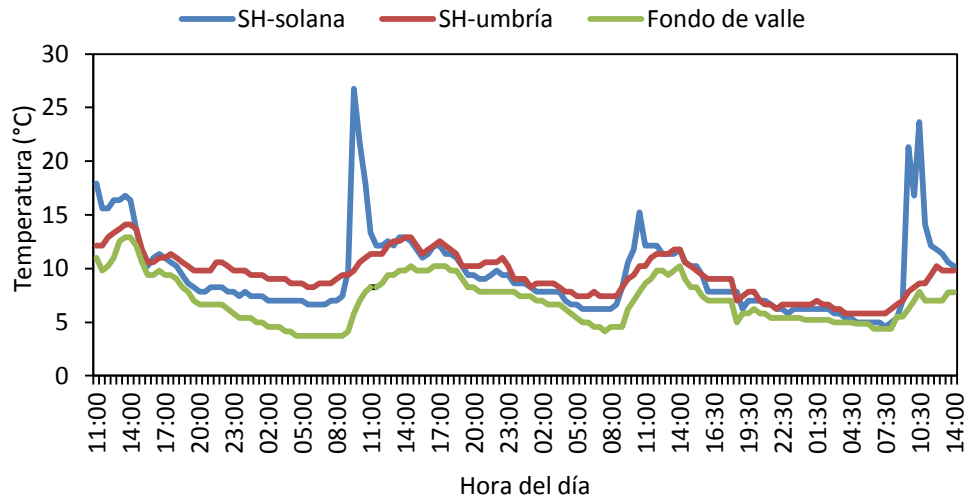


Figura 18: Modelo de radiación solar anual, mapa de exposición e inclinación del relieve de la cuenca de Alcala. El óvalo de color naranja indica la ubicación de las catenas. Elaborado en ArcMap 9.3.

a) Temperatura atmosférica en el hombro de ladera umbría, hombro de ladera solana y fondo de valle.



b) Temperatura atmosférica en el lomo de ladera umbría, lomo de ladera solana y fondo de valle.

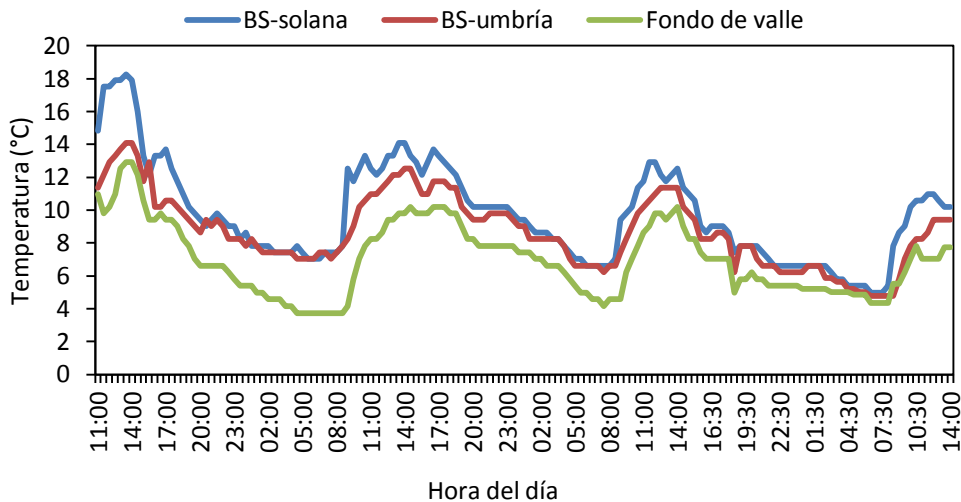
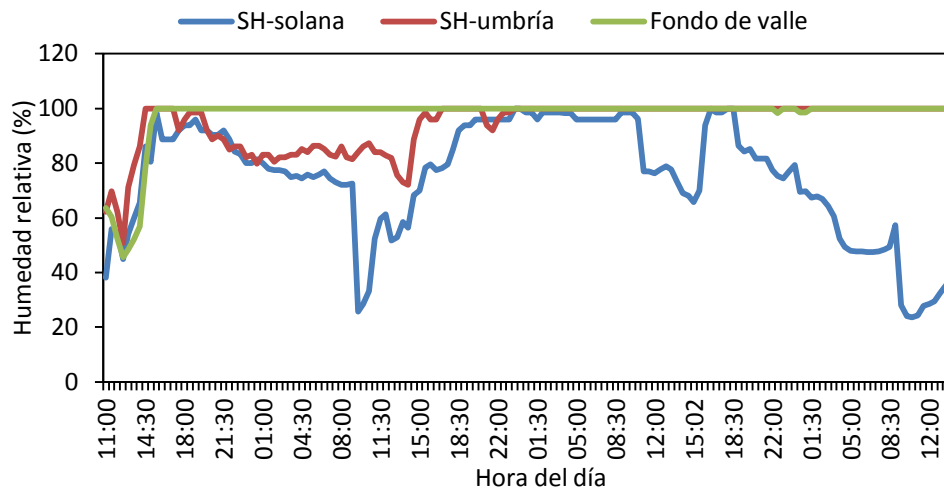


Figura 19: Temperatura atmosférica de ambas laderas.

La temperatura en el fondo de valle fue en promedio más baja (6.9°C) ( $P < 0.05$ ) con respecto al lomo y hombro de las dos laderas, aunque la humedad mostró un comportamiento similar al lomo de ladera umbría. Por lo tanto el microclima del fondo de valle es diferente estadísticamente, más frío y húmedo que el hombro y lomo de ladera solana.

Al comparar los modelos de radiación y exposición con los datos de temperatura y humedad relativa, se aprecia correspondencia entre ambos métodos. Es decir, las laderas solanas de la cuenca de Alcalica tienen mayor radiación y menor humedad que las laderas umbrías. Sin embargo el registro de los datos permite obtener datos específicos y diferencias entre las distintas posiciones de la catena.

a) Humedad relativa en el hombro de ladera umbría, hombro de ladera solana y fondo de valle.



b) Humedad relativa en el lomo de ladera umbría, lomo de ladera solana y fondo de valle.

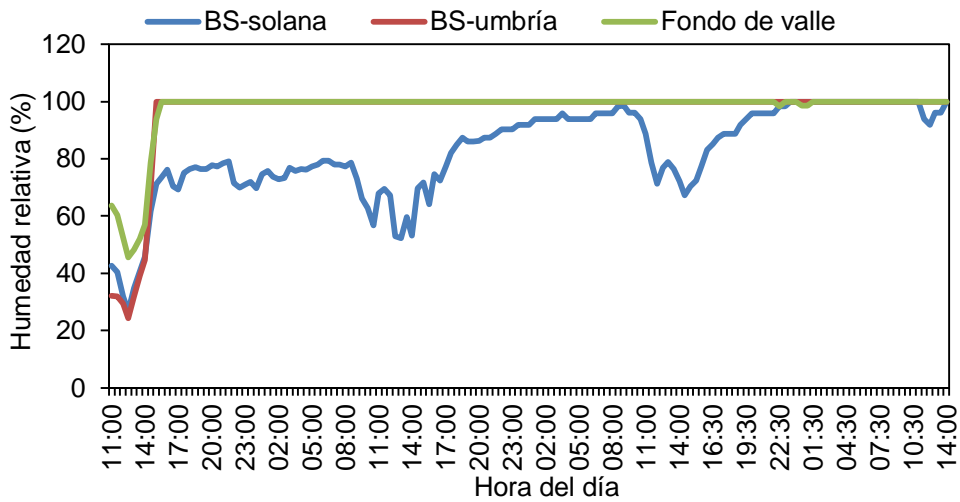


Figura 20: Humedad relativa de ambas laderas.



### 7.3 Catena de ladera solana.

#### Perfil 1.

Este perfil corresponde al hombro de ladera solana (SHs) a 2948 m. El suelo es joven y se ha formado a partir de depósitos de vidrio volcánico de aproximadamente 5000 años, esto se deduce del mapa de distribución de ceniza y pómez propuesto por Miehlich (1991) (cuadro 4 y figura 10). También el perfil de suelo fue profundo y la pedregosidad menor al 1%, lo anterior puede indicar que el material parental es tefra de caída, la cual es muy inestable bajo condiciones atmosféricas, rica en vidrio volcánico, muy permeable y fácilmente intemperizable. Además las piedras halladas en los últimos horizontes fueron pómez de color ocre con características del depósito de 5000 años (figura 23).

Aunque la pendiente fue de 25% y la forma de la ladera fue recta en perfil y convexa en planta, hay una abundante cantidad de herbáceas y arbustos que protegen al suelo de la erosión. Este relieve es moderadamente escarpado y no se encontraron rocas en superficie.

El suelo de este sitio se clasificó como silandic melanic mollic Andosol (tixotropic, siltic). Su profundidad de desarrollo es de 48 cm, presentó una secuencia de horizontes Ah<sub>1</sub>, Ah<sub>2</sub>, AB, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>, la estructura es granular en superficie, subangular en el horizonte de transición AB y de grano simple en los horizontes C.

Fisiológicamente es profundo, con alta densidad de raíces, porosidad media, capacidad de retención de agua disponible y capacidad de retención de agua total alta, capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta, saturación de bases (SB) mayor al 50%, densidad aparente (DA) media; aunque las cantidades nitrógeno disponible (Nd) y fósforo movilizable (P<sub>MO</sub>) fueron bajas.

Cuadro 9: Resumen de las propiedades edafo-ecológicas de la catena en ladera solana.

Perfil	Espesor [dm]	Profundidad fisiológica [dm]	VTP Vol [%]	CA Vol [%]	dCC L m <sup>-2</sup>	CC Lm <sup>-2</sup>	Kf cm d <sup>-1</sup>	CIC Cmol Kg <sup>-1</sup>	Factor K*	Humus Kg m <sup>-2</sup>	Nd g m <sup>-2</sup>	P <sub>MO</sub> g m <sup>-2</sup>	Pen diente °	Piedras **sup. %
P1-SHs	18.5	10.7	46	8	329	579	10-100	64	0.38	10.8	1.15	21.5	28	0
P2-BSSs	8.3	8.3	48	9	220	340	10-100	58	0.38	21	0.6	16	25	0
P3-FSSs	8	4	46	8.5	199	298	10-40	18.5	0.34	5.57	0.45	8.36	20	15BPCg
P4-Ts	6.6	6.6	44	10-21	111	173	10-100	10-18	0.38	14.14	1.18	141	4	15BPCg

s: solana  
VTP: volumen total de poros  
CA: capacidad de aeración  
dCC: capacidad de agua disponible  
CC: capacidad de campo

CIC: capacidad de intercambio catiónico  
Kf: conductividad hidráulica  
Nd: nitrógeno disponible  
P<sub>MO</sub>: fósforo movilizable

\*Factor de erodabilidad  
\*\* Piedras en superficie: Cg=cantos gruesos (20-60mm), P=piedras (60-200mm) y B=bloques (>200mm)

La densidad de raíces finas fue mayor entre 1 y 48 cm de profundidad, en ese espesor de suelo la cantidad de materia orgánica (MO) varió de 2.3 a 3%, también la estabilidad de los agregados es alta pues es favorecida por el aporte de MO. Mientras que la Kf fue media, posiblemente por la presencia de grupos hidrofóbicos de la MO ya que después cambió a alta. En general el sitio mostró buenas condiciones de drenaje y el factor de erodabilidad se calificó como medio (figura 17, cuadro 7 y 8).

El pH fue moderadamente ácido y se acidifica con la profundidad en todos los perfiles de suelo, en tanto que la conductividad eléctrica decrece en los últimos horizontes. También se observó carbón en los horizontes Ah<sub>1</sub>, Ah<sub>2</sub> y AB, principalmente originados por incendios superficiales (cuadro 10 y figura 20).

Los procesos pedogenéticos dominantes son la humificación de la materia orgánica en los primeros 25 cm de suelo (Ah<sub>1</sub> y Ah<sub>2</sub>). La prueba al aluminio activo fue más intensa (moderada) en profundidad (AB-C<sub>4</sub>) que en superficie (cuadro 10) e indica la neoformación de óxidos de hierro y aluminio amorfos así como de alofano (figura 21).

## **Perfil 2.**

El lomo de ladera solana (BSs) se ubicó a 2925 m, la pendiente decrece ligeramente (20%) con respecto al SH, actualmente es un sitio geomorfológicamente estable, sin pedregosidad en superficie, hay una espesa cubierta vegetal con especies caducifolias y perennifolias. El suelo se desarrolla sobre depósitos de pómez de 5000 años porque presentó las características de profundidad y pedregosidad del perfil 1. Fue clasificado como silandic melanlic mollic Andosol (tixotropic siltic), tiene poco desarrollo aunque profundo (83 cm) y con una secuencia de horizontes Ah<sub>1</sub>, Ah<sub>2</sub>, AB, C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>.

Las principales perturbaciones son incendios superficiales (presencia de carbón en los horizontes Ah) y actividades de manejo forestal como reforestación con especies de pino y colecta de madera por los lugareños para actividades de consumo y venta.

El mantillo es enriquecido principalmente por ascúculas de pino que protegen al suelo de la erosión. La capacidad de aireación (CA), infiltración y la capacidad de campo (CC) se clasificaron como medias, las bases intercambiables, la capacidad de intercambio catiónico y el agua disponible (dCC) fueron altas y muy altas. El nitrógeno disponible y fósforo movilizable tuvieron sumas bajas.

Las raíces finas se localizaron a lo largo del perfil, el porcentaje de materia orgánica fue medio (3.5%), asimismo la estabilidad de los agregados fue muy alta, el pH ligeramente más

ácido en los dos últimos horizontes, la estructura cambia de granular y subangular ( $Ah_1$ ), a subangular y angular ( $Ah_2$  y AB) y finalmente a grano simple en el horizonte C.

Los rasgos pedológicos fueron: coloración negra en los horizontes Ah por la humificación de la MO, formación de cristales amorfos ya que la reactividad al fluoruro de sodio fue positiva (entre ligera y moderada) y pedregosidad casi nula (0 - <1%) en el perfil del suelo (figura 17, cuadro 7).

### **Perfil 3.**

Este perfil corresponde al pie de ladera de exposición sur (FSs) a una altitud de 2882 m y una ruptura de pendiente de la ladera ( $10^\circ$ ). Se desarrolló por material acarreado de ladera arriba, lo anterior es justificado por el incremento de pedregosidad en el perfil que osciló entre 7 y 70% (bloques cantos medianos y gruesos) y en superficie del 15% (bloques piedras y cantos gruesos) (cuadro 9 y 10). Aunado a lo anterior no se encontró depósito de pómez en el perfil ni en la ladera; probablemente fueron erosionados, estas características sugieren inestabilidad geomorfológica en la ladera.

La textura fue más gruesa en profundidad. En los horizontes A prevalecen procesos biológicos por lo que la estructura es granular, posteriormente subangular en bloques. La densidad aparente fue media, densidad de raíces alta y media, estabilidad de agregados de muy alta a moderada, pH fue moderadamente ácido y disminuye al igual que la conductividad eléctrica con la profundidad (cuadro 10, figura 20).

En superficie se encontraron restos de madera carbonizada utilizada para actividades de recreo y carbón en los horizontes Ah, así como reforestación de pinos.

En cuanto al potencial biótico el sitio se consideró moderado, porque el Nd y  $P_{MO}$  se hallaron en cantidades bajas y medias; la profundidad fisiológica (8 dm), MO (2.4 %), CA (8.5 %), Kf (10-40 cm  $d^{-1}$ ) y CC (298 L  $m^{-2}$ ) fueron medianas; CIC (18.5  $cmol\ kg^{-1}$ ) regular y dCC alta (L  $m^{-2}$ ).

Pese a las características mencionadas se observó que el sitio posee cubierta vegetal, espesor de mantillo considerable, así como erodabilidad media ( $k=0.28$ ). El suelo se clasificó como: vitric fulvic Andosol (skeletic, siltic) con una continuidad de horizontes  $Ah_1$ ,  $Ah_2$ , B y C. Los rasgos de pedogénesis son reacción positiva al fluoruro de sodio, incremento de la pedregosidad y texturas más gruesas que en los perfiles del lomo y hombro.

#### **Perfil 4.**

La parte más baja de la catena (TSs) está formada por acumulación coluvial y aluvial por ello la pedregosidad es de forma redondeada, hay mayor contenido de arenas, el desarrollo del suelo es poco profundo (66 cm), y se clasificó como vitric melanic mollic Andosol (epiarenic) con una sucesión de horizontes Ah<sub>1</sub>, Ah<sub>2</sub>, AB y C.

El desarrollo pedogenético se muestra en la formación de humus (Ah<sub>1</sub> y Ah<sub>2</sub>), óxidos de hierro y aluminio no cristalinos en horizontes subsecuentes, igualmente en el incremento del porcentaje de piedras al final del perfil (15%), cambio en la estructura (granular y subangular - subangular y angular - grano simple) y textura gruesas (CL-AC-A). En cuanto a la acidez, ésta fue de ligera en los horizontes Ah (en promedio 6.58) y a moderada en los dos últimos horizontes (en promedio de 5.2). De todos los perfiles de ladera solana éste fue el perfil donde se obtuvieron los pH más cercanos a la neutralidad (cuadro 10 y figura 21).

El contenido de MO es alrededor del 3%, por lo que los *peds* adquieren estabilidad moderada y muy alta en los tres primeros horizontes, a mayor profundidad, el suelo fue deleznable; el aluminio activo solo fue positivo en los horizontes AC y C y las raíces se distinguieron en todo el perfil (alta-mediana). El suelo tiene una Kf de media a muy alta y buenas condiciones de drenaje. Para soporte vegetal este sitio se clasificó en la categoría media, ya que posee valores medios de: CIC, profundidad fisiológica (0.66 m), porosidad, CC, dCC, saturación de BI, DA y factor K. Las posibles limitantes para el crecimiento vegetal serían las bajas y media-alta disponibilidades de nitrógeno y fósforo respectivamente. Para este último nutrimento es importante considerar la afinidad del P hacia los minerales de bajo orden estructural, la cual limitaría su disponibilidad.

#### **Hierro y aluminio extractables con ditionito y oxalato.**

En ladera solana los contenidos de aluminio y hierro extractables con ditionito oscilaron de 0.98 a 2.47 mg g<sup>-1</sup> y de 2.61 a 7.26 mg g<sup>-1</sup> respectivamente, mientras que en la extracción con oxalato fueron de 5.12 a 20.29 mg g<sup>-1</sup> para Al y de 5.28 a 13.84 mg g<sup>-1</sup> para Fe. Los valores más altos de Al y Fe con oxalato se hallaron en el hombro de ladera y los menores en el pie y fondo de valle.

El porcentaje de Al+½Fe obtenido en la extracción de oxalato mayor a 2% es un indicador de propiedades ándicas y mayor a 0.4% de propiedades vítricas (WRB, IUSS, 2008). Se obtuvo en el hombro un porcentaje mayor a 2% en todos los horizontes, no así en el pie y fondo de valle, ya que en los últimos horizontes en promedio fue de 1.06% y 1.15 % respectivamente (Figura 22).

Cuadro 10: Descripción de horizontes por posición en el relieve de ladera solana.

Perfil	<sup>1</sup> H	Espesor [dm]	Textura	<sup>2</sup> Estructura	<sup>3</sup> Hum	Color	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	<sup>4</sup> AI activo	<sup>5</sup> % Piedras	<sup>6</sup> Carbón
Hombro (SH)											
1	Ah <sub>1</sub>	1	CLf	Granular <sup>m</sup> ff <sub>1</sub> y subangular fmo	2	7.5 YR 2.5/1	5.52	0.59	1	0	2
	Ah <sub>2</sub>	1.5	CLf	Granular <sup>m</sup> fmo y subangular <sup>m</sup> f	3	7.5 YR 2.5/1	5.52	0.39	2	0	1
	AB	2.3	CLf	Grano simple y subangular <sup>m</sup> f	3	7.5 YR 3/1	5.52	0.27	2	0	1
	BC	2.5	CLf-C	Grano simple y subangular <sup>m</sup> f	3	7.5 YR 2.5/2	5.37	0.16	2	<1Cfm	0
	C <sub>1</sub>	3	C	Grano simple	3	10 YR 3/3	5.20	0.13	2	<1Cfm	0
	C <sub>2</sub>	2.7	C	Grano simple	3	10 YR 3/3	5.16	0.13	2	<1Cfm	0
	C <sub>3</sub>	3	C	Grano simple	3	10 YR 3/2	4.92	0.11	2	<1Cfm	0
C <sub>4</sub>	2	CRA	Grano simple	3	10 YR 3/2	4.81	0.09	2	<1Cfm	0	
Lomo (BS)											
2	Ah <sub>1</sub>	0.7	CLf	Granular fmo y subangular <sup>m</sup> fmo	2	10 YR 3/1	6	ND	1	0	2
	Ah <sub>2</sub>	1.5	CLf	Subangular <sup>m</sup> fmo, angular' <sup>m</sup> mo	3	10 YR 3/1	6	ND	2	0	1
	BC	2	CLf	Subangular angular gmmo	3	10 YR 3/1	5	ND	2	0	1
	C	4.1	CLf	Grano simple	2	10 YR 3/1	5	ND	2	<1Cfm	0
Pie (FS)											
3	Ah <sub>1</sub>	0.9	CLg	Granular <sup>m</sup> ff y subangular fd	2	10 YR 2/1	5.77	0.86	1	7Cmg	2
	Ah <sub>2</sub>	1.4	CLg	Granular fd	3	10 YR 4/3	5.26	0.40	1	30Cg	1
	AB	1.7	CLg	Subangular' granular fd	3	10 YR 3/2	4.85	0.33	1	50PCg	0
	C	4	CLg	subangular	3	10 YR 3/2	4.60	0.21	1	70PB	0
Fondo de valle (TS)											
4	Ah <sub>1</sub>	0.4	CL	Granular f, subangular m	2	10 YR 3/1	6.41	0.04	0	0	1
	Ah <sub>2</sub>	1.4	CL	Granular fd, subangular <sup>m</sup> fd	2	10 YR 3/2	5.76	0.02	0	0	0
	AB	1.7	AC	Subangular' angular <sup>m</sup> fd	2	10 YR 2/2	5.10	0.01	2	0	0
	C	3.1	A	Grano simple	2	10 YR 3/3	5.30	0.01	2	15GCfm	0

<sup>1</sup> Horizontes<sup>2</sup> Estructura: clase gruesa (g) media (m) y fina (f); grado débil (d) fuerte (f<sub>1</sub>) y moderada (mo), sí antecede <sup>m</sup> agregar "muy".<sup>3</sup> Humedad: 1=mojada, 2=húmeda, 3= fresca y 4=seca.<sup>4</sup> Reacción de AI activo: 0=negativa, 1=ligera, 2=moderada y 3=Fuerte<sup>5</sup> Piedras: forma de B=bloques (>200mm), P=piedras (6-200mm), C=cantos y G=gravas; estos dos últimos de tamaño f=fino (2-6mm), m=medio (6-20mm) y g=grueso (20-60mm).<sup>6</sup> Presencia de carbón: 0=negativa, 1=ligera, 2=moderada y 3=Fuerte

ND=no se determinó.

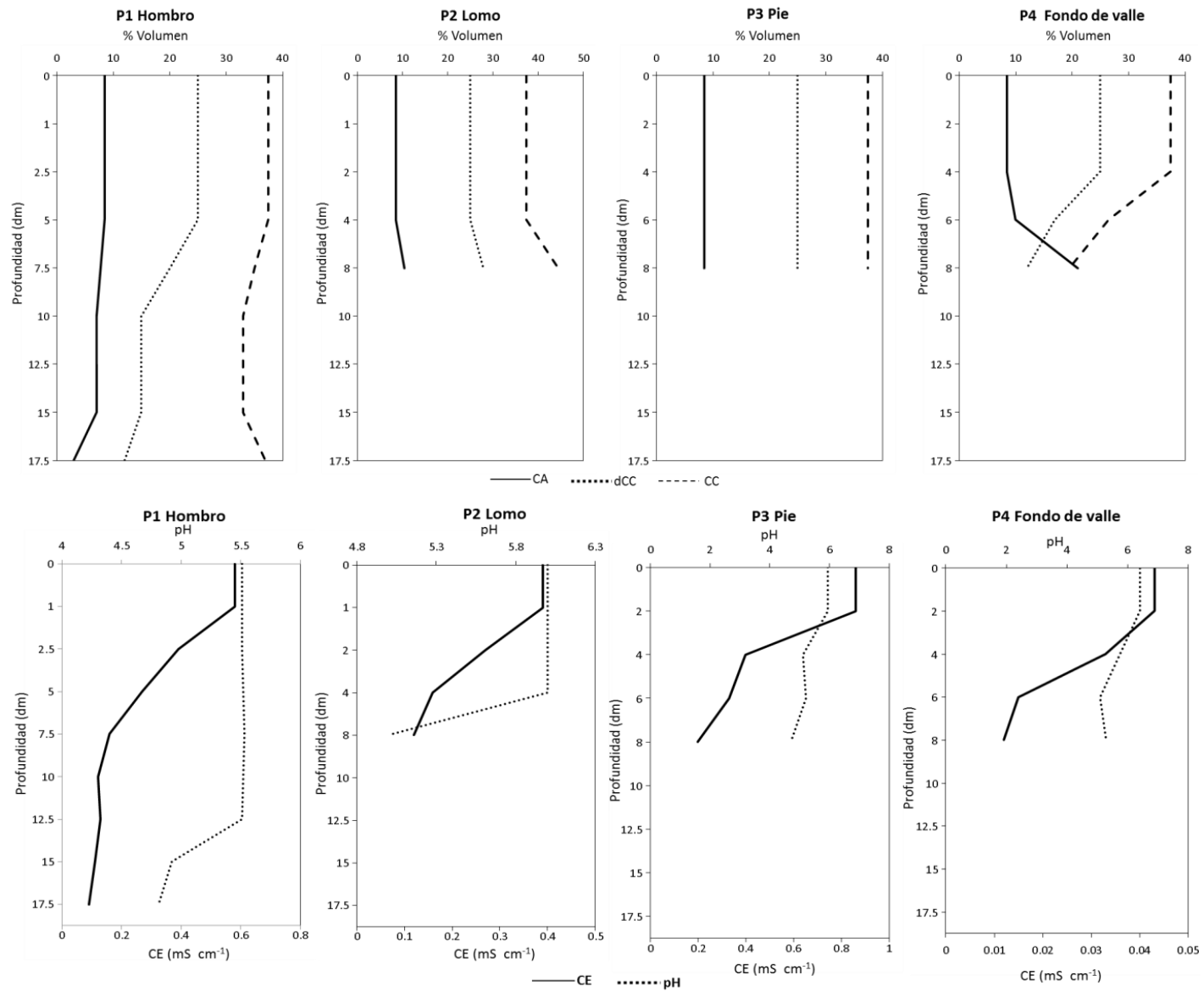
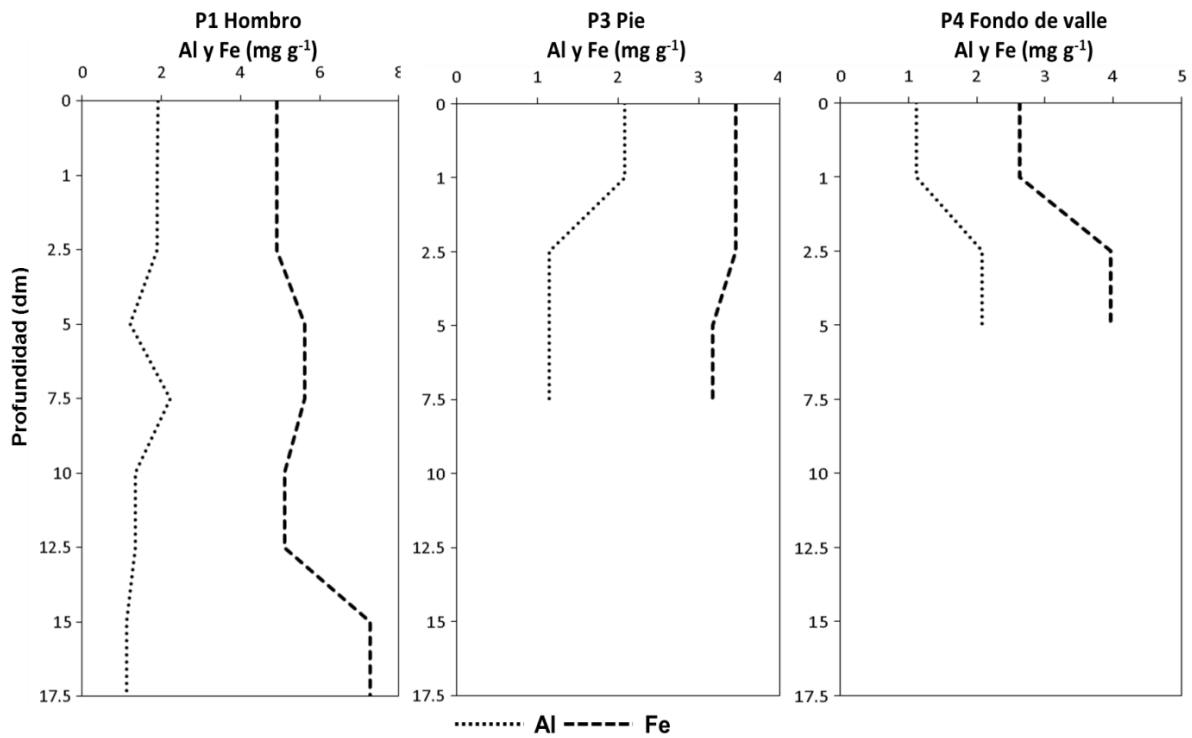


Figura 21: Variación de la capacidad de aireación (CA), capacidad de retención de agua disponible (dCC), capacidad de campo (CC), pH y conductividad eléctrica (CE) en cada perfil de suelo de ladera solana

A) Extracción con ditionito-citrato-bicarbonato de sodio



B) Extracción con oxalato de amonio

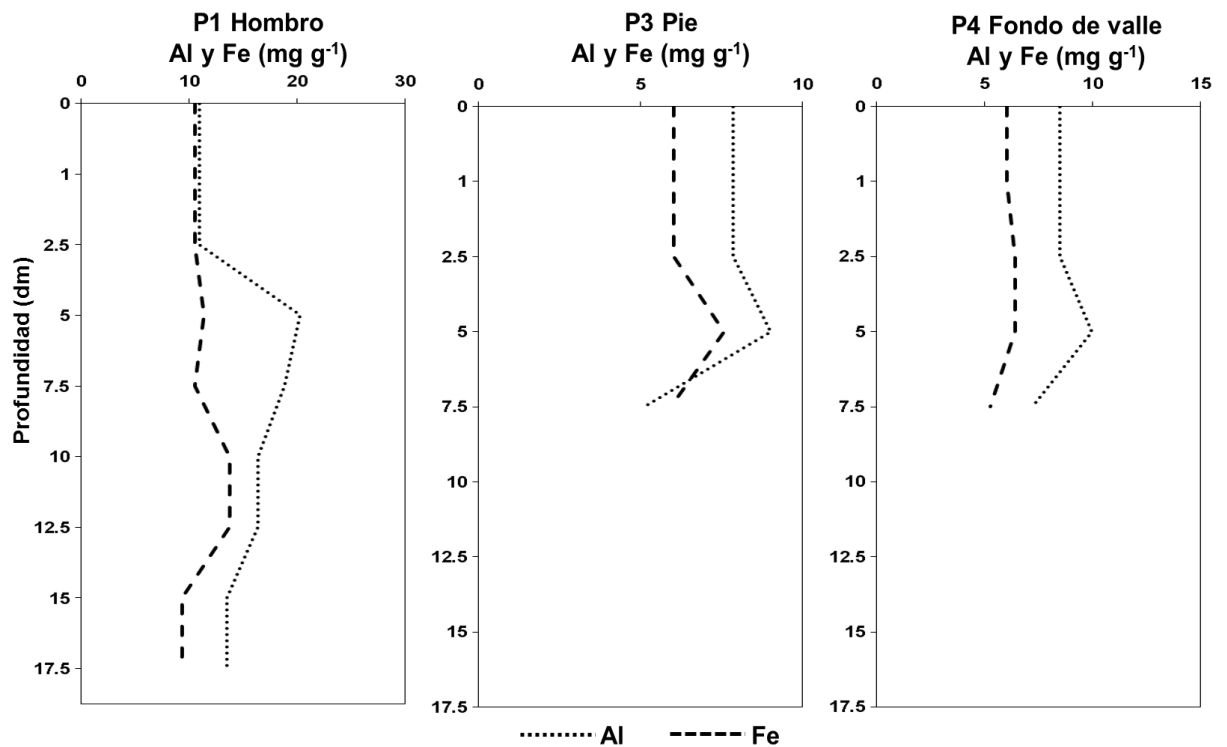


Figura 22: Variación de hierro y aluminio extractables con ditionito y oxalato de ladera solana.

## 7.4 Catena de ladera umbría.

### Perfil 5.

Este sitio corresponde al hombro de ladera umbría (SHu), tiene como material parental depósitos de caída de aproximadamente de 5000 años; ya que la escasa pedregosidad del perfil fue pómez de forma subángular y subredondeada, con cristales de piroxeno, plagioclasa y olivino, y además el color ocre que se observó es característico de este depósito (Arana *et al.*, 2010). Aunque en los alrededores se observaron bloques dacíticos – andesíticos y escarpes.

Se ubicó a 2948 m con una pendiente de 30°. La secuencia de horizontes de suelo fue Ah, AB, B y C, y se clasificó como silandic melanic mollic Andosol (tixotropic, siltic).

La cubierta forestal es dominada por oyamel y encino a diferencia del hombro de exposición sur, se observó un abundante estrato arbustivo y herbáceo, lianas epífitas que son registro de un bosque mesófilo y que actualmente tiende hacia un bosque mixto. El follaje y residuos de estos organismos, aunado a las características de humedad y temperatura favorecen la formación de mantillo tipo mull y al mismo tiempo se reduce el factor de erodabilidad ( $K=0.3$ ). Es un suelo joven en desarrollo, los procesos pedogenéticos involucran humificación de la materia orgánica en los 40 cm iniciales de suelo, formación de óxidos amorfos (reacción positiva a la prueba de aluminio activo) y cambio de estructura granular a subangular.

Cuadro 11: Resumen de las propiedades edafo-ecológicas de la catena en ladera umbría.

Perfil	Espesor [dm]	Profundidad fisiológica [dm]	VTP	CA	dCC	CC	Kf	CIC	* Factor K	Humus	Nd	P <sub>MO</sub>	Pen diente °	Piedras sup. %
			Vol [%]	Vol [%]	L m <sup>-2</sup>	L m <sup>-2</sup>	cm d <sup>-1</sup>	cmol Kg <sup>-1</sup>	Kg m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>			
P5-SHu	8.1	8.1	46	7.2	176	312	10-100	76	0.3	17.94	4.5	179	32	0
P6-BSu	14	10	47	8.1	326	539	10-40	68	0.14	25.20	6.3	252	30	0
P7-FSu	20.3	14	43	4-21	418	675	10-100	9-88	0.28	27.72	6.93	277	20	2CmP
P8-TS	5.5	2.3	44	4-20	90.7	149	10>100	2-21	0.14	10.62	2.66	106	2	5PCg

*u: umbría*  
*VTP: volumen total de poros*  
*CA: capacidad de aireación*  
*dCC: capacidad de agua disponible*  
*CC: capacidad de campo*  
*CIC: capacidad de intercambio catiónico*  
*Kf: conductividad hidráulica*  
*Nd: nitrógeno disponible*  
*P<sub>MO</sub>: fósforo movilizable*  
*\*Factor de erodabilidad*  
*\*\*Piedras en superficie: Cm=cantos medios (6-20mm), P=piedras (60-200mm) y B=bloques (>200mm).*

El suelo tiene una Kf de media a alta y el sitio en general presenta buenas condiciones de drenaje, mientras que la profundidad fisiológica es buena (0.8 m). La porosidad se clasificó como baja en la superficie, pero el incremento en el contenido de arcillas, en los horizontes que le subyacen hace que la porosidad sea de clase media al igual que la capacidad de



retención de agua a capacidad de campo; aunque también hay un ascenso en el porcentaje de arenas por lo que se reduce la capacidad de retención de agua disponible.

El pH del suelo en el horizonte superior (A) fue (neutro) y disminuye en la parte profunda del perfil (donde es ligeramente ácido) al igual que la CE. La CIC fue alta y la saturación de BI mayor a 50%, la pedregosidad casi nula y la densidad aparente media (1.0-1.3). El Nd y fósforo se encontraron en cantidades medias y la humedad fue menor (fresca) en el primer horizonte que en los demás (húmeda) (cuadros 11 y 12 y figura 23).

#### **Perfil 6.**

En el lomo de ladera umbría (BSu) se hizo la descripción de este perfil a 2925 m, éste es un sitio recto/convexo y escarpado con una secuencia de horizontes Ah<sub>1</sub>, Ah<sub>2</sub>, AB, B y C, se clasificó como silandic melanic mollic Andosol (tixotropic siltic). La vegetación es representada por *Abies*, *Alnus*, abundantes lianas epifitas, distintas especies de helechos, musgo, casi nula vegetación arbustiva y herbácea. Por lo anterior el horizonte orgánico fue muy delgado y en la mayor parte del sitio estuvo ausente.

La densidad de raíces fue alta y media hasta el horizonte B y luego disminuyó, la textura cambia de franco arcillo limosa en horizontes h a franco limosa (AB –C), casi no hay pedregosidad (<1%), los agregados son más estables en horizontes con influencia de materia orgánica (48 cm). La reacción al NaF fue positiva y fuerte en horizontes B y C. La humedad del suelo es fresca en el horizonte Ah mientras que en los restantes horizontes fue húmeda.

La CA es media a lo largo del perfil por los tipos texturales y por la misma razón la dCC incrementa en horizontes profundos mientras que la CC decrece levemente, el pH es neutro en los dos primeros horizontes y luego ligeramente ácido, la CE disminuye con la profundidad del suelo al igual que la MO. La conductividad hidráulica fue media, el factor de erodabilidad bajo, la CIC alta y saturación de bases intercambiables, muy alta. El fósforo y nitrógeno fueron en promedio altos (cuadros 11 y 12 y figura 23).

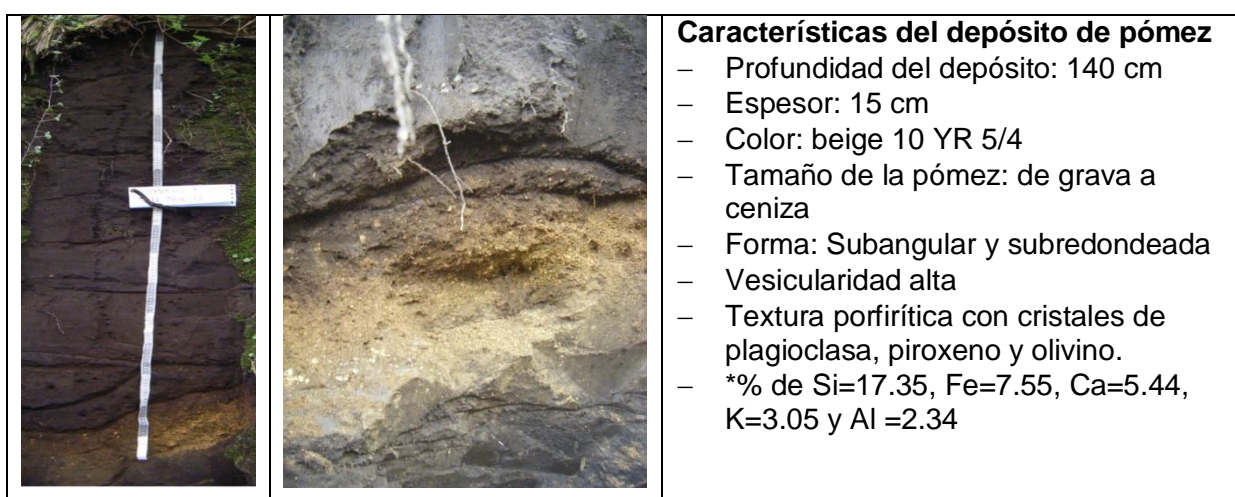
#### **Perfil 7.**

El sitio de observación del perfil 3 es el pie de ladera umbría (FSu). En este suelo dominan procesos de redeposición de material, transporte de material por reptación y sufusión; por lo que se halló un perfil profundo con depósitos de material diferente y suelo sepultado. El orden de horizontes fue: Ah<sub>1</sub>, Ah<sub>2</sub>, AB<sub>1</sub>, AB<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, 2AC, 3C, 4AC y 4AB, se nombró como: vitric melanic mollic Andosol (arenic, thaptovitric).

El pH y CE presentaron un comportamiento similar, ambos se reducen con la profundidad. Al final, el perfil fue menos ácidos y con menor contenido de sales; mientras que el Nd y P<sub>MO</sub> fueron: medio-alto y muy alto, respectivamente.

La textura varía de franco arenosa, arenosa y franco limosa fina, causando que los porcentajes de CA, dCC y CC fluctúen en el perfil. El comportamiento de la CC en inverso a las otras dos variables antes mencionadas, disminuye al encontrar texturas más gruesas (horizonte 3C) e incrementa en texturas finas (horizonte AB<sub>2</sub>, 4h y 4AB). Estos horizontes también están influenciados por el contenido de materia orgánica (cuadros 11 y 12 y figura 23).

Es un suelo fisiológicamente profundo, erosionabilidad media, infiltración media-alta, pedregosidad 1% y 20% de cantos finos y medianos, estabilidad de agregados de moderada a alta, la densidad de raíces es mayor dentro de los 83 cm iniciales. La estructura fue granular y subangular del horizonte Ah<sub>1</sub> a AB<sub>2</sub>, le siguen bloques subangulares y angulares, luego el material se ha mezclado por lo que reaparecen *peds* granulares, le subyace un depósito de pómez (horizonte 3C) y finalmente un suelo enterrado (4AC y 4AB). En el apartado de 5.2 y 5.3 del área de estudio se detallan las características de los depósitos de ceniza volcánica y se ubicó la catena en el mapa de suelos y depósitos de pómez que describe Miehl (1991). Por tanto el depósito de pómez encontrado en este perfil corresponde a la pómez de hace 5000 años y en la figura 23 se describen las características del depósito de pómez ubicado en el horizonte 3C del perfil del pie de ladera umbría.



\* Media del porcentaje en peso seco de la muestra de pómez, determinado por fluorescencia de rayos X en el laboratorio de química ambiental del Instituto de Geología, UNAM.

Figura 23: Perfil de suelo del pie de ladera umbría, depósito de pómez ocre y características del vidrio volcánico.

Cuadro 12: Descripción de horizontes por posición en el relieve de ladera umbría.

Perfil/ Clave	H	Espesor [dm]	<sup>1</sup> Textura	Estructura	<sup>2</sup> Hum	Color	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	AI activo	% Piedras	Carbón
Hombro (SH)											
5	Ah	2.3	CRA	Granular m-f, mo	3	10 YR 2/1	6.86	0.05	2	0	<1
	AB	2.3	CL	subangular gmd	2	10 YR3/1	6.56	0.02	2	0	0
	B	2.5	CL	subangular mmo y d	2	10 YR 3/2	6.33	0.01	2	0	0
	C	1	CL	Grano simple	2	10 YR 3/2	6.30	0.01	2	<1	0
Lomo (BS)											
6	Ah <sub>1</sub>	2	CRL	Granular mfmo y subangular mmo	3	10 YR 2/1	6.59	0.04	0	0	<1
	Ah <sub>2</sub>	1.8	CRL	granular mfmo, angular' mmo	3	10 YR 2/1	6.56	0.05	0	0	0
	AB	2.2	CL	subangular g a md	2	7.5 YR 2.5/1	6.43	0.03	2	0	0
	B	4	CL	Suabangular mgd y grano simple	2	7.5 YR 2.5/1	6.17	0.01	2	0	0
	C	4	CL	grano simple	2	7.5 YR 3/1	6.13	0.02	2	<1	0
Pie (FS)											
7	Ah <sub>1</sub>	2.2	CA	subangular m que rompe en granular f <sup>mf</sup> mo	2	10 YR 3/2	5.43	0.02	2	1	<1
	Ah <sub>2</sub>	3.2	CA	subangular m que rompe en granular f <sup>mf</sup> mo	2	10 YR 3/1	5.50	0.01	2	1	0
	AB <sub>1</sub>	1.2	CA	subangular m que rompe en granular f <sup>mf</sup> mo	2	10 YR 3/1	5.60	0.01	2	1	0
	AB <sub>2</sub>	1.7	CRA	subangular m que rompe en granular f <sup>mf</sup> mo	2	10 YR 2/1	5.66	0.01	2	0	0
	B <sub>1</sub>	2	CA	Subangular y angular f <sup>mf</sup> d	2	10 YR 3/1	5.30	0.01	2	1	0
	B <sub>2</sub>	2.4	CA	Subangular y angular f <sup>mf</sup> d	2	10 YR 3/1	5.52	0.02	2	1	0
	2AC	1.3	CA	subangular m y granular f <sup>mf</sup> mo-d	2	10 YR 3/2	6.17	0.04	2	5Cm	0
	3C	1.5	A	Grano simple	3	10 YR 4/3	5.59	0.02	3	20Cm	0
	4AC	2.8	CLf	subangular m y granular f <sup>mf</sup> mo-d	3	10 YR 2/1	5.94	0.04	2	<1	0
	4AB	2	CLf	subangular m y granular gf mo-d	3	10 YR 3/2	5.91	0.04	2	<1	0
Fondo de valle (TS)											
8	Ah	0.9	CRL	Granular m <sup>mf</sup> d, subangular mdmo	4	7.5 YR 2.5/1	5.34	0.03	0	1Cf	<1
	AC	1.4	CRA	Granular f, subangular simple fina	3	7.5 YR 3/1	5.34	0.03	2	3Cf	0
	C	3.2	A	Grano simple.	3	10 YR 2/1	5.22	0.01	2	15PCmf	0

<sup>1</sup> Horizontes y ND=no se determinó.

<sup>2</sup> Estructura: clase gruesa (g) media (m) y fina (f); grado débil (d) fuerte (f<sub>1</sub>) y moderada (mo), si antecede <sup>m</sup> agregar "muy".

<sup>3</sup> Humedad: 1=mojada, 2=húmeda, 3= fresca y 4=seca.

<sup>4</sup> Reacción de AI activo: 0=negativa, 1=ligera, 2=moderada y 3=Fuerte

<sup>5</sup> Piedras: forma de B=bloques (>200mm), P=piedras (6-200mm), C=cantos y G=gravas; estos dos últimos de tamaño f=fino (2-6mm), m=medio (6-20mm) y g=grueso (20-60mm).

<sup>6</sup> Presencia de carbón: 0=negativa, 1=ligera, 2=moderada y 3=Fuerte

## Perfil 8

Sitio ubicado en el fondo del valle (TS-S), cerca de la corriente perenne de Alcalica, el relieve es ligeramente inclinado, se ha formado por acumulación coluvio-aluvial. Este suelo fue clasificado como vitric melanic Andosol (eutric, epiarenic), con profundidad de desarrollo de 55 cm y acomodo de horizontes Ah1, AC y C, de texturas finas en la superficie y más gruesa en horizontes subsuperficiales (CRL-CRA-A), la estabilidad de los agregados y densidad de raíces finas disminuye con la profundidad a diferencia de la pedregosidad que crece (de 1 a 15%). La erodabilidad es baja, drenaje excesivo, profundidad fisiológica somera, CIC y bases intercambiables muy bajas a regulares.

Los procesos de pedogénesis son intemperismo del material coluvial, lo que ha permitido la formación de suelo, acumulación de humus, prueba de positiva de aluminio baja. Posee porosidad media (aumenta en textura arenosa), capacidad de retención de agua total baja y capacidad de retención de agua aprovechable media, pH moderadamente ácido, CIC muy baja a media, saturación de BI mayor al 50%, densidad aparente media ( $1.2-1.3 \text{ g cm}^{-3}$ ), Nd y  $P_{MO}$  se evaluaron como medios.

### Hierro y aluminio extractables con ditionito y oxalato.

En la catena de ladera umbría los contenidos de aluminio y hierro solubles con ditionito oscilaron de  $0.54-3.74 \text{ mg g}^{-1}$  y de  $1.51$  a  $7.43 \text{ mg g}^{-1}$  respectivamente, mientras que en la extracción con oxalato fueron de  $5.9$  a  $33.88 \text{ mg g}^{-1}$  para Al y de  $3.32$  a  $16.8 \text{ mg g}^{-1}$  para Fe. Los valores más altos de Al y Fe en oxalato se hallaron en el hombro de ladera y los menores en el pie y fondo de valle.

El porcentaje de  $Al + \frac{1}{2}Fe$  obtenido en la extracción con oxalato  $>2 \%$  es un indicador de propiedades ándicas y  $>0.4\%$  de propiedades vítricas (WRB, IUSS, 2008). Se obtuvo en el hombro y lomo un porcentaje mayor a  $2\%$  en la mayoría de los horizontes, pero no en el fondo de valle ( $0.93$  a  $1.01\%$ ). Los valores en el perfil 7 cambian bruscamente y varían de  $0.84\%$  a  $5.3\%$  (Figura 22), el valor más alto pertenece al horizonte 4AC y los más bajos a los horizontes B y C.

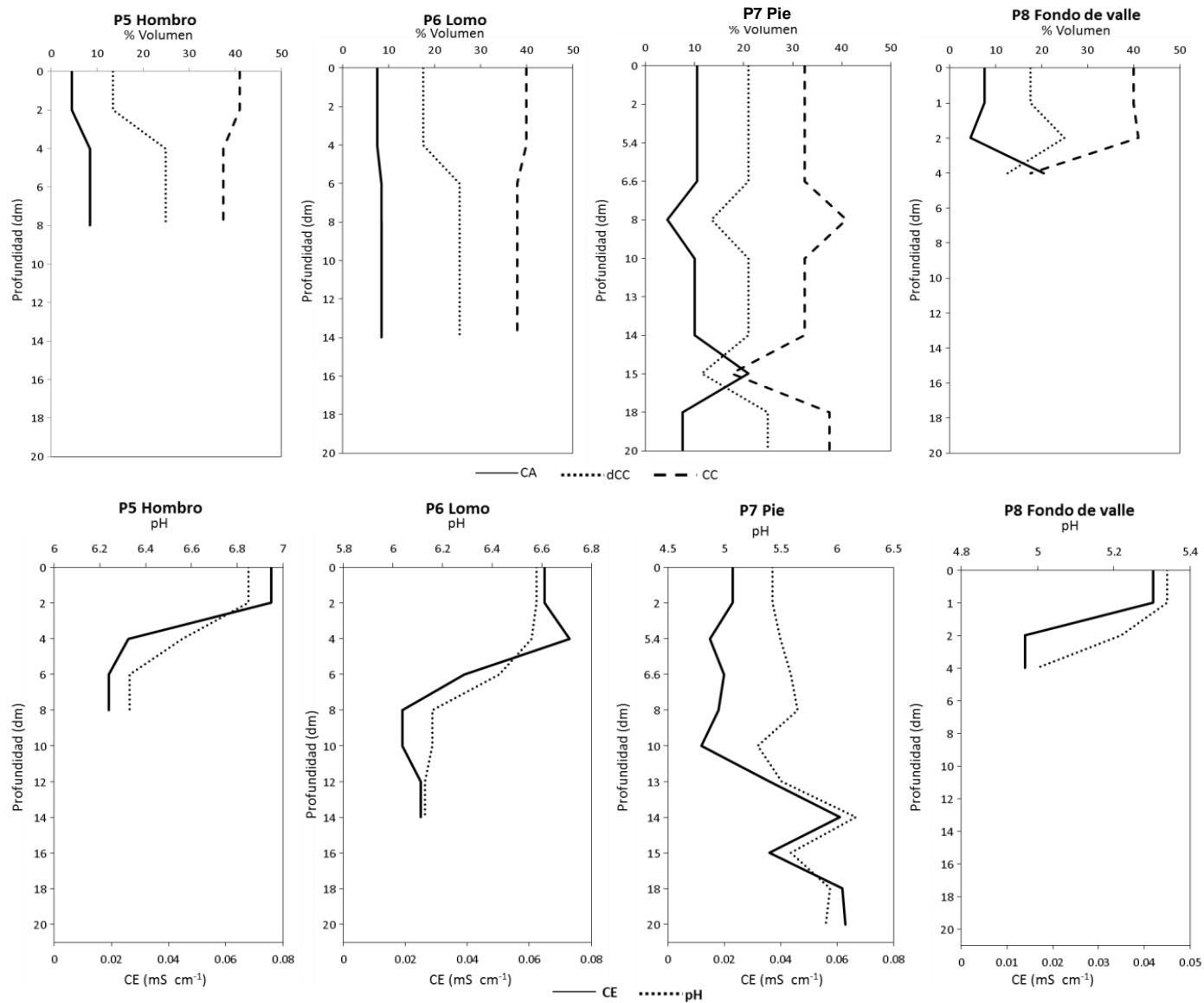
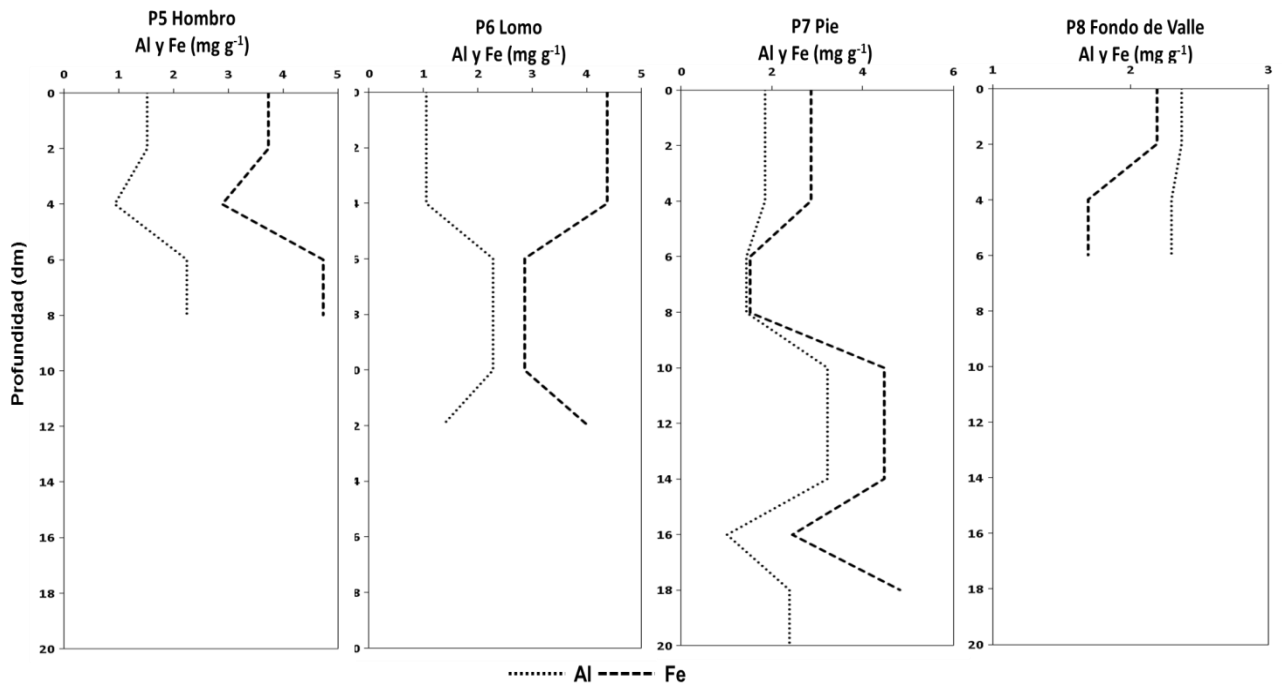


Figura 24: Variación de la capacidad de aireación (CA), capacidad de retención de agua disponible (dCC), capacidad de campo (CC), pH y conductividad eléctrica (CE) en los horizontes de cada perfil de ladera umbría

A) Extracción con ditionito-citrato-bicarbonato de sodio



B) Extracción con oxalato de amonio

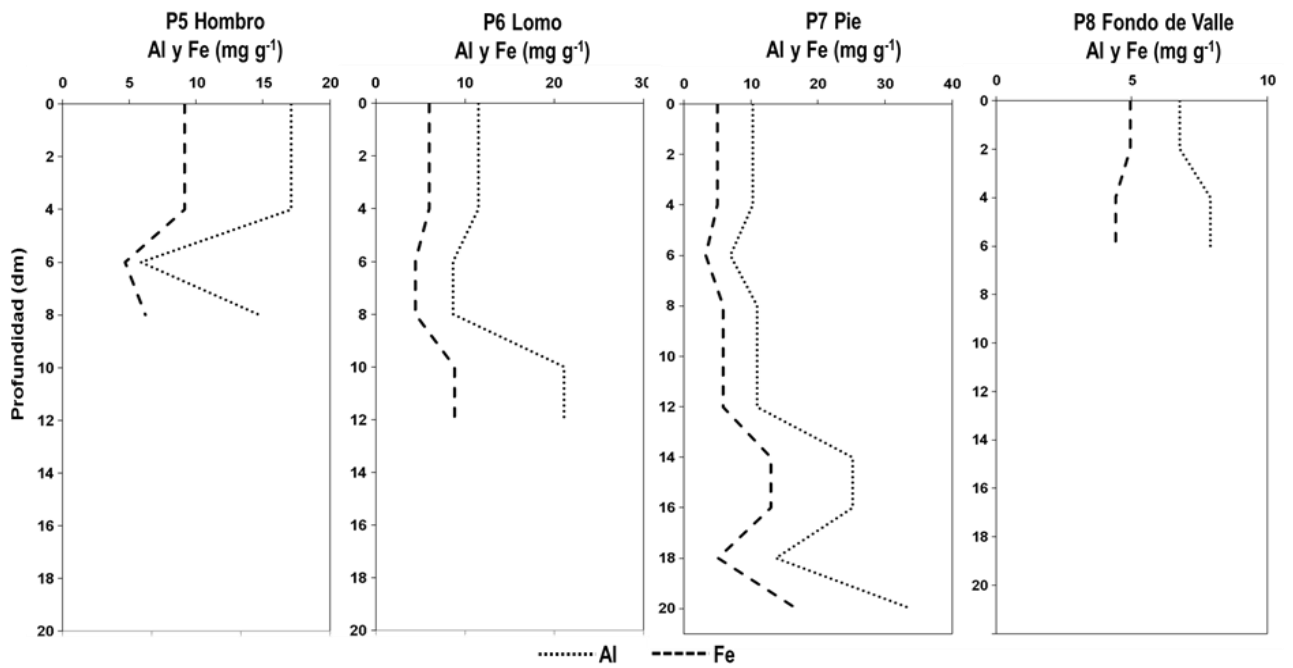


Figura 25: Variación de hierro y aluminio extractables con ditionito y oxalato de ladera umbría.

## 7.5 Conductividad hidráulica e hidrofobicidad de ambas catenas

La conductividad hidráulica fluctuó de 0.054 a 1.64 mm s<sup>-1</sup> en ladera solana y de 0.24 a 1.7 mm s<sup>-1</sup> en la en la umbría. No se observaron diferencias significativas en esta variable entre ladera umbría y solana. Aunque los valores más bajos (0.054 y 0.062 mm s<sup>-1</sup>) de conductividad hidráulica se ubicaron en los sitios altos de ladera solana (SHs y BSu), y en ladera umbría hubo mayor variación de la Kf (figura 26).

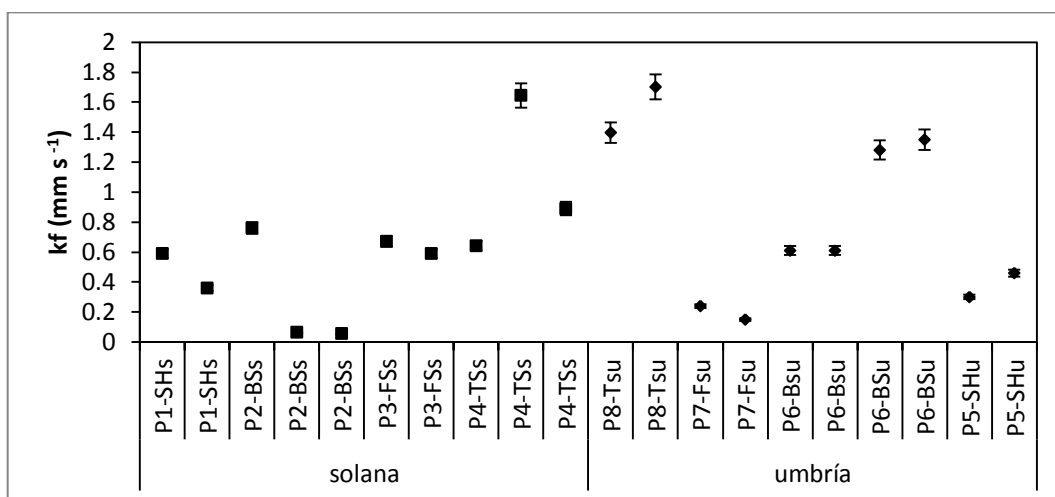


Figura 26: Media de la conductividad hidráulica determinada en ambas laderas.

En cuando a la hidrofobicidad, ésta fue mayor en la capa de mantillo y en los primeros 3 centímetros de suelo pero fue muy variable. En general hubo mayor repelencia al agua en el pie de ladera solana (P3-1 y P3-2) y lomo de ladera umbría (P6-1 y P6-2), aunque los tiempos más cortos se localizaron en la ladera umbría: pie de ladera (P7-1) y hombro de ladera. (P5-1). En el fondo de valle la hidrofobicidad fue muy similar (P4-1, P4-2 y P8-1) (figura 27).

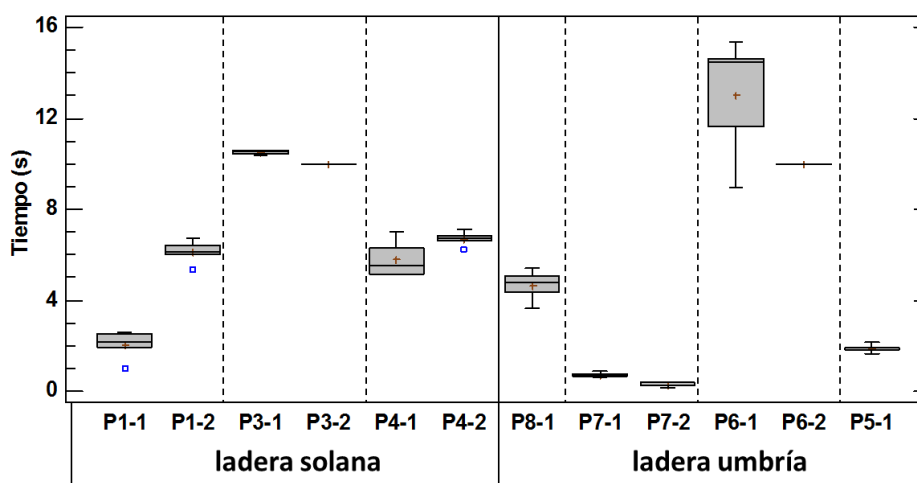


Figura 27: Repelencia al agua de los horizontes superficiales de suelo.

## 7.6 Descripción de las características de suelo de ambas catenas

Los hombros de ladera umbría y ladera solana en general tuvieron porcentajes de  $Al_o + 1/2Fe_o$  (extracción con oxalato) mayores a 2%. Por debajo del 2% se ubicaron la mayoría de los horizontes del fondo de valle y pie de ladera, a excepción de los horizontes 2AC, 4AC y 4AB del pie de ladera umbría (figura 28).

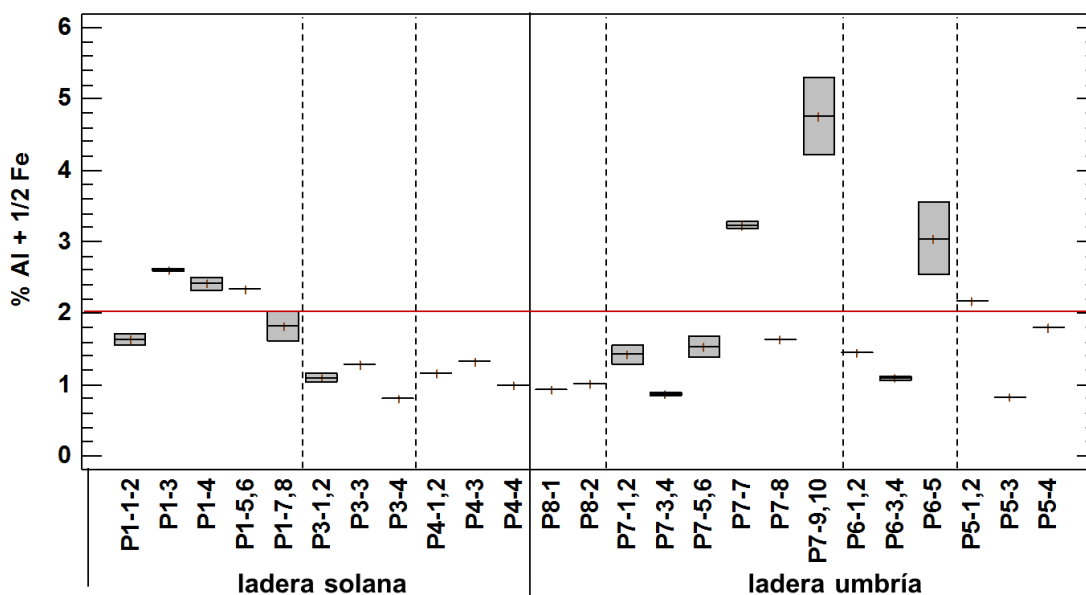


Figura 28: Criterio de clasificación con respecto a la profundidad de las laderas solana y umbría (la línea horizontal roja marca el porcentaje  $>2\%$  y las líneas punteadas negras indican la separación entre perfiles).

En el hombro y lomo de ladera solana el horizonte superficial tuvo un  $pF = 3$  pero en los horizontes subyacentes fue de 2. También estos horizontes son más ácidos y con menor contenido de piedras y sales que los de ladera baja (FSs y TSs).

En ambas catenas el porcentaje de pedregosidad en el perfil y en la superficie del terreno fue casi nula en la parte alta de las laderas, y se observó que se incrementa en el piedemonte y fondo de valle; en una variedad de tamaños y formas (piedras, bloques y cantos); aunque, mayormente en los perfiles 3 y 4 (cuadros 10 -12). La textura del suelo en los sitios de ladera alta (hombro y lomo) de ambas catenas presentaron texturas más finas (CLf) y en ladera baja (pie de ladera y fondo de valle) tuvieron mayor porcentaje de arenas (CA, CRA, y A) (cuadros 10 y 12). El contenido de nitrógeno disponible y fósforo movilizable fue bajo de los perfiles 1 al 3 en la ladera expuesta al sur, pero en el fondo de valle cambió a bajo (Nd) y medio-alto (PMO). Los perfiles 5 al 8 estos elementos tuvieron evaluaciones de medias a altas.



En ladera alta (SH y BS) el pH fue más ácido (4.81 - 5.77) en la ladera solana y en la umbría estuvo cercano a la neutralidad (6.13-6.86). La conductividad eléctrica decrece en la ladera umbría con respecto a la ladera solana ( $P < 0.05$ ). El pH y la CE mostraron una tendencia a disminuir con la profundidad en todos los perfiles (figura 29), excepto en el pie de ladera umbría.

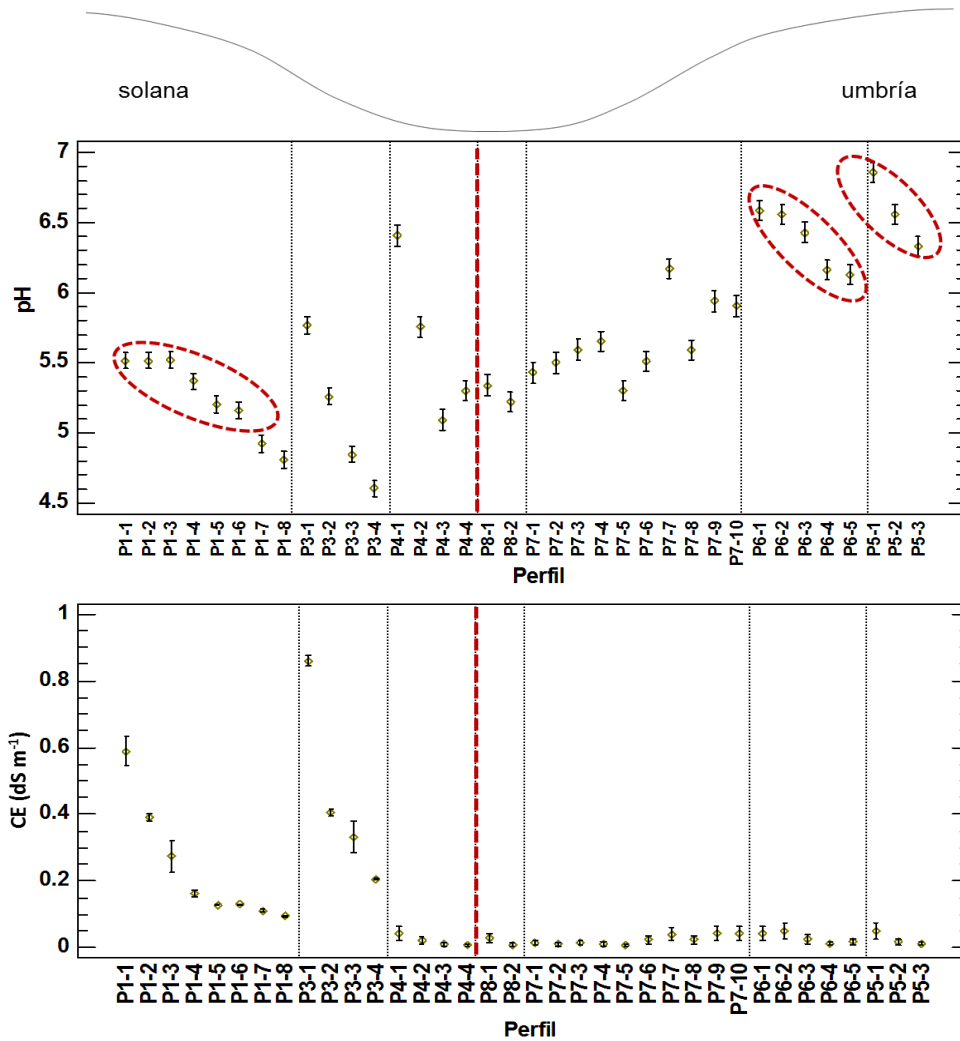


Figura 29: Variación del pH (en  $\text{CaCl}_2$ ) y de la conductividad eléctrica de los perfiles de las laderas solana y umbría (los óvalos rojos muestran el pH de los sitios altos de ambas laderas, la línea roja marca la división entre las catenas y la línea punteada entre perfiles).

Los distintos depósitos observados en el pie de ladera umbría provocan que las propiedades de este suelo se modifiquen con respecto a la tendencia mostrada por los demás perfiles. El hecho de que en esta porción de la ladera umbría aparezca la pómez es muy significativo, ya que indica mayor estabilidad de largo plazo de la ladera, mientras que en la ladera solana no se encontró la pómez, probablemente porque ya fue erosionada.

Además el espesor del horizonte orgánico osciló entre 1.9-2.5 dm en la exposición sur, en tanto que, en su ladera opuesta fue de 1.9 a 5.4 dm, los perfiles del fondo de valle fueron los únicos que ostentaron casi el mismo grosor (1.9) del horizonte A y profundidad de suelo (cuadros 10, 12 y figura 31).

El contenido de carbono orgánico incrementa ligeramente en ladera umbría; sin embargo sólo es mayor y estadísticamente significativo ( $P < 0.05$ ) en el fondo de valle que en los demás sitios de la catena (figura 30). Ya que el lomo de ladera umbría fue bajo por la escasa cubierta de vegetación anual, caducifolia y de mantillo.

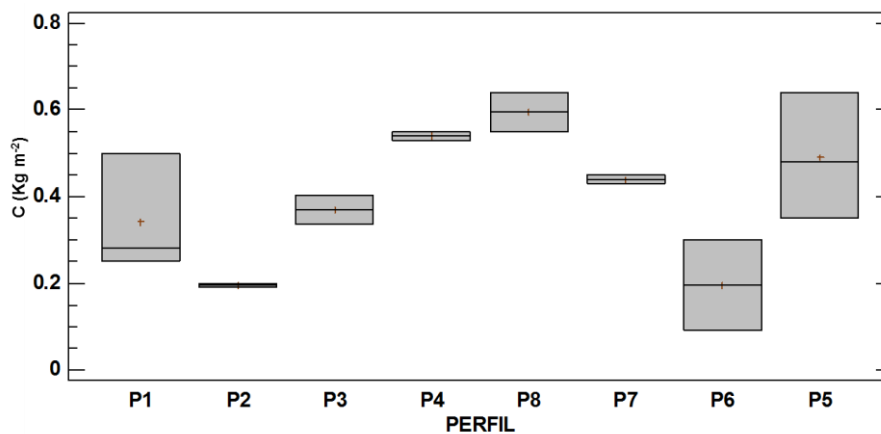


Figura 30: Contenido de carbono orgánico en mantillo de ladera solana (P1-P4) y ladera umbría (P5-P8).

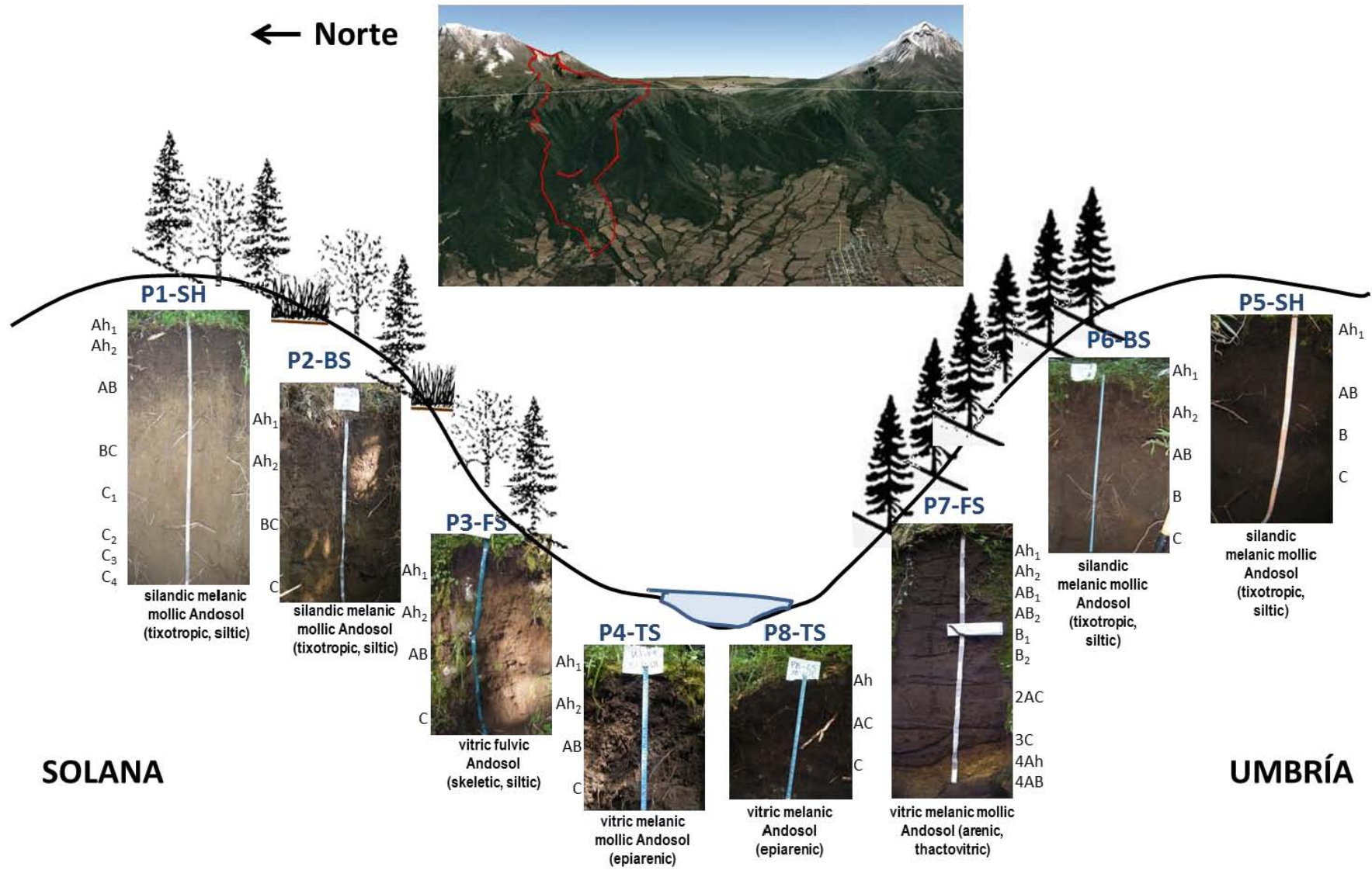


Figura 31: Diagrama de los perfiles de suelo en un valle de Alcalica

## 7.7 Barrenación de suelo adyacente al río (fondo de valle)

Con el muestreo del suelo a través de las barrenaciones, se observó que en general dominaron las arenas ( $P < 0.05$ ). En el fondo de valle de ladera solana (TSs) la textura fue más gruesa que el fondo de valle de ladera umbría (TSu), al parecer la textura cambia ligeramente aguas abajo en ambas laderas pero no entre vertientes.

En el TSu las texturas fueron más finas como CRL y CL; en tanto que la profundidad del suelo es más alta (40.33 cm) estadísticamente significativo. Mientras que el TSs la profundidad media fue de 26.33 cm y la textura más frecuente fue franca (figuras 32 y 34, anexo VI).

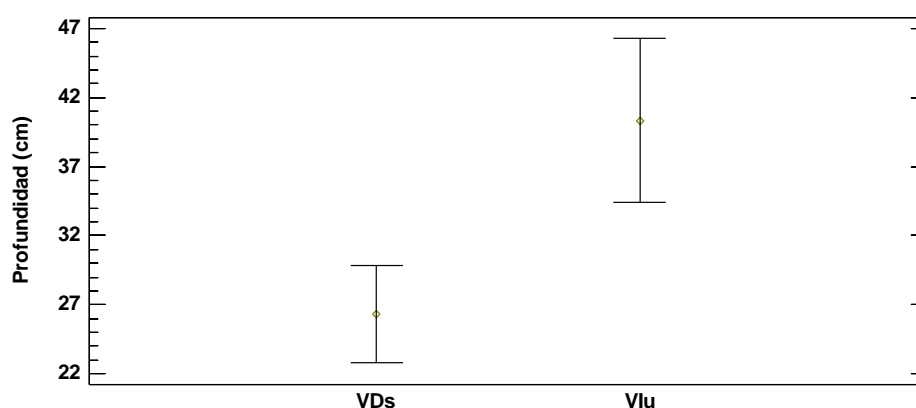


Figura 32: Profundidad media del suelo en las vertientes derecha e izquierda del río (aguas abajo; s: solana, u: umbría).

En la figura 33 se muestra la variación de la conductividad hidráulica a diferentes distancias del río; aunque no se encontraron diferencias significativas.

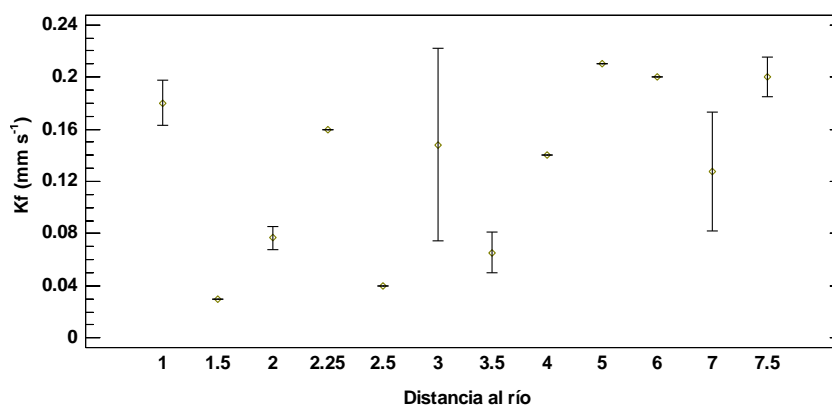


Figura 33: Media de la conductividad hidráulica ( $k_f$ ) del suelo adyacente al río.

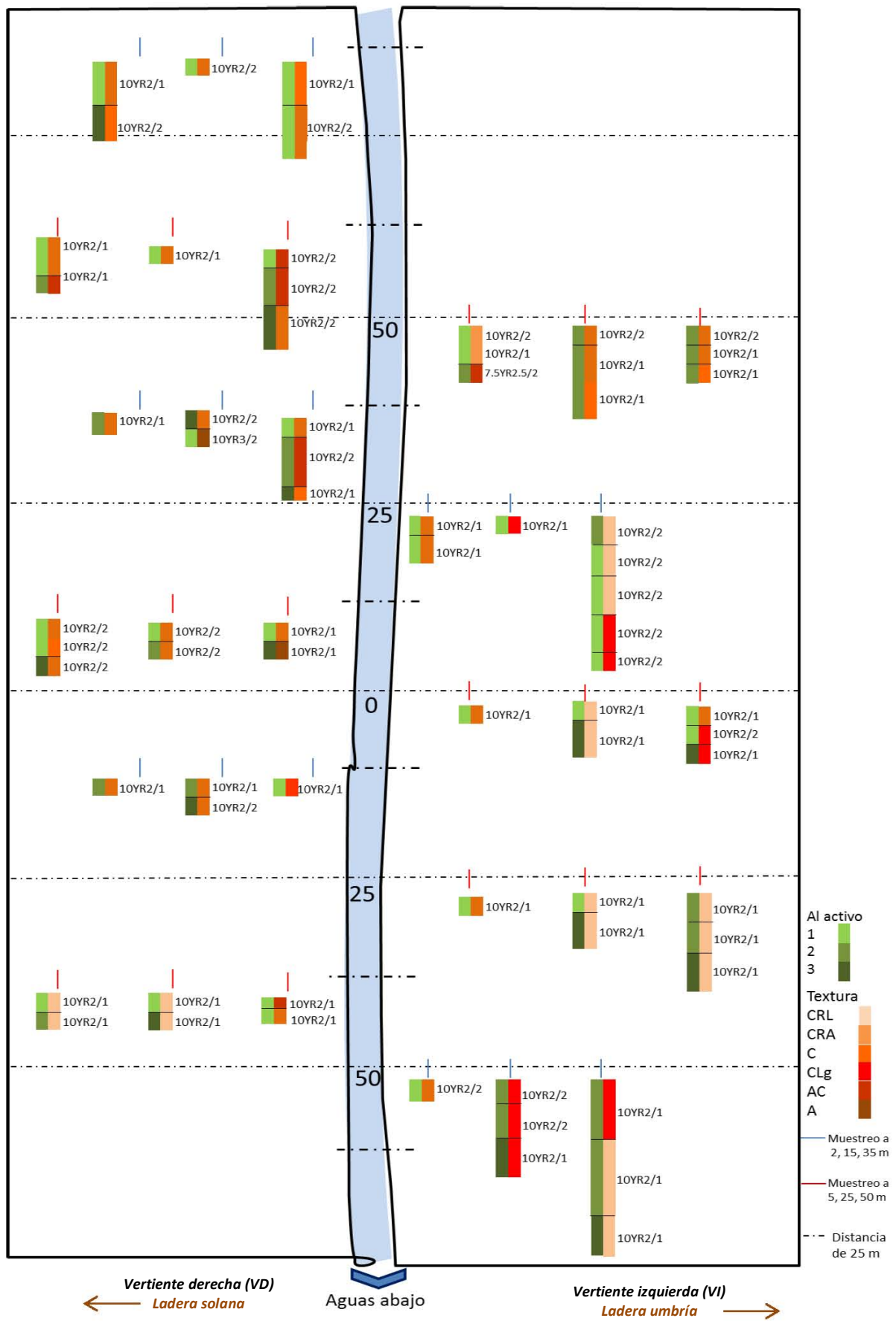


Figura 34: Barrenación de suelo a diferentes distancias, en ambos márgenes del río.

## 7.8 Vegetación

El hombro de ladera umbría (SHu) tuvo mayor diversidad de especies (18 especies) que los demás sitios (SHs, BSs y BSu).

Cuadro 13: Índice de valor Importancia (IVI), frecuencia y dominancia por estrato de vegetación del hombro de ladera.

	Hombro de ladera solana (SHs)				Hombro de ladera umbría (SHu)			
	Especie	IVI	Densidad relativa %	Cobertura relativa %	Especie	IVI	Densidad relativa %	Cobertura relativa %
Estrato arbóreo	<i>Cupresus lusitanica</i> Mill.	32.88	35.7	30	<i>Quercus glabrescens</i> Benth.	47	33.3	60.76
	<i>Pinus psedostrobus</i> Lindl.	31.18	14.3	48	<i>Abies religiosa</i> (H.B.K) Cham & Schltld.	22.5	22.2	22.78
	<i>Quercus castanea</i> Née	19.73	21.4	18	<i>Cornus disciflora</i> Moc. & Sessé ex DC.	14	22.2	5.7
	<i>Quercus glabrescens</i> Benth.	12.16	21.4	2.8	<i>Quercus laurina</i> Née	9.5	11.1	7.9
	<i>Arbutus xalapensis</i> H.B.K	4.05	7.1	0.9	<i>Oreopanax xalapensis</i> (H.B.K) Decne & Planch	7	11.1	2.85
Estrato arbustivo	<i>Satureja macrostema</i> (Benth.) Briq.	50.09	45.5	54.7	<i>Cestrum anagyris</i> Dunal	57	17.6	96.3
	<i>Eupatorium glabratum</i> H.B.K	17.36	13.6	21	<i>Fuchsia thimifolia</i> H.B.K	27	53	1.13
	<i>Verbesina oncophora</i> Rob. & Seat.	10.02	9	10.9	<i>Senecio barba-johannis</i> DC.	9	17.6	0.38
	<i>Adiantum andicola</i> Liebm.	9.53	18.2	0.88	<i>Eupatorium</i> sp.	4	5.88	2
	<i>Sanvitalia procumbens</i> Lam.	7.14	4.5	9.7	<i>Cestrum</i> sp	3	5.88	0.13
	<i>Senecio barba-johannis</i> DC.	3.49	4.5	2.43				
	<i>Monnina ciliolata</i> DC.	2.38	4.5	0.22				
	<i>Salvia elegans</i> Vahl.	33.96	22.2	45.6	<i>Phytolacca icosandra</i> L.	33.96	22.2	45.6
	<i>Smilax moranensis</i> Mart. & Gal.	31.26	11.11	51.4	<i>Serjania</i> sp	31.26	11.11	51.4
	Estrato herbáceo				<i>Salvia elegans</i> Vahl.	16.98	11.11	22.8
				<i>Phanerophlebia nobilis</i> (Schltld. & Cham.) C. Presl.	8.41	11.11	5.7	
				<i>Adiantum andicola</i> Liebm.	8.41	11.11	5.7	
				<i>Asplenium</i> sp	6.27	11.11	1.43	
				<i>Rubus liebmannii</i> Focke	6.27	11.11	1.43	
				<i>Smilax moranensis</i> Mart. & Gal.	5.58	11.11	0.06	

IVI: Índice de Valor de Importancia, el sombreado gris muestra las especies que no son comunes y los valores más altos de frecuencia densidad y cobertura.

Para contrastar las comunidades vegetales en ladera umbría y solana se usó el índice de Sorensen (IS) y el de Jaccard (IJ), que analizan la presencia o ausencia de especies en dos comunidades.

$$IS = \frac{2C}{A + B} * 100$$

$$IJ = \frac{C}{(A + B - C)} * 100$$

Dónde:

IS = índice de Sorensen

IJ = índice de Jaccard

A = número de especies encontradas en la comunidad A

B = número de especies encontradas en la comunidad B

C = número de especies comunes en ambas localidades

Los hombros de ladera umbría y solana comparten cinco especies, en este sitio de la catena el índice de similitud Sorensen fue de 31% y el índice de similitud de Jaccard fue más bajo 18%. Los lomos de ladera de ambas exposiciones tuvieron 4 especies comunes, el IS fue de 47% y el IJ de 30.7%. Lo anterior revela que la vegetación es diferente entre las laderas solana y umbría.



Lomo de ladera umbría



Lomo de ladera solana



Hombro de ladera umbría



Hombro de ladera solana

Figura 35: Imagen de la vegetación en los sitios altos de ambas laderas.

De hecho en ladera umbría domina el oyamel pero no figuran ni pinos ni cedros; mientras que en ladera solana estas especies son las de mayor importancia (cuadro 13).

En el SHu resaltan especies afines a regiones húmedas: *Cornus disciflora* y *Oreopanax xalapensis* en el estrato arbóreo. En este mismo sitio el estrato herbáceo tuvo la mayor densidad total por m<sup>2</sup> (51 individuos).

Es sabido que los helechos requieren de humedad en todo su ciclo de vida (Rzedowski, 2001), en el estrato herbáceo tanto del lomo como del hombro de ladera umbría coinciden dos especies de Pteridophytas: *Asplenium* sp y *Adiantum andicola* (cuadros 13 y 14).

Es importante mencionar que en el lomo de ladera umbría se observó escaso sotobosque, lo cual es verificado por la poca cantidad de especies herbáceas y arbustivas en este sitio. En consecuencia el grosor del mantillo fue pequeño y en la mayor parte del lugar ausente; sin embargo este lugar se caracterizó por presentar lianas epífitas y musgo en el estrato rasante, vegetación no considerada en este trabajo por la complejidad de su determinación (figura 35).

Cuadro 14: Índice de valor Importancia (IVI), frecuencia y dominancia por estrato de vegetación del lomo de ladera.

		Lomo de ladera solana (BSs)			Lomo de ladera umbría (BSu)				
		Especie	IVI	Densidad relativa %	Cobertura relativa %	Especie	IVI	Densidad relativa %	Cobertura relativa %
Estrato arbóreo	<i>Quercus glabrescens</i> Benth.		56.68	62.5	50	<i>Alnus acuminata</i> H.B.K	48.7	50	47.37
	<i>Pinus patula</i> Schlecht. & Cham.		27.15	25	29.3	<i>Abies religiosa</i> (H.B.K) Cham & Schltld.	33.5	25	67.11
	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.		16.22	12.5	19.9	<i>Quercus laurina</i> Née	17.8	25	35.53
Estrato arbustivo	<i>Senecio barba-johannis</i> DC.		69.58	66.7	72.5	<i>Cestrum anagyris</i> Dunal	57	17.6	96.3
	<i>Sanvitalia procumbens</i> Lam.		16.30	11.1	21.5	<i>Fuchsia thimifolia</i> H.B.K	27	53	1.13
	<i>Solanum</i> sp.		14.13	22.2	6	<i>Senecio barba-johannis</i> DC.	9	17.6	0.38
						<i>Eupatorium</i> sp.	4	5.88	2
Estrato herbáceo						<i>Cestrum</i> sp	3	5.88	0.13
	<i>Poaceae</i> sp		51.30	19.6	88.9	<i>Buddleia cordata</i> H.B.K	52.8	7.69	97.96
	<i>Fuchsia thimifolia</i> H.B.K		24.23	47	1.4	<i>Solanum</i> sp	46.6	92.31	2.04
	<i>Rubus liebmannii</i> Focke		10.09	9.8	10.4	<i>Adiantum andicola</i> Liebm.	0.41	0.08	0.05
	<i>Smilax moranensis</i> Mart. & Gal.		7.50	9.8	5	<i>Asplenium</i> sp	0.27	0.06	0.03
	<i>Salvia elegans</i> Vahl.		4.92	9.8	0.03				
	<i>Senecio angulifolius</i> DC.		1.97	3.9	0.01				

IVI: Índice de Valor de Importancia, el sombreado gris muestra las especies que no son comunes y los valores más altos de frecuencia densidad y cobertura.



## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 Exposición de ladera

La orientación de una pendiente como factor ecológico, está vinculada con la cantidad de luz recibida, humedad y evapotranspiración. Si se asume que en la cuenca de Alcalica las laderas que miran al norte presentan menor radiación solar que aquellas expuestas al sur (figura 18), entonces el contenido de humedad debería ser menor en la ladera solana que en ladera umbría. Lo anterior se corroboró principalmente en el lomo de ladera, éste fue más cálido 1°C y menos húmedo 14.2% (figuras 19 y 20). Resultados similares son reportados por otros autores, Galicia *et al.*, (1999) en bosques tropicales caducifolios de México a 160 m de altitud el potencial de interceptación de radiación solar (SRI) en pendientes de 30° crece 30% más en laderas solanas y el contenido de humedad se reduce, lo cual es inducido por la cantidad de lluvia en el año y la distribución espacial de SRI. Y en Michocán a 1900 m. de altitud, las laderas solanas son significativamente más calidas que las umbrías (2.3°C) (Gueye, 2008).

Estos cambios en el clima local podrían influir en los ciclos de humedad y desecación del perfil, humificación y probablemente en el intemperismo del suelo. Por ejemplo en conos volcánicos de Arizona en un rango altitudinal de 2000 a 3000 m las laderas orientadas al sur se asocian a mayor intemperismo de suelo (Rech *et al.*, 2001) y en bosques de coníferas el contenido de materia orgánica y la actividad enzimática incrementaron (Sidari *et al.*, 2008). Estos cambios en el microclima podrían acentuar algunos disturbios naturales como los incendios e impactar la productividad del bosque (Duchesne & Houle, 2011).

El fondo de valle es más frío y más húmedo que los sitios de ladera alta (hombro y lomo). Se mencionó en el apartado de ambientes ribeños (4.4) que las zonas de ribera regulan la temperatura y que cerca del 85% de la luz solar es interceptada en bosque de coníferas (Nakamura & Yamada, 2005) debido a la vegetación característica de estos sitios y además por el efecto de sombra de las laderas adyacentes.

### 8.2 Análisis de las propiedades del suelo de las catenas de ladera solana y ladera umbría

Los horizontes superficiales de suelo tuvieron estructura granular a subangular y texturas más finas que los horizontes subyacentes, porque dominan procesos de tipo biológico y químico (Pritchett, 1991).

No obstante, el mantillo aportado por el bosque de coníferas favorece el intemperismo químico y los ácidos orgánicos de las ascúculas de pino acentúan la concentración de iones

de hidrógeno en ladera solana (Berger *et al.*, 2008), por ello es que el pH fue más bajo que en ladera umbría. Incluso se sabe que diferentes especies de pino acidifican el agua de lluvia, al contrario de los árboles de hoja ancha (Wuyts *et al.*, 2008) y de oyamel (López, 2010). En suelos ácidos disminuye la disponibilidad de nutrientes y/o la toxicidad de otros elementos (Pritchett, 1991) esto se relaciona con los contenidos totales de nitrógeno disponible y fósforo movilizable que fueron bajos en el SHs, BSs y TSs (cuadro 12); sin embargo debe ser corroborado con estudios de laboratorio.

La diferencia de vegetación entre las pendientes altas (pino) y bajas (vegetación de galería) de ladera solana provoca que los sitios de SHs, BSs y FSs (pH de 4.6-6) tengan suelos ligeramente más ácidos que el pH del suelo del perfil localizado a un lado de la corriente (pH de 5.3 a 6.4) (Cuadro 10 y figura 21).

Menor acidez del suelo de lado de sombra (SHu y BSu) se vincula con el mantillo aportado por la vegetación que crece sobre esta ladera (no figuran especies de pino) (cuadro 13 y 14) y mayor disposición de cationes que incrementan el pH como: calcio, magnesio y potasio. La liberación de cationes básicos es parte del intemperismo de las cenizas volcánicas y de Andosoles silándicos (Dahlgren *et al.*, 2004).

La dominancia del género *Pinus* en ladera solana y las gramíneas comunes en estos bosques están asociadas a incendios (Rzedowski, 2001). Cannac *et al.* (2009) relaciona un aumento de compuestos fenólicos de *Pinus laricio* por estrés térmico después de un incendio. Es por ello que se encontró carbón especialmente en los horizontes superficiales de la ladera solana. Esto indica que la zona ha sido alterada por incendios forestales; probablemente esta perturbación es favorecida por una mayor insolación; y probablemente también ha provocado que el espesor del horizonte A sea menor (cuadros 10, 12 y figura 31).

La mayoría de los horizontes Ah son de gran espesor, pero son más gruesos en ladera umbría (SHu, BSu y Tsu) (cuadros 10,12 y figura 31). La acumulación de materia orgánica es una propiedad de los Andosoles, su estabilización se da por la formación de complejos de humus-Al/Fe y especialmente el alofano muestra un efecto protector sobre la MO del suelo y la tasa de mineralización de carbono orgánico mengua (Dahlgren *et al.*, 2004).

Por otro lado, la conductividad eléctrica en ladera umbría es mucho menor que en ladera solana ( $P < 0.05$ ) (figura 25), esto implicaría una mayor evapotranspiración por efecto de recepción de más alta radiación y en consecuencia mayor evaporación y acumulación de sales en la ladera de exposición sur. Una mayor frecuencia de incendios también está vinculada con el incremento de la conductividad eléctrica (Mataix *et al.*, 2011). Suponemos

que la formación de sales en esta ladera favorece que sean lavadas fácilmente en períodos de lluvia, por lo que sería conveniente el muestreo de la ladera a lo largo del año.

Mientras que la tensión del agua (pF, descripción *in situ*) en los horizontes superficiales del hombro, lomo y pie de ladera solano fue mayor que en los horizontes subsecuentes. Esto podría explicarse por la capa de mantillo que protege al suelo mineral superficial de la desecación (Neris *et al.*, 2012). Pero en el fondo de valle (TSs) el pF no cambió fue igual a 2 (húmedo) en todo el perfil. Por lo tanto el hombro y lomo de la catena de ladera solana son más afectados por la orientación que el fondo de valle (Perfil 4). Aunado a la humedad relativa que fue más alta en este sitio, se confirma que los ambientes ribereños regulan el clima local de los microambientes asociados a ellos (Meleason & Quinn, 2004) (cuadro 8).

Pese a que los suelos tuvieron características diferentes entre laderas (Perfil 3 con Perfil 7 y Perfil 4 con Perfil 8), la pedregosidad, texturas, reactividad al NaF y espesor de horizonte orgánico, sugieren que los suelos desarrollados en la ladera solana dominan procesos morfogénicos sobre los pedológicos.

Sin embargo, es difícil evaluar si la exposición de ladera tuvo o no efecto en los procesos pedogenéticos, como se planteó en la hipótesis, ya que el suelo se desarrolló sobre distintos materiales parentales. Además la influencia de la morfogénesis en la ladera solana, no permite comparar los indicadores de avance de intemperismo de ambas laderas. Es por ello que la pedregosidad, textura y formación de alofano fue similar entre el lomo y hombro tanto de ladera umbría como ladera solana, sitios de la catena que tuvieron mayor influencia de la exposición.

### **8.3 Clasificación de suelo**

La formación y desarrollo del suelo está en función de los factores formadores de suelo. Climas húmedos y fríos, material parental volcánico y tiempo principalmente favorecen la formación de Andosoles. En las catenas originalmente se trató que las condiciones de material parental, tiempo, biota y clima fueran similares. Pero los perfiles de pie de ladera (TSs y TSu) se formaron a partir de material acarreado de ladera arriba, justificado por el aumento de pedregosidad tanto en superficie como en los perfiles (mayormente en el pie de ladera solana), distintos depósitos y suelo sepultado en el pie de ladera umbría. Mientras que en los suelos de ladera alta el material parental son los depósitos de pómez de aproximadamente 5000 años.

Los suelos del hombro y lomo de ambas catenas clasificaron como Andosoles silándicos; por poseer texturas más finas, menor pedregosidad, porcentaje de  $Al+1/2Fe$  mayor a 2 y

reacción moderada en la prueba del aluminio activo; en tanto que, en el pie y fondo de valle, los suelos se clasificaron como Andosoles vítricos. A diferencia de los primeros, estos suelos tuvieron texturas más gruesas, mayor porcentaje de piedras, la reacción al aluminio activo fue ligera o sin reacción y el  $\%Al+\frac{1}{2}Fe$  fue menor a 2 (cuadros 7-10 y figura 26). Los Andosoles vítricos son suelos poco intemperizados en los que la neoformación de minerales de bajo orden estructural es incipiente.

Los valores de pH mayores a 5 permiten que el aluminio se hidrolize, gracias a una alta actividad del  $H_2CO_3$  y presencia de cationes básicos que contribuye a la formación de alofano e imogolita a partir de  $Al(OH)_3$  y  $Si(OH)_4$  (Dahlgren *et al.*, 2004) en los Andosoles.

La gama de los diversos Andosoles que se presentan en la región de los volcanes Iztaccíhuatl-Popocatépetl queda demostrada con los resultados de varios autores como Miehllich (1991) quien reportó que los suelos volcánicos de Sierra Nevada a 3000 m de altitud, clima A (cuadro 2) y material parental 2P (3500 – 5000 años) son suelos de tipo Andosol húmico (figuras 9, 10 y cuadro 4). Características de desarrollo de suelo que corresponden a las catenas realizadas en este trabajo.

Por otro lado Peña R. (2013), reportó en el Popocatépetl a 3100 m de altitud un suelo tipo Andosol vítrico mólico y localizó piedra pomez a 130 cm de la superficie de suelo con una vegetación dominada por *Pinus montezumae* y edad de formación de suelo de 1000 años. Estas diferencias en los reportes sobre los tipos de suelo, deben atribuirse a procesos edafogénicos y condiciones más locales como su posición topográfica, forma del relieve, orientación de la pendiente, tipo de vegetación y uso de suelo.

Los resultados obtenidos en ditionito son bajos al compararse con lo reportado por Escudéy *et al.*, (2004) en suelos volcánicos de Chile y Peña R. (2013) en suelos de Sierra Nevada de México, quienes utilizaron el mismo extractante. En suelos localizados en zonas de clima A (3000 m de altitud) y ceniza 2P (3500 a 5000 años) Miehllich, (1991) reportó un intervalo de aluminio extractable con ditionito ( $Al_d$ ) de 3-4  $mg\ g^{-1}$  y aluminio extractable con oxalato ( $Al_{ox}$ ) de 8-10  $mg\ g^{-1}$ . El  $Al_d$  varió de 0.98 -2.47  $mg\ g^{-1}$  en ladera solana y de 0.54 -3.74  $mg\ g^{-1}$  en ladera umbría, la mayoría de los valores reportados en este trabajo están por debajo del intervalo propuesto por Miehllich. Los perfiles realizados en el hombro y lomo de las dos laderas si se ubicaron en el intervalo propuesto por este autor, el  $Al_{ox}$  fue de 2.56-10.14  $mg\ g^{-1}$  en la solana y para la umbría fue de 2.95-12.58  $mg\ g^{-1}$ .

#### 8.4 Kf e hidrofobicidad

Los Andosoles poseen fuerte estructura y estabilidad de agregados, ambas características permiten elevadas tasas de infiltración (Neris *et al.*, 2012); es por ello que, los valores de la conductividad hidráulica fueron muy altos. Los suelos volcánicos tienen una alta superficie específica, son muy porosos y extremadamente permeables (Dahlgren, Saigusa, & Ugolini, 2004).

La Kf fluctuó entre 0.054 a 1.7 mm s<sup>-1</sup> en ladera solana y en umbría de 0.15 a 1.7 mm s<sup>-1</sup>, el valor más bajo corresponde al lomo de ladera solana y los valores más altos al fondo de valle en las dos catenas (figura 26). Jiménez *et al.* (2009) en suelos de origen volcánico, utilizaron un infiltrómetro de doble anillo para medir la Kf y encontraron que ésta fue extremadamente rápida bajo selva (0.22 mm s<sup>-1</sup>); pero disminuye considerablemente bajo bosque de pino (0.018 mm s<sup>-1</sup>) sometido a cambio de uso de suelo o de vegetación. Estos resultados confirman la vulnerabilidad de las propiedades de los Andosoles e infiltración cuando se someten a distintas modificaciones y además, la influencia de la cubierta forestal sobre las propiedades de estos suelos. Neris *et al.* (2012) hallaron los mismos resultados para coberturas de pino y vegetación de hoja ancha.

La repelencia al agua se ha ligado a grupos fenólicos y ácidos orgánicos de la materia orgánica, es por ello que se localizó hidrofobicidad en el mantillo y en la superficie de suelo. Estos resultados se ajustan a lo reportado en Colombia en suelos derivados de ceniza volcánica; donde existe una alta persistencia a la repelencia al agua bajo la cobertura de pino y cedro. Igualmente en los Andosoles de las Islas Canarias, el material orgánico fue moderadamente poroso, alta actividad fúngica y muy hidrófobo (Neris *et al.*, 2012). Sin embargo, no se observó una diferencia clara en la hidrofobicidad del suelo, pese a que se encontró mayor cantidad de carbón en el hombro y lomo de ladera solana. Lo anterior sugiere mayor frecuencia de incendios en esta ladera, pero su efecto sobre la repelencia al agua aun no es evidente. Lo anterior también es justificado por la conductividad hidráulica que fue alta y muy variable en ambas laderas.

Por lo anterior la influencia de la radiación solar que reciben las laderas solana y umbría sobre el suelo, no fue apreciable en la hidrofobicidad y Kf. No así en la vegetación, ya que ésta fue evidentemente diferente y en la ladera umbría se localizaron especies propias de sitios húmedos.

## 8.5 Vegetación

En la sección de resultados ya se mencionó que en ladera solana hay prevalencia de pino y cedro, probablemente por las adaptaciones de estas especies a una mayor incidencia de luz solar, en comparación con la ladera umbría donde domina el oyamel con mayor humedad ambiental y temperaturas menores que las que se presentaron en la ladera solana. Scott & Hawkins (2005) mediante el índice de crecimiento relativo del tallo (RGR), demostraron una dependencia del crecimiento de *Abies* con laderas expuestas al norte, suponen que el déficit de humedad en laderas solanas provoca una carga de calor y asociado a las pocas precipitaciones en época de secas limitan RGR en esta exposición. Se obtuvo casi el mismo porcentaje de cobertura de encino en las dos laderas; pero Wang *et al.*, (2011) encontraron en laderas solanas, mayor transpiración de *Quercus liaotungensis* y en el suelo más evaporación, que en laderas expuestas al norte, lo cual confirma la importancia ecológica de la exposición de las laderas.

Además se percibió mayor contenido de carbón bajo la cubierta de pino, y en México Rodríguez y Fulé (2003) señalan 35 especies de pino con diversas adaptaciones al fuego. En los incendios forestales hay un aumento de la fracción de ácidos grasos, terpenos y ceras que podrían explicar la repelencia al agua e incremento de la conductividad eléctrica (Mataix *et al.*, 2011) (González-Pérez *et al.*, 2004).

Los incendios superficiales provocan el colapso y compactación de los agregados, la porosidad total, macroporos y conductividad hidráulica decrecen, por lo tanto, la frecuencia de los incendios afecta las propiedades físicas del suelo. Pero los suelos del hombro y lomo de ladera solana no mostraron estas características. Al contrario, tuvieron densidades medias y bajas, porosidad media, Kf altas, alta estabilidad de agregados y estructura granular y subangular, evidencia de suelos bien drenados, aireados y no compactados.

Se sabe además de los incendios pueden eliminar hongos, destruir sustancias alelopáticas y el estrato rasante, lo que favorece el establecimiento de plántulas (Cannac *et al.*, 2009), es por ello que las herbáceas y los arbustos prosperan en el lomo y hombro de ladera solana.

Varias especies del género *Senecio* se propagan y se establecen después de un incendio, por lo que se han reconocido como especies pirófilas. Estos arbustos se identificaron tanto en la parte alta como en el pie de ladera solana y en el FS fue la especie que tuvo el mayor valor de importancia (70%) del estrato arbustivo. Se encontró que *Pinus* figura como un género de especies de árboles, con el índice más alto (IVI) en ambos sitios de muestreo de ladera solana.

Cabe mencionar que el bosque de *Alnus* (especie localizada en el SHu) aparentemente constituye una etapa sucesional del establecimiento del bosque de *Abies religiosa*, pero sólo se presenta en localidades aisladas (Rzedowski, 2001). Y la presencia de especies afines a condiciones de humedad (*Oreopanax* y *Cornus*), se localizaron en el lomo de ladera umbría.

### **8.6 Suelo adyacente al río, ambientes ribereños (AR)**

Predecir o señalar la amplitud de afectación a un río puede ser muy aventurado; ya que están involucradas una gran cantidad de variables que fluctúan espacialmente, temporalmente y en escala (Nakamura & Yamada, 2005).

Los resultados no mostraron patrones entre vertientes; pero, un análisis más cuidadoso, reveló que la vertiente izquierda (umbría) tuvo texturas más finas, menor porcentaje de pedregosidad en superficie y en el perfil, y son significativamente más profundos. Para explicar estas diferencias entre los suelos de ambas vertientes, es útil estudiar al ambiente ribereño como un sistema complejo, donde interaccionan variables de suelo, vegetación, microclimáticas y geomorfológicas (Conacher, 2002) (Lecome *et al.*, 2009).

La ladera adyacente a la derecha del río (aguas abajo); recibe mayor radiación, el mantillo promueve la escorrentía y favorece los incendios superficiales mientras que los ciclos de humedecimiento y secado de los suelos son más cortos. Por lo tanto, los suelos de ribera son más susceptibles a movimientos de ladera y en consecuencia se incrementa la pedregosidad, disminuye la profundidad del suelo y las texturas son más gruesas en el fondo de valle.

También, este ambiente ribereño está influenciado por los procesos que ocurren cuenca arriba, como los eventos de precipitación extrema. Los ríos rectos, como lo es el caso de Alcalica, son estables en planta y perfil, poseen alta energía asociada a flujos potenciales de escombros provenientes de la parte alta de la cuenca (Rosgen, 1994).

Para este caso de estudio, la actividad geomorfológica e historia evolutiva de las laderas; se cree tiene vital importancia, y es precisamente por ello, que la profundidad de suelo, porcentaje de pedregosidad y textura varían de un lado a otro del río.

## 8.7 Influencia geomorfológica y pedológica en el control hídrico de laderas.

Pese a la fuerte pendiente de los sitios de hombro y lomo del valle de Alcalica, casi no se observaron indicios de erosión actualmente. La vegetación ha amortiguado los efectos erosivos del clima (Wang *et al.*, 2011), mediante la formación del mantillo, estabilización de los agregados del suelo por la contribución de la materia orgánica (complejación humus-Al) (cuadro 15). Sin embargo, en ladera solana el mantillo enriquecido de los restos pino y la frecuencia de incendios superficiales podría favorecer la escorrentía y erosión (Neris *et al.*, 2012), y la radiación a las tasas de evaporación (Scott & Hawkins, 2005), modificando el balance hídrico de esta pendiente por lo que el suelo que se desarrolla puede ser susceptible a procesos de erosión o movimientos de remoción en masa (Schaetzl & Anderson, 2005).

Cuadro 15: Funciones geomorfológicas claves creadas por la vegetación en laderas.  
(Tomado de Marston, 2010).

---

### Procesos

---

Control de los movimientos en masa por la modificación de la humedad del suelo.  
La interceptación de la lluvia por la vegetación y mantillo disipan la energía erosiva del agua.  
La materia orgánica del suelo incrementa el almacén de agua y redistribuye el flujo superficial, promueve el crecimiento vegetal e inhibe la erosión.  
La unión de las raíces en el suelo, atenúan la erosión y los movimientos de remoción en masa.  
La biomasa crea una microtopografía en la superficie del suelo que modifica el flujo superficial:  
La rugosidad en la dirección del perfil (en pendientes altas) desacelera el flujo superficial  
La rugosidad paralela a los contornos delimitados por el relieve, concentra agua formando surcos, cárcava o ríos.  
La biomasa crea rugosidad hidráulica contra el flujo superficial  
La caída de los árboles o cambio en la cobertura vegetal podría exponer el suelo a la erosión

---

En el fondo de valle probablemente hay una dilución de sales por la corriente de agua, o son absorbidas por las partículas minerales del suelo y vegetación; aunque las texturas gruesas podrían acelerar el flujo de agua y entonces los cationes alcanzar al río. La ruptura de pendiente en estos sitios, provoca concentración del flujo de agua y disminución de la escorrentía superficial (Schoeneberger & Wysocki, 2005), lo anterior es sustentado por los valores de  $k_f$  medidos y por la disminución de la conductividad eléctrica, especialmente en ladera solana. Una mayor evaporación, explica el contenido de sales en el hombro y lomo de la catena, estas sales son transportadas por flujo superficial y subsuperficial y tienden a acumularse en el Perfil 3.

En general los suelos no están saturados de agua (porosidad, texturas franco-limosas, y arenosas, alta estructura de suelo y alta capacidad de retención de agua por minerales de bajo orden estructural), se trata de suelos bien drenados.



Es conocido que el flujo convergente o divergente en ladera podría ser importante en el desarrollo e intemperismo del perfil del suelo y en la ocurrencia y distribución del flujo superficial, así como en las propiedades físicas y químicas del río (Chun-Chih *et al.*, 2004) (Sidari *et al.*, 2008). Si la ladera solana tiene mayor frecuencia de incendios entonces la escorrentía se acelera junto con los procesos de erosión.

La velocidad del paso de agua a través del suelo fue mediana en horizontes superficiales y crece en horizontes profundos, excepto para el perfil 3; también, la pedregosidad, texturas gruesas, y pendiente suave inducen el flujo vertical y subsuperficial. Sobieraj *et al.* (2008), expresaron que la topografía controla el microclima, la distribución de agua, redistribución de sedimentos y solutos en un paisaje.

Cuadro 16: Características de relieve, historia de uso de suelo y estimación de la calidad de suelo y potencial de erosión en sitios de Chieng Khoi (Tomado de Clemens *et al.*, 2010).

Relief characteristics, land use history, fertilization and farmers estimation of soil quality and erosion hazard of investigated sites in the Chieng Khoi commune.

Relief position (site)	Inclination (%)/ESL (m)/Slope form (Y, X)	Local soil type	Land use before 2007(duration in a)	Fertilization until 2007/former	Soil quality/change	Erosion/sedimentation hazard
<b>Catena 1</b>						
Top (1 T)	2/16/v, v	Black Soil Mixed Rocks	Cassava+teak (1), teak (4), fallow (2), cassava+rice (21), forest	NPK/0	No change	Low
Upper slope (1 uS)	22/13/v, s	Black Soil Mixed Rocks	Cassava+maize (8), cassava (20), forest	NPK/NP	No change	Low
Middle slope (1 mS)	37/37/s, v	Red Soil Mixed Rocks	Cassava (22), upland-rice (3), forest	0/0	Poorer rapidly	Low
Lower slope (1 lS)	18/117/s, v	Red Soil	Cassava (3), upland-rice (27), n.i.	NPK/n.i.	Poorer	Medium
Toe slope (1TS-HG)	8/182/s, s	Sandy Red Soil	Home garden (22), cassava+maize+pinus (4), grassland	NPK/organic	Poorer rapidly	High
Toe slope (1TS-M)	10/186/v, v	Sandy Black Soil	Mango orchard (30), grassland	0/0	No change	High
<b>Catena 2</b>						
Top (2 T)	0/4/v, s	Poor Red Soil	Fallow (57), upland-rice (n.i.)	0/0	No change	Low
Upper slope (2 uS)	26/20/v, s	Poor Red Soil	Fallow (57), upland-rice (n.i.)	0/0	No change	Low
Middle slope (2 mS-1)	58/60/s, s	Poor Red Soil	Cassava+teak+pinus (11), cassava (6), upland-rice (6), fallow	P/n.i.	No change	Low
Middle slope (2 mS-2)	75/105/s, s	Red Soil Mixed Rocks	Fallow (57), upland-rice (n.i.)	0/0	Poorer rapidly	Low
Lower slope (2 lS)	40/109/c, v	Sandy Red Soil	Cassava+teak+pinus (11), cassava (6), upland-rice (6), fallow	P/n.i.	Poorer rapidly	High
Toe slope (2 TS)	10/132/c, v	Sandy Red Soil	Cassava+maize (8), mulberry (10), upland-rice (4), fallow+forest	NP/n.i.	Poorer rapidly	High
<b>Site 3</b>						
Middle slope (3 mS-1)	26/33/s, s	Black-Red Soil Mixed Rocks	Maize (2), cassava (1), maize (6), cassava+maize (17), upland-rice (5), fallow+forest	NP/0	Poorer	Low
Middle slope (3 mS-2)	13/108/s, s	Red Soil Mixed Rocks	Cassava+maize (10), cassava, maize, upland-rice (25), n.i.	NPK/0	Poorer rapidly	Low
<b>Site 4</b>						
Middle slope (4 mS-1)	54/39/s, s	Good Black Soil	Maize (7), fallow	NPK/0	Poorer	Medium
Middle slope (4 mS-2)	61/50/s, s	Good Black Soil	Maize (7), fallow	NPK/0	Poorer	Medium

ESL: erosive slope length, Y = vertical, X = horizontal, c = concave, v = convex, s = straight, + = mixed cultivation, ? = unknown, n.i. no information, 0 = no fertilization, N = Nitrogen.

La densidad y composición de la cubierta vegetal, también alteran la respuesta hidrológica de las laderas, en un sitio sin vegetación la descarga de agua al canal es proporcional a la precipitación y en áreas densamente pobladas este efecto se atenúa (Conacher, 2002; Schaetzl & Anderson, 2005; Schoeneberger & Wysocki, 2005; Wang et al., 2011). La cobertura vegetal fue densa en ambas laderas y espesor considerable de mantillo (en en lomo de ladera umbría musgo) por lo que la precipitación incidente es redistribuida y controlada por la vegetación. Pero este comportamiento podría ser alterado por

perturbaciones como los incendios. Lo cual sugiere que en el Valle de Alcalica podrían generarse dos respuestas hidrológicas diferentes a lo largo del tiempo.

En los Perfiles 3 y 4 el contenido de pedregosidad en perfil y superficie de suelo incrementan y por tanto la profundidad de suelo se reduce (Marston 2010). Por consiguiente estos sitios de la catena en ladera solana, han sido propensos a erosión y a movimientos de remoción en masa (cuadro 15 y 16), esto concuerda con los datos obtenidos por Chieng Khoi (2010) y probablemente promovido por diferencias microclimáticas (Gorsevski *et al.*, 2006) (cuadro 16). Aunque, Gao & Maro, (2010) indican que los deslizamientos tienen una gran variabilidad entre las orientaciones norte y sur.

Las predicciones del comportamiento hidrológico basadas en el suelo y topografía en campo dan una aproximación de la dinámica del agua en el valle. La morfología del suelo puede ser utilizada favorablemente para distinguir los potenciales del flujo de agua ladera abajo (Ticehurst *et al.*, 2007).

Pese a que el sitio bajo estudio actualmente es estable, el análisis de una y otra ladera, nos conduce a proponer dos historias geomorfológicas distintas, explicadas por la diferencia de clima a través del tiempo.

## 9. CONCLUSIONES

La exposición de ladera y posición en la catena modificaron las características de vegetación, suelo y clima. El lomo de ladera solana fue más cálido y seco contrario el lomo de ladera umbría. El efecto de la exposición sobre la hidrofobicidad, infiltración e intemperismo del suelo no fue evidente.

En ladera solana la vegetación es dominada por *Pinus* y herbáceas que favorecen la frecuencia de los incendios superficiales. La ladera umbría se distinguió por el establecimiento de *Abies religiosa* y especies afines a condiciones de mayor humedad: *Oreopanax xalapensis* y *Cornus disciflora*.

Las propiedades del suelo tales como la conductividad eléctrica, pH y porcentaje de pedregosidad cambian entre laderas y entre las posiciones de la catena. En ladera alta los suelos son Andosoles silandicos y en ladera baja Andosoles vitricos.

Los resultados permiten concluir que una mayor radiación solar en laderas expuesta al sur, se asocia a movimientos de ladera generados a través del tiempo y que interrumpen la pedogénesis. Una mayor inestabilidad en la ladera se generó a través del tiempo y la diferencia en insolación podría ser la causa.

Las laderas muestran dos historias evolutivas diferentes, que han provocaron variaciones en las características de suelo y vegetación; tales situaciones se explican en parte por las condiciones microclimáticas, pero también influye su posición en la catena.

Las diferencias entre ladera solana y ladera umbría pueden extrapolarse a muchos de los valles de la Sierra Nevada que presentan orientaciones similares y las diferencias observadas en cuanto a suelo, vegetación y su dinámica geomorfológica deben ser consideradas para fines de conservación, restauración, pago por servicios ambientales, entre otros.

## 10. REFERENCIAS

- Anbumozhi, V., Rakhakrishnan, J., & Yamaji, E. (2005). Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. *Ecological Engineering*, 24: 517–523.
- Arana, A., Siebe, C., & Macías, J. (2010). Dynamics of the ca. 4965 yr 14C BP “Ochre Pumice” Plinian eruption of Popocatepetl volcano, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 192: 212-231.
- Ashworth, P., & Lewin, J. (2012). How do big rivers come to be different? *Earth science reviews*, 114:84-107.
- Berger, T., Untersteiner, H., Schume, H., & Jost, G. (2008). Throughfall fluxes in a secondary spruce (*Picea abies*), a beech (*Fagus sylvatica*) and a mixed spruce-beech stand. *Forest ecology and management*, 255: 605-618.
- Cannac, M., Pasqualini, V., Borboni, F., & Morandini, F. (2009). Phenolic compounds of *Pinus laricio* needles: A bioindicator of the effects of prescribed burning in function of season. *Science of the Total Environment*, 407: 4542–4548.
- Chun-Chih, T., Zueg-Sang, C., & Chang-Fu, H. (2004). Relationships between soil properties and slope position. *Geoderma*, 123:131-142.
- Clemens, G., Fiedler, S., Cong, N., Dung, N., Schuler, U., & Stahr, K. (2010). Soil fertility affected by land use history, relief position, and parent material under a tropical climate in NW-Vietnam. *Catena*, 81: 87-96.
- Conacher, A. (2002). A role for geomorphology in integrated. *Australian Geographical Studies*, 40: 179-195.
- CONANP. (2012). <http://iztapopo.conanp.gob.mx/>. Recuperado el 20 de agosto de 2012
- Dahlgren, R., Saigusa, M., & Ugolini, F. (2004). The nature, properties and management of volcanic soils. *Advances in Agronomy*, 82: 113-182.
- Duchesne, L., & Houle, D. (2011). Modelling day-to-day stem diameter variation and annual growth of balsam. *Forest Ecology and Management*, 262: 863–872.
- Escamilla, W. M. (2007). La vegetación de alta montaña del volcán Iztaccíhuatl, México: un enfoque fitosociológico. Tesis de Maestría, Instituto de Biología UNAM.
- Escudey, M., Förster, E., & Galindo, G. (2004). Relevance of Organic Matter in Some Chemical and Physical Characteristics of Volcanic Ash-Derived Soils. *Communications in soil science and plant analysis*, 35: 781-797.
- Fi-John, C., Meng-Jung, T., Wen-Ping, T., & Edwin, E. (2008). Assessing the ecological: hydrology of natural flow conditions in Taiwan. *Journal of Hydrology*, 354: 75– 89.
- Franco R. O. (2005). Geomorfología del volcán Popocatepetl. *Tesis de Maestría*. D.F: Instituto de Geografía, UNAM.
- Galicia, L., López, B., Zarco, A., Filips, V., & García, O. (1999). The relationship between solar radiation interception and soil water content in a tropical deciduous forest in Mexico. *Catena*, 36: 153-164.
- Gao, J., & Maro, J. (2010). Topographic controls on evolution of shallow landslides in pastoral Wairarapa, New Zealand, 1979–2003. *Geomorphology*, 114: 373-881.
- González-Pérez, J., González-Villa, F., Gonzalo, A., & Knicker, H. (2004). The effect of fire on soil organic matter — a review. *Environment International*, 30: 855 – 870.
- Gorsevski, P., Gessler, P., Willian, E., & Foltz, R. (2006). Spatially and temporally distributed modeling of landslide susceptibility. *Geomorphology*, 80: 178-198.
- Green, S., & Hawkins, C. (2005). Competitive interactions in sub-boreal birch–spruce. *Forest Ecology and Management*, 214: 1–10.
- Gueye, S. (2008). *Almacén de carbono en suelos de ladera en un gradiente microclimático en Tuxpan, Michoacán*. México D.F.: Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM.
- Hernandez, G. M., & Granados, S. D. (2006). Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl-Zoquiapan y el impacto ecológico-social de su deterioro. *Revista Chapingo. Serie ciencia forestales y del ambiente*, 12: 101-109.

- Jiménez, J., Morillas, G., Fuentes, J., & Tejedor, M. (2012). Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in. *Catena*, 98:55-62.
- Lazdinis, M., & Angelstam, P. (2005). Functionality of riparian forest ecotones in the context of former. *Forest Policy and Economics*, 7: 321–332.
- Lecomte, L., García, M. G., Fórmica, S., & Depetris, A. (2009). influence of geomorphological variables on mountainous stream water chemistry (Sierras Pampeanas, Córdoba, Argentina). *Geomorphology*, 110: 195-202.
- Llorens, P., & Domingo, F. (2007). Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. a review studies in Europe. *Journal of hydrology*, 335: 37-54.
- López, L. (2010). *Variación del pH de agua de lluvia en bosques templados húmedos*. Tesis de licenciatura FES Zaragoza, Unam.
- Macías, J. (2005). Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57: 379-424,.
- Macias, J. L., & Siebe, C. (2005). Popocatepetl's crater filled to the brim: significance for hazard evaluation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 141: 327-330.
- Mander, U., Kuusemets, V., Löhmus, K., & Muring, T. (1997). Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. *Ecological Engineering*, 8: 299–324.
- Marston, R. (2010). Geomorphology and vegetation on hillslopes: Interactions, dependencies, and feedback loops. *Geomorphology*, 116: 206-217.
- Mataix, S., Cerdà, A., Arcenegui, V., & Jordán, A. (2011). Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews*, 109: 44–60.
- Mataix, S., Cerdà, A., Arcenegui, V., & Jordán, A. (2011). Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews*, 109: 44–60.
- Meleason, M., & Quinn, J. (2004). Influence of riparian buffer width on air temperature at Whangapoua Forest, Coromandel Peninsula, New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 191: 365–371.
- Miehlich, G. (1991). Cronosequences of volcanic ash soils. En *Comunicaciones No. 15* (pág. 15: 217). Fundación Almendra para la investigación científica.
- Naiman, R., Décamps, H., & McClain, M. E. (2005). Riparia. Ecology, conservation, and management of streamside communities. USA.
- Nakamura, F., & Yamada. (2005). Effects of pasture development on the ecological functions of riparian forests in Hokkaido in northern Japan. *Ecological Engineering*, 24: 539–550.
- Neris, j., Tejedor, M., Rodríguez, M., & Jiménez, C. (2012). Effect of forest floor characteristics on water repellency, infiltration, runoff and soil loss in Andisols of Tenerife (Canary Islands, Spain). *Catena*, 8.
- Neris, j., Tejedor, M., Rodríguez, M., & Jiménez, C. (2012). *Catena. Effect of forest floor characteristics on water repellency, infiltration, runoff and soil loss in Andisols of Tenerife (Canary Islands, Spain)*, 8.
- Peña R., V. (2013). *Dinámica de la calidad de sitio a través de una cronosecuencia volcánica y sus implicaciones para la productividad forestal*. México, D.F.: Tesis de doctorado, Instituto de Geología, UNAM.
- Pritchett, W. (1991). *Suelos forestales, propiedades, conservación y mejoramiento*. D. F. México: Limusa.
- Rech, J., Reeves, R., & Hendricks, D. (2001). The influence of slope aspect on soil weathering processes in the Springerville volcanic field, Arizona. *Catena*, 43: 49-62.
- Rosgen, D. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, 22: 169-199.
- Rossgen, D. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, 22: 169-199.
- Rossgen, D. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, 22: 169-199.
- Rzedowski, G. C. (2001). *Flora Fanerogámica del Valle de México*.
- Sarr, D., Hibbs, D., Shattford, J., & Momsen, R. (2011). Influences of life history, environmental gradients, and disturbance on riparian. *Forest Ecology and Management*, 261: 1241–1253.
- Schaetzl, R., & Anderson, S. (2005). Soil geomorphology and hidrology. En *Soils genesis and geomorphology* (págs. 465-546). New York EUA: Universidad Cambridge.

- Schoeneberger, P., & Wysocki, D. (2005). Hydrology of soils and deep regolith: A nexus between soil. *Geoderma*, 126:117-128.
- Scott, G., & Hawkins, C. (2005). Competitive interactions in sub-boreal birch–spruce forests differ on opposing slope aspects. *Forest Ecology and Management*, 214: 1-10.
- Sidari, M., Ronzello, G., Vecchio, G., & Muscolo, A. (2008). Influence of slope aspects on soil chemical and biochemical properties in a *Pinus laricio* forest ecosystem of Aspromonte (Southern Italy). *European Journal of Soil Biology*, 44: 363-372.
- Siebe, C., Jahn, R., & Stahr, K. (1996). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos. 70.
- Sobieraj, J., Eisenbecker, H., Coelho, R., & Newton, B. (2008). Spatial variability of soil hydraulic conductivity along a tropical rainforest catena. *Geoderma*, 108: 79-90.
- Sparovek, G., Ranieri, L., & Gassner, S. (2003). Soil erosion and its impacts on water treatment in the northeastern provinces of Thailand. *Environment International*, 33: 706–711.
- Ticehurst, J., Cresswell, H., McKenzie, N., & Glover, M. (2007). Interpreting soil and topographic properties to. *Geoderma*, 137: 279-292.
- UNAM, B. (2012). La contaminación e el Río Atoyac, problema ecológico y sanitario. Boletín UNAM-DGCS-507.
- Vázquez Selem, L. (2011). Las glaciaciones en las montañas del centro de México. En C. a. Ortega, *Escenarios de cambio climático: registros del Cuaternario de América Latina I*. (págs. 215-238). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Velázquez A., R. F. (2002). Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat. Ediciones científicas universitarias.
- Wang, L., Wie, S., Horton, R., & Shao, M. (2011). Effects of vegetation and slope aspect on water budget in the hill and gully region of the Loess Plateau of China. *Catena*, 87: 90-100.
- White, S. (1962). El Iztaccíhuatl. Acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado oeste durante el Pleistoceno Superior. *Serie Investigaciones*, 6. I.N.A.H., México, 80 pp.
- Wohl, E. (2006). Human impacts to mountain streams. *Geomorphology*, 79:217-248.
- Wuyts, K., Schrijver, A., Giels, I., Staelens, J., Vandenbruwane, J., & Verheyen, C. (2008). Comparison of forest edge effects on throughfall deposition in different forest types. *Environmental Pollution*, 156: 854-861.
- Yimer, F., Ledin, S., & Abdelkadir, A. (2006). Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation. *Forest Ecology and Management*, 232: 90–99.

## 11. ANEXOS

### I. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS ALTIMÉTRICAS DE LA CUENCA DE ALCALICA

Distribución de frecuencias altimétricas		Distribución de frecuencias relativas altimétricas:		Distribución de frecuencias relativas acumuladas:	
Intervalo (m)	Área (Km <sup>2</sup> )	Intervalo (m)	Área (%)	Intervalo (m)	Área (%)
4800 – 4700	0.00	4800 – 4700	0.01	4800 – 4700	0.01
4700 – 4600	0.04	4700 – 4600	0.20	4700 – 4600	0.22
4600 – 4500	0.13	4600 – 4500	0.72	4600 – 4500	0.94
4500 – 4400	0.20	4500 – 4400	1.06	4500 – 4400	2.00
4400 – 4300	0.23	4400 – 4300	1.23	4400 – 4300	3.23
4300 – 4200	0.22	4300 – 4200	1.18	4300 – 4200	4.41
4200 – 4100	0.43	4200 – 4100	2.33	4200 – 4100	6.73
4100 – 4000	0.74	4100 – 4000	4.01	4100 – 4000	10.74
4000 – 3900	1.73	4000 – 3900	9.32	4000 – 3900	20.06
3900 – 3800	2.18	3900 – 3800	11.76	3900 – 3800	31.82
3800 – 3700	1.69	3800 – 3700	9.10	3800 – 3700	40.91
3700 – 3600	1.30	3700 – 3600	7.01	3700 – 3600	47.93
3600 – 3500	1.27	3600 – 3500	6.85	3600 – 3500	54.78
3500 – 3400	1.39	3500 – 3400	7.52	3500 – 3400	62.30
3400 – 3300	1.43	3400 – 3300	7.74	3400 – 3300	70.04
3300 – 3200	1.23	3300 – 3200	6.62	3300 – 3200	76.66
3200 – 3100	0.99	3200 – 3100	5.36	3200 – 3100	82.02
3100 – 3000	0.87	3100 – 3000	4.69	3100 – 3000	86.71
3000 – 2900	0.78	3000 – 2900	4.20	3000 – 2900	90.91
2900 – 2800	0.62	2900 – 2800	3.36	2900 – 2800	94.28
2800 – 2700	0.75	2800 – 2700	4.03	2800 – 2700	98.31
2700 – 2600	0.31	2700 – 2600	1.69	2700 – 2600	100.00
<b>Total</b>	<b>18.52</b>	<b>Total</b>	<b>100.00</b>		

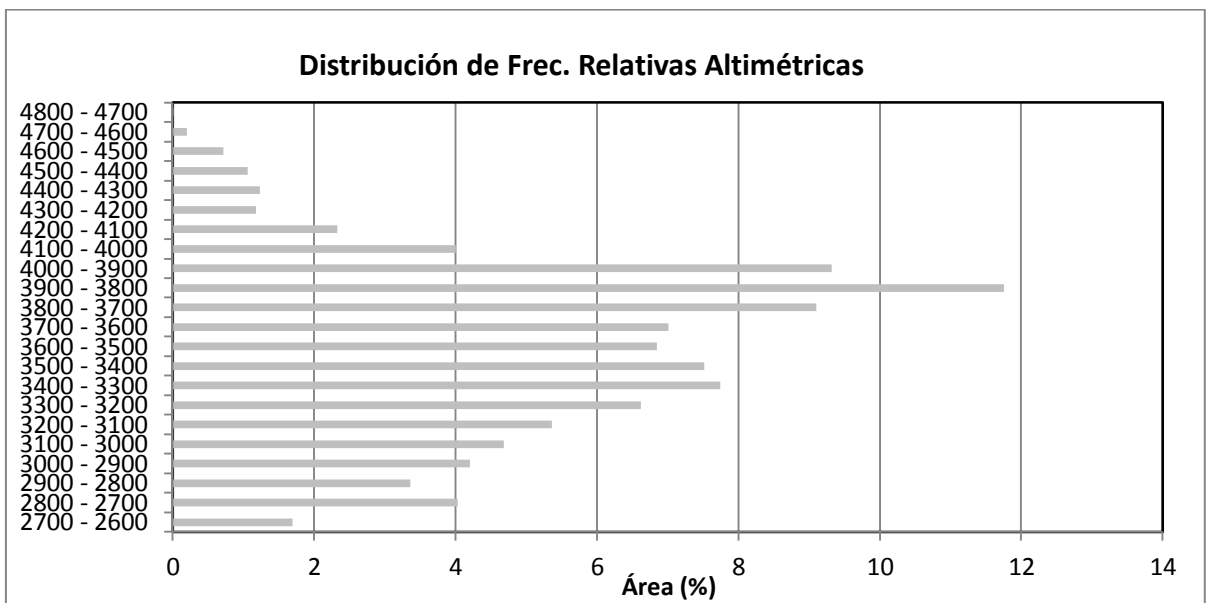
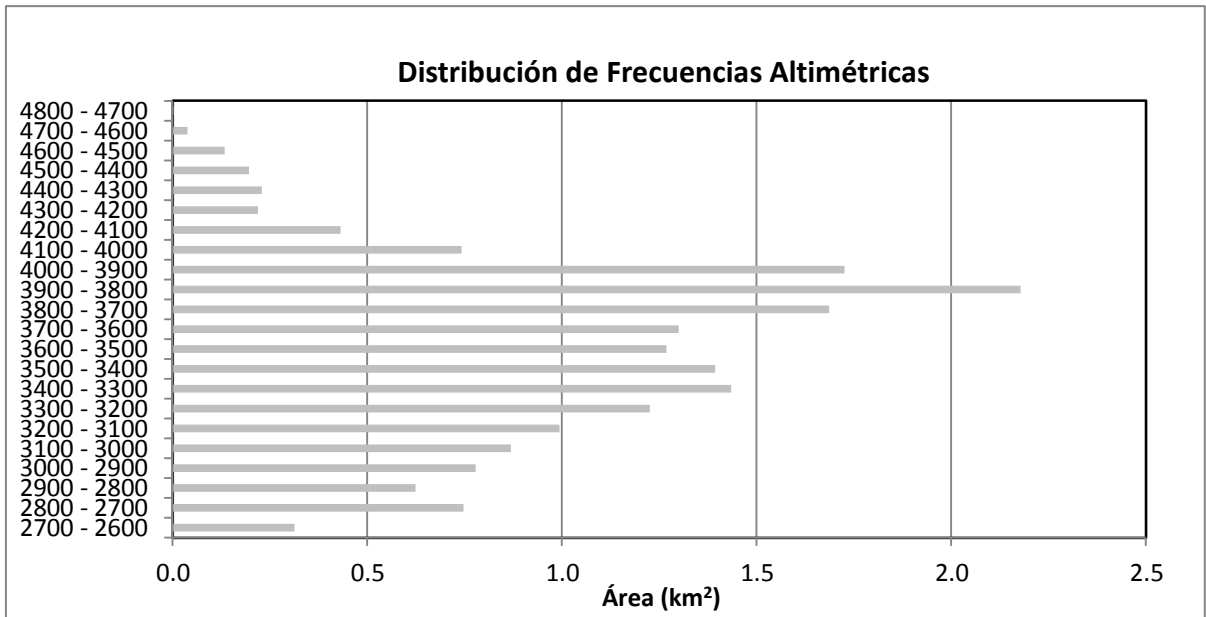


Figura 1: Gráfico de la distribución de frecuencias altimétricas.



## DATOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD ATMOSFÉRICA

Fecha	Tiempo	HOMBRO SOLANO		HOMBRO UMBRIA		LOMO SOLANO		LOMO UMBRIA		FONDO DE VALLE	
		T (°C)	HR (%)	T (°C)	HR (%)	T (°C)	HR (%)	T (°C)	HR (%)	T (°C)	HR (%)
11/17/13	11:00	17.9	38	12.16	62.3	14.85	42.7	11.38	32.1	10.99	63.7
11/17/13	11:30	15.62	55.8	12.16	69.8	17.52	40.3	12.16	31.9	9.82	60.3
11/17/13	12:00	15.62	54.8	12.93	62.2	17.52	31.9	12.93	29.5	10.21	52.5
11/17/13	12:30	16.38	44.8	13.32	50.7	17.9	26.7	13.32	24.3	10.99	45.5
11/17/13	13:00	16.38	54.1	13.7	71.1	17.9	34.7	13.7	31.9	12.55	48.3
11/17/13	13:30	16.76	60	14.09	79.4	18.28	40.5	14.09	39	12.93	52.1
11/17/13	14:00	16.38	65.4	14.09	86	17.9	45.8	14.09	44.6	12.93	56.9
11/17/13	14:30	13.7	86	13.7	100	16	61.6	13.32	69.6	12.16	78.6
11/17/13	15:00	11.38	80.4	11.77	100	13.32	71.2	11.77	100	10.6	93.8
11/17/13	15:30	10.21	98.6	10.6	100	12.16	73.6	12.93	100	9.42	100
11/17/13	16:00	10.99	88.7	10.6	100	13.32	76.1	10.21	100	9.42	100
11/17/13	16:30	11.38	88.7	10.99	100	13.32	70.4	10.21	100	9.82	100
11/17/13	17:00	10.99	88.7	10.99	100	13.7	69.2	10.6	100	9.42	100
11/17/13	17:30	10.6	91.9	11.38	91.9	12.55	75.1	10.6	100	9.42	100
11/17/13	18:00	10.21	93.8	10.99	96	11.77	76.3	10.21	100	9.03	100
11/17/13	18:30	9.42	93.8	10.6	98.6	10.99	77	9.82	100	8.23	100
11/17/13	19:00	8.63	95.9	10.21	98.6	10.21	76.5	9.42	100	7.83	100
11/17/13	19:30	8.23	91.9	9.82	98.5	9.82	76.5	9.03	100	7.03	100
11/17/13	20:00	7.83	91.9	9.82	91.9	9.42	77.8	8.63	100	6.62	100
11/17/13	20:30	7.83	90.3	9.82	88.7	9.03	77.2	9.42	100	6.62	100
11/17/13	21:00	8.23	90.3	9.82	90.2	9.42	78.4	9.03	100	6.62	100
11/17/13	21:30	8.23	91.9	10.6	88.7	9.82	79.1	9.42	100	6.62	100
11/17/13	22:00	8.23	88.8	10.6	85	9.42	71.4	9.03	100	6.62	100
11/17/13	22:30	7.83	84.2	10.21	86.2	9.03	69.9	8.23	100	6.22	100
11/17/13	23:00	7.83	83.2	9.82	86.2	9.03	71	8.23	100	5.81	100
11/17/13	23:30	7.43	80	9.82	82.2	8.23	72	8.23	100	5.4	100
11/18/13	00:00	7.83	80	9.82	83.1	8.63	69.6	7.83	100	5.4	100
11/18/13	00:30	7.43	81.5	9.42	79.8	7.83	74.7	8.23	100	5.4	100
11/18/13	01:00	7.43	80	9.42	83.1	7.83	75.7	7.83	100	4.99	100
11/18/13	01:30	7.43	78	9.42	83.1	7.83	73.7	7.43	100	4.99	100
11/18/13	02:00	7.03	77.4	9.03	80.6	7.83	72.8	7.43	100	4.57	100
11/18/13	02:30	7.03	77.4	9.03	82.2	7.43	73.3	7.43	100	4.57	100
11/18/13	03:00	7.03	76.9	9.03	82.2	7.43	76.8	7.43	100	4.57	100
11/18/13	03:30	7.03	74.8	9.03	83.1	7.43	75.7	7.43	100	4.15	100
11/18/13	04:00	7.03	75.3	8.63	83.1	7.43	76.3	7.43	100	4.15	100
11/18/13	04:30	7.03	74.3	8.63	85.1	7.83	76.2	7.03	100	3.74	100
11/18/13	05:00	7.03	75.8	8.63	84.1	7.43	77.4	7.03	100	3.74	100
11/18/13	05:30	6.62	74.8	8.23	86.3	7.03	78	7.03	100	3.74	100
11/18/13	06:00	6.62	75.8	8.23	86.3	7.03	79.3	7.03	100	3.74	100
11/18/13	06:30	6.62	76.9	8.63	85.1	7.03	79.3	7.43	100	3.74	100

11/18/13	07:00	6.62	74.4	8.63	83.1	7.43	78	7.43	100	3.74	100
11/18/13	07:30	7.03	73	8.63	82.3	7.43	78	7.03	100	3.74	100
11/18/13	08:00	7.03	72.1	9.03	86.2	7.43	77.4	7.43	100	3.74	100
11/18/13	08:30	7.43	72.1	9.42	82.2	7.83	78.6	7.83	100	3.74	100
11/18/13	09:00	9.82	72.6	9.42	81.4	12.55	73.1	8.23	100	4.15	100
11/18/13	09:30	26.73	25.8	9.82	84	11.77	66	9.03	100	5.81	100
11/18/13	10:00	21.71	28.4	10.6	86.1	12.55	62.7	10.21	100	7.03	100
11/18/13	10:30	17.9	33.1	10.99	87.3	13.32	56.7	10.6	100	7.83	100
11/18/13	11:00	13.32	52.3	11.38	83.9	12.55	68	10.99	100	8.23	100
11/18/13	11:30	12.16	59.6	11.38	83.9	12.16	69.4	10.99	100	8.23	100
11/18/13	12:00	12.16	61.2	11.38	82.9	12.55	67.3	11.38	100	8.63	100
11/18/13	12:30	12.55	51.8	12.16	82	13.32	52.8	11.77	100	9.42	100
11/18/13	13:00	12.16	52.9	12.55	75.6	13.32	52.2	12.16	100	9.42	100
11/18/13	13:30	12.93	58.4	12.55	73.1	14.09	59.6	12.16	100	9.82	100
11/18/13	14:00	12.93	56.3	12.93	72.1	14.09	53.2	12.55	100	9.82	100
11/18/13	14:30	12.55	68.3	12.93	88.6	13.32	69.6	12.55	100	10.21	100
11/18/13	15:00	11.77	69.9	12.16	96	12.93	71.7	11.77	100	9.82	100
11/18/13	15:30	10.99	78.3	11.38	98.6	12.16	64	10.99	100	9.82	100
11/18/13	16:00	11.38	79.6	11.77	96	12.93	74.5	10.99	100	9.82	100
11/18/13	16:30	12.16	77.5	12.16	96	13.7	72.4	11.77	100	10.21	100
11/18/13	17:00	12.16	78.1	12.55	100	13.32	77.3	11.77	100	10.21	100
11/18/13	17:30	11.38	79.6	12.16	100	12.93	81.9	11.77	100	10.21	100
11/18/13	18:00	11.38	85	11.77	100	12.55	84.9	11.38	100	9.82	100
11/18/13	18:30	10.99	91.9	11.38	100	12.16	87.3	11.38	100	9.82	100
11/18/13	19:00	10.21	93.8	10.21	100	11.38	86.1	10.21	100	9.03	100
11/18/13	19:30	9.42	93.8	10.21	100	10.6	86.1	9.82	100	8.23	100
11/18/13	20:00	9.42	96	10.21	100	10.21	86.2	9.42	100	8.23	100
11/18/13	20:30	9.03	95.9	10.21	100	10.21	87.4	9.42	100	7.83	100
11/18/13	21:00	9.03	95.9	10.6	93.8	10.21	87.4	9.42	100	7.83	100
11/18/13	21:30	9.42	96	10.6	91.9	10.21	88.7	9.82	100	7.83	100
11/18/13	22:00	9.82	96	10.6	96	10.21	90.2	9.82	100	7.83	100
11/18/13	22:30	9.42	96	10.99	98.6	10.21	90.2	9.82	100	7.83	100
11/18/13	23:00	9.42	96	10.21	98.6	10.21	90.2	9.82	100	7.83	100
11/18/13	23:30	8.63	100	9.03	100	9.82	91.9	9.42	100	7.83	100
11/19/13	00:00	8.63	100	9.03	100	9.42	91.9	9.03	100	7.43	100
11/19/13	00:30	8.63	98.5	9.03	100	9.42	91.9	9.03	100	7.43	100
11/19/13	01:00	8.23	98.5	8.23	100	9.03	93.8	8.23	100	7.43	100
11/19/13	01:30	7.83	95.9	8.63	100	8.63	93.8	8.23	100	7.03	100
11/19/13	02:00	7.83	98.5	8.63	100	8.63	93.8	8.23	100	7.03	100
11/19/13	02:30	7.83	98.5	8.63	100	8.63	93.8	8.23	100	6.62	100
11/19/13	03:00	7.83	98.5	8.63	100	8.23	93.8	8.23	100	6.62	100
11/19/13	03:30	7.83	98.5	8.23	100	8.23	95.9	8.23	100	6.62	100
11/19/13	04:00	7.03	98.4	7.83	100	7.83	93.8	7.83	100	6.22	100
11/19/13	04:30	6.62	98.4	7.83	100	7.43	93.8	7.03	100	5.81	100

11/19/13	05:00	6.62	95.9	7.43	100	7.03	93.8	6.62	100	5.4	100
11/19/13	05:30	6.22	95.9	7.43	100	7.03	93.8	6.62	100	4.99	100
11/19/13	06:00	6.22	95.9	7.43	100	6.62	93.8	6.62	100	4.99	100
11/19/13	06:30	6.22	95.9	7.83	100	6.62	95.9	6.62	100	4.57	100
11/19/13	07:00	6.22	95.9	7.43	100	6.62	95.9	6.62	100	4.57	100
11/19/13	07:30	6.22	95.9	7.43	100	6.62	95.9	6.22	100	4.15	100
11/19/13	08:00	6.22	95.9	7.43	100	6.62	95.9	6.62	100	4.57	100
11/19/13	08:30	6.62	95.9	7.43	100	7.03	98.4	6.62	100	4.57	100
11/19/13	09:00	8.23	98.5	8.23	100	9.42	98.5	7.43	100	4.57	100
11/19/13	09:30	10.6	98.6	9.03	100	9.82	96	8.23	100	6.22	100
11/19/13	10:00	11.77	98.6	9.42	100	10.21	96	9.03	100	7.03	100
11/19/13	10:30	15.23	96.1	10.21	100	11.38	93.8	9.82	100	7.83	100
11/19/13	11:00	12.16	76.9	10.21	100	11.77	88.7	10.21	100	8.63	100
11/19/13	11:30	12.16	76.9	10.99	100	12.93	78.7	10.6	100	9.03	100
11/19/13	12:00	12.16	76.3	11.38	100	12.93	71.2	10.99	100	9.82	100
11/19/13	12:30	11.38	77.6	11.38	100	12.16	76.9	11.38	100	9.82	100
11/19/13	13:00	11.38	78.9	11.38	100	11.77	78.9	11.38	100	9.42	100
11/19/13	13:30	11.38	77.6	11.77	100	12.16	76.3	11.38	100	9.82	100
11/19/13	14:00	11.77	73.2	11.77	100	12.55	72.2	11.38	100	10.21	100
11/19/13	14:30	10.6	69	10.6	100	11.38	67.2	10.21	100	9.03	100
11/19/13	15:00	10.21	68.1	10.21	100	10.99	70.4	9.82	100	8.23	100
11/19/13	15:02	10.21	65.7	9.82	100	10.6	72.4	9.42	100	8.23	100
11/19/13	15:30	9.42	69.9	9.42	100	9.03	77.2	8.23	100	7.43	100
11/19/13	16:00	7.83	93.8	9.03	100	8.63	83.1	8.23	100	7.03	100
11/19/13	16:30	7.83	100	9.03	100	9.03	85.1	8.23	100	7.03	100
11/19/13	17:00	7.83	98.5	9.03	100	9.03	87.4	8.63	100	7.03	100
11/19/13	17:30	7.83	98.5	9.03	100	9.03	88.8	8.63	100	7.03	100
11/19/13	08:00	7.83	100	9.03	100	8.63	88.8	8.23	100	7.03	100
11/19/13	18:30	7.83	100	7.03	100	7.43	88.8	6.22	100	4.99	100
11/19/13	19:00	6.22	86.4	7.43	100	7.83	91.9	7.83	100	5.81	100
11/19/13	19:30	7.03	84.2	7.83	100	7.83	93.8	7.83	100	5.81	100
11/19/13	20:00	7.03	85.2	7.83	100	7.83	95.9	7.83	100	6.22	100
11/19/13	20:30	7.03	81.6	7.03	100	7.83	95.9	7.03	100	5.81	100
11/19/13	21:00	7.03	81.6	6.62	100	7.43	95.9	6.62	100	5.81	100
11/19/13	21:30	6.62	81.6	6.62	100	7.03	95.9	6.62	100	5.4	100
11/19/13	22:00	6.22	77.5	6.22	100	6.62	95.9	6.62	100	5.4	100
11/19/13	22:30	6.22	75.4	6.62	100	6.62	98.4	6.24	100	5.4	98.4
11/19/13	23:00	5.81	74.5	6.62	100	6.62	98.4	6.24	100	5.4	100
11/19/13	23:30	6.22	77	6.62	100	6.62	100	6.24	100	5.4	100
11/20/13	00:00	6.22	79.4	6.62	100	6.62	100	6.24	100	5.4	100
11/20/13	00:30	6.22	69.4	6.62	100	6.62	100	6.24	100	5.2	98.5
11/20/13	01:00	6.22	69.7	6.62	100	6.62	100	6.62	100	5.2	98.5
11/20/13	01:30	6.22	67.3	7.03	100	6.62	100	6.62	100	5.2	100
11/20/13	02:00	6.22	67.8	6.62	100	6.62	100	6.62	100	5.2	100

11/20/13	02:30	6.22	67	6.62	100	6.62	100	5.87	100	5.2	100
11/20/13	03:00	5.81	64.3	6.22	100	6.22	100	5.87	100	5	100
11/20/13	03:30	5.81	60.5	6.22	100	5.81	100	5.65	100	5	100
11/20/13	04:00	5.4	52.3	5.81	100	5.81	100	5.65	100	5	100
11/20/13	04:30	5.4	49.4	5.81	100	5.4	100	5.2	100	5	100
11/20/13	05:00	4.99	48	5.81	100	5.4	100	5.2	100	4.87	100
11/20/13	05:30	4.99	47.7	5.81	100	5.4	100	5	100	4.87	100
11/20/13	06:00	4.99	47.8	5.81	100	5.4	100	5	100	4.87	100
11/20/13	06:30	4.99	47.5	5.81	100	4.99	100	4.78	100	4.35	100
11/20/13	07:00	4.99	47.5	5.81	100	4.99	100	4.78	100	4.35	100
11/20/13	07:30	4.57	47.8	5.81	100	4.99	100	4.78	100	4.35	100
11/20/13	08:00	4.99	48.3	6.22	100	5.4	100	4.78	100	4.35	100
11/20/13	08:30	5.4	49.3	6.62	100	7.83	100	4.78	100	5.53	100
11/20/13	09:00	7.03	57.3	7.03	100	8.63	100	5.81	100	5.53	100
11/20/13	09:30	21.33	28.1	7.83	100	9.03	100	7.03	100	6.22	100
11/20/13	10:00	16.76	24	8.23	100	10.21	100	7.83	100	7.03	100
11/20/13	10:30	23.63	23.5	8.63	100	10.6	100	8.23	100	7.83	100
11/20/13	11:00	14.09	24.2	8.63	100	10.6	100	8.23	100	7.03	100
11/20/13	11:30	12.16	27.8	9.42	100	10.99	93.8	8.63	100	7.03	100
11/20/13	12:00	11.77	28.4	10.21	100	10.99	91.9	9.42	100	7.03	100
11/20/13	12:30	11.38	29.4	9.82	100	10.6	96	9.42	100	7.03	100
11/20/13	13:00	10.6	32.6	9.82	100	10.21	96	9.42	100	7.75	100
11/20/13	14:00	10.21	35.2	9.82	100	10.21	100	9.42	100	7.75	100

T= temperatura, HR= humedad relativa.

### III. DESCRIPCIÓN DE PERFILES

#### Perfil 1

##### I. Información sobre la localidad

- a. Número del perfil: 1
- b. Nombre del sitio: Hombro de ladera Norte (SH-N), Alcalica por Tomacoco
- c. Clasificación del suelo: eutrosilic silandic melanic mollic Andosol tixotropic siltic
- d. Fecha de la descripción: 10 de noviembre de 2012.
- e. Autor: Alma Bella López López
- f. Localización: Del municipio de Amecameca seguir la calle de Progreso hacia el panteón, desviarse a Tomacoco, pasando la entrada del vivero.
- g. Coordenadas UTM: 2114743 N y 530981 W
- h. Altitud: 2948 msnm.
- i. Forma de terreno: recta (perfil)- convexa (planta)
- j. Posición fisiográfica: Hombro de ladera Norte. Morfología general: ladera de valle
- k. Pendiente: escarpado moderado (25%, 14°), exposición sur (solana).
- l. Uso del suelo y vegetación: Manejo forestal. Bosque de coníferas (*Cupressus*, *Abies* y *Pinus*, herbáceas y arbustos abundantes).
- m. Clima: B udic mesic/frigic, precipitación 1400-800 mm y temperatura 5.5-14°C, ocho meses húmedos [San Pedro Nexapa 2650, T media 13.5 y pp 900 Cb(w2)(w)igw"].


##### II Información general acerca del suelo

- a. Material parental: deposito piroclastico de 1000 y 5000 años (ceniza y pómez).
- b. Drenaje natural: Bueno
- c. Condiciones de humedad en el perfil: de húmeda-fresca (pF 2-3)
- d. Profundidad del manto freático: Desconocido, probablemente muy profundo
- e. Presencia de rocas superficiales: <1%
- f. Evidencia de erosión: casi nula (acumulación de la hojarasca).
- g. Presencia de sales o soda: Ninguna
- h. Influencia humana: incendios forestales (residuos de carbón) y reforestación. .

##### III Descripción breve del perfil

Perfil profundo, suelo joven en desarrollo y bien drenado. El horizonte Ah posee una coloración negra; en los horizontes que subyacen color café, sin pedregosidad. La estructura fue granular y subangular alta-media que cambia a grano simple en los últimos horizontes, domina la textura franco-limosa. Humus moder.

	<p><b>Ah<sub>1</sub> (0-4).</b>- Color amarillo rojizo en húmedo (7.5YR 2.5/1); textura franco limos fina (CLf); contenido de materia orgánica 3%; pH 5.5; estructura granular media-fina fuerte y subangular fina moderada; pedregosidad de 0%; poros muchos medianos finos intersticiales y tubulares; densidad aparente media; densidad media de raíces; estabilidad de agregados alta; límite claro- uniforme. Al activo: ligero.</p>
	<p><b>Ah<sub>2</sub> (4-21).</b>- Color amarillo rojizo en húmedo (7.5 YR 2/1), textura franco limosa fina (CLf); contenido de materia orgánica 3%; pH 5.5; estructura granular de media-fina a moderada y subangular media fina; sin pedregosidad, poros comunes medios-finos tubulares e intersticiales; densidad aparente media; densidad alta de raíces; estabilidad de agregados alta; y límite</p>

	claro-gradual. Al activo: moderado.
	<b>AB (21-47).</b> - Color amarillo rojizo en húmedo (7.5 YR 3/1), textura franco limosa fina (CLf); contenido de materia orgánica 2.3%; pH 5.5; grano simple y subangular débil media; sin pedregosidad, poros muchos muy finos vesiculares; densidad aparente baja; estabilidad de agregados baja; densidad baja de raíces y límite gradual ondulado. Al activo: moderado.
	<b>BC (47-73).</b> - Color amarillo rojizo en húmedo (7.5 YR 2.5/2), textura franco limosa fina-franca (CLF-C); pH 5.3 grano simple y subangular en bloques débil media; sin pedregosidad, poros vesiculares, muy finos muy pocos inped, intersticiales comunes exped; densidad aparente media, estabilidad de agregados muy baja; densidad baja de raíces y límite gradual uniforme. Al activo: moderado.
	<b>C<sub>1</sub> (73-103).</b> - Color amarillo rojizo en húmedo (10 YR 3/3), textura franco arcillo limosa-franca (C); pH 5.2 grano simple y subangular en bloques débil media; sin pedregosidad, poros vesiculares, muy finos muy pocos inped, intersticiales comunes exped; densidad aparente media, estabilidad de agregados muy baja; densidad baja de raíces y límite gradual uniforme. Al activo: moderado
	<b>C<sub>2</sub> (103-130).</b> - Color amarillo rojizo en húmedo (10 YR 3/3), textura franca (C); pH 5; estructura masiva-grano simple; sin pedregosidad, poros vesiculares muy finos e intersticiales muy finos pocos; densidad aparente media; densidad muy baja de raíces límite difuso. Al activo: moderado.
	<b>C<sub>3</sub> (130-160).</b> - Color amarillo rojizo en húmedo (10 YR 3/2), textura franca (C); pH 5; estructura masiva; sin pedregosidad, poros vesiculares muy finos pocos; densidad aparente media; densidad nula de raíces, límite difuso. Al activo: moderado.
<b>C<sub>4</sub> (160-180).</b> - Color amarillo rojizo en húmedo (10 YR 3/2), textura franca arcillo arenosa (CRA); pH 5; estructura masiva; sin pedregosidad, poros vesiculares muy finos pocos; densidad aparente media; densidad nula de raíces, límite desconocido. Al activo: moderado	

## V Interpretación de las características del suelo

### Procesos pedogenéticos dominantes:

Domina la ceniza volcánica y intemperizada por lo que la pedregosidad es nula. Los primeros dos horizontes muestran acumulación de materia orgánica. El tipo de humus es moder. Continúa un horizonte de transición AB, posteriormente domina un color café por la formación de óxidos de Fe (y probablemente Al) in situ. La estructura en los primeros horizontes es granular y subangular en bloques, mientras que en los dos últimos horizontes la formación de agregados en bloques es débil y domina el grano simple. La prueba de aluminio activo fue positiva y las densidades aparentes fueron bajas, indicando la formación de minerales de bajo orden estructural.

### Características ecológicas:

El suelo tiene una Kf de media a alta y el sitio en general presenta buenas condiciones de drenaje. Para soporte vegetal este sitio se consideró como muy bueno, ya que posee profundidad fisiológica (1.25 m), porosidad, capacidad de retención de agua total y capacidad de retención de agua aprovechable muy alta, pH ligeramente ácido, CIC alta y saturación de BI mayor al 50%, la pedregosidad es nula, densidad aparente media (1-1.3). Las posibles limitantes serían el nitrógeno y fósforo disponible que se encontraron en cantidades bajas, para este último sería importante considerar la afinidad del P por los minerales de bajo orden estructural. El factor K de erodabilidad se valoró como media; si la cobertura fuera retirada se promovería la erosión, la estabilidad de los agregados (muy baja) y la pendiente escarpada moderada serían factores que aceleraría el deterioro del terreno principalmente por erosión hídrica.

### **Perfil 2**

#### **I. Información sobre la localidad**


- a. Número del perfil: 2
- b. Nombre del sitio: Lomo de ladera Norte (BS-N), corriente Alcalica por Tomacoco
- c. Clasificación del suelo: eutrosilic silandic melanlic mollic Andosol tixotropico siltic
- d. Fecha de la descripción: 10 de noviembre de 2012.
- e. Autor: Alma Bella López López
- f. Localización: Del municipio de Amecameca seguir la calle de Progreso hacia el panteón, desviarse a Tomacoco, pasando la entrada al vivero
- g. Coordenadas UTM: 2114787 N y 530987 W
- h. Altitud: 2925 msnm.
- i. Forma de terreno: recta- convexa
- j. Posición fisiográfica: Lomo de ladera norte. Morfología general ladera de valle.
- k. Pendiente: escarpado moderado (25%, 15°), exposición sur (solana).
- l. Uso del suelo y vegetación: Manejo forestal. Bosque mixto: *Cupressus*, *Arbutus* y *Pinus* (mantillo abundante), herbáceas y arbustos
- m. Clima: A ustic isomesic, precipitación 1200-1000, y temperatura 14-11, menos de ocho meses húmedos [San Pedro Nexapa 2650, T media 13.5 y pp 900 Cb(w2)(w)igw"].

#### **II Información general acerca del suelo**

- a. Material parental: deposito piroclastico de 1000 y 5000 años (ceniza y pómez).
- b. Drenaje natural: Bueno a excesivo
- c. Condiciones de humedad en el perfil: de húmeda (pF 2)
- d. Profundidad del manto freático: Desconocido, probablemente muy profundo
- e. Presencia de rocas superficiales: no se observaron.
- f. Evidencia de erosión: casi nula (acumulación de la hojarasca).
- g. Presencia de sales o soda: Ninguna
- h. Influencia humana: incendios forestales (residuos de carbón) y reforestación. .

#### **III Descripción breve del perfil**

Perfil profundo, bien drenado. El horizonte Ah posee una coloración negra; en los horizontes que subyacen color café, sin pedregosidad. La estructura fue granular, subangular y angular alta-media que cambia a grano simple en el último horizonte, domina la textura franco-limosa suelo joven en desarrollo y fina. Humus mor-moder.

	<p><b>Ah<sub>1</sub> (0-7).</b>- Color amarillo rojizo en húmedo (10YR 3/1); textura franco limosa fina (CLf); contenido de materia orgánica 3.5%; pH 6 estructura granular media muy fina moderada y subangular mediana fina moderada; sin pedregosidad; poros comunes medio-grueso tubulares y vesicular e intersticial muchos finos medios; densidad aparente media; densidad alta de raíces; estabilidad de agregados muy alta; límite difuso uniforme.</p>
	<p><b>Ah<sub>2</sub> (7-22).</b>- Color amarillo rojizo en húmedo (10YR 3/1), textura franco limosa fina (CLf); contenido de materia orgánica 3.5%; pH 6; estructura subángular que rompe en angular de grueso a medio moderada a débil; sin pedregosidad, poros tubular grueso pocos, intersticial finos muy finos comunes; densidad aparente media; densidad muy alta de raíces; estabilidad de agregados muy alta; y límite difuso irregular.</p>
	<p><b>BC (22-42).</b>- Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/1), textura franco limosa fina (CLf); contenido de materia orgánica 3.5%; pH 5; estructura subángular que rompe en angular de grueso a medio moderada a débil; sin pedregosidad, poros; densidad aparente media; estabilidad de agregados muy alta; densidad muy alta de raíces y límite gradual no uniforme.</p>
	<p><b>C (42.83).</b>- Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/1), textura franco limosa fina (CLf); sin de materia orgánica, pH 5; sin estructura grano simple; pedregosidad de 0%; densidad aparente baja; densidad alta de raíces y límite desconocido.</p>

## V Interpretación de las características del suelo

### Procesos pedogenéticos dominantes:

Domina la ceniza volcánica y intemperizada por lo que la pedregosidad es nula. Los primeros dos horizontes muestran acumulación de materia orgánica, el tipo de humus es mor. Continúa un horizonte de transición BC, posteriormente domina un color café por la formación de óxidos de Fe (y probablemente Al) in situ. La estructura en los primeros horizontes es granular y subangular en bloques, comienza el angular en el 2º y 3er horizonte, mientras que en el último horizonte domina el grano simple. La prueba de aluminio activo fue positiva y las densidades aparentes fueron bajas, indicando la formación de minerales de bajo orden estructural.

### Características ecológicas:

El suelo tiene una Kf de media a alta y el sitio en general presenta buenas condiciones de drenaje. Para soporte vegetal este sitio se consideró como muy bueno, ya que posee profundidad fisiológica (0.83 m), porosidad, capacidad de retención de agua total media y capacidad de retención de agua aprovechable muy alta, pH ligeramente ácido, CIC media y saturación de BI mayor al 50%, la pedregosidad es nula, densidad aparente media (1-1.4). Las posibles limitantes serían el nitrógeno y fósforo disponible que se encontraron en cantidades bajas, para este último sería importante considerar la afinidad del P por los minerales de bajo orden estructural. El factor K de erodabilidad se valoró como media; indicando que si la cobertura fuera retirada se promovería la erosión, pendiente escarpada moderada serían factores que aceleraría el deterioro del terreno principalmente por erosión hídrica.



### Perfil 3

#### I. Información sobre la localidad

- a. Número del perfil: 3
- b. Nombre del sitio: Pie de ladera Norte (FS-N), corriente Alcalica por Tomacoco
- c. Clasificación del suelo eutrosilic vitric fulvic Andosol squeletic endoarenic
- d. Fecha de la descripción: 11 de noviembre de 2012.
- e. Autor: Alma Bella López López
- f. Localización: Del municipio de Amecameca seguir la calle de Progreso hacia el panteón, desviarse a Tomacoco, pasando la entrada al vivero.
- g. Coordenadas UTM: 2114550N y 530881 W
- h. Altitud: 2948 msnm.
- i. Forma de terreno: recta- cóncava
- j. Posición fisiográfica: Pie de ladera coluvial. La morfología general: ladera de valle.
- k. Pendiente: escarpado moderado (20%, 12°), exposición sur (solana).
- l. Uso del suelo y vegetación: Manejo forestal. Vegetación ribereña y reforestación de *Pinus*.
- m. Clima: Templado A ustic isomesic, precipitación 1200-1000, y temperatura 14-11, menos de ocho meses húmedos [San Pedro Nexapa 2650, T media 13.5 y pp 900 Cb(w2)(w)igw"].

#### II Información general acerca del suelo

- a. Material parental: coluvial; arrastrado de las laderas al piedemonte (depósito de caída: ceniza y pómez de 1000 y 5000 años, retrabajados junto con fragmentos de lava dacítica ).
- b. Drenaje natural: Bueno
- c. Condiciones de humedad en el perfil: de húmeda-fresca (pF 2-3)
- d. Profundidad del manto freático: Desconocido, probablemente muy profundo
- e. Presencia de rocas superficiales: En el sitio de estudio no se observó, pero a sus alrededores se aprecia flujo de lava menos intemperizado y con menor desarrollo de vegetación.
- f. Evidencia de erosión: Ninguna
- g. Presencia de sales o soda: Ninguna
- h. Influencia humana: reforestación y recreativo (fogatas y sitios de campamento).

#### III Descripción breve del perfil

Perfil formado por material acarreado, bien drenado con poco escurrimiento. El horizonte Ah posee una coloración negra; en los horizontes que subyacen color café, incremento significativo de pedregosidad (50 y 70%) en profundidad. La estructura fue granular y subangular alta-media que cambia a subangular en los últimos horizontes, domina la textura franco-limosa gruesa. Humus moder.

	<p><b>Ah<sub>1</sub> (0-9).</b>- Color amarillo rojizo en húmedo (10YR 2/1); textura franco limos gruesa (CLg); contenido de materia orgánica 3%; pH 6; estructura granular media-fina fuerte, subangular fina débil; pedregosidad de 7%; poros exped muchos finos intersticiales, imped muchos muy finos vesiculares; densidad aparente media densidad alta de raíces; estabilidad de agregados muy alta; límite claro-uniforme. Al activo ligero.</p>
	<p><b>Ah<sub>2</sub> (9-23).</b>- Color amarillo rojizo en húmedo (10 YR 4/3), textura franco limos gruesa (CLg); contenido de materia orgánica 1.8%; pH 6; estructura granular fina débil; pedregosidad de 35%; poros exped muchos muy finos vesiculares y pocos finos intersticiales, imped muchos muy finos vesiculares; densidad aparente media; densidad media de raíces; estabilidad de agregados moderada; y límite difuso- irregular. Al activo ligero</p>
	<p><b>B (23-40).</b>- Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/2), textura franco limosa gruesa (CLg); pH 5; estructura subangular en bloques modera que rompe en granular fina débil; poros exped muchos muy finos vesiculares y pocos muy finos intersticiales, imped muchos finos vesiculares y pocos finos; pedregosidad de 50%, densidad aparente media; estabilidad de agregados alta; densidad mediana de raíces y límite difuso no uniforme. Al activo moderado.</p>
	<p><b>BC (40-80).</b>- Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/2), textura franco limos gruesa (CLg); pH 5; estructura subangular en bloques y grano simple; poros muchos muy finos vesiculares y pocos finos intersticiales, imped muchos muy finos vesiculares; pedregosidad de 70%; densidad aparente media; estabilidad de agregados moderada; densidad mediana de raíces y límite desconocido. Al activo moderado.</p>

## V Interpretación de las características del suelo

### Procesos pedogenéticos dominantes:

El material coluvial está intemperizado. La pedregosidad incrementa en profundidad. Los primeros dos horizontes muestran acumulación de materia orgánica, el tipo de humus es moder. Continúa un horizonte de transición AC, posteriormente domina un color café por la formación de óxidos de Fe (y probablemente Al) in situ. La estructura cambia de granular a subangular en bloques. La prueba de aluminio activo fue positiva y las densidades aparentes fueron bajas, indicando la formación de minerales de bajo orden estructural, características de suelos de tipo Andosol.

### Características ecológicas:

El suelo tiene una Kf media y el sitio en general presenta buenas condiciones de drenaje. Para soporte vegetal es moderado, ya que posee profundidad fisiológica media (0.4 m), porosidad media, capacidad de retención de agua total media y capacidad de retención de agua aprovechable alta, pH ligeramente ácido, CIC regular y saturación de BI mayor al 50%, la pedregosidad incrementa del 50-70%, densidad aparente media (1-1.4). Las posibles limitantes serían el nitrógeno y fósforo disponible que se encontraron en cantidades muy bajas. El factor K de erodabilidad se valoró como media; indicando que si la cobertura fuera retirada se promovería la erosión, la

estabilidad de los agregados fue de muy baja a alta y la pendiente escarpada moderada serían factores que aceleraría el deterioro del terreno principalmente por erosión hídrica.

#### **Perfil 4**

##### **I. Información sobre la localidad**


- a. Número del perfil: 4
- b. Nombre del sitio: Fondo de valle (TS-N), corriente Alcalica Flujo piroclástico al Oeste del PNIP
- c. Clasificación del suelo: eutrosilic vitric melanic mollic Andosol arenic
- d. Fecha de la descripción: 11 de noviembre de 2012.
- e. Autor: Alma Bella López López
- f. Localización: Del municipio de Amecameca seguir la calle de Progreso hacia el panteón, desviarse a Tomacoco. pasando la entrada del vivero
- g. Coordenadas UTM: 2114498 N y 530974 W
- h. Altitud: 2948 msnm.
- i. Forma de terreno: recta- convexa
- j. Posición fisiográfica: fondo de valle aluvial, interfluvio de sistema volcánico.
- k. Pendiente: escarpada a moderada (5%, 2°), exposición sur-sureste (solana).
- l. Uso del suelo y vegetación: Manejo forestal. Vegetación ribereña y reforestación de *Pinus*.
- m. Clima: A ustic isomesic, precipitación 1200-1000, y temperatura 14-11, menos de ocho meses húmedos [San Pedro Nexapa 2650, T media 13.5 y pp 900 Cb(w2)(w)igw"].

##### **II Información general acerca del suelo**

- a. Material parental: principalmente aluvial y coluvial de origen volcánico (ceniza retrabajada y fragmentos de lava dacítica).
- b. Drenaje natural: Bueno
- c. Condiciones de humedad en el perfil: húmeda (pF 2).
- d. Profundidad del manto freático: Desconocido, probablemente muy profundo
- e. Presencia de rocas superficiales: En el sitio de estudio no se observó, pero a sus alrededores se aprecia flujo de lava menos intemperizado y con menor desarrollo de vegetación.
- f. Evidencia de erosión: Ninguna
- g. Presencia de sales o soda: Ninguna
- h. Influencia humana: reforestación y recreativo.

##### **III Descripción breve del perfil**

Perfil poco profundo, buen drenado con poco escurrimiento. El horizonte Ah posee una coloración negra; en los horizontes que subyacen color café, incremento de pedregosidad (15%) en el último horizonte. La estructura fue granular y subangular alta-media que cambia a angular, aunque en al final se encontró grano simple, la textura fue de franco-limosa a arenosa. Humus mull.

	<p><b>Ah<sub>1</sub> (0-4).</b>-Color amarillo rojizo en húmedo (10YR 3/1); textura franco arcilla limos a franco (CL); contenido de materia orgánica 3.4%; pH 6; estructura granular fina muy fina moderada, subangular media fina que rompe en angular fino moderado; sin pedregosidad; vesiculares finos muy finos comunes imped; densidad aparente media; densidad alta de raíces; estabilidad de agregados muy alta; límite gradual uniforme. Prueba negativa al Al activo</p>
	<p><b>Ah<sub>2</sub> (4-18).</b>-Color amarillo rojizo en húmedo (10YR 3/2), textura franco (CL); contenido de materia orgánica 3%; pH 6; estructura granular fino muy fino débil, y subangular que rompe en subangular medio fino débil; sin pedregosidad, poros vesiculares finos muchos e intersticiales finos muy finos muchos; densidad aparente media; densidad extremadamente alta de raíces; estabilidad de agregados alta; y límite claro-irregular. Prueba negativa al Al activo.</p>
	<p><b>AB (18-35).</b>-Color café oscuro en húmedo (10 YR 2/2), textura franco (AC); contenido de materia orgánica 3 %; pH 5; estructura subangular que rompe en angular medio fino, débil; sin pedregosidad, poros vesiculares finos muchos e intersticiales finos muy finos muchos; densidad aparente media; estabilidad de agregados moderado; densidad media de raíces y límite difuso irregular. Prueba positiva al aluminio (moderado) activo</p>
	<p><b>C (35-66).</b>-Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/3), textura franco arenosa(A); pH 5; estructura grano simple; pedregosidad de 15%, densidad aparente media, estabilidad de agregados baja; densidad media de raíces y límite desconocido. Prueba positiva al aluminio (moderado) activo</p>

## V Interpretación de las características del suelo

### Procesos pedogenéticos dominantes:

El material volcánico re trabajado coluvialmente (ceniza y rocas dacíticas-andesíticas) está intemperizado. La pedregosidad es nula en los primeros horizontes y del 15% al final del perfil. Los primeros dos horizontes muestran acumulación de materia orgánica, el tipo de humus es mull. Continúa un horizonte de transición AB, posteriormente domina un color café por la formación de óxidos de Fe (y probablemente Al) in situ. La estructura en los primeros horizontes es granular y subangular en bloques, angular débil posteriormente domina el grano simple. La prueba aluminio activo fue positiva y las densidades aparentes fueron bajas, indicando la formación de minerales de bajo orden estructural. La textura es más gruesa en profundidad (CL-AC-A).

### Características ecológicas:

El suelo tiene una Kf de media a muy alta y en general presenta buenas condiciones de drenaje. Para soporte vegetal este sitio se consideró como medio, ya que posee profundidad fisiológica media (0.66 m), porosidad media, capacidad de retención de agua total baja y capacidad de retención de agua aprovechable media, pH de ligero a moderadamente ácido, CIC regular y saturación de BI mayor de media a alta, la pedregosidad es nula en los primeros 35 cm, densidad aparente media (1.1-1.4). Las posibles limitantes serían el nitrógeno y fósforo disponible que se encontraron en cantidades bajas y medias respectivamente, para este último sería importante considerar la afinidad del P por los minerales de bajo orden estructural. El factor K de erodabilidad se valoró como media.

## Perfil 5

### I. Información sobre la localidad


- a. Número del perfil: 5
- b. Nombre del sitio: Hombro de ladera Sur (SH-S), Alcalica por Tomacoco Flujo piroclástico al Oeste del PNIP
- c. Clasificación del suelo: como eutrosilic silandic melanlic mollic Andosol tixotropic siltic.
- d. Fecha de la descripción: 12 de noviembre de 2012.
- e. Autor: Alma Bella López López
- f. Localización: Del municipio de Amecameca seguir la calle Progreso hacia el panteón, desviarse a Tomacoco, pasando la entrada del vivero.
- g. Coordenadas UTM: 2114334 N y 531063 W
- h. Altitud: 3060m.s.n.m.
- i. Forma de terreno: recta- convexa
- j. Posición fisiográfica: Hombro de ladera Sur. La morfología general: ladera de valle
- k. Pendiente: escarpada a moderada (60%, 32°), exposición norte (umbría).
- l. Uso del suelo y vegetación: manejo forestal (*Abies*, *Quercus*, solonaceae, *salvia*, *senecio*, lianas helechos y reforestación de *Cupressus* y *Pinus*).
- m. Clima: B udic mesic/frigic, precipitación 1400-800, y temperatura 5.5-14, ocho meses húmedos [San Pedro Nexapa 2650, T media 13.5 y pp 900 Cb(w2)(w)igw"].

### II Información general acerca del suelo

- a. Material parental: andesitas y dacitas, predominando en las superficies piroclastos, neoformación de arcillas y óxidos de hierro de bajo orden estructural.
- b. Drenaje natural: Bueno
- c. Condiciones de humedad en el perfil: de fresca húmeda (pF 3-2)
- d. Profundidad del manto freático: Desconocido, probablemente muy profundo
- e. Presencia de rocas superficiales: En el sitio de estudio no se observó, pero a sus alrededores se aprecia flujo de lava menos intemperizado y casi sin desarrollo de vegetación.
- f. Evidencia de erosión: casi nula (montículos de hojarasca).
- g. Presencia de sales o soda: Ninguna
- h. Influencia humana: Reforestación y varios caminos.

### III Descripción breve del perfil

Perfil profundo, suelo joven en desarrollo y bien drenado formado de cenizas volcánicas. El horizonte Ah posee una coloración negra; en los horizontes que subyacen color café, sin pedregosidad. La estructura fue granular y subangular alta-media que cambia angular, la textura cambio de CRA a CL. Humus mull

	<p><b>Ah (0-23).</b>-Color amarillo rojizo en húmedo (10 YR 2/1); textura franco arcilla limos (CRA); contenido de materia orgánica 3%; pH 7; estructura granular media fina moderada; sin pedregosidad; poros vesicular e intersticial muy fino muchos exped; densidad aparente media; densidad extremadamente alta de raíces; estabilidad de agregados alta; límite claro- ondulado. Al activo moderado</p>
	<p><b>AB (23-46).</b>-Color amarillo rojizo en húmedo (10 YR 3/1), textura franco limosa (CL); contenido de materia orgánica 3.5 %; pH 7; estructura subangular gruesa media débil; sin pedregosidad, poros vesicular e intersticial muy fino muchos exped; densidad aparente media; densidad media de raíces; estabilidad de agregados alta; y límite gradual uniforme. Al activo moderado</p>
	<p><b>B (46-71).</b>-Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/2), textura franco limosa (CL); contenido de materia orgánica 2.5%; pH 7; estructura angular que rompe en angular medio débil; pedregosidad de 1%, poros vesicular muy finos comunes; densidad aparente media; estabilidad de agregados alta; densidad media de raíces y límite desconocido. Al activo moderado</p>
	<p><b>C (71-81).</b> Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/2), textura franco arenosa(A); pH 6; estructura grano simple; pedregosidad de 15%, densidad aparente media, estabilidad de agregados baja; densidad media de raíces y límite desconocido. Prueba positiva al aluminio (moderado) activo</p>

## V Interpretación de las características del suelo

### Procesos pedogenéticos dominantes:

La ceniza volcánica está intemperizada y la pedregosidad es nula en el perfil. Los primeros dos horizontes muestran acumulación de materia orgánica, el tipo de humus es mull. Continúa un horizonte de transición AB, posteriormente domina un color café por la formación de óxidos de Fe (y probablemente Al) in situ. La estructura en los primeros horizontes es granular y subangular en bloques, mientras que en profundidad es angular. La prueba aluminio activo fue positiva indicando la formación de minerales de bajo orden estructural, características de suelos de tipo Andosol.

### Características ecológicas:

El suelo tiene una Kf de media a alta y el sitio en general presenta buenas condiciones de drenaje. Para soporte vegetal este sitio se consideró como muy bueno, ya que posee profundidad fisiológica (0.8 m), porosidad media, CC media y dCC alta, pH neutro, CIC alta y saturación de BI mayor al 50%, la pedregosidad es nula, densidad aparente media (1.-1.3). El Nd y fósforo que se encontraron en cantidad media y media-alta respectivamente, se debe considerar la afinidad del P por los minerales de bajo orden estructural. El factor K de erodabilidad se valoró como media; indicando que si la cobertura fuera retirada se promovería la erosión, la estabilidad de los agregados alta; sin embargo la pendiente escarpada serían factores que aceleraría el deterioro del terreno principalmente por erosión hídrica.

## Perfil 6

### I. Información sobre la localidad


- a. Número del perfil: 6
- b. Nombre del sitio: Lomo de ladera Sur (BH-S), Alcalica por Tomacoco Flujo piroclástico al Oeste del PNIP  
Clasificación del suelo: como eutrosilic silandic melanic mollic Andosol tixotropic siltic.
- c. Fecha de la descripción: 12 de noviembre de 2012.
- d. Autor: Alma Bella López López
- e. Localización: Del municipio de Amecameca seguir la calle Progreso hacia el panteón, desviarse a Tomacoco, pasando la entrada del vivero.
- f. Coordenadas UTM: 2114435 N y 531056 W
- g. Altitud: 2948 msnm.
- h. Forma de terreno: recta- convexa
- i. Posición fisiográfica: Lomo de ladera medio. Morfología general: ladera de valle
- j. Pendiente: escarpada a moderada (60%, 32°), exposición norte (umbría).
- k. Uso del suelo y vegetación: manejo forestal (*Abies*, *Quercus*, solonaceae, *salvia*, *senecio*, lianas helechos y reforestación de *Cupressus* y *Pinus*).
- l. Clima: A ustic isomesic, precipitación 1200-1000, y temperatura 14-11, menos de ocho meses húmedos [San Pedro Nexapa 2650, T media 13.5 y pp 900 Cb(w2)(w)igw"].

### II Información general acerca del suelo

- a. Material parental: piroclastos en neoformación de arcillas y óxidos de hierro de bajo orden estructural, cubriendo andesitas y dacitas.
- b. Drenaje natural: Bueno
- c. Condiciones de humedad en el perfil: de fresca a húmeda (pF 3-2)
- d. Profundidad del manto freático: Desconocido, probablemente muy profundo
- e. Presencia de rocas superficiales: En el sitio de estudio no se observó, pero a sus alrededores se aprecia flujo de lava menos intemperizado y escarpes.
- f. Evidencia de erosión: casi nula (montículos de hojarasca).
- g. Presencia de sales o soda: Ninguna
- h. Influencia humana: Reforestación y varios caminos.

### III Descripción breve del perfil

Perfil profundo formado en cenizas volcánicas, suelo joven en desarrollo y bien drenado. El horizonte Ah posee una coloración negra; en los horizontes que subyacen color café, sin pedregosidad. La estructura fue granular y subangular alta-media que cambia angular y grano simple, la textura cambio de CRL a CL. Humus mull.

	<p><b>Ah<sub>1</sub> (0-20).</b>-Color amarillo rojizo en húmedo (10YR 2/1); textura franco arcilla limosa (CRL); contenido de materia orgánica 3.9%; pH 7; estructura granular media fina moderado y subangular media moderada; sin pedregosidad; poros vesicular finos muy finos muchos; densidad aparente media; densidad extremadamente alta de raíces; estabilidad de agregados muy alta; límite claro uniforme. Prueba negativa de Al activo</p>
	<p><b>Ah<sub>2</sub> (20-38).</b>-Color amarillo rojizo en húmedo (10YR 2/1), textura franco arcilla limosa (CRL); contenido de materia orgánica 2.8%; pH 7; granular media-fina moderada y subangular media-fina moderada; sin pedregosidad, poros vesicular, tubular e intersticial finos muy finos grueso y medio; densidad aparente media; densidad muy alta de raíces; estabilidad de agregados alta; y límite gradual-irregular. Al activo: negativo</p>
	<p><b>AB (38-60).</b>-Color café oscuro en húmedo (5 YR 2.5/1), textura franco limosa (CL); contenido de materia orgánica 2.5%; pH 6; estructura angular gruesa a media débil; sin pedregosidad, poros vesicular e intersticial finos muy finos muchos y comunes; densidad aparente media; estabilidad de agregados alta; densidad alta de raíces y límite gradual irregular. Al activo moderado</p>
	<p><b>B (60-100).</b>- Color café oscuro en húmedo (7.5 YR 2.5/1), textura franco limosa (CL); contenido de materia orgánica 2.3%; pH 6; grano simple; sin pedregosidad, poros tubular y vesicular finos muy finos pocos; densidad aparente baja, densidad media de raíces y límite claro uniforme. Al activo moderado</p>
	<p><b>C (100-140).</b>- Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/1), textura franco limosa (CL); contenido de materia orgánica 3.3%; pH 6; estructura subangular media gruesa débil y grano simple; pedregosidad de 10%, poros vesicular finos muy finos muchos; densidad aparente baja, estabilidad de agregados moderada a débil; densidad muy baja de raíces y límite desconocido. Al activo moderado</p>

## V Interpretación de las características del suelo

### Procesos pedogenéticos dominantes:

El material volcánico (pómez y ceniza) está intemperizado. La pedregosidad es nula. Los primeros dos horizontes muestran acumulación de materia orgánica, el tipo de humus es mull. Continúa un horizonte de transición AB, posteriormente domina un color café por la formación de óxidos de Fe (y probablemente Al) in situ. La estructura en los primeros horizontes es granular y subangular en bloques, cambia a angular el grano simple al final del perfil. La prueba aluminio activo fue positiva en los últimos 3 horizontes, indicando la formación de minerales de bajo orden estructural.

### Características ecológicas:

El suelo tiene una Kf de media y el sitio en general presenta buenas condiciones de drenaje. Para soporte vegetal este sitio se consideró como muy bueno, ya que posee profundidad fisiológica (1 m), porosidad media, capacidad de retención de agua total y capacidad de retención de agua aprovechable muy alta, pH neutro, CIC alta y saturación de BI mayor al 50%, la pedregosidad es nula, densidad aparente media (1.1-1.4). El nitrógeno



se encontró en cantidad media, el P fue muy alto, en éste debe considerarse la afinidad del P por los minerales de bajo orden estructural. El factor K de erodabilidad se valoró como baja; indicando que si la cobertura fuera retirada se promovería la erosión, la estabilidad de los agregados fue alta pero la pendiente escarpada puede acelerar el deterioro del terreno principalmente por erosión hídrica.

## Perfil 7

### I. Información sobre la localidad

- a. Número del perfil: 7
- b. Nombre del sitio: Pie de ladera Sur (FS-S), Alcalica por Tomacoco Flujo piroclástico al Oeste del PNIP
- c. Clasificación del suelo: vitric melanic mollic Andosol eutric arenic thactovitric
- d. Fecha de la descripción: 11 de noviembre de 2012.
- e. Autor: Alma Bella López López
- f. Localización: Del municipio de Amecameca seguir la calle Progreso hacia el panteón, desviarse a Tomacoco, pasando la entrada del vivero.
- g. Coordenadas UTM: 2114743 N y 530981 W
- h. Altitud: 2885 msnm.
- i. Forma de terreno: Recta- convexa
- j. Posición fisiográfica: Pie de ladera coluvial.
- k. Pendiente: escarpada a moderada (25%, 15°), exposición norte (umbría).
- l. Uso del suelo y vegetación: manejo forestal y recreativo.
- m. Clima: Templado A ustic isomesic, precipitación 1200-1000, y temperatura 14-11, menos de ocho meses húmedos [San Pedro Nexapa 2650, T media 13.5 y pp 900 Cb(w2)(w)igw"].

### II Información general acerca del suelo

- a. Material parental: cenizas volcánicas, en parte retrabajadas coluvialmente, cubren a depósito de pómez y ceniza in situ.
- b. Drenaje natural: Bueno
- c. Condiciones de humedad en el perfil: húmeda (pF 2).
- d. Profundidad del manto freático: Desconocido, probablemente muy profundo
- e. Presencia de rocas superficiales: Cantos y gravas de finos-gruesos.5%
- f. Evidencia de erosión: Ninguna
- g. Presencia de sales o soda: Ninguna
- h. Influencia humana: reforestación, restos de carbón, compactación por veredas y caminos.

### III Descripción breve del perfil

Perfil formado por ceniza volcánica retrabajada, bien drenado con poco escurrimiento. El horizonte Ah posee una coloración negra; en los horizontes que subyacen color café, incremento de pedregosidad en profundidad. Suelo enterrado a 145 cm (debajo de la capa de pómez), por lo que la estructura y textura cambia por el material redepositado, humus mull.

	<p><b>1Ah<sub>1</sub> (0-22).</b>- Color amarillo rojizo en húmedo (10YR 3/2); textura franco arenosa (CA); contenido de materia orgánica 3.5%; pH 5.5; estructura subangular en bloque que rompe a granular de fina a muy fina moderado; pedregosidad de 1%; poros pocos medianos intersticiales tubulares comunes intersticiales muy finos exped; densidad aparente media; densidad alta de raíces; estabilidad de agregados alta; límite difuso-irregular. Prueba de Al activo moderada</p>
--	--



**1Ah<sub>2</sub> (22-54).**- Color amarillo rojizo en húmedo (10YR 3/1), textura franco arenosa (CA); contenido de materia orgánica 3.5%; pH 5.5; estructura subangular que rompe a granular de fina a muy fina débil; pedregosidad de 1%, poros intersticiales muy finos comunes imped y exped, muchos finos intersticiales y tubulares pocos muy finos intersticiales; densidad aparente media; densidad muy alta de raíces; estabilidad de agregados moderada; y límite difuso- irregular. Prueba de Al activo moderada

**1AB<sub>1</sub> (54-66).**- Color café oscuro en húmedo (5 YR 3/1), textura franco arenosa (CA); contenido de materia orgánica 3%; pH 5.6; estructura subangular que rompe a granular de fina a muy fina débil; pedregosidad de 1%, poros intersticiales muy finos comunes imped y exped; densidad aparente media; estabilidad de agregados moderada; densidad muy alta de raíces y límite clarol uniforme. Prueba de Al activo moderada

**1AB<sub>2</sub> (66-83).**- Color café oscuro en húmedo (10 YR 2/1), textura franco arcillo-arenosa (CRA); materia orgánica no se determinó; pH 7; estructura subangular que rompe a granular de media a fino débil; sin pedregosidad, poros pocos medianos tubulares; densidad aparente baja, estabilidad de agregados media; densidad media de raíces y límite claro uniforme. Prueba de Al activo moderada

**1B<sub>1</sub> (83-103).**- Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/1), textura franco arenosa (CA); pH 6; estructura subangular que rompe a angular fino muy fino débil; pedregosidad de 1%, poros pocos medianos muchos finos intersticiales; densidad aparente media, estabilidad de agregados moderada; densidad muy baja de raíces y límite difuso uniforme. Prueba de Al activo moderad

**1B<sub>2</sub> (103-127).**- Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/1), textura franco arenosa (CA); contenido de materia orgánica no se determinó; pH 6; estructura subangular que rompe a granular, media-fina, débil; pedregosidad de 1%, poros subangular que rompe a granular, media-fino, moderado a débil; densidad aparente media, sin estabilidad de agregados; densidad de raíces muy baja y límite claro ondulado. Prueba de Al activo moderada

**2AC (127-140).**- Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/2); textura franco arenosa (CA); contenido de materia orgánica 3%; pH 6; estructura subangular que rompe a granular, media-fino, moderado a débil, fragmentos simple, grano simple; pedregosidad de 5%, poros vesiculares muy finos comunes exped, vesiculares e intersticiales muy finos comunes imped; densidad aparente media, estabilidad de agregados moderada; densidad de raíces nula y límite claro ondulado. Prueba de Al activo moderada

**3C (140-155).**- Color amarillo rojizo en húmedo (10 YR 4/3), textura arenosa (A); materia orgánica no se determinó; pH 6; estructura subangular grano simple; pedregosidad de 20%; densidad aparente media; densidad de raíces nula y límite claro ondulado. Prueba

	de Al activo fuerte
	<b>4Ah (155-183).</b> -Color amarillo rojizo en húmedo (10 YR 2/1); textura franco limosa fina (CLf); materia orgánica no se determinó; pH 6; estructura subangular que rompe a granular, medio-fino, moderado; poros vesiculares muy finos comunes exped, vesiculares e intersticiales muy finos comunes imped; sin pedregosidad; densidad aparente media; densidad de raíces nula; estabilidad de agregados moderada y límite difuso irregular. Prueba de Al activo moderada
	<b>4AB (183-203)</b> Color amarillo rojizo en húmedo (10 YR 3/2), textura franco limosa fina (CLf); materia orgánica no se determinó; pH 6; estructura subangular que rompe a granular, media-fina, débil; sin pedregosidad, poros subangular que rompe a granular, media-fino, moderado a débil; densidad aparente media, estabilidad de agregados media; densidad de raíces nula y límite desconocido. Prueba de Al activo moderada

#### V Interpretación de las características del suelo

##### Procesos pedogenéticos dominantes:

La ceniza volcánica (en parte retrabajada) se encuentra intemperizada. La pedregosidad es casi nula e incrementa en el antepenúltimo horizonte. Los primeros tres horizontes muestran acumulación de materia orgánica, el tipo de humus es mull. La textura es desigual por la depositación de diferente material, cambia de CA a A y CLf. Existe horizontes de mezcla entre AB, AC, CB, el color varia en la pureza. La estructura en general es granular y subangular en bloques, solo el 5º horizonte muestra bloques angulares y el octavo domina el grano simple y material parental. La prueba aluminio activo fue positiva en todo el perfil indicando la formación de minerales de bajo orden estructural. El horizonte 3C corresponde a la capa de pómez 2P de Miehlich y llamada pómez ocre por Arana, producida hace 5000 años por el Popocatépetl.

##### Características ecológicas:

El suelo tiene una Kf de media a alta y el sitio en general presenta buenas condiciones de drenaje. Para soporte vegetal este sitio es bueno, ya que posee profundidad fisiológica (1.4 m), porosidad media, capacidad de retención de agua total y capacidad de retención de agua aprovechable muy alta, pH modera y ligeramente ácido, CIC media y saturación de BI mayor al 50%, la pedregosidad es casi nula, densidad aparente media (1.2-1.4). El nitrógeno total que se encontró en cantidad alta; y aunque el fósforo fue muy alto debe considerarse su afinidad por los minerales de bajo orden estructural. El factor K de erodabilidad se valoró como media; indicando que si la cobertura fuera retirada se promovería la erosión, la estabilidad de los agregados fue moderada y alta, pero la pendiente escarpada moderada serían factores que aceleraría el deterioro del terreno principalmente por erosión hídrica.

## Perfil 8

### I. Información sobre la localidad


- a. Número del perfil: 8
- b. Nombre del sitio: Fondo de valle (TS-S), corriente Alcalica por Tomacoco Flujo piroclástico al Oeste del PNIP
- c. Clasificación del suelo: vitric melanic Andosol eutric epiarenic
- d. Fecha de la descripción: 11 de noviembre de 2012.
- e. Autor: Alma Bella López López
- f. Localización: municipio de Amecameca seguir la calle de Progreso hacia el panteón, desviarse a Tomacoco. pasando la entrada del vivero.
- g. Coordenadas UTM: 2114545N y 531028 W
- h. Altitud: 2883 msnm.
- i. Forma de terreno: Convexa- convexa
- j. Posición fisiográfica: fondo de valle aluvial. La morfología general: interfluvio, ladera de valle.
- k. Pendiente: escarpada a moderada (5%, 2°), exposición nor-noreste
- l. Uso del suelo y vegetación: recreativo y manejo forestal.
- m. Clima: A ustic isomesic, precipitación 1200-1000, y temperatura 14-11, menos de ocho meses húmedos [San Pedro Nexapa 2650, T media 13.5 y pp 900 Cb(w2)(w)igw"].

### II Información general acerca del suelo

- a. Material parental: es principalmente aluvial y coluvial. Formado por ceniza volcánica y fragmentos de lava de composición dacítica.
- b. Drenaje natural: Bueno
- c. Condiciones de humedad en el perfil: de seca-fresca (pF 4-3)
- d. Profundidad del manto freático: Desconocido, probablemente muy profundo
- e. Presencia de rocas superficiales: 1% cantos y gravas de finos a gruesos
- f. Evidencia de erosión: casi nula, materia orgánica en montículos.
- g. Presencia de sales o soda: Ninguna
- h. Influencia humana: veredas, carbón y reforestación.

### III Descripción breve del perfil

Perfil poco profundo, buen drenado con poco escurrimiento. El horizonte Ah posee una coloración negra; en los horizontes que subyacen color café, incremento de pedregosidad (1-15%) en el último horizonte. La estructura fue granular y subangular alta-media que cambia a grano simple, la textura es más fina en superficie, humus mull.

	<p><b>Ah (0-9).</b>- Color amarillo rojizo en húmedo (7.5 YR 2.5/1); textura franco arcilla limosa (CRL); contenido de materia orgánica 4%; pH 5; estructura granular fina simple, subangular simple fina; pedregosidad de 1%; poros intersticial muy finos comunes; densidad aparente baja; densidad meda de raíces; estabilidad de agregados moderada; límite claro- difuso uniforme. Prueba negativa de Al activo.</p>
	<p><b>AC (9-23).</b>- Color amarillo rojizo en húmedo (7.5YR 3/1), textura franco arcillo arenosa (CRA); contenido de materia orgánica 3.5%; pH 5; estructura granular fina simple, subangular simple fina; pedregosidad de 3%, poros tubular finos muchos; densidad aparente media; densidad alta de raíces; estabilidad de agregados media; y límite claro- ondulado. Prueba de Al activo baja</p>
	<p><b>C (23-55).</b>- Color café oscuro en húmedo (10 YR 2/1), textura arenosa (A); contenido de materia orgánica 2.5%; pH 6; estructura grano simple; pedregosidad de 15%, poros muchos muy finos intersticiales; densidad aparente media; estabilidad de agregados media; densidad baja de raíces y límite desconocido. Prueba de Al activo baja</p>

## V Interpretación de las características del suelo

### Procesos pedogenéticos dominantes:

El material aluvial-coluvial está alterado, evidencia de intemperismo. La pedregosidad incrementa en profundidad. El primer horizonte muestra acumulación de materia orgánica, el tipo de humus es mull. Continúa un horizonte de transición AC, posteriormente domina un color café por la formación de óxidos de Fe (y probablemente Al) in situ. La estructura en los primeros horizontes es granular y subangular en bloques, al final del perfil domina el grano simple. La prueba aluminio activo fue positiva (moderada) en los últimos dos horizontes, lo cual indica la formación de minerales de bajo orden estructural.

### Características ecológicas:

El suelo tiene una Kf de media a alta y el sitio en general presenta buenas condiciones de drenaje. Para soporte vegetal este sitio se calificó como moderado, ya que posee profundidad somera (0.23 m), porosidad media, capacidad de retención de agua total baja y capacidad de retención de agua aprovechable media, pH ligeramente ácido, CIC muy baja a media y saturación de BI mayor al 50%, la pedregosidad cambia de 1-15%, densidad aparente media (1-2-1.3). Las posibles limitantes serían el nitrógeno y fósforo disponible que se encontraron en cantidad media, para este último sería importante considerar la afinidad del P por los minerales de bajo orden estructural. El factor K de erodabilidad se valoró como baja, indicando que si la cobertura fuera retirada se promovería la erosión, la estabilidad de los agregados fue de moderada a media y la pendiente moderadamente inclinada, sin embargo el lugar puede ser afectado por creciente del río en época de lluvia.

#### IV. EVALUACIÓN DE ALGUNAS VARIABLES DE SUELO ESTIMADAS EN CAMPO

**Profundidad fisiológica.** Señala el espesor del suelo en el que puede penetrar y desarrollarse potencialmente las raíces.

Cuadro IV.1: Evaluación de la profundidad fisiológica

Profundidad (cm)	<15	30	70	>120	
Evaluación	Muy somero	Somero	Mediano	Profundo	Muy profundo

**Abastecimiento de nitrógeno y fósforo.** La reserva de nitrógeno y fósforo se calculó a partir del contenido de materia orgánica, densidad aparente, espesor de los horizontes orgánicos, factor de corrección de piedras y según el tipo de mantillo presente.

Cuadro IV.2: Evaluación de la reserva (Nt) y la disponibilidad (Nd) de nitrógeno

Nt (Kg m <sup>-1</sup> )	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	0.5 -1.0	1.0 – 2.0	>2.0
Nd (g m <sup>-2</sup> )	0.1 - 2	2 – 4.5	4.5 -12	12 – 80	>80
Evaluación	Baja	mediana	Media alta	Alta	Muy alta

Cuadro IV.3 Evaluación de la cantidad de fósforo movilizable

PMO (g m <sup>-2</sup> )	<10	60	120	180	240>	
Evaluación	Muy baja	Baja	Mediana	Media- alta	Alta	Muy alta

**Capacidad de intercambio catiónico (CIC).** Depende principalmente del tipo de arcilla dominante (inferido a partir del material parental), pH (para arcillas de carga variable) y materia orgánica.

Cuadro IV. 4: Evaluación de la CIC

CIC (cmolc kg <sup>-1</sup> )	<5	10	20	40	80	>
Evaluación	Muy baja	Baja	Regular	Mediana	Alta	Muy alta

**Bases intercambiables (BI).** El contenido de bases depende directamente de la CIC, multiplicado por un factor determinado por pH, MO y textura.

Cuadro IV. 5: Evaluación de BI

BI (molc m <sup>-2</sup> )	<5	5	10	25	50	100	200>
Evaluación	Muy baja	Baja	Regular	Mediana	Medianamente alta	Alta	Muy alta

## V. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO ADYACENTE AL RÍO

Espesor de horizontes	Color	Textura	Al activo	Espesor (cm)	% Arcillas	% limos	% Arenas	Reacción NaF	
Barrena A1; distancia al río 5 m, profundidad 32 cm									
0	- 10	10 YR 2/2	CRA	1	10	28	12	60	Ligera
10	- 22	10 YR 2/1	CRA	1	12	28	12	60	Ligera
22	- 32	7.5YR 2.5/2	AC	2	10	5	5	90	Moderada
Barrena A2; distancia al río 25 m, profundidad 51 cm									
0	- 13	10 YR 2/2	CRA	2	13	28	12	60	Moderada
13	- 34	10 YR 2/1	CRA	2	21	28	12	60	Moderada
34	- 51	10YR 2/1	C	2	17	20	40	40	Moderada
Barrena A3; distancia al río 50 m, profundidad 32									
0	- 10	10YR 2/2	CRA	2	10	28	12	60	Moderada
10	- 21	10YR 2/1	CRA	2	11	28	12	60	Moderada
21	- 32	10YR 2/1	C	2	11	20	40	40	Moderada
Barrena B1; distancia al río 2 m, profundidad 25 cm									
0	- 10	10YR 2/1	CRA	1	10	28	12	60	Ligera
10	- 25	10YR 2/1	CRA	1	15	28	12	60	Ligera
Barrena B2; distancia al río 15m, profundidad 12									
0	- 12	10YR 2/1	CLF	1	12	10	60	30	Ligera
Barrena B3; distancia al río 35m, profundidad 79 cm									
0	- 16	10YR 2/1	CRL	2	16	34	34	32	Moderada
16	- 35	10YR 2/1	CRL	1	19	34	34	32	Ligera
35	- 54	10YR 2/1	CRL	1	19	34	34	32	Ligera
54	- 73	10YR 2/1	CLF	1	19	10	60	30	Ligera
73	- 79	10YR 2/1	CLF	1	6	10	60	30	Ligera
Barrena C1; distancia al río 5m, profundidad 32 cm									
0	- 8	10YR 2/2	CRA	1	8	28	12	60	Ligera
8	- 20	10YR 2/1	AC	1	12				Ligera
20	- 32	10YR 2/1	CRA	1	12	28	12	60	Ligera
Barrena C2; distancia al río 25m, profundidad 41 cm									
0	- 10	10YR 2/1	CRL	1	10	34	34	32	Ligera
10	- 27	10YR 2/2	CRL	1	17	34	34	32	Ligera
27	- 41	10YR 2/1	CRA	1	14	28	12	60	Ligera
Barrena C3; distancia al río 50 m, profundidad 40 cm									
0	- 10	10YR 2/1	CRA	1	10	28	12	60	Ligera
10	- 28	10YR 2/2	CLG	1	18	10	60	30	Ligera
28	- 40	10YR 2/1	CLF	3	12	10	60	30	Fuerte
Barrena D1; distancia al río 5 m, profundidad 12									
0	- 12	10YR 2/1	CRA	1	12	28	12	60	Ligera
Barrena D2; distancia al río 25 m, profundidad 26									
0	- 13	10YR 2/1	CRL	1	13	34	34	32	Ligera
13	- 26	10YR 2/1	CRL	3	13	34	34	32	Fuerte
Barrena D3; distancia al río 50 m, profundidad 20									
0	- 20	10YR 2/1	CRL	2	20	34	34	32	Moderada

VERTIENTE IZQUIERDA – HACIA LADERA UMBRIA

20	-	44	10YR 2/1	CRL	2	24	34	34	32	Moderada
44	-	60	10YR 2/1	CRL	3	16	34	34	32	Fuerte
Barrena E1; distancia al río 2m, profundidad 17										
0	-	17	10YR 2/2	CRA	1	17	28	12	60	Ligera
Barrena E2; distancia al río 15m, profundidad 57										
0	-	14	10YR 2/2	CLF	2	14	10	60	30	Moderada
14	-	32	10YR 2/2	CLF	2	18	10	60	30	Moderada
32	-	57	10YR 2/1	CLF	3	25	10	60	30	Fuerte
Barrena E3; distancia al río 35m, profundidad 88										
0	-	17	10YR 2/1	CLF	2	17	10	60	30	Moderada
17	-	70	10YR 2/1	CRL	2	53	34	34	32	Moderada
70	-	88	10YR 2/1	CRL	3	18	34	34	32	Fuerte
Barrena K1; distancia al río 2 m, profundidad 52 cm										
0	-	22	10YR 2/1	C	1	22	20	40	40	Ligera
22	-	52	10YR 2/2	CRA	1	30	28	12	60	Ligera
Barrena K2; distancia al río 15 m, profundidad 16										
0	-	16	10YR 2/2	CRA	1	16	28	12	60	Ligera
Barrena K3; distancia al río 35 m, profundidad 37										
0	-	18	10YR 2/1	CRA	1	18	28	12	60	Ligera
18	-	37	10YR 2/1	C	3	19	20	40	40	Fuerte
Barrena J1; distancia al río 5 m, profundidad 61										
0	-	12	10YR 2/2	AC	1	12	5	5	90	Ligera
12	-	37	10YR 2/2	AC	2	25	5	5	90	Moderada
37	-	61	10YR 2/2	CRA	3	24	28	12	60	Fuerte
Barrena J2; distancia al río 25 m, profundidad 17										
0	-	17	10YR 2/1	CRA	1	17	28	12	60	Ligera
Barrena J3; distancia al río 50 m, profundidad 21										
0	-	12	10YR 2/1	CRA	1	12	28	12	60	Ligera
12	-	21	10YR 2/1	AC	2	9	5	5	90	Moderada
Barrena I1; distancia al río 2 m, profundidad 46										
0	-	8	10YR 2/1	CRA	1	8	28	12	60	Ligera
8	-	37	10YR 2/2	AC	2	29	5	5	90	Moderada
37	-	46	10YR 2/1	C	3	9	20	40	40	Fuerte
Barrena I1; distancia al río 15 m, profundidad 33										
0	-	13	10YR 2/2	CRA	3	13	28	12	60	Fuerte
13	-	33	10YR 3/2	AC	1	20	5	5	90	Ligera
Barrena I2; distancia al río 35 m, profundidad 15										
0	-	15	10YR 2/68	CRA	2	15	28	12	60	Moderada
Barrena H1; distancia al río 5 m, profundidad 40										
0	-	8	10YR 2/1	CRA	1	8	28	12	60	Ligera
8	-	40	10YR 2/1	A	3	32	5	5	90	Fuerte
Barrena H2; distancia al río 25 m, profundidad 20										
0	-	8	10YR 2/2	CRA	1	8	28	12	60	Ligera
8	-	20	10YR 2/2	CRA	2	12	28	12	60	Moderada
Barrena H3; distancia al río 50 m, profundidad 22										
0	-	9	10YR 2/2	CRA	1	9	28	12	60	Ligera



9	-	18	10YR 2/2	C	1	9	20	40	40	Ligera
18	-	22	10YR 2/2	CRA	3	4	28	12	60	Fuerte
Barrena G1; distancia al río 2 m, profundidad 10										
0	-	10	10YR 2/1	CLG	1	10	10	60	30	Ligera
Barrena G2; distancia al río 15 m, profundidad 18										
0	-	8	10YR 2/1	CRA	2	8	28	12	60	Moderada
8	-	18	10YR 2/2	CA	3	10	5	5	90	Fuerte
Barrena G3; distancia al río 50 m, profundidad 11										
0	-	11	10YR 2/1	CRA	2	11	28	12	60	Moderada
Barrena F1; distancia al río 2 m, profundidad 12										
0	-	5	10YR 2/1	CA	1	5	5	5	90	Ligera
5	-	12	10YR 2/1	CRA	1	7	28	12	60	Ligera
Barrena F2; distancia al río 15 m, profundidad 23										
0	-	12	10YR 2/1	CRL	1	12	34	34	32	Ligera
12	-	23	10YR 2/1	CRL	3	11	34	34	32	Fuerte
Barrena F3; distancia al río 35 m, profundidad 20										
0	-	9	10YR 2/1	CRL	1	9	34	34	32	Ligera
9	-	20	10YR 2/1	CRL	2	11	34	34	32	Moderada

**VI. CONTENIDO DE HIERRO Y ALUMNIO EN LOS PÉRFILES DE SUELO DE AMBAS CATENAS**

	SOLANA			UMBRÍA		
	Horizonte	Al mg g <sup>-1</sup>	Fe mg g <sup>-1</sup>	Horizonte	Al mg g <sup>-1</sup>	Fe mg g <sup>-1</sup>
HOMBRO (SH)	Ah1	1.968	4.97	Ah1	1.533	3.733
	Ah1	1.865	4.883	Ah1	1.492	3.721
	AB	1.287	5.635	B	0.83	2.902
	AB	1.163	5.596	B	1.029	2.885
	BC-C	2.244	5.14	C	1.278	2.181
	BC-C	2.207	5.073	C	3.204	7.288
	C	1.362	7.269	.	.	.
	C	1.321	7.298	.	.	.
	C	0.989	5.5	.	.	.
	C	1.284	3.17	.	.	.
LOMO (BS)	ND	ND	ND	Ah	0.896	5.558
	ND	ND	ND	Ah	1.216	3.196
	ND	ND	ND	AB-B	2.132	3.497
	ND	ND	ND	AB-B	2.431	2.225
	ND	ND	ND	C	2.17	4.027
	ND	ND	ND	C	0.543	4.01
PIE (FS)	Ah	2.477	3.48	Ah	1.253	3.429
	Ah	1.694	3.43	Ah	2.468	2.299
	B-C	1.11	3.16	AB	1.48	1.536
	B-C	1.182	3.18	AB	1.39	1.51
	.	.	.	B-AC	3.748	4.487
	.	.	.	B-AC	2.716	4.478
	.	.	.	C	1.02	2.4.63
	.	.	.	C	0.995	2.451
FONDO DE VALLE (TS)	Ah	1.039	2.613	Ah-AB	1.455	2.213
	Ah	1.21	2.641	Ah-AB	3.341	7.437
	AB	2.095	3.972	Ah	2.393	2.139
	AB	2.058	3.948	Ah	2.356	2.248
	C	2.02	2.897	C	2.319	1.69
	C	1.983	2.914	C	2.281	1.69

Extractante: ditionito-citrato-carbonato de sodio.

	SOLANA			UMBRÍA		
	Horizonte	Al mg g <sup>-1</sup>	Fe mg g <sup>-1</sup>	Horizonte	Al mg g <sup>-1</sup>	Fe mg g <sup>-1</sup>
HOMBRO (SH)	Ah1	11±0.3	10.56±5.2	Ah1	17.12±2.5	9.16±2.3
	Ah2	11±0.3	10.56±5.2	AB	17.12±2.5	9.16±2.3
	AB	20.29±0.2	11.44±3.5	B	5.9±1.2	4.68±1.5
	BC	18.89±0.7	10.52±3.5	C	14.75±2.1	6.24±3.0
	C1	16.44±0.01	13.84±0.7	.	.	.
	C2	16.44±0.01	13.84±0.7	.	.	.
	C3	13.49±0.7	9.34±1.2	.	.	.
	C4	13.49±0.7	9.34±1.2	.	.	.
LOMO (BS)	ND	ND	ND	Ah1	11.49±2.6	5.96±2.5
	ND	ND	ND	Ah2	11.49±2.6	5.96±2.5
	ND	ND	ND	AB1	8.66±0.1	4.42±1.5
	ND	ND	ND	B	8.66±0.1	4.42±1.5
	ND	ND	ND	C	21.08±3.4	5.84±2.0
PIE (FS)	Ah	7.87±0.4	6.04±3.4	Ah1-Ah2	10.33±2.4	5.04±2.0
	Ah	7.87±0.4	6.04±3.4	AB1-AB2	6.97±0.1	3.32±2.0
	B	9.04±0.01	7.6±2.3	B1-B2	10.91±1.7	5.88±2.4
	C	5.12±0.1	5.96±2.1	2AC	25.16±2.6	13.04±2.8
	.	.	.	3C	13.74±0.1	5.14±0.5
	.	.	.	4AC	33.88±2.3	16.8±0.8
	.	.	.	4AB	33.88±2.3	16.8±0.8
FONDO DE VALLE (TS)	Ah1	8.5±0.08	6.04±1.3	Ah-	6.77±0.01	4.96±1.2
	Ah2	8.5±0.08	6.04±1.3	AC	6.77±0.01	4.96±1.2
	AB	9.98±0.1	6.44±1.3	C	7.91±0.1	4.4±0.9
	C	7.21±0.1	5.28±1.3	.	.	4.4±0.9

Extractante: oxalato de amonio