

Páramos Andinos

Ecología, hidrología y suelos de páramos

Luis Daniel Llambí

Alejandra Soto-W

Rolando Céleri

Bert De Bievre

Boris Ochoa

Pablo Borja

PROYECTO PÁRAMO ANDINO

Agosto 2012

ECOLOGÍA, HIDROLOGÍA Y SUELOS DE PÁRAMOS
Proyecto Páramo Andino

Autores:

Luis Daniel Llambí
Alejandra Soto-W
Rolando Célleri
Bert De Bievre
Boris Ochoa
Pablo Borja

Mediación Pedagógica:

María Susana Ruggiero
Tania Calle

Diseño: **El Antebrazo**

Ilustraciones

Ecología: **Luis Daniel Llambí**
Hidrología: **Miguel Almeida**
Suelos: **Pablo Borja**

Fotos: **Proyecto Páramo Andino y autores**

Impresión: **Monsalve Moreno**

ISBN: 9789942115492

Este material se hizo para que sea usado y reproducido con propósitos educativos, no comerciales, mencionando su origen. Agradecemos nos cuente sobre sus proyectos y su experiencia con este material a: ppa@condesan.org



Unidad 3

Los suelos del páramo

Pablo Borja





Foto: Galo Carrón

Antes de comenzar...

El principal propósito de este material es brindar los elementos básicos referentes al estudio del suelo de páramo y constituirse en un apoyo para los talleres realizados por el PPA en sus acciones de capacitación.

Por lo general, no se le ha dado la debida importancia a la investigación del suelo del páramo, lo que ha generado -a excepción de determinadas zonas de estudio en la región-, una escasez de información científica al respecto y por lo tanto, desconocimiento de los principios básicos relacionados con el tema.

Esto ha significado muchas veces, que actividades de intervención en zonas de páramo, aunque se hayan llevado a cabo con la mejor intención, se realizaron, sin comprender los posibles efectos que su implementación tendría en el suelo.

Además debido a las características únicas y extremas del ecosistema de páramo, su vulnerabilidad es mayor en comparación con otros tipos de suelos, por lo cual amenazas como agricultura, ganadería intensiva, forestación, minería, cambio climático, son un serio riesgo para su supervivencia.

Sus particularidades, hacen que el suelo de páramo se comporte como uno más de los "seres vivos" del ecosistema. Como consecuencia, el comportamiento del suelo de páramo no es fácil de entender, lo que complica un poco el estudio y la comprensión de procesos que lo involucran.

Por eso, el suelo puede ser considerado como el corazón del páramo, no solo por su vulnerabilidad sino por todos los procesos y vida que de él dependen.

El agua -que beneficia a millones de personas directa o indirectamente-, como parte del ciclo hidrológico tiene que transitar por el suelo antes de llegar a las quebradas y ríos; las plantas y árboles que dan protección y alimento a muchos animales, anclan sus raíces sobre este elemento; y además, el suelo nos brinda servicios ambientales, entre los cuales, el mantener enormes cantidades de carbono es de vital importancia para la vida en el planeta, dentro del contexto del calentamiento global.

Finalmente, quienes tienen la responsabilidad de tomar decisiones respecto a planes de conservación, manejo o actividades de intervención, necesitan hacerlo sobre una base confiable de datos científicos.

Solo un adecuado conocimiento del suelo de páramo, permitirá entender su rol dentro del ecosistema y apreciar la magnitud de su importancia para el ambiente y para las personas que vivimos en las montañas.

Pablo Borja.

¿QUÉ NOS PROPONEMOS CON ESTA UNIDAD?

- Conocer las características principales de los suelos de páramo.
- Entender la importancia del suelo como almacenador y regulador de agua y sumidero de carbono.
- Entender el por qué de la vulnerabilidad de los suelos de páramo.
- Ofrecer información sobre los suelos del páramo, para enriquecer la formación de los técnicos que trabajan en campo.

Los suelos del páramo

*Dicen que el suelo,
es lo más importante del páramo,
porque allí se encierra
el secreto del agua...*



Foto: Pablo Borja

Características generales

Por cierto, el “secreto del agua” que duerme en el corazón del suelo paramero, es uno de sus privilegios y representa un enorme beneficio para pobladores rurales y urbanos...

Sin duda hemos oído hablar de los suelos del páramo y de sus espectaculares características para almacenar y retener agua y carbono. También hemos escuchado que son como verdaderas esponjas, que absorben el agua -que proviene de la lluvia y de la niebla- y la van liberando lentamente, para que, aún en épocas de sequía, las quebradas y los ríos puedan mantener un caudal continuo.

Muchos investigadores están de acuerdo en que ese "comportamiento hidrológico" del páramo, se debe, en gran medida, a sus suelos.²⁸ Sin embargo, conviene tener presente que se trata de suelos muy sensibles a diferentes acciones que los alteran.



Foto: Pabito Borja

Fuente de agua en una zona de páramo

Para poder entender mejor el porqué de este extraordinario comportamiento hidrológico, y de la vulnerabilidad de los suelos de páramo, es conveniente conocer mejor sus características, ya que, de estas características depende la reacción del suelo frente a diferentes acciones como: labranza, ganadería, quemas, forestación.

Muchos páramos, muchos suelos

Como existe una gran diversidad de tipos de páramos, hay una gran diversidad de tipos de suelos. Sin embargo esta diversidad no es tanta como la que se tendría en zonas bajas y más templadas debido principalmente al clima frío que hace más lentos los procesos de descomposición química de las rocas y formación de nuevos minerales. Por esta razón la mayoría de los suelos de páramo son relativamente jóvenes y escasamente desarrollados.

²⁸ Medina y Mena, 2001; Luteyn, 1999.

No existe un único suelo de páramo, pero existen propiedades típicas de éstos suelos.

En distintas zonas, los suelos parameros pueden cambiar e incluso pueden hacerlo dentro de un mismo lugar, respondiendo a condiciones de vegetación, topografía, posición en el paisaje, condiciones de humedad, etc. Por ejemplo: en el páramo de Chiles (Colombia) podemos encontrar diferentes tipos de suelos (siendo los principales los suelos negros y suelos de pantano o turberas).

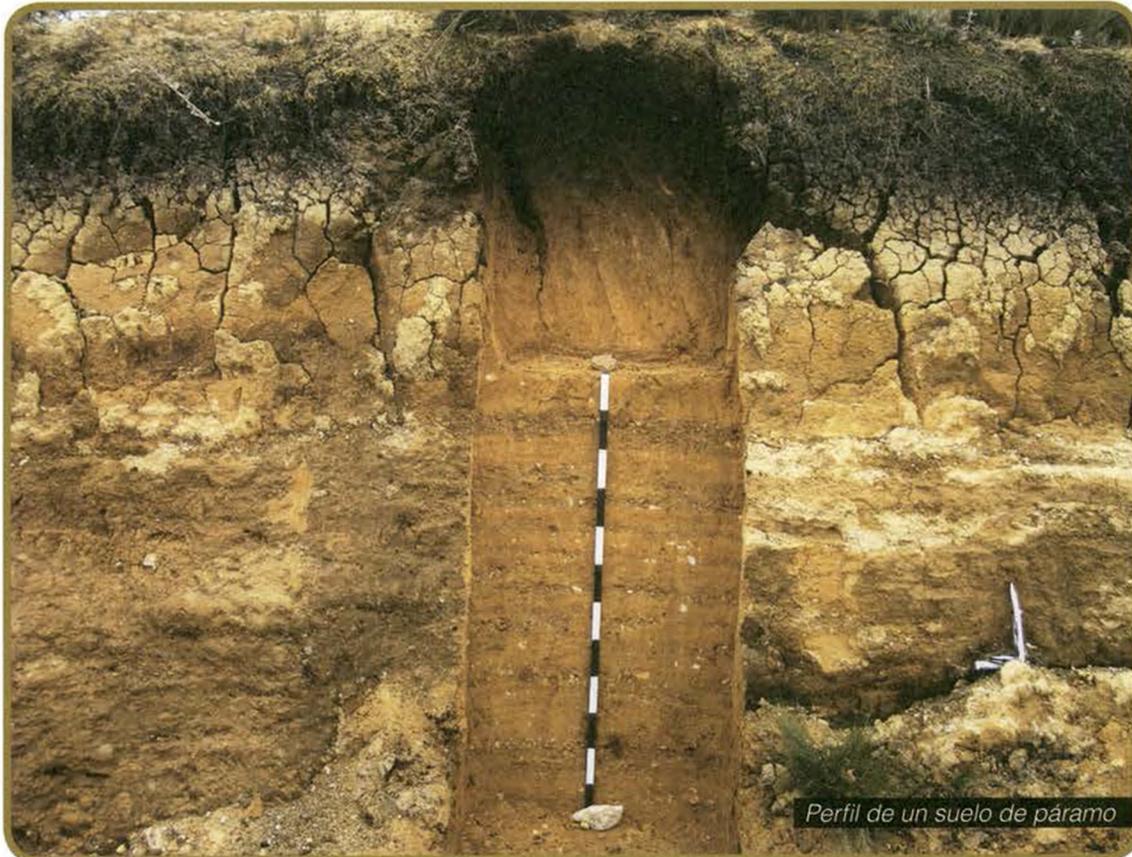
¿Cómo se forman los suelos de los páramos?

Los suelos de una buena parte de los páramos se formaron a partir de materiales de origen glaciar y volcánico (rocas y cenizas volcánicas) modificados por los **factores de formación** hasta llegar a constituir lo que reconocemos hoy como suelo. En comparación con suelos de otros lugares, los suelos del páramo son relativamente jóvenes.

Para entenderlo mejor, nos referimos primero a la formación de los suelos en general.

El origen (génesis) de los suelos tiene que ver con:

- los procesos que le otorgaron las características y propiedades que poseen y
- los factores que condicionaron la forma en la que actuaron estos procesos.
- En la foto se pueden ver las diferentes capas superpuestas del suelo, lo que indica que son el resultado de diferentes procesos en diferentes tiempos.



Perfil de un suelo de páramo

Los suelos, en general, se forman por la *meteorización* de la roca (material parental) por la acción de varios factores como los que se describen más adelante.

La meteorización es el proceso físico-químico de alteración de las rocas, a partir del cual se forman nuevos minerales.

Este material meteorizado, con el tiempo, se va transformado y evolucionando junto con la materia orgánica producida por la vegetación y otros organismos que se establecen sobre él. La velocidad con la que se dan estos cambios y transformaciones depende de la intensidad con la que actúan los siguientes factores de formación del suelo:

- Material parental
- Clima: con mucha influencia en el páramo (temperatura, precipitación, radiación y vientos)
- Organismos vivos: principalmente la vegetación.
- Relieve
- Tiempo

Material parental

La Cordillera de los Andes geológicamente, está formada por rocas que han sido expulsadas en forma de lava. Muchas de estas rocas que constituyen la cordillera, han sido fragmentadas y arrastradas por la acción de los glaciares, los cuales además han esculpido muchos de los paisajes de la región, un ejemplo son los valles en forma de "u". Todas estas rocas y fragmentos de roca son los materiales que dan origen al suelo.



Foto: Pablo Borja

Otra característica de la cordillera de los Andes es la presencia de volcanes, muchos de los cuales aún permanecen activos. Donde existen volcanes activos, estos continúan aportando cenizas y otros materiales piroclásticos que se van depositando en capas, que con el tiempo han contribuido a la formación de los suelos de algunas zonas de páramo.

Las diferencias entre los suelos que provienen de zonas de volcanismo antiguo y las de volcanismo activo (cenizas recientes), son notorias y se manifiestan en muchas de sus características. Por ejemplo, la textura del suelo en zonas de volcanismo activo, aparece más áspera al tacto que la textura del suelo de volcanismo antiguo. Existen regiones en la cordillera en donde las rocas son de origen metamórfico, lo que también contribuye a que existan suelos con diferentes características.

Las rocas pueden ser: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las rocas metamórficas se forman principalmente por la transformación de rocas ígneas y sedimentarias a través de procesos físicos y químicos bajo la acción del calor y la presión.

Clima

Las características morfológicas y físicas de estos suelos están fuertemente determinadas por las condiciones climáticas y por el estado de meteorización.²⁹ La velocidad con la que se puede formar un suelo está condicionada por las lluvias (En los páramos las lluvias pueden ir desde los 500 a 3000 mm/año), la temperatura (que puede variar entre 15 a 20°C en el día), la radiación y los vientos. Estas condiciones favorecen la acumulación y descomposición muy lenta de la materia orgánica.



Foto: Pablo Borja

Neblina

Vegetación

Junto con el clima, la vegetación constituye uno de los factores formadores más activos en el páramo. Dentro del grupo de los organismos vivos, los líquenes son de los primeros en colonizar ambientes rocosos y “crear” sustrato que eventualmente será aprovechado por plantas cuyas raíces, al desarrollarse entre las rocas, contribuyen a su ruptura y desintegración.

Los animales excavadores (lombrices, insectos) mezclan y trituran el material del suelo y los microorganismos contribuyen a la descomposición

²⁹ Buytaert, 2004.

de la materia orgánica, aunque debido a las condiciones severas del clima en este ecosistema, su acción es muy lenta.

Existe una relación importante entre el tipo de suelo (sus características) y la vegetación, debido a que la principal fuente de materia orgánica en estos suelos es la que proviene de las plantas y sus raíces. Al morir, estas aportan al suelo materia orgánica que se descompone lentamente, debido a las bajas temperaturas y elevada humedad.

En zonas pantanosas (turberas) la acumulación de materia orgánica es tan alta que en el suelo no se puede distinguir la parte mineral y en el material que lo forma aún son reconocibles los tejidos de las plantas.



En muchos lugares donde el suelo es profundo, la vegetación puede alcanzar un gran tamaño porque sus raíces tienen más espacio para desarrollarse, sin embargo esto también dependerá del estado de humedad del suelo y de los nutrientes disponibles.



Vegetación de bosque de *Polylepis* en páramo

Por lo tanto, **la vegetación puede ser un buen indicador del tipo de suelo**. Por ejemplo, pequeñas especies como almohadillas y musgos sugieren que el suelo que se encuentra por debajo será muy húmedo, tendrá altos contenidos de materia orgánica y si está en partes planas, probablemente su profundidad será significativa (suelos de pantano o turberas).

El suelo bajo pajonal, generalmente es de un color muy oscuro, casi no se puede diferenciar la parte orgánica de la mineral, su porosidad es alta y son muy frecuentes en las zonas de pendientes. Muchas de las propiedades físicas están influenciadas por las raíces de la paja y por su aporte de materia orgánica.



Foto: Pablo Borja

Relieve

Existen diferencias marcadas entre las propiedades de los suelos ubicados en zonas planas y depresiones y los que se han desarrollado en pendientes.

En las partes planas y mucho más en las depresiones, el agua puede acumularse más fácilmente, lo que permite que el suelo posea una mayor humedad, favoreciendo la presencia de plantas como musgos y almohadillas, las cuales al morir, contribuyen a aumentar el contenido de materia orgánica. Además la humedad elevada retarda el proceso de descomposición de la materia orgánica porque hay menos aire en el suelo, sobre todo cuando este permanece casi saturado.

Mientras menor es la pendiente, mayor es la profundidad del suelo y el contenido de humedad. Las condiciones de humedad elevada que se encuentran en las depresiones y zonas planas, favorecen la existencia de pantanos, mientras que, donde la pendiente es pronunciada, el suelo no logra alcanzar espesores significativos, por lo que estos suelos serán menos desarrollados.

Es fácil entender por qué los suelos de pendientes son más delgados, si pensamos en que, sobre una superficie inclinada actúa la fuerza de la gravedad sobre el material formador del suelo y sobre el agua.

Además en las pendientes, el viento actúa con mayor intensidad y el agua tiene menos oportunidades para infiltrarse al interior del suelo, lo que favorece el arrastre de materiales hacia las partes bajas.

El material parental y el relieve se consideran factores pasivos, porque sobre ellos actúan el clima y los organismos vivos a lo largo del tiempo.

Como se mencionó antes, el clima y los organismos vivos, actúan sobre el material parental y el relieve, a lo largo del tiempo y lógicamente el material más cercano a la superficie es el que estará sometido más intensamente a estos factores, por lo que los materiales que se encuentran por debajo de la capa orgánica de la superficie, son los más evolucionados.

Por el contrario, los materiales más profundos, que se encuentran junto a la roca madre, son jóvenes en términos de alteración, debido a que están más protegidos de la acción del clima y de los organismos.

Como producto de la acción de los factores formadores, ciertos materiales pueden desarrollarse, evidenciando el nivel de evolución del suelo.

El tipo de arcillas puede indicarnos el grado de evolución de un suelo, porque las que poseen estructuras químicas complejas, necesitan de mucho tiempo para formarse. En los suelos del páramo, muchas de las arcillas son jóvenes y no tienen una estructura definida (arcillas amorfas como: alófana e imogollita).

Las arcillas alófanicas básicamente son aquellas que no tienen una estructura cristalina -son amorfas y desordenadas- y están constituidas por Aluminio (Al) y Sílice (Si). Son de tipo esférico y pueden tener una superficie específica de 500 – 1100 m²/g de suelo. Se forman en materiales de origen volcánico y tienen alta capacidad de retención de agua.

No obstante en el suelo tienen lugar un sinnúmero de procesos (físico-químicos y biológicos) que junto con los factores de formación pueden dar lugar a zonas de acumulación de sustancias provenientes de capas superiores.

Por otro lado, algunos elementos pueden ascender. Por ejemplo, al subir el agua a través del suelo por efecto de la evaporación puede arrastrar sales que se acumularán en la superficie. No son raros los suelos que han sido enterrados por otros (paleosuelos), que se desarrollaron con propiedades diferentes, debido a cambios en los factores formadores. Esto puede darse por cambios en las condiciones climáticas, en el tipo de vegetación y / o en la forma del relieve.

En los suelos de páramo de origen volcánico -la mayor parte de los suelos de Ecuador y Colombia ubicados entre los 4° Norte y 4° Sur-, los materiales más nuevos se encuentran en la superficie del suelo ya que corresponden a capas de materiales piroclásticos (cenizas y otros materiales transportados) que se han ido acumulando como producto de las erupciones volcánicas de la región, procesos que continúan hasta la actualidad en zonas influenciadas por la actividad volcánica.

En los páramos venezolanos los suelos no son de origen volcánico y las condiciones difieren significativamente debido a distintos procesos genéticos y ambientales (las principales diferencias se deben al material parental). Lo mismo ocurre con los suelos del extremo sur de Ecuador y de los páramos peruanos. Si bien los páramos de Perú han sido poco estudiados existen reportes de suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas como algunos perfiles descritos en Huancabamba que corresponderían a Andosoles³⁰, aunque no serían muy comunes. En general conservan muchas de las características de los suelos de páramo a los que estamos acostumbrados a observar: altos contenidos de materia orgánica, buena capacidad de retención de agua, textura gruesa, muy ácidos.

A pesar de las diferencias, es posible hablar de características del suelo similares en función de si pertenecen a páramos húmedos - secos (clima), páramos altos - bajos - en pendiente (altitud, topografía), de regiones de volcanismo activo - inactivo - sobre rocas metamórficas (material parental), de si se han formado en bosque - pantanos - pajonal (vegetación), lo cual permite establecer comparaciones entre suelos de diferentes regiones.

30 INRENA, 1995.

En conclusión,

Cada suelo será el resultado de una distinta combinación de los factores formadores, por lo que la variación de tan solo uno de ellos, dará como origen un suelo diferente³¹.

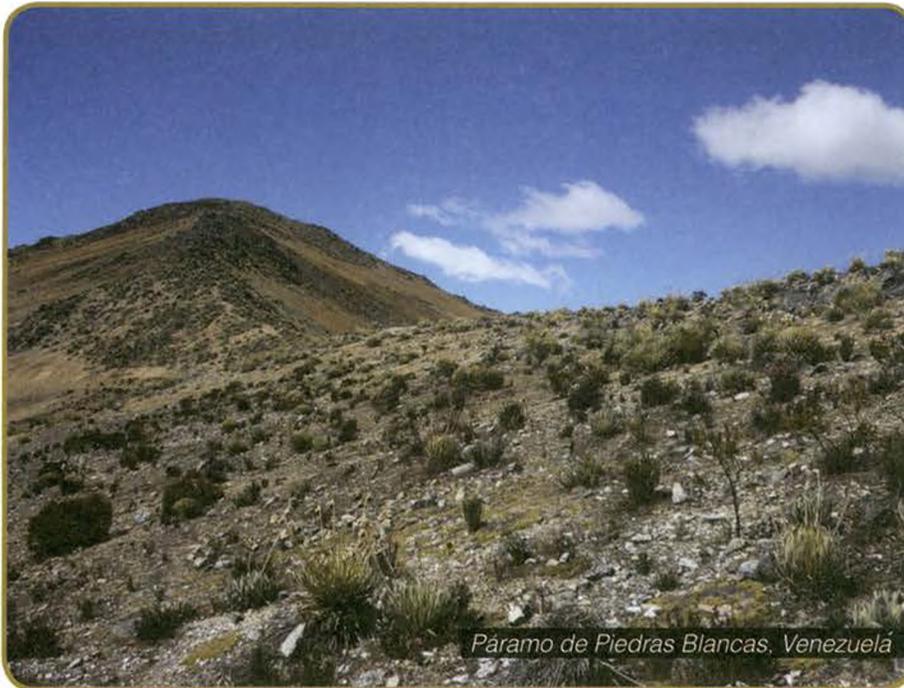


Foto: Yolanda Cáceres

Páramo de Piedras Blancas, Venezuela



Foto: Adolfo Correa

Páramo de Belmira, Colombia

³¹ Bertsch, 1995.



Foto: Pablo Borja

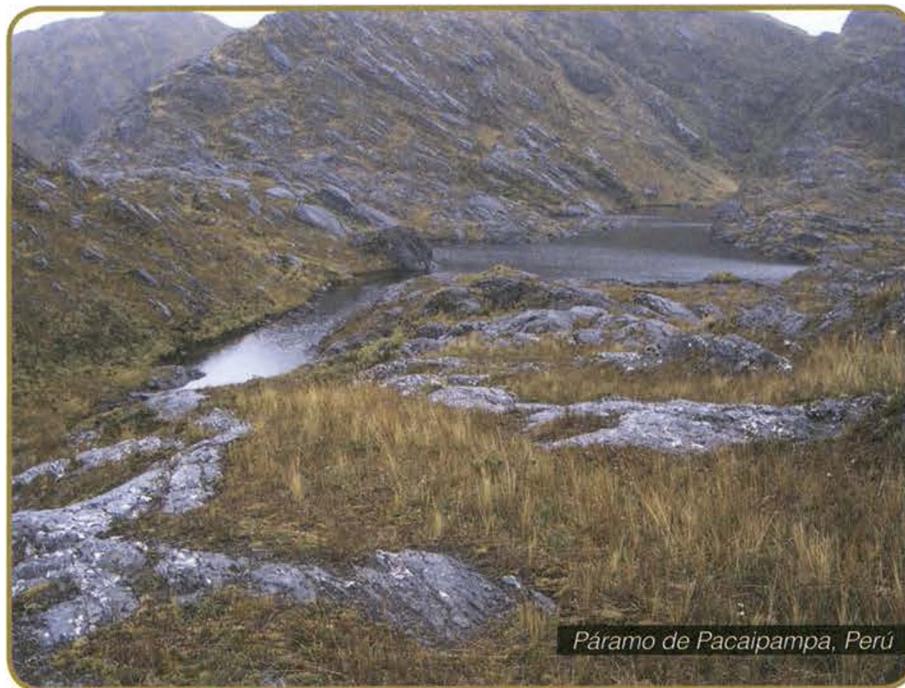


Foto: Iván Mejía

Como resultado de la acción de los factores genéticos y ambientales, se forma el suelo que constituye el medio natural para el crecimiento de las plantas y por lo tanto el soporte de la vida sobre los continentes.

Se considera al suelo como un ente natural formado por una fase sólida (minerales y materia orgánica), una fase líquida (agua del suelo) y una fase gaseosa (aire) que ocupa la superficie de la tierra, organizada en horizontes o capas de materiales distintos a la roca madre, como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía, que tiene capacidad para servir de soporte a las plantas con raíces en un medio natural.

Composición del suelo

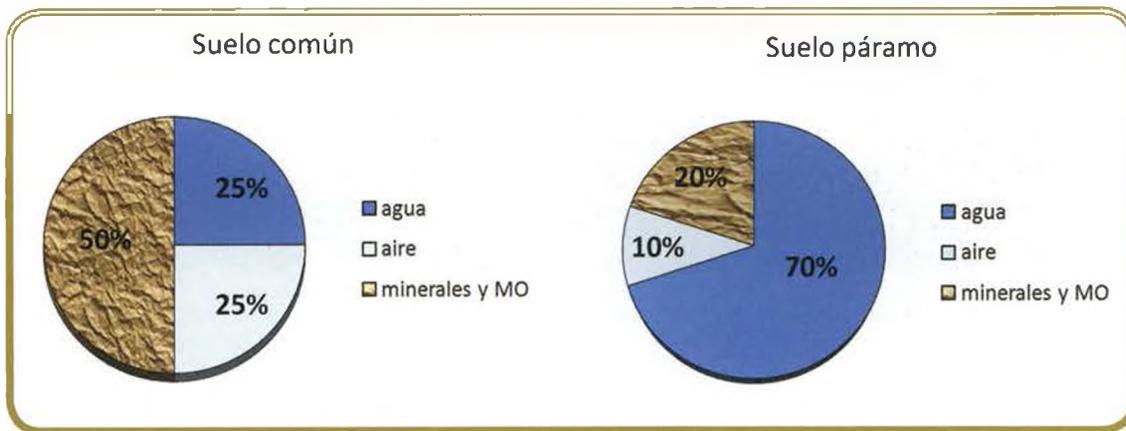


Gráfico: Pablo Borja

En un suelo normal, el 50 % de su volumen corresponde a minerales y materia orgánica (MO), el 50% restante lo constituye el espacio poroso del cual la mitad (25%) aproximadamente está ocupado por agua. Se asume que un suelo en condiciones normales luego de haberse saturado (lluvia, riego) y al cabo de 1 o 2 días, conserva un 25% en volumen de agua (1/2 de su espacio poroso).

Los suelos de páramo pueden tener hasta el 90% de su volumen como espacio poroso. Por lo general un suelo contiene del 1 – 5 % de MO, mientras que el suelo de páramo puede tener de 3 - 44% y llegar incluso a valores tan altos como 90 % en el caso de suelos de turberas.

El suelo del páramo, generalmente de color oscuro, está fuertemente asociado con la materia orgánica (que es la mayor responsable de la alta capacidad para retener agua), cuya acumulación se ve favorecida por las bajas temperaturas, formando complejos muy fuertes entre la parte mineral y la parte orgánica.



Foto: Pablo Borja

Suelo de turbera con el nivel freático muy cerca de la superficie

Horizontes del suelo

Como resultado de los procesos de formación del suelo, este presenta diferentes capas que pueden, en ocasiones, diferenciarse a simple vista por el color y otras veces solo por el tipo de textura, porosidad, cantidad de materia orgánica o presencia de ciertos minerales. Estas capas reciben el nombre de **horizontes** y forman el llamado **perfil del suelo**.



Foto: Pablo Borja

Reconstrucción de un perfil de suelo a partir de barrenaciones

El perfil del suelo es el que nos enseña acerca de sus orígenes y de cómo se formó.

¿Cómo se nombran los horizontes?

Se utilizan las letras mayúsculas:

H y **O** para horizontes orgánicos,

A y **B** para horizontes minerales y

C y **R** para las capas de material parental y roca.

Los horizontes **H** y **O** se forman por la acumulación de materia orgánica que se deposita en la superficie, en ellos la parte mineral representa un mínimo porcentaje del volumen total. La diferencia está en que un horizonte **H** se desarrolla en condiciones de elevada humedad y casi siempre se encuentra saturado con agua mientras que el **O** no. Los horizontes **O** son comunes en suelos bajo bosque.

Un horizonte **A** se encuentra en la superficie o cerca de esta, es de color muy oscuro, en muchos suelos de páramo es negro. Es frecuente encontrarlo bajo vegetación de tipo pajonal.

Un horizonte **B** es una capa de acumulación de materiales finos provenientes de las capas superiores (arcilla, hierro, aluminio, calcio).

Un horizonte **C** está formado por restos de rocas y no presenta estructura -a diferencia de los otros horizontes- al haber sido poco afectado por los procesos de formación. Generalmente son de colores claros, grisáceos o amarillentos. Se considera como material parental no-consolidado (partículas y fragmentos de roca que no están unidos entre sí).

La capa denominada **R** corresponde a la roca continua. Se considera como material parental consolidado.

Adicionalmente se utilizan letras minúsculas para resaltar ciertas características de los horizontes. Por ejemplo:

h (acumulación de materia orgánica),

p (horizonte alterado por labranza,

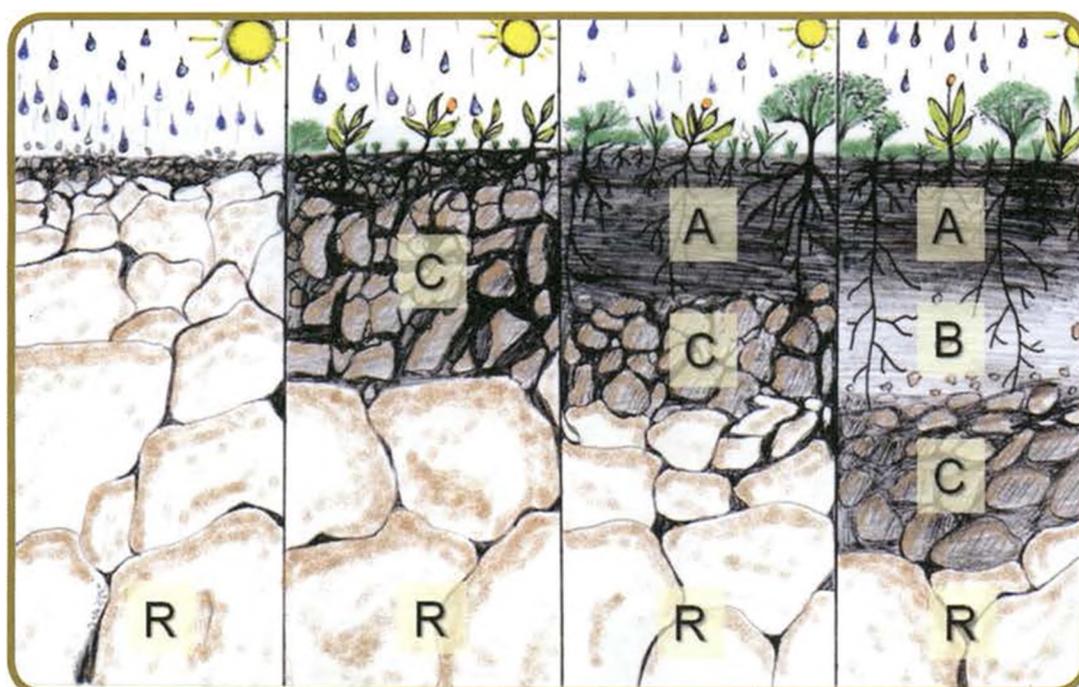
w (horizonte de alteración - meteorizado)

El tipo y la cantidad de horizontes son un indicativo del grado de desarrollo del suelo.

Por lo general un suelo comienza como una capa de roca (capa denominada R). Sobre esta roca que ha empezado a desintegrarse, se acumula materia orgánica proveniente de musgos y líquenes (horizonte O).

Posteriormente, entre estas se forma una capa superior constituida por la combinación de minerales y materia orgánica humificada (horizonte A) y una capa inferior puramente mineral formada por la desintegración de la roca (horizonte C). En una etapa mayor de desarrollo entre los horizontes A y C, se forma una capa producto de la acumulación de materiales (entre ellos arcilla) provenientes de las capas superiores (horizonte B).

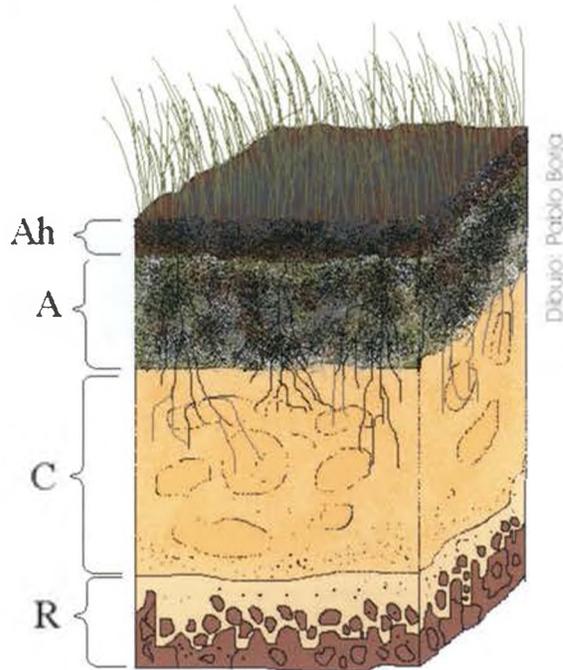
Proceso de formación del suelo



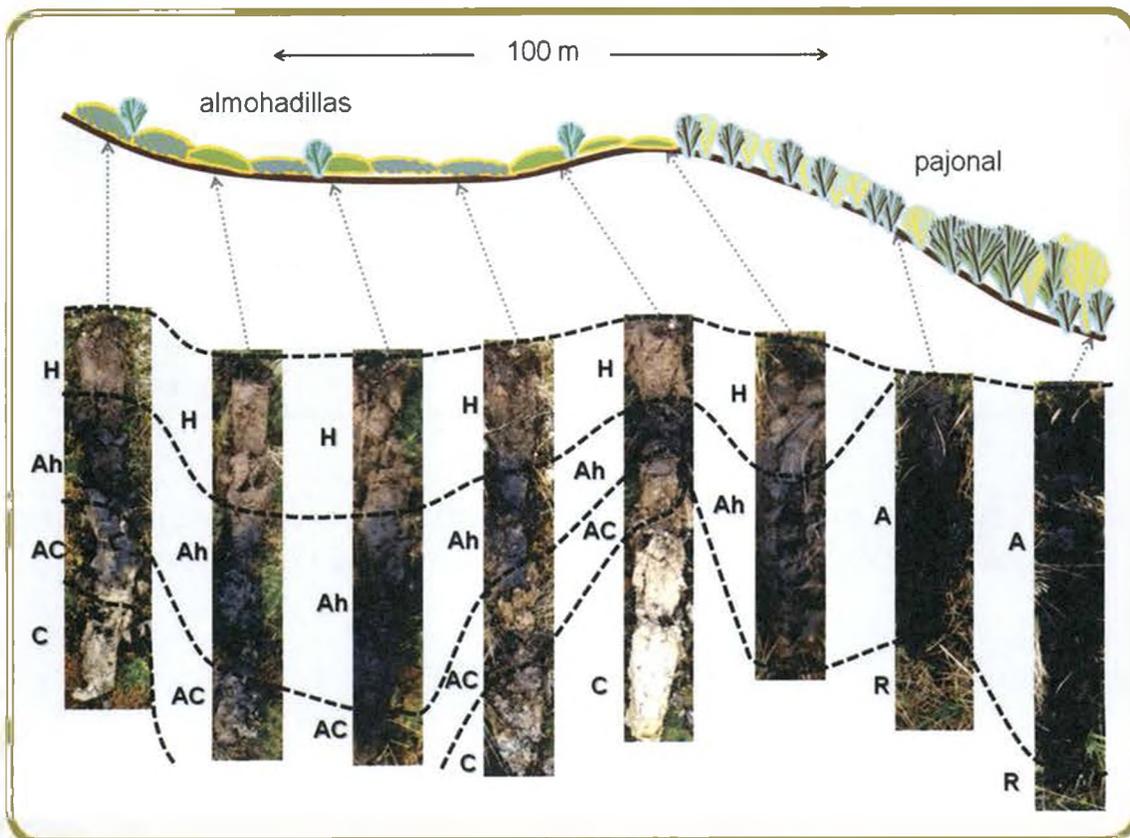
Los horizontes de suelos de páramo son poco diferenciados. El perfil típico para suelos de páramo, presenta una secuencia de horizontes:

Ah - A - C como se ve en el gráfico.

Perfil esquematizado de un suelo de páramo



Secuencia de perfiles y sus horizontes a lo largo de 100 m en páramo y su relación con la vegetación y la posición en el paisaje



ACTIVIDAD 1: Identificación de horizontes

Es recomendable que, para fijar sus conocimientos, trate de realizar la siguiente experiencia:

1. En zona de páramo excavar un agujero de aproximadamente 1 m de ancho x 1 m de largo. La profundidad dependerá del tipo de capas y de la facilidad para excavar en el lugar.
2. Observar los distintos horizontes que se encuentren.
3. Anotar en qué se diferencian: ¿color? ¿consistencia? ¿contenido de raíces? ¿estructura? etc. Describir cada una de estas diferencias.
4. Medir el espesor de los horizontes.
5. Responder las siguientes preguntas:
 - ¿Hasta qué profundidad llegan las raíces?
 - ¿Varía la cantidad de raíces en los diferentes horizontes?
 - ¿Qué tan húmedo está el suelo?
 - ¿Existen fragmentos minerales? (pequeñas piedras)
 - ¿Se pueden apreciar los poros del suelo?
 - ¿Qué sensación se tiene al frotar un poco de suelo entre los dedos y la palma de la mano?
 - ¿Qué tan duro es el suelo al presionarlo entre los dedos?
6. Elabore un breve informe sobre los resultados de su trabajo.
7. Registre información referente a: localización del lugar (coordenadas), altitud, fecha, tipo de cobertura vegetal, pendiente, posible tipo de suelo.

Materiales necesarios: pala, espátula, recipiente con agua, cinta métrica o flexómetro, cuchillo, cámara fotográfica, GPS.

¿Cuáles son las características físicas de los suelos del páramo?

Gracias a las características físicas como: textura, estructura, densidad aparente y color, los suelos de páramo tienen propiedades únicas que los diferencian de otros grupos de suelos.

Las principales son:

- baja densidad aparente
- gran capacidad para retener agua
- elevada micro-porosidad
- alto valor de deshidratación irreversible
- buena estabilidad de los micro-agregados
- alta susceptibilidad a la erosión después del secamiento

Sus horizontes son poco diferenciados y de colores oscuros producto de la materia orgánica, su permeabilidad es alta lo que favorece el desarrollo de las raíces, y el flujo de agua.

Por lo general los suelos de páramo:

- tienen horizontes superficiales **francos** (proporción equilibrada de arena, limo y arcilla),
- son **friables** (se pueden desmenuzar con facilidad),
- son suaves, ligeros y moderadamente **plásticos** (plástico se considera el material que puede ser moldeado y conserva las deformaciones que sobre él se producen),
- **no pegajosos a ligeramente pegajosos** (pegajoso es el material que al tenerlo presionado entre los dedos y al separar estos, tiende a quedarse adherido, ofreciendo resistencia a la separación de los dedos),
- tienen **muchas raíces** y una distribución muy profunda y uniforme.

En el campo, al tomar un poco de suelo, se puede sentir "grasoso" y suele manchar los dedos. Cuando es sometido a presión se vuelve líquido, característica que es conocida como **tixotropía**.

Sin embargo muchos suelos de páramos secos no presentan algunas de estas características.³²

ACTIVIDAD 2: Identificación de las principales características físicas

Para esta actividad en campo lleve su libreta de notas y vaya registrando sus respuestas y observaciones para después elaborar un informe sobre la experiencia.

1. Tome un poco de suelo entre los dedos índice y pulgar y presiónelo. ¿Se desmenuza fácilmente o es algo duro? Al presionarlo fuertemente, ¿se lo puede sentir grasoso?
2. Intente hacer figuras con el material húmedo. ¿Las figuras conservan su forma o se deshacen? ¿Es posible formar una cinta de más o menos 1 cm de ancho por unos 2 mm de espesor? ¿Qué tan larga puede hacerse esta cinta?
3. Presionar el material contra la palma de la mano y agregar unas gotas de agua. ¿Qué se siente? ¿Áspero o suave?
4. ¿Qué horizonte presenta el material más pegajoso? ¿A qué se debe esta característica?
5. ¿Existe alguna relación entre las características encontradas y el color?
6. Tome un cuchillo e introdúzcalo en el horizonte oscuro del perfil del suelo (horizonte A) ¿Fue sencillo hacerlo? Al intentar retirarlo... ¿sale aplicando la misma fuerza que se utilizó para introducirlo? ¿Qué es más fácil? ¿Introducirlo o retirarlo? ¿Qué explicación le daría a esto?
7. ¿Es posible observar evidencias de actividad biológica? ¿Hay túneles? ¿residuos? ¿lombrices o insectos?
8. ¿Qué diferencias nota al realizar las actividades anteriores utilizando suelo de distintos horizontes?

Materiales necesarios: los mismos de la primera actividad.

³² Van Ranst, 1997.

Textura

Es considerada por muchos estudiosos del suelo (edafólogos) como una de las propiedades más importantes. Afecta a muchos usos de suelo y no puede cambiarse a menos que se incurra en grandes costos y esfuerzos. La textura tiene influencia en muchos procesos físicos químicos y biológicos y en propiedades como la capacidad de retención de agua, el movimiento de agua a través del suelo, la resistencia del suelo, la fertilidad natural y la facilidad con la que contaminantes pueden moverse (lixiviarse) hasta las aguas subterráneas.

La textura se refiere al tamaño de las partículas menores de 2 mm que constituyen el suelo. Estos tamaños corresponden a:

- arenas (2 a 0.02 mm),
- limos (0.02 a 0.002 mm), y
- arcillas (< a 0.002 mm).

Una vez determinados en laboratorio los porcentajes del contenido de los tres tamaños de partículas, se puede utilizar el triángulo de texturas para definir alguna de las 12 clases texturales.

La cantidad (%) de estas partículas en una muestra de suelo, define su textura.

Los tipos de textura se pueden identificar como:

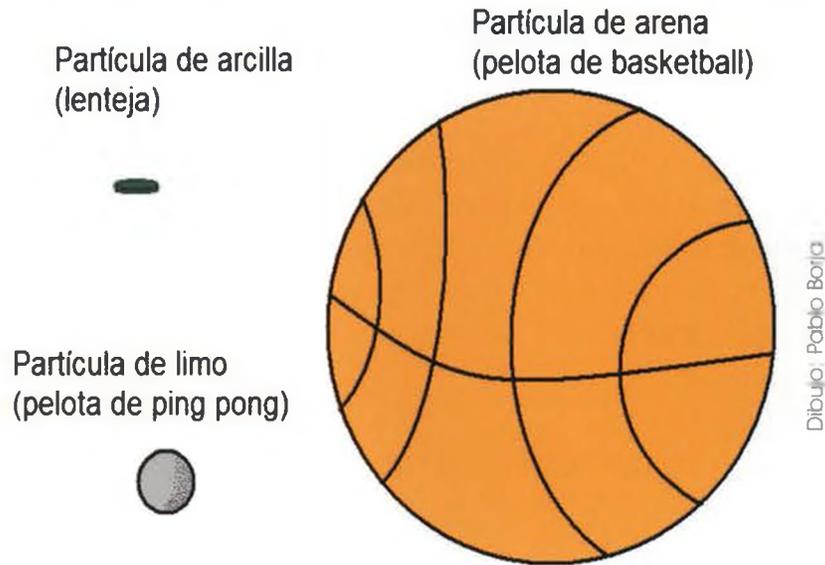
Textura gruesa: suelos donde predomina la arena,

Textura fina: suelos donde predomina la arcilla y

Textura media (franca): suelos donde la arena, arcilla y limo están en balance.

La textura es independiente de la cantidad de materia orgánica. Para tener una idea de las diferencias en los tamaños de las partículas, podemos comparar a las arenas con una pelota de básquet, al limo con una de ping-pong y a las de arcilla con una lenteja.

Relación del tamaño de las partículas del suelo



La textura se relaciona con propiedades importantes como: aireación, drenaje, retención de humedad, fertilidad, susceptibilidad a la erosión, permeabilidad. Varios estudios señalan que las arcillas alofánicas, junto con la materia orgánica contribuyen de manera significativa al contenido de humedad del suelo al punto de marchitez³³.

Los suelos de páramo poseen una amplia variación en la textura, dependiendo del tipo y del tamaño de las partículas de los materiales formadores, así como de su grado de meteorización.

Propiedades del suelo relacionadas con la textura

	Gruesa	Media	Fina
Almacenamiento de agua	bajo	medio	alto
Movimiento de agua	rápido	medio	lento
Fuerza necesaria para labranza	bajo	medio	alto
Erosión por viento agua (facilidad para separar partículas)	alto	medio	bajo
Erosión por viento - agua (facilidad para transportar partículas)	bajo	medio	alto
Almacenamiento de nutrientes para las plantas	bajo	medio	alto
Movimiento de contaminantes	alto	medio	bajo

33 Shoji et al., 1993; Buytaert et al., 2002

La determinación de la textura por métodos de laboratorio, presenta limitaciones en cuanto a la dispersión de las partículas en los suelos formados a partir de cenizas volcánicas, por lo que los resultados pueden contener errores³⁴.

El método de Bouyoucus³⁵ produciría una dispersión incompleta de las partículas en este tipo de suelos, debido a los complejos orgánico – minerales que forman pseudo-agregados de arena y/o limos. De manera que para lograr una dispersión adecuada, es necesario un pretratamiento que consiste en separar los pseudo-agregados por medio de la adición de sustancias químicas.

Es por esto que la textura no es una propiedad de diagnóstico para algunos suelos del páramo.

Para suelos derivados de cenizas volcánicas es más recomendable la determinación de la textura por el tacto³⁶.

En el suelo de páramo se puede encontrar un amplio rango de texturas.

Cuando disponemos de los porcentajes del contenido de arcilla, limo y arena, podemos determinar la clase textural del suelo, mediante un gráfico llamado **triángulo de texturas**. Por ejemplo si tenemos un suelo con:

Arcilla = 30%, limo = 34 % y arena = 36 %

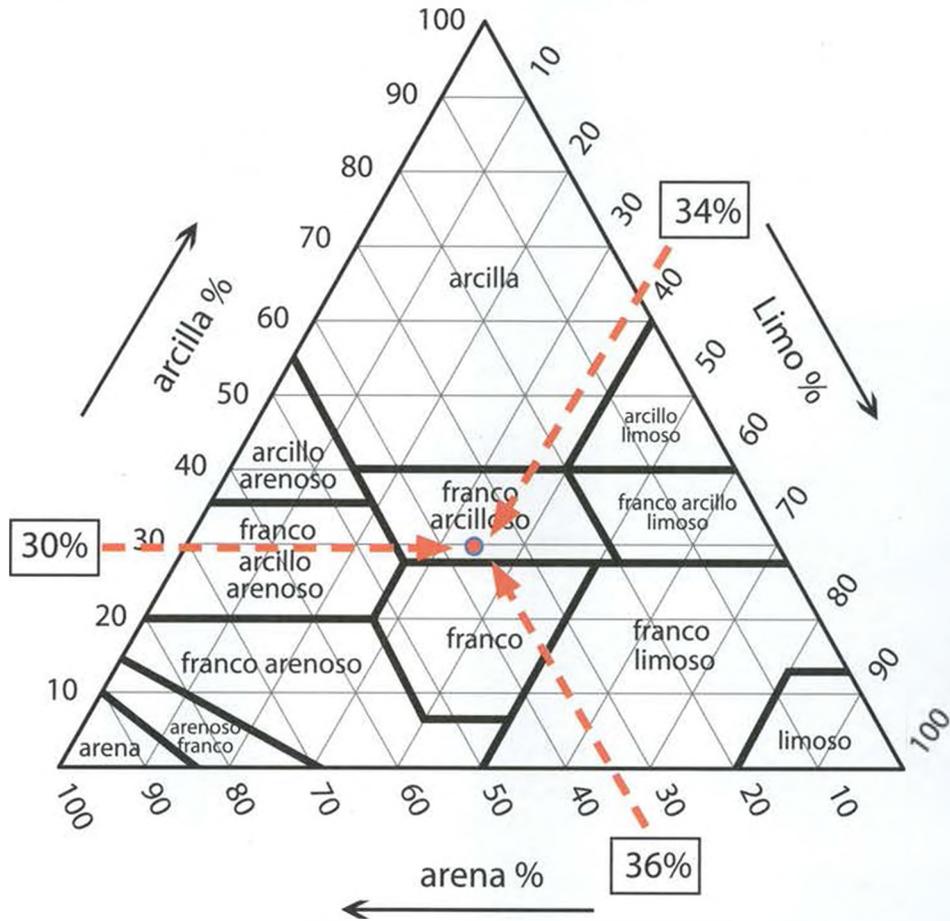
ubicamos estos valores en el triángulo de texturas como se indica en el gráfico y obtenemos la clase textural que le corresponde: **franco arcilloso** en este ejemplo.

³⁴ Shoji et al., 1993; Nanzyo et al., 1993; Buytaert, 2004.

³⁵ Norambuena et al., 2002.

³⁶ Mejía, 2003.

Triangulo de texturas para determinar clases texturales del suelo



Método para determinar la textura en el campo

La determinación en laboratorio de la textura de algunos suelos del páramo puede ser complicada, además toma tiempo y tiene un costo.

Una alternativa es determinar las clases texturales del suelo utilizando nuestras manos como se indica en el diagrama³⁷. Con práctica, esta estimación puede ser bastante precisa.

³⁷ Thien, 1979.

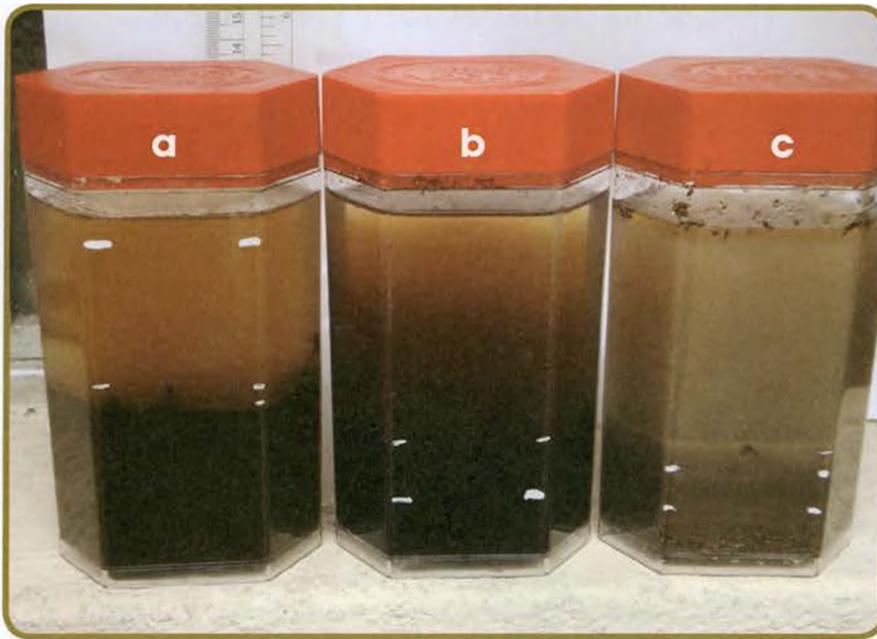
Formación de la “cinta” para el análisis por tacto de la textura según el diagrama



Foto: Pablo Bojia

ACTIVIDAD 3: Determinación de la textura en campo

1. Según el procedimiento explicado en el diagrama, determine la textura de cada horizonte encontrado.
2. Tome un poco de suelo e introdúzcalo en una botella con agua (1/4 de suelo y 3/4 de agua). Agite muy bien y deje reposar por unas 24 horas. Luego de este tiempo (cuando se haya sedimentado todo el material) será posible identificar una estratificación del material del suelo en la botella como se ve en la imagen. Explique a que se debe esta estratificación.



Ejemplo de muestras. **a:** de un suelo de pantano, **b:** de un suelo de pajonal y **c:** de suelo de jardín

Estructura

Consiste en la forma natural en la cual las partículas del suelo (arena, limo y arcilla) están unidas entre sí, en un conjunto estable de mayor tamaño, llamado **agregado**.

Los gránulos de partículas que forman los agregados están pegados principalmente por sustancias orgánicas.

Se reconocen varios tipos, clases y grados de estructura. La estructura tiene influencia directa en:

- la porosidad,
- la densidad aparente,
- el régimen hídrico,
- el régimen térmico,
- la permeabilidad y
- la aireación.

La degradación de un suelo puede estimarse por el deterioro de su estructura. Por ejemplo, la labranza mecánica o el pisoteo, pueden causar la destrucción de los agregados naturales y la compactación del suelo y más aún, si a esto se suma el secamiento.

Los suelos de páramo poseen una estructura que refleja el tipo de materiales minerales y orgánicos que la componen, así como su grado de desarrollo.

El tipo de estructura más común en los horizontes superficiales es el **granular y migajoso** y en ocasiones, bloques **sub-angulares**. Cuando el contenido de arcilla es mayor, incluso se pueden encontrar estructuras prismáticas³⁹. En los horizontes sub-superficiales (con mayor contenido de arcilla) se pueden encontrar estructuras en bloque sub-angulares, pero de mayor tamaño, aunque más débiles.



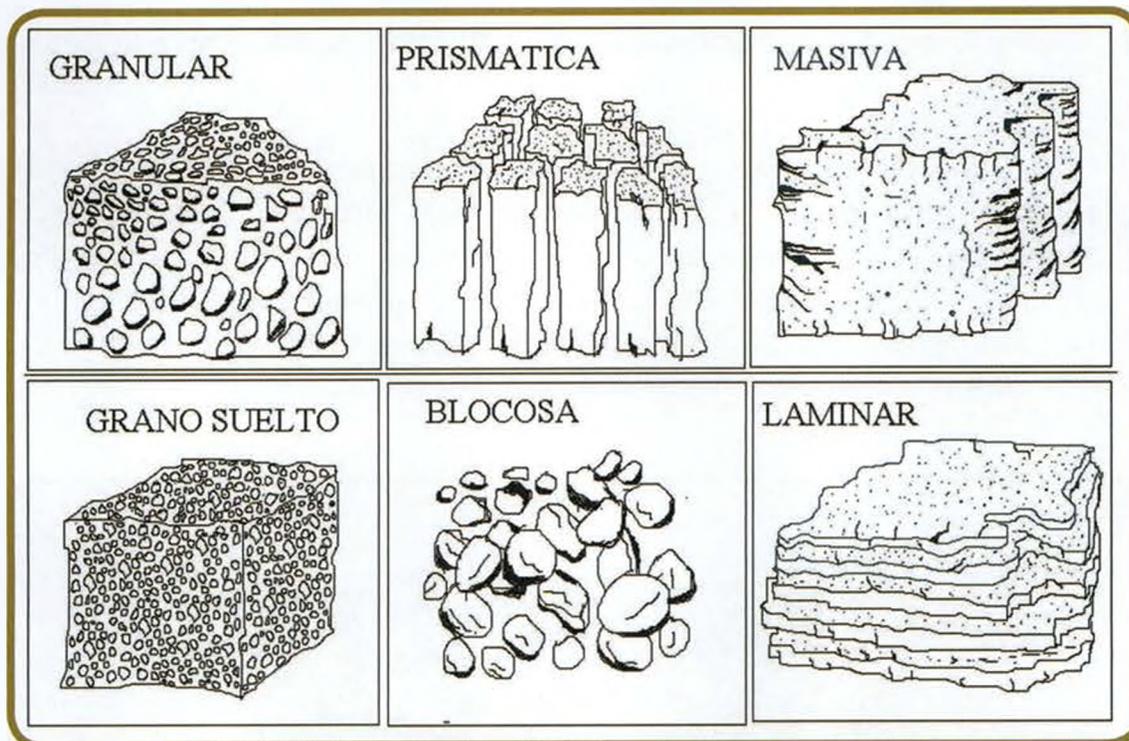
Foto: Pablo Borja

El grado y tamaño de las estructuras es muy variable y depende del tipo de materiales del suelo, del cultivo y del clima.

³⁹ Shoji et al., 1993.

El cultivo de estos suelos, promueve la degradación de su estructura original.

Principales tipos de estructuras



Dibujo: Pablo Borja

El tipo de estructura granular y migajosa, permite un ingreso rápido del agua en el perfil del suelo y está relacionado con la alta capacidad de retención de agua, elevada porosidad total, y un buen drenaje.

ACTIVIDAD 4: Identificación de estructuras del suelo

Recuerde que estas propiedades dependen del grado de humedad del suelo por lo que se recomienda, si es posible, realizar estas pruebas cuando el suelo se encuentre ligeramente húmedo.

Utilizando como guía el gráfico con los principales tipos de estructuras, realizar lo siguiente:

1. Tome entre las manos una muestra de suelo no alterada (que no haya sido aplastada o deformada). Para esto se separa del perfil de suelo una muestra, ayudándose con la pala o la espátula.

2. Fíjese cuidadosamente en el material que tiene entre las manos y trate de identificar cualquier forma reconocible.
3. Examine con los dedos la estructura del suelo:
 - ¿Qué formas adquieren los agregados?
 - ¿Cuáles son las formas predominantes y los tamaños?
4. Aplique presión sobre estas formas y trate de destruirlas. ¿Qué tan resistentes son?
5. ¿Alguno de los horizontes del suelo carece de estructura (suelo compacto)?
6. Anotar los tipos de estructuras encontradas, su predominancia y grado (intensidad de agregación – resistencia del agregado a conservar su forma). El grado es **débil** cuando al ejercer una mínima presión el agregado se destruye. La estructura es **moderada** cuando al ejercer mayor presión, el agregado se destruye pero aun se diferencian estructuras de menor tamaño. Finalmente la estructura es de grado **fuerte** cuando para destruirlo se necesita aplicar una gran fuerza con los dedos.
7. Un ejemplo que puede ayudarnos a visualizar el grado de resistencia que tienen los agregados de suelos de páramo, es tomar un poco de suelo que conserve sus estructuras naturales (no alterado) y colocarlo en un vaso con agua y dejarlo varios días. Para establecer una comparación, hay que hacer lo mismo con una muestra de suelo de jardín. Luego de varios días, ¿qué suelo se mantiene mejor? ¿Alguno de ellos se ha desintegrado? ¿A qué se deben esas diferencias?

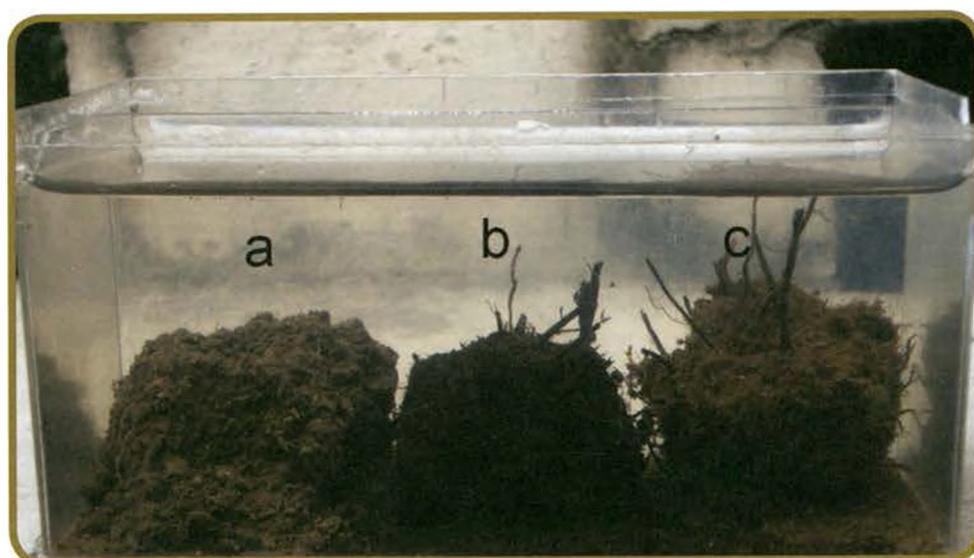


Foto: Pablo Bojja

Muestras, **a**: tierra de jardín, **b**: suelo de pajonal, **c**: suelo de pantano.

Materiales necesarios: Adicionales a los ya mencionados resulta muy útil para esta actividad un gotero o recipiente dosificador para agregar agua en pequeñas cantidades.

Densidad Aparente

Se refiere a la **relación entre el peso del suelo seco** (masa) **y el volumen** que ocupa la muestra, y se expresa en g/cm^3 . La densidad aparente, tiene en cuenta el espacio poroso entre las partículas de suelo y la materia orgánica. Por esta razón puede usarse para estimar diferencias por compactación en el suelo.

La densidad del agua se usa como referencia y después se incluyen la del cuarzo (que es casi igual a la densidad de las partículas minerales del suelo) y la de un metal muy conocido como el hierro por ejemplo, sólo para tener una idea de la magnitud cuando hablamos de suelos de páramo, cuya densidad es inferior a la del agua.

Densidad del agua =	1 g /cm ³
Densidad del cuarzo =	2.65 g /cm ³
Densidad del hierro =	7.8 g /cm ³

Los suelos de páramo, se caracterizan por una baja densidad aparente. Los rangos típicos están entre 0.4 y 0.8 g/cm^3 . Sin embargo se han reportado valores tan bajos como 0.13 g/cm^3 (PROMAS, 2009). Estos son "los pesos livianos" de todos los suelos. Recordemos que los suelos minerales más comunes en general tienen densidades entre 1.1 y 1.8 g/cm^3 lo cual es una gran diferencia con los suelos de páramo.

Un estudio sobre mineralogía de arcillas⁴⁰, menciona densidades de 0.15 g/cm^3 para suelos meteorizados y 0.9 g/cm^3 para suelos jóvenes. En los suelos de la zona con actividad volcánica reciente, resultan comunes las densidades en el rango de $0.6 - 0.9 \text{ g/cm}^3$ (Podwojewski et al., 2002; Poulénard et al., 2001).

En el territorio colombiano, se pueden encontrar valores desde 0.65 hasta 1.4 g/cm^3 (Rangel, 2000). En el sur de Ecuador los valores promedios para la densidad son de 0.48 g/cm^3 (Borja, 2006).

⁴⁰ Buytaert et al., 2005.

El desarrollo de la estructura porosa del suelo es el factor principal responsable de la baja densidad aparente de los suelos de páramo.

Mientras más alto es el contenido de materia orgánica, menor será la densidad aparente.

Determinación de la densidad aparente

La densidad aparente se determina sobre la base de la relación que hay entre la masa del suelo seco y el volumen que ocupa ese suelo.

$$da = \frac{M_{ss}}{V}$$

Donde: **da** = densidad aparente del suelo (g/cm³)

M_{ss} = masa del suelo seco (g)

V = volumen de la muestra de suelo (cm³), el volumen de la muestra corresponde al volumen del cilindro

Porosidad

El espacio poroso es la cantidad de volumen que no está ocupado por los sólidos sean orgánicos o minerales. Los poros de las arenas son grandes y continuos mientras que las arcillas poseen poros muy pequeños.

Pero a diferencia de las arenas, las arcillas poseen mayor cantidad de espacio total de poros y esto se debe a que las partículas de arcilla presentan mayor superficie debido a su tamaño.

La materia orgánica es responsable del desarrollo de la microporosidad y de la formación de agregados (estructura). La porosidad y la distribución del tamaño de poros dependen del desarrollo de la estructura del suelo.

La capacidad de retención de agua depende mucho más de los microporos ya que durante el secamiento el agua drena por gravedad por los poros grandes y únicamente en los poros muy finos pueden actuar las fuerzas de atracción de la superficie de las partículas reteniendo el agua.

Los suelos de páramo son de los que presentan mayor porosidad encontrándose valores que pueden ir desde el 60 hasta el 90 % e incluso más. Esto nos da una idea de cuanta agua puede contener un suelo con estas características.

La porosidad del suelo es una característica que depende de la textura y la estructura y está relacionada con la densidad real.

La densidad real representa la densidad de la parte sólida y se asume como valor fijo 2.65 g/cm^3 que corresponde al valor de la densidad de las arenas o minerales de cuarzo.

A partir de la densidad aparente se puede calcular la porosidad del suelo

$$p = \left(1 - \frac{d_a}{d_r} \right) 100$$

Donde: p = porosidad (%)

d_r = densidad de partículas = 2.65 g/cm^3

ACTIVIDAD 5: Determinación de la densidad aparente y porosidad

Se necesitan cilindros que pueden ser metálicos (ideales) o de tubería de PVC que es muy fácil de conseguir y cortar.

1. Insertar verticalmente en el suelo un cilindro, ayudándose con un pedazo de madera que se coloca en la parte superior sobre la cual se golpea con un martillo, de tal manera que el cilindro se introduzca uniformemente. Antes de eso la superficie sobre la cual se va a tomar la muestra debe ser nivelada y libre de vegetación, piedras o raíces grandes que puedan afectar los cálculos.
2. Una vez que el cilindro haya sido insertado completamente en el suelo, retirarlo con cuidado ayudándose con una pala y cuchillo y de ser necesario, cortar el sobrante con la ayuda de una sierra (evita el sellamiento de poros). Colocar los anillos dentro de fundas plásticas para su transporte y evitar que se sequen. Cada cilindro debe estar etiquetado.



Foto: Pablo Borja

3. Pesar la muestra húmeda más el cilindro y anotar el resultado.



4. Secar la muestra en el horno a 105°C por aproximadamente 24h. Una vez que la muestra esté seca, pesarla junto con el cilindro y anotar este resultado.



5. Pesar por separado solo el cilindro.

6. Determinar el volumen del cilindro.

Acá tiene un ejemplo realizado para calcular la densidad aparente y la porosidad de un suelo:

- Masa del cilindro con la muestra luego del secado = 126.5 g
- Masa del cilindro = 91.5 g
- Volumen del cilindro = 100 cm³ ($V_{\text{cilindro}} = 3.1416 \times (\text{diámetro}/2)^2 \times \text{altura del cilindro}$)
- Masa del suelo seco (M_{ss}) = 126.5 - 91.5 = 35 g

$$d_a = 35 / 100 = 0.35 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Porosidad} = (1 - (0.35/2.65) \times 100) = 86.79 \%$$

Materiales necesarios: Cilindros metálicos o de PVC, balanza (que al menos pueda registrar de 1/10 gramos), fundas plásticas, etiquetas, cuchillo, sierra, horno.

Color del suelo

El color es una de las características morfológicas más notorias en los suelos de páramo. Está determinado por:

- el tipo de material parental,
- el tipo y cantidad de materia orgánica del suelo y
- la composición de los productos, resultado de la destrucción de los materiales volcánicos acumulados⁴¹

Algunos suelos de páramo presentan colores que alcanzan la más alta tonalidad de negro, de acuerdo con la tabla de colores utilizada en la descripción de suelos.

Los **horizontes superficiales** son **muy oscuros** debido a los elevados contenidos de materia orgánica humificada. Los ácidos húmicos presentes en esta materia orgánica poseen un fuerte poder de coloración negra⁴². Sin embargo, no todos los horizontes ricos en humus son negros⁴³.

Los **horizontes subsuperficiales** (cuando los hay) son de colores **mucho más claros** y algunos suelen ser arcillosos, sin embargo también los hay de otros tipos de textura y dependen del material parental. El color del horizonte C, lo determina el color de los minerales expuestos y acumulados por disgregación, a partir del material parental. Los colores de este horizonte van desde los grises a los amarillentos claros.

41 Shoji et al., 1993.

42 Podwojewski y Poulenard, 2000a.

43 Shoji et al., 1993.

Muchas características del suelo pueden relacionarse con el color. Por ejemplo tonalidades grisáceas azuladas en las capas minerales, pueden indicar condiciones de ausencia de oxígeno y mal drenaje; los colores rojizos sugieren que el suelo tiene buena aireación y drenaje y que puede estar muy meteorizado.

El color del suelo se determina mediante la comparación de muestras (en húmedo y seco) con tablas especiales (Tabla de colores Munsell) en donde están ordenados los colores de acuerdo con códigos numéricos.

Por ejemplo, el color de un horizonte A muy oscuro puede ser: 10YR2/1 (negro), donde:

- 10YR: matiz (hue)
- 2: claridad (value)
- 1: pureza (chroma)

Determinación del código de color

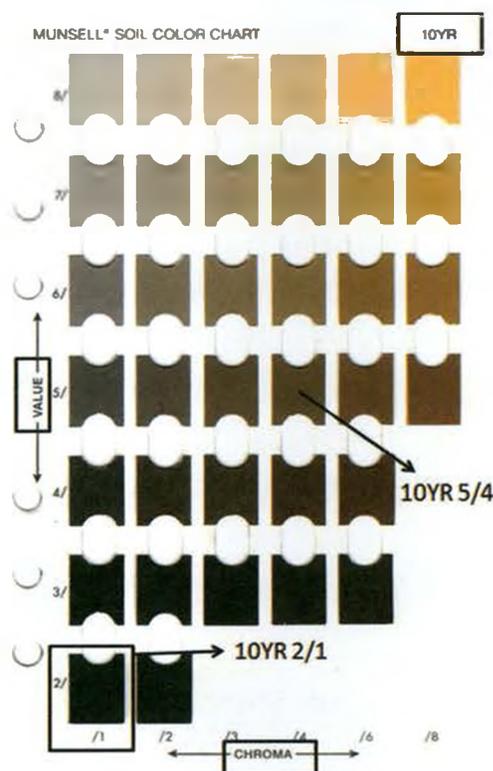


Foto: Fabio Borja

Profundidad

Es importante porque de la profundidad depende la cantidad de agua y carbono que el suelo pueda almacenar. También se puede conocer la disponibilidad de espacio para las raíces de las plantas.

Muchas de las propiedades del suelo cambian con la profundidad.

En los suelos de páramo la profundidad, puede ir de solo unos centímetros, hasta varios metros. Está condicionada por algunos factores como:

- pendiente,
- posición en el paisaje,
- material parental,
- clima,
- orientación de la ladera en la que se encuentra el suelo (norte, sur, este, oeste) etc.

En suelos de origen volcánico incluso, tiene que ver la cercanía de las fuentes de emisión de cenizas. En la región de los Andes, las cenizas volcánicas han cubierto el paisaje con una capa más o menos uniforme. Sin embargo, donde aún existen volcanes activos, la acumulación de ceniza continúa hasta la actualidad. En zonas como el Ángel en el norte de Ecuador, se reportan valores de profundidad de hasta 2 m⁴⁴. Otro ejemplo: para suelos del sur de Ecuador, el promedio de la profundidad del suelo correspondiente al horizonte A, es de 47 cm⁴⁵.

Sin embargo para suelos de pantanos -que generalmente ocupan las zonas planas y depresiones- se han encontrado profundidades de hasta 4 m en una zona de la Reserva Ecológica Cayambe - Coca, en el norte de Ecuador⁴⁶.

Existe una fuerte relación entre la profundidad del suelo y la pendiente.

Utilizando datos de profundidad y de pendiente, es posible estimar el volumen de suelo y de agua almacenada en una determinada zona si la relación entre estas variables es alta. Para el área del Parque Nacional Cajas⁴⁷ y una zona de estudio en el páramo de Quimsacocha⁴⁸ en Ecuador,

⁴⁴ Hofstede, 1999.

⁴⁵ Borja et al., 2009.

⁴⁶ Chimner et al., 2008.

⁴⁷ Cisneros et al., 2006.

⁴⁸ Cisneros et al., 2009; PROMAS 2009.

se analizó la relación entre estas dos variables (profundidad y pendiente), encontrándose que es posible estimar la profundidad del suelo con un nivel aceptable de incertidumbre.

El contenido de materia orgánica, normalmente decrece en forma regular, al aumentar la profundidad en el perfil, por lo que el horizonte A, es el que posee los valores más altos de materia orgánica. Sin embargo cuando se encuentran horizontes A enterrados, se pueden detectar incrementos abruptos de materia orgánica.

Relaciones entre el suelo y el agua

Las relaciones entre el suelo y el agua son descritas por las propiedades hidráulicas, de las cuales, las más importantes son:

- la curva de retención de humedad del suelo (conocida también como curva pF, característica para cada tipo de suelo), y
- la conductividad hidráulica (k).

La curva de retención de humedad o pF (p = potencial, F = energía libre del agua), relaciona el contenido de agua y la presión hídrica del suelo (la fuerza con la que el agua está retenida o la fuerza necesaria para extraer el agua) y nos indica la capacidad que tiene el suelo para almacenar agua bajo diferentes niveles de secamiento. Usualmente se representa el contenido de humedad del suelo en forma de % en relación al volumen de suelo.

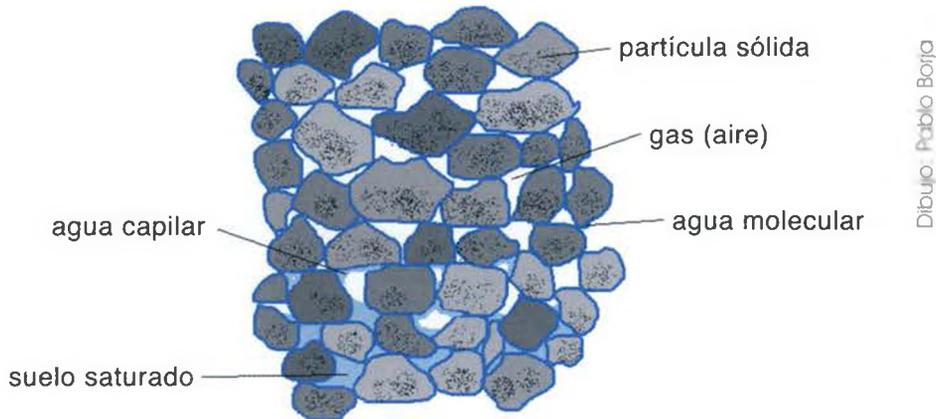
La conductividad hidráulica (k) se relaciona con el contenido de agua o su presión y describe la velocidad con la que el agua se mueve en el interior del suelo.

Fuerza con que el agua es retenida en el suelo

Cuando se llevan muestras de suelo al laboratorio para extraerles agua, mientras avanza el proceso de secamiento en el suelo, los primeros en vaciarse son los macroporos (que contienen el agua gravitacional), seguidos por los mesoporos (que retienen agua capilar) y finalmente se vacían los microporos (que retienen agua molecular o higroscópica).

En el laboratorio normalmente estas fuerzas son ejercidas por compresores que mediante aire a presión expulsan el agua de la muestra.

Retención de agua en las partículas de suelo



Al principio el agua sale casi solo por gravedad, sin embargo conforme la muestra se va secando, cada vez es mayor la fuerza que se necesita para extraer más agua. Esto es debido a que el agua se adhiere a las partículas del suelo con mucha fuerza (se ejercen atracciones a nivel de átomos). La fuerza necesaria para extraer el agua se conoce como: carga de presión hídrica, potencial, succión o presión.

Formas de humedad del suelo

Como ya vimos hay una relación entre el contenido de agua en el suelo y la fuerza con la que es retenida. Mientras menos agua, mayor es la fuerza necesaria para extraerla. Por eso se clasifica el contenido de agua tomando en cuenta su relación con el crecimiento de las plantas. De acuerdo con esto las principales formas de humedad del suelo (puntos de humedad característicos) son: saturación, capacidad de campo, punto de marchitez y agua disponible.

- 1. Saturación:** es la cantidad máxima de agua (% de humedad) que el suelo puede contener y normalmente es cercano, pero menor a la porosidad total, ya que siempre existirán espacios con aire en el suelo.
- 2. Capacidad de campo (CC):** es el agua que queda en el suelo cuando todo el exceso se ha escurrido por gravedad (luego de haber estado saturado), lo que puede tomar 1 – 2 días. La succión con la que el suelo retiene esta agua es de 0.33 bares.

- 3. Punto de marchitez (PM):** es el agua retenida en el suelo, a 15 bares de succión (solo queda agua en los pequeños poros). Su nombre se debe a que el agua es retenida con tal fuerza que no es disponible para las plantas. Si el suelo continúa secándose, la planta ya no podrá recuperarse (punto de marchitez permanente)
- 4. Agua disponible:** es el porcentaje de humedad entre capacidad de campo y el punto de marchitez. Su nombre se debe a que es el rango disponible para las plantas en forma semipermanente, ya que lo que está por encima de la capacidad de campo se pierde por drenaje en poco tiempo y lo que está por debajo del punto de marchitez no puede ser extraído por las plantas.

Puntos de humedad característicos y sus presiones

	bares (bar)	pF
Capacidad de campo (CC)	$1/3 = 0.333$	2.52
rango de tensiómetros	0.85	2.92
Punto de marchitez (PM)	15	4.18
secamiento al aire	1013	6
secamiento al horno	10000	7

Representación de la humedad del suelo

La manera más apropiada para expresar el contenido de humedad del suelo es en forma de porcentaje en relación con el volumen del suelo (contenido volumétrico), ya que considera la densidad aparente. Esto quiere decir que si una muestra de suelo presenta el 50% de humedad, la mitad del volumen total estará ocupado por agua. Este contenido de humedad se representa gráficamente relacionando la humedad del suelo con la carga de presión o pF.

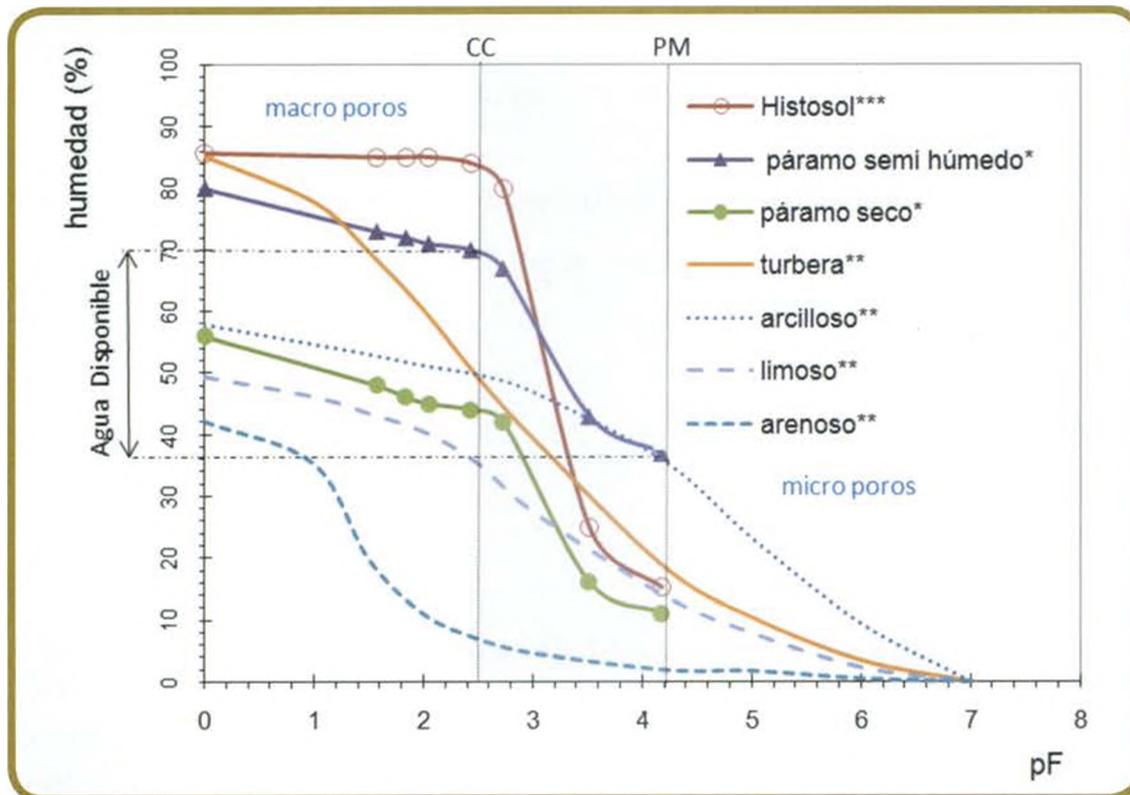
También se suele representar como porcentaje en relación con el peso (o más correctamente "masa") o como **lámina de agua** en milímetros ($1\text{mm} = 1\text{lt}/\text{m}^2$). Si el contenido de agua se lo calcula en relación al peso se denomina contenido gravimétrico.

En el gráfico se observan curvas de retención de humedad características para algunos suelos tomados como referencia. A modo de comparación se presenta un suelo de páramo seco y uno de páramo semi-húmedo.

Según la cantidad de precipitación el rango para un páramo seco esta entre los 623.5 – 1196.5 mm y para un páramo semi-húmedo entre 1196.5 – 1770 mm anuales⁴⁹.

Curvas de retención de humedad para algunos suelos ^{50 51 52}

El rango de agua disponible corresponde al suelo de páramo semi-húmedo



Podemos ver las diferencias en el comportamiento del suelo frente a la presión con la que se extrae o retiene el agua, estas diferencias responden principalmente al tipo de textura, porosidad y cantidad de materia orgánica.

El suelo con el mayor contenido de agua a saturación es precisamente un suelo de pantano (Histosol) cuyo contenido de materia orgánica es el más alto de todos los tipos de suelo.

49 Rangel, 2000.

50 Borja, 2006.

51 Dirksen, 1999.

52 PROMAS, 2009.

Además se observa que un suelo arenoso pierde gran parte de su humedad más allá de pF 1, lo que nos indica que para esta clase textural de suelo predominan los macroporos.

En la tabla siguiente se dan algunos datos de 3 tipos de suelo cuyas curvas pF se presentan en el gráfico anterior.

**Comparación de 3 suelos representados en las curvas pF,
da = densidad aparente, MO = materia orgánica,
k_s = conductividad hidráulica saturada**

	da (g/cm³)	MO (%)	k_s (cm/h)	pH	arena (%)	arcilla (%)	porosidad (%)
Páramo seco	1.04	5.26	4.77	5.7	73	6.95	60.8
páramo semi-húmedo	0.48	13.4	0.87	4.75	36.2	30.1	81.9
Histosol	0.11	52.72	0.39	4.8	-	-	95.8

En la curva pF se consideran 3 zonas según la presión

1. pF menores a 2: predominan los macroporos en la retención de agua.
2. pF entre 2 y 4: predominan los mesoporos.
3. pF mayores a 4: predominan los microporos (arcillas)

De esta manera, analizando la forma de las curvas pF, podemos saber qué tipo de poros predominan en el suelo, como en el caso de los suelos arcillosos en donde debido a su importante contenido de microporos, aún a presiones altas, el agua permanece en las partículas mucho más que en otros suelos.

Capacidad de retención de agua

La cantidad de agua que pueda contener un suelo está determinada principalmente por la textura, contenido de materia orgánica, composición de la fracción mineral y orgánica, y el arreglo que presentan las partículas del suelo (estructura).

La retención de agua en suelos de páramo puede ir desde 90 % al punto de saturación y disminuir hasta 50 – 30 % al punto de marchitez⁵³ lo cual es mucho más alto en comparación con otros suelos.

La enorme capacidad de retención de agua, de los suelos del páramo, es debida principalmente a la materia orgánica⁵⁴. Se han encontrado altas correlaciones entre el contenido de humedad del suelo y el porcentaje de materia orgánica⁵⁵.

Tanta agua puede ser retenida, gracias al gran volumen de *mesoporos* y *microporos*. Estos poros se encuentran dentro de los agregados, cuya formación se ve incrementada por la materia orgánica y los complejos que forma con metales y minerales⁵⁶.

Los suelos jóvenes -especialmente los que se clasifican como Andosoles- poseen una cantidad más grande de macroporos en comparación con microporos y mesoporos. Por otro lado, los suelos más desarrollados tienen una cantidad mayor de microporos y mesoporos lo que contribuye a que este tipo de suelos posean una mayor capacidad de retención de agua⁵⁷.

La arcilla alófana (en los suelos que la contienen) también contribuye a la alta capacidad de retención de agua, debido a que las partículas de tamaño muy fino y las estructuras esféricas huecas, pueden acomodar moléculas de agua en los poros internos y externos⁵⁸.

Los suelos de páramo siempre se mantienen húmedos bajo condiciones naturales y se consideran como los principales responsables del mecanismo de regulación hídrica en estos ecosistemas, sin embargo la vegetación y el clima también tienen mucho que ver.

53 Buytaert, 2004; Buytaert et al., 2005.

54 Buytaert et al., 2006c.

55 Borja, 2006; Buytaert et al., 2006c.

56 Shoji et al., 1993.

57 Shoji et al., 1993.

58 Henmi, 1991.

Aún cuando en las zonas bajas se experimenten condiciones de sequía, se ha observado que el suelo de páramo jamás baja de cierto contenido de humedad.

Para ilustrar lo anterior mencionaremos un experimento realizado en una zona del sur de Ecuador, en donde se emplearon sensores de TDR, para determinar humedad en suelos de páramo, durante un período de 9 meses de monitoreo continuo, registrando datos cada 15 minutos. Según los resultados el suelo jamás bajó del 65 % de contenido de humedad y normalmente se mantiene en un rango de 70 – 80 % ⁵⁹.

Sin embargo no se conoce mucho sobre el límite de secamiento a partir del cual el suelo ya no puede rehidratarse y recuperar sus condiciones iniciales (secamiento irreversible).

Determinación del contenido de humedad del suelo

El contenido de humedad del suelo puede calcularse utilizando las siguientes relaciones:

Humedad gravimétrica (relación entre la masa de agua y la masa de suelo seco)

$$\theta_m = \frac{M_{sh} - M_{ss}}{M_{ss}} 100$$

Donde: M_{sh} = masa del suelo húmedo (g)

M_{ss} = masa del suelo seco (g)

$M_{sh} - M_{ss}$ = masa de agua

θ_m = contenido gravimétrico de agua del suelo (%)

Humedad volumétrica (relación al volumen)

$$\theta_v = \theta_m da$$

Donde: θ_v = contenido volumétrico de agua del suelo (%)

da = densidad aparente

⁵⁹ Borja et al., 2008.

Importancia de la curva de retención de humedad del suelo

La curva de retención de humedad, debido a que depende de variables como: densidad aparente, textura, estructura, distribución del tamaño de poros y materia orgánica, refleja perfectamente la interacción de todas ellas.

Solo mirando la forma de la curva es posible tener una buena idea del tipo de textura predominante en el suelo, de su contenido de materia orgánica, de la disponibilidad de agua para las plantas, si predomina la textura sobre la estructura o viceversa.

Uno de los usos más importantes de la curva de retención de agua en suelos de páramo ha sido para determinar niveles de su alteración, aunque también se usa para conocer el volumen y la distribución de los poros, la capacidad de aireación para las raíces y espacio poroso y el agua aprovechable para las plantas.

Esto se basa en que cada suelo tiene una curva muy característica de retención de humedad por lo que si comparamos curvas de suelos inalterados con las de suelos alterados es posible encontrar diferencias, que dependerán del nivel y del tipo de alteración, siendo la alteración más importante la que se da a nivel de estructura del suelo.

Es posible estimar la curva de retención de humedad para suelos de páramo empleando ecuaciones que se basan en datos de textura, materia orgánica y densidad aparente (Funciones de Edafo-Transferencia)⁶⁰.

ACTIVIDAD 6: Determinación del contenido de humedad del suelo

Las mismas muestras y cálculos que se hicieron para determinar la densidad aparente nos servirán para esta actividad.

1. Es importante pesar la muestra húmeda más el cilindro y anotar el resultado. Esto nos dará una idea de la humedad "actual" o del contenido de agua que el suelo tenía en el momento de tomar la muestra y que dependerá en este caso de condiciones ambientales y del clima (cercanía del nivel freático, lluvias anteriores).

⁶⁰ Borja, 2006.

- Una vez que las muestras se han pesado (humedad actual), se procede a saturar la muestra. Para esto se coloca con cuidado sobre una bandeja con agua, de tal manera que el nivel de agua en la bandeja no sobrepase al cilindro con la muestra. Para que la muestra no se dañe se puede colocar un pedazo de papel filtro o tela en la parte inferior del cilindro, con la ayuda de una liga para sujetarlo. Se deja que se saturen las muestras por algunos días hasta que aparezcan "brillantes" en su parte superior. El tiempo de saturación depende de la textura del suelo: en suelos muy arcillosos este tiempo puede ser de hasta varias semanas, mientras que para un suelo arenoso es suficiente con un día.

Foto: Pablo Borja



Foto: Pablo Borja

- Se procede a secar la muestra y pesarla de la misma manera que se hizo en la actividad en la que se determinó la densidad aparente.



Foto: Pablo Borja

Este es un ejemplo de un cálculo realizado para determinar la humedad de un suelo:

- Masa del cilindro con la muestra húmeda = 184.1 g (para determinar la humedad que tenía el suelo en ese momento)
- Masa del cilindro con la muestra saturada = 208.4 g
- Masa del cilindro con muestra luego del secado = 126.5 g
- Masa del cilindro = 91.5 g
- Volumen del cilindro = 100 cm³
- Masa del suelo húmedo = 184.1 – 91.5 = 92.6 g
- Masa del suelo saturado = 208.4 – 91.5 = 116.9 g
- Masa del suelo seco (M_{ss}) = 126.5 – 91.5 = 35 g
- $d_a = 35 / 100 = \mathbf{0.35}$ g/cm³
- $\theta_{m(actual)} = ((92.6 - 35)/35) \times 100 = 164.6 \%$
- $\theta_{m(sat)} = ((116.9 - 35)/35) \times 100 = 234 \%$
- $\theta_{v(actual)} = 0.35 \times 164.6 = \mathbf{57.6 \%}$
- $\theta_{v(sat)} = 0.35 \times 234 = \mathbf{81.9 \%}$

Materiales para la experiencia: Los mismos usados para la actividad 5.

Permeabilidad

Se denomina así a la facilidad con la cual el agua pasa a través de la capa de suelo. La forma en la que los agregados están ordenados en un suelo de páramo, facilita el movimiento del agua: la velocidad con la que el agua se infiltra en el suelo.

Por las características de textura y principalmente debido a la estructura, **los suelos de páramo poseen una alta permeabilidad.** Otra de las razones es la elevada microporosidad de suelos de origen volcánico, que varía entre el 60 y 90 %⁶¹.

Para definir la permeabilidad, se utiliza la **conductividad hidráulica**, (saturada y no saturada) que describe la velocidad con la que el agua puede moverse dentro del suelo y se expresa en cm/h.

⁶¹ ISSS Working Group RB, 1998.

La conductividad hidráulica saturada nos da una idea de la habilidad del suelo (saturado) de permitir el paso de agua. Se utiliza en diseños de riego y drenaje y en cálculos para estimar la erosión del suelo sobre la base de que si la lluvia excede la capacidad del suelo de recibir agua, se producirá escorrentía superficial y en consecuencia arrastre de partículas del suelo.

En la foto siguiente se muestra uno de los métodos más sencillos para estimar la k_s en campo. Este método se denomina **pozo invertido** y consiste en medir la velocidad con la que el nivel de agua baja en un pozo.

Para esto se toman medidas de la geometría del pozo y se registran cambios en el nivel de agua por unidad de tiempo con la ayuda de un flotador y un cronómetro. Estos datos se utilizan en una ecuación para estimar la k_s de la capa de suelo considerada.



Valores promedio de conductividad hidráulica saturada pueden ser de 1.3 cm/h para suelos de páramos húmedos⁶² y de 5 – 6 cm/h para algunos suelos de páramos secos⁶³.

62 Buytaert, 2004.

63 Poulénard et al., 2001.

En condiciones en las que el suelo no está saturado, la conductividad hidráulica (no saturada) cae abruptamente, esto significa que bajo estas condiciones el agua se mueve de manera muy lenta a través del suelo. Este podría ser uno de los mecanismos responsables de la capacidad elevada de regulación de estos suelos, permitiendo que aunque exista mucha agua almacenada, esta no sea liberada con facilidad.

El gráfico siguiente ilustra el proceso de infiltración: cuando el agua penetra en el suelo, el suelo aumenta su contenido de humedad, lo que produce una disminución en la tasa de infiltración.

Al principio el agua se mueve rápidamente por los poros hasta que estos se van llenando, entonces la velocidad baja. Esta disminución se da en el tiempo hasta alcanzar el equilibrio, por lo que la curva se muestra constante a partir de cierto valor, el cual representa la conductividad hidráulica del suelo.

Curva de infiltración (cm/h)

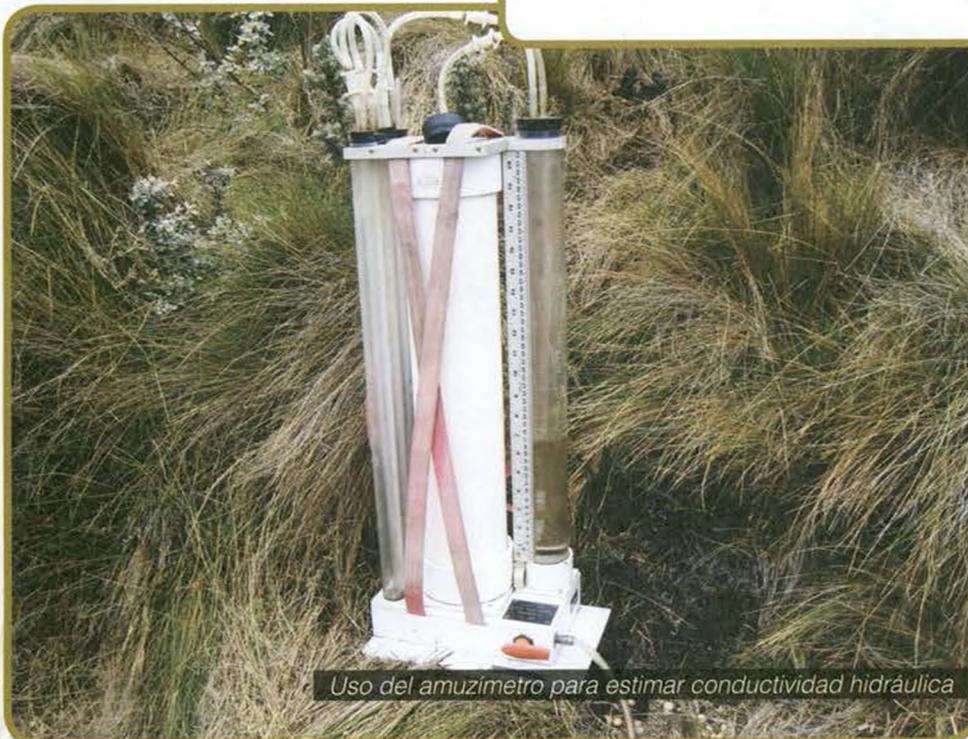
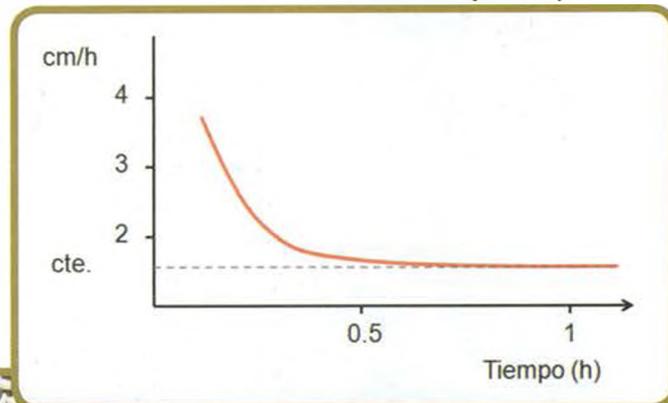


Foto: Pablo Bojja

¿Cuáles son las características químicas de los suelos de páramo?

Las características de los suelos del páramo son:

- pH
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- Saturación de bases (PSB)
- Nutrientes, minerales y metales

pH (reacción del suelo)

Recordemos que la reacción del suelo es la característica que define el grado de acidez o alcalinidad que presenta y se expresa por medio del pH.

La escala de pH va de 0 a 14.

El valor de 7: pH neutro como el del agua,

Valor menor de 7: pH ácido y

Valor mayor de 7: pH básico o alcalino.

Por lo general se considera que un pH entre 6 y 7 es adecuado para la agricultura. Esta característica es una de las más importantes ya que muchos procesos (incluyendo químicos, físicos y biológicos) están condicionados por el pH.

Por ejemplo:

- actividad microbiana,
- tasa de descomposición de la materia orgánica,
- toxicidad de algunos elementos y
- disponibilidad de nutrientes.

El pH es un buen indicador del estado de fertilidad de un suelo y puede darnos muchas pistas acerca de otras propiedades; es como la temperatura para el cuerpo humano, por lo cual, así como la utiliza un médico, nosotros podemos usar el pH para determinar alguna anomalía a nivel del suelo.

Por lo general los suelos de páramo son ácidos debido a los ácidos orgánicos que contienen, sin embargo el proceso por el cual estos suelos llegan a ser ácidos es un poco más complejo.

La principal causa de acidez en el suelo es el hidrógeno (H^+) y el aluminio (Al^{+++}). El H puede originarse a partir de las mismas plantas, de los minerales arcillosos, de la materia orgánica y por exceso en la aplicación de fertilizantes. En muchos suelos de páramo el Al constituye una de las principales fuentes de acidez.

Valores de pH inferiores a 5.5 restringen el crecimiento de las plantas generalmente por deficiencia en ciertos nutrientes y esto es debido a que cada elemento (nutriente), en el suelo, tiene un rango de pH, en el que su disponibilidad es óptima para las plantas, mientras que si se encuentra por debajo o sobre este rango presentará deficiencias o toxicidad. Los principales problemas debidos a la acidez son la toxicidad de Al, deficiencias de calcio (Ca) y/o magnesio (Mg) y toxicidad de manganeso (Mn).

En muchos suelos de páramo la carga que éste pueda tener (si es positiva o negativa), es dependiente del pH lo que significa que su carga es variable⁶⁴.

Por lo general el suelo presenta cargas negativas (debido a las arcillas y la materia orgánica) y es gracias a estas cargas, a nivel de la superficie de las partículas de suelo, que se puede dar el intercambio y almacenamiento de elementos de carga positiva (cationes) como calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+), y que son muy importantes para la fertilidad de las plantas.

Muchos suelos de páramo se caracterizan por su "capacidad buffer" que consiste en la resistencia que presenta el suelo a cambiar su pH, dentro de un determinado rango. Esto quiere decir que si se desea subir el pH, mediante la adición de cal, casi no se observarán cambios aunque se aumente la aplicación, hasta rebasar cierto valor de cantidad aplicada.

Para ilustrar esto podemos hacer referencia a un estudio en suelos de Colombia donde dentro de un rango de aplicación de cal de 10 a 40 T/ha, no se produjo ningún incremento en el pH (⁶⁵). La capacidad buffer depende del tipo y de la cantidad de coloides (arcillas y materia orgánica) presentes en el suelo.

Los valores promedio de pH para suelos de páramo se encuentran dentro del rango de 5 – 7, aunque no es raro hallar valores menores como los reportados para suelos del sur de Ecuador, los cuales se encuentran dentro

⁶⁴ van Ranst, 1997.

⁶⁵ Muñoz, 1984.

de un rango de 3.9 – 5.8 ⁶⁶. Para suelos del norte de Ecuador (Chimborazo) el rango se encuentra entre 5.3 – 6.3 ⁶⁷.

El pH también puede condicionar la formación de arcillas alófanas, es así que, con valores superiores a 5, es factible el desarrollo de este tipo de arcillas a partir del aluminio liberado por la destrucción y meteorización de las cenizas volcánicas ⁶⁸. Mientras que con pH menor a 5, se forman complejos entre humus y metales como hierro (Fe) y aluminio (Al). Al respecto se considera que las arcillas alófanas no son comunes en horizontes con pH menor a 4.8⁶⁹.

Esta es una de las razones por las que no se encuentran arcillas alófanas en los suelos de zonas de volcanismo antiguo ni en zonas de páramos muy húmedos.

Los valores de pH corresponden a los determinados en el agua (H₂O). Sin embargo en suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas es común determinarlo además en soluciones como NaF (fluoruro de sodio) y KCl (cloruro de potasio) para identificar características específicas de estos suelos con fines de clasificación de suelos (Taxonomía).

ACTIVIDAD 7: Determinación del pH

1. En un recipiente mezclar suelo seco y agua destilada en una proporción de 1:1. Mezclar suficiente suelo y agua, de manera que la determinación se pueda hacer en el agua que queda por sobre el material del fondo. Utilizar una cuchara para mezclar y tener cuidado de no tocar el suelo con las manos ya que esto podría alterar los valores del pH a determinar.
2. Agitar muy bien de tal manera que el agua y el suelo se mezclen completamente.
3. Introducir una tira de papel tornasol en el agua de la mezcla.
4. Comparar el color que ha adquirido el papel tornasol con los patrones de color para determinar el valor de pH del suelo. En el caso del ejemplo de la foto el valor es 4 – 4.5.

⁶⁶ Buytaert, 2004; Borja, 2006.

⁶⁷ Borja, 2006.

⁶⁸ Buytaert, 2004.

⁶⁹ Parfitt y Saigusa, 1985.

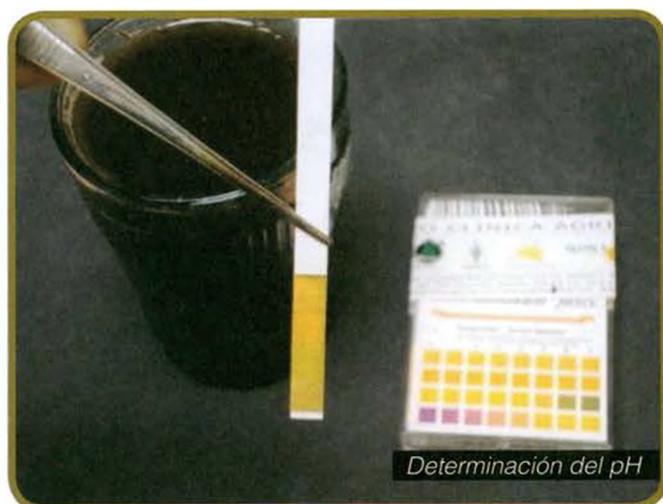


Foto: Pablo Bojja

5. Anotar los resultados

Materiales necesarios: pala, espátula, cuchara, fundas plásticas, etiquetas, papel, recipiente con agua, papel tornasol para determinar pH.

Capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases

Los iones (cationes y aniones entre los cuales hay importantes nutrientes) necesitan adherirse a partículas del suelo (arcillas) o a coloides orgánicos (humus) para que estén disponibles para ser absorbidos por las raíces de las plantas, de otra forma simplemente son "lavados" a través del suelo.

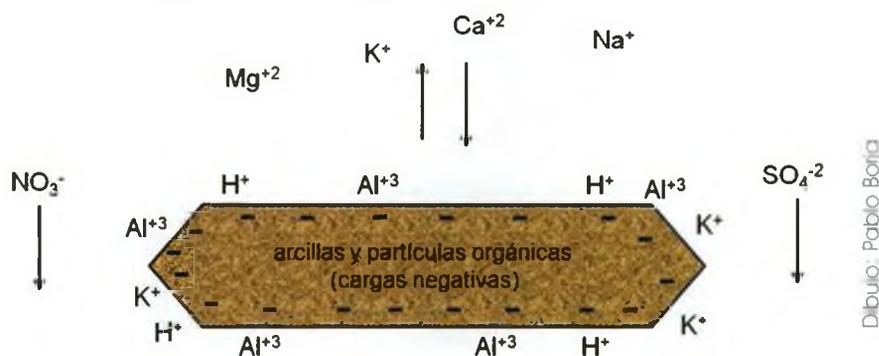
Dependiendo del tipo de partículas y de sus cargas (positivas o negativas) habrá más o menos espacios para que estos iones sean adsorbidos. Los iones positivos (cationes) se pegarán en espacios con carga negativa en la partícula del suelo, mientras que los iones negativos (aniones) se pegarán en espacios con carga positiva.

Los coloides (arcillosos u orgánicos) tienen cargas negativas y atraen cationes a su superficie como un imán, además son del tipo de partículas del suelo que presentan la mayor superficie, por lo que la cantidad potencial de iones a adherirse también será mayor. Por el contrario las partículas de arena son inertes en el sentido de que no poseen carga.

De esta forma la capacidad de intercambio catiónico (CIC) da cuenta de la capacidad del suelo para retener e intercambiar cationes.

El gráfico sugiere que mientras más cargas negativas (más posiciones) tenga el coloide, más cationes podrá retener.

Intercambio catiónico del suelo



Los iones se encuentran en la solución del suelo y pueden adherirse o salir de las partículas del suelo y es por esto que recibe el nombre de "intercambio".

Es posible tener una idea sobre la cantidad y el tipo de nutrientes de un suelo a partir de su capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el porcentaje de saturación de bases (PSB).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la medida de la cantidad máxima de cationes que puede adsorber (intercambiar) 100 g de suelo y se expresa en meq/100g (miliequivalentes / 100 gramos de suelo) o también en cmol (+)/kg (centi moles / kg de suelo).

Algunos valores de CIC para suelos de páramo:

Lugar	CIC (cmol(+)/kg)	Vegetación
Colombia ⁷⁰	60	-
Ecuador ⁷¹	55	pajonal
Ecuador ⁷²	25	almohadillas
Suelo que no es de páramo ⁷³	27	-
Venezuela ⁷⁴ , páramo de Gavidia	9.29 – 11	cultivos de papa
Venezuela ⁷⁵ , páramo de Apure	6.07 – 7.04	cultivos de trigo
Perú ⁷⁶ , Huancabamba	1.6 - 13	pajonal, bosque secundario, cultivos

70 Jaramillo, 1995.

71 PROMAS, 2009.

72 PROMAS, 2009.

73 Jaramillo, 1995.

74 Montilla et al.,2002.

75 Montilla et al.,2002.

76 INRENA, 1995.

En suelos de carga variable, como sucede con algunos suelos de páramo, los métodos de determinación de la CIC pueden sobreestimarla por lo que se suele usar en su lugar la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) que consiste en: la suma de las bases más la acidez intercambiable. La suma de los cationes Al^{+++} y H^+ representa la acidez intercambiable.

$$CICE = (Ca + Mg + K + Na) + (Al + H)$$

En algunos suelos de páramo la carga de las partículas coloidales es dependiente del pH. A pH bajo pueden desarrollarse cargas positivas en las partículas.

El porcentaje de saturación de bases (PSB) nos indica qué porcentaje de todos los cationes corresponde solo bases (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) con relación al total de la CIC. Los cationes de formación ácida son Al^{+++} y H^+ .

$$PSB = \frac{(Ca + Mg + K + Na)}{CIC} 100$$

El PSB se expresa en porcentaje (%) y es un parámetro muy importante ya que los cationes como: Ca, Mg, Na y K son esenciales en la nutrición de las plantas. Entre más ácido es un suelo, menor será el porcentaje de saturación de bases.

El PSB nos da valores numéricos de la cantidad de H intercambiable, lo cual es útil para estimar la cantidad de caliza necesaria para neutralizar la acidez del suelo.

Nutrientes, minerales y metales

Como ya se vio, estos suelos poseen propiedades de intercambio altamente variables. La carga en los suelos de páramo reside en los componentes del suelo (materia orgánica, complejos órgano-minerales y órgano-metálicos).

La capacidad de intercambio catiónico de la materia orgánica, disminuye con el pH y solo cerca del 20% de los sitios negativos se mantienen con un pH 5⁷⁷.

⁷⁷ van Ranst, 1997.

Si consideramos la saturación de bases los suelos en los páramos pueden ser *dístricos* y *éutricos*. Los *éutricos* son aquellos que tienen un PSB igual o mayor a 50 %; mientras que los *dístricos* tienen un PSB menor a 50 %.

Esto implica que los **suelos dístricos no tienen** características muy favorables de **fertilidad**, sobretodo en cuanto a cationes básicos. Se han encontrado valores muy bajos de porcentaje de saturación de bases para muestras de páramos de El Ángel, Cuenca y Azogues (menores a 5.4 %) en Ecuador⁷⁸.

Los suelos de páramo más jóvenes (depósitos recientes de cenizas), de acuerdo con algunos investigadores⁷⁹, tendrían menos de 2000 años, **son fértiles** y ricos en cationes aunque **con una capacidad de retención de agua menor**, debido a los bajos contenidos de carbono orgánico.

Las deficiencias de fósforo (P) pueden ser significativas y son el principal factor limitante para el cultivo e incluso las aplicaciones pueden ser inmovilizadas por el suelo. Esto se da principalmente en suelos que contienen alófanos y óxidos de hierro y en general por los elevados contenidos de compuestos activos de aluminio (Al) y hierro (Fe).

Se han reportado valores de fijación de fósforo superiores a 78% a excepción de los horizontes C⁸⁰. En los suelos ácidos el Al y Fe intercambiables pueden reaccionar directamente con los fosfatos, siendo mayor la fijación entre mayor sea el contenido de óxidos de Al y Fe. La fijación estará determinada por la mineralogía de las arcillas, la cantidad de arcilla, la cantidad de coloides amorfos, el Al y el Fe intercambiables, el Ca intercambiable y la materia orgánica. Los suelos formados a partir de cenizas volcánicas tienen la más alta capacidad de fijación de fósforo.

Así como ocurre con el fósforo (P), la escasez de nitrógeno (N) limita mucho la productividad ya que el fosfato y el nitrato son los dos aniones más importantes en el suelo.

Por causa de los niveles tan bajos de pH, el Aluminio (Al) puede volverse tóxico, siendo también una gran limitante para las actividades agrícolas⁸¹.

78 Poulénard et al., 2003.

79 Podwojewski y Poulénard, 2000a.

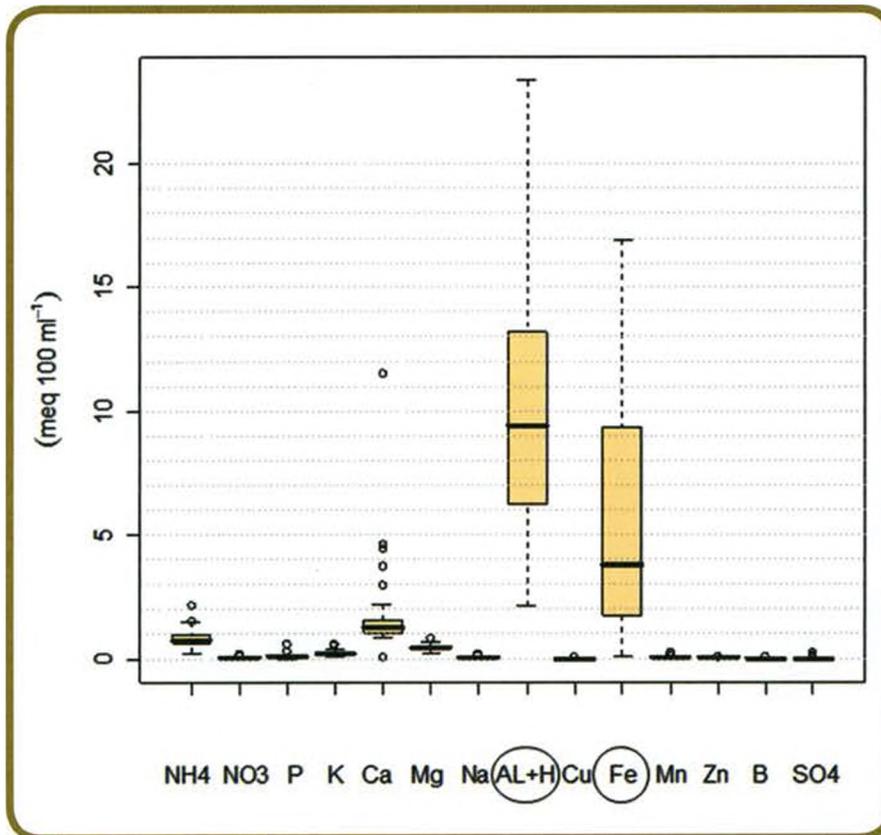
80 Buytaert, 2004.

81 ISSS Working Group RB, 1998.

También es común que estos suelos, presenten bajos niveles de Azufre (S) en forma de sulfatos.

Esto se puede observar en el gráfico, a partir de datos para suelos de Ecuador, donde se aprecia que el hierro (Fe) y el aluminio (Al) sobresalen de los demás, y efectivamente, estos dos elementos son los que más presencia tienen en estos suelos⁸².

Presencia del Fe y Al en suelos de páramo



La presencia de aluminio constituye una de las principales y más importantes fuentes de acidez en estos suelos.

82 PROMAS, 2009.

Relación entre la materia orgánica y los suelos de páramo

Una de las características más notables de los suelos del páramo es su elevado contenido de materia orgánica, lo que les confiere unas propiedades excepcionales para retener agua.

La materia orgánica es responsable de:

- **color oscuro** característico de los horizontes A de los suelos de páramo,
- **agregados** con una estabilidad estructural elevada y
- **grandes cantidades de carbono almacenadas** en el suelo (más altas que las que se encuentran en la vegetación paramera).

Los compuestos órgano-metálicos y órgano-minerales (coloides formados por: aluminio, humus y hierro) **protegen a la materia orgánica de la descomposición** al formar complejos muy estables. Además está el bajo pH (que inhibe la acción bacteriana) y la baja temperatura, que es responsable de un lento proceso de descomposición.

Acumulación de la materia orgánica

Los suelos que no contienen arcillas alofónicas pueden acumular más carbono orgánico que los suelos alofánicos⁸³. Por lo general, los suelos con arcillas alófanas son mucho más jóvenes que el resto de suelos de páramo, han tenido un menor tiempo de meteorización y por lo tanto el aluminio y el hierro, no se encuentran formando complejos con el humus. Por otro lado el hecho de que se hayan formado arcillas alófanas implica que el pH no es tan ácido (está en el rango de 5 a 7) y que el clima es menos húmedo, condiciones que favorecen la descomposición de la materia orgánica.

En zonas húmedas es posible encontrar valores de carbono (C) orgánico superiores a 40%⁸⁴.

En zonas del norte de Ecuador, en condiciones más secas, el contenido de carbono puede ser de 7 %⁸⁵.

83 Podwojewski y Poulenard, 2000a; Shoji et al., 1993.

84 Buytaert et al., 2005.

85 Podwojewski et al., 2002.

Para suelos del sur de Ecuador el promedio de materia orgánica encontrado para los primeros 30 cm, fue de 17.4 % para suelos bajo pajonal y de 52.7 % para suelos de pantanos bajo almohadillas⁸⁶.

El ecosistema de páramo es un gran reservorio para carbono y al conservarlo se evita la emisión de este elemento a la atmósfera⁸⁷.

Para una zona del sur de Ecuador, se hizo una estimación preliminar del contenido de C orgánico del suelo, y se obtuvo un valor de aproximadamente 360 T/ha⁸⁸. En la tabla se presentan datos de contenido de materia orgánica para suelos de algunos páramos de Ecuador⁸⁹.

Lugar	Materia orgánica (T/ ha)
Azuay	364
Cañar	466
Chimborazo	479
Pichincha	356
Loja	239

Para suelos de páramo natural de otra zona del sur de Ecuador se han reportado valores de 400 T/ ha⁹⁰, mientras que para páramos forestados con pino, se ha estimado en 150 T/ha sobre la base de la biomasa del suelo⁹¹.

En cuanto a suelos del norte de Ecuador⁹², se ha calculado el contenido de C en 1400 T/ha, y de 870 +- 120 T/ha hasta una profundidad de 2 m⁹³. Para suelos de la misma región se menciona que debido a la profundidad (2 m) el suelo puede alcanzar valores de 1700 T/ha, en comparación con el C de la vegetación (pajonal) que solo alcanzaría 20 T/ha⁹⁴.

86 Borja et al., 2009.

87 Hofstede, 1999.

88 Borja et al., 2009.

89 Podwojewski y Poulenard, 2000.

90 Abcouwer, 2000.

91 Aertsen y Jansen, 2006.

92 Chimner y Karberg, 2008.

93 Tonneijck, et al., 2008.

94 Hofstede, 1999.

Los suelos de páramo poseen un enorme potencial como sumideros de carbono. Los humedales forman verdaderos depósitos de materia orgánica.

Los ecosistemas de páramo constituyen enormes reservas de carbono, sin embargo casi la totalidad de esta materia orgánica se encuentra almacenada en sus suelos, debido a que la vegetación del páramo representa poca biomasa. Lo contrario ocurre con los ecosistemas de bosques en donde la vegetación es la que posee la mayor concentración de C.

¿Qué tipos de suelo podemos encontrar en el páramo?

Para referirnos a los tipos de suelos en el páramo, preferiremos utilizar el sistema de clasificación de la **Base Mundial de Referencia para los Recursos de Suelo** (WRB – FAO) porque consideramos que es el que se adapta mejor a un análisis cartográfico, en escala intermedia y presenta un menor grado de dificultad para su comprensión.

En tanto el sistema de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) es más apropiado para los estudiosos del suelo (edafólogos) por su nivel de complejidad.

Los suelos más comunes del páramo son conocidos localmente, como **suelos negro - andinos** y de acuerdo con los dos principales sistemas de clasificación internacional se denominan:

Andosoles (Grupo de suelos) según la WRB - FAO ⁹⁵ o

Andisoles (Orden de suelos) según la USDA ⁹⁶.

La palabra **Andosol**, de origen Japonés, significa **suelo negro** (an = negro, do = suelo), y no tiene relación con “Andes” como a veces suele creerse.

Como ya se mencionó antes, en el páramo es posible encontrar varios tipos de suelo, no solo los Andosoles, cuya ocurrencia está condicionada por los diferentes factores de su formación. Entre los más importantes pueden encontrarse grupos de suelos como:

- **Histosoles:** suelos constituidos por materiales orgánicos poco descompuestos.

⁹⁵ ISSS Working Group RB, 1998.

⁹⁶ Soil Survey Staff, 2006.

- **Umbrisoles:** suelos ácidos con un horizonte superficial grueso y rico en materia orgánica.
- **Cambisoles:** suelos que muestran alteración edáfica y que van desde débiles a moderadamente desarrollados.
- **Leptosoles:** suelos muy delgados.
- **Regosoles:** suelos muy jóvenes desarrollados sobre depósitos de roca no excesivamente consolidada (material suelto).

Sin embargo estos se encuentran en porcentajes menores con relación a los Andosoles y frecuentemente en asociación con ellos.

Por ejemplo, para los páramos de una zona del Sur de Ecuador⁹⁷ se encontraron los siguientes porcentajes de superficie cubierta por los principales grupos de suelos, en un rango de altitud de entre 3520 y 3850 msnm.

- Andosoles (80 %),
- Histosoles (17 %) y
- Cambisoles (3 %)

Dentro de la clasificación de la USDA, los nombres de algunos órdenes de suelos del páramo son:

- **Andisoles:** equivalente a los Andosoles de la FAO (páramos de Ecuador, Colombia, Perú).
- **Histosoles:** son los Histosoles de la FAO (en pantanos de la mayoría de páramos, aunque no se limitan solo a estos ambientes).
- **Inceptisoles:** suelos jóvenes poco o medianamente desarrollados, con uno o más horizontes en donde algunos minerales como carbonatos han sido removidos, el desarrollo de los horizontes es mínimo (páramos de Venezuela, Perú, Ecuador, Colombia).
- **Entisoles:** suelos minerales jóvenes, sin desarrollo de perfiles y de poca profundidad, (no poseen horizontes de diagnóstico). Pueden estar formados por material parental rocoso. Son los suelos menos evolucionados. (páramos de Venezuela, Perú, Colombia, Ecuador)

97 PROMAS, 2009.

Equivalencias entre la USDA y la WRB - FAO

USDA	WRB
Andisoles	Andosoles
Entisoles	Regosoles, Leptosoles
Histosoles	Histosoles
Inceptisoles	Cambisoles
Histosoles	Histosoles

Andosoles

A los Andosoles de páramo, se los encuentra en zonas por sobre los 3000 m s.n.m., a lo largo de la cordillera de los Andes. Sin embargo en otras regiones, es posible localizarlos desde menor altura, un ejemplo es Guatemala en donde se encuentran Andosoles bajo cultivos de caña de azúcar en un rango de 50 – 800 m s.n.m.⁹⁸

Los Andosoles son altamente porosos, de coloración oscura desarrollados a partir de depósitos piroclásticos (materiales de origen volcánico: cenizas, tobas, pumita), aunque es posible encontrarlos en asociación con materiales no volcánicos. Poseen altos contenidos de aluminio (Al), la fijación de fósforo (P) es alta debido a reacciones que lo hacen insoluble y no disponible para las plantas.



Foto: Pablo Borja

98 Orozco et al., 1995.

A pesar de que poseen una excelente capacidad de retención de agua y en general se consideran fértiles en condiciones naturales, su fuerte reacción con los fosfatos hace que la agricultura, sin fertilización, sea problemática.

Los Andosoles presentan propiedades únicas llamadas "propiedades ándicas". Estas se manifiestan en el **horizonte ándico** que consiste en:

... la capa superficial de color negro, de varios centímetros (30 cm), formada a partir de materiales de origen volcánico (aunque se pueden encontrar en materiales no volcánicos y no solo en la superficie), con una densidad aparente baja (1 g/cm^3), alta retención de fósforo (P) y grandes cantidades de aluminio (Al) y hierro (Fe).

Los horizontes ándicos pueden tener diferentes propiedades, dependiendo del tipo de proceso de meteorización dominante que esté actuando sobre el material del suelo.

Los Andosoles, se pueden clasificar en tres subtipos de acuerdo con los siguientes calificadores:

1. horizonte ándico dominado por la presencia de vidrio volcánico y otros **minerales primarios** (aquellos que no han sufrido cambios desde su formación inicial), por textura gruesa y elevada densidad aparente ($> 0,9 \text{ g/cm}^3$) (**Andosol Vitrándico**, vitr = vidrio);
2. horizontes ándicos en donde los minerales alofánicos son predominantes. El pH es de tipo ácido a neutro con valores que van de 5 a 7 (**Andosol Silándico**, sil = sílice), y
3. horizontes ándicos, en los que predominan complejos formados por aluminio y humus. El pH va desde extremadamente ácido a ácido, con valores inferiores a 5 (**Andosol Aluándico**, alu = aluminio).⁹⁹

⁹⁹ Van Ranst, 1997.

Histosoles

Histosol, del griego histos = tejido
También se conocen como suelos de turba o suelos de pantano

Otro de los grupos de suelo que ocupa un lugar importante en el páramo, es el de los **Histosoles**, que se han desarrollado gracias a la **acumulación de materia orgánica no descompuesta** o que lo han hecho solo parcialmente (sucesivas capas de restos de plantas que se han acumulado más rápido de lo que se pueden descomponer) debido a:

- bajas temperaturas,
- condiciones de elevada humedad (casi siempre saturados de agua lo que evita la descomposición aeróbica) y
- bajo pH.

Al estar formados casi en su totalidad por materia orgánica estos suelos presentan densidades aparentes muy bajas (0.04 – 0.2) g/cm³.

Los Histosoles tienen una capacidad de retención de agua muy alta y supera a la de los Andosoles.



Foto: Pablo Botija

Se encuentran en zonas planas o depresiones en donde se forman pantanos con vegetación compuesta por especies pequeñas adaptadas a condiciones de extrema humedad y acidez (musgos, almohadillas, pequeñas hierbas, líquenes, etc.)

Muchos Histosoles están relacionados genéticamente con los Andosoles e incluso, su diferenciación es casi imposible sin la ayuda de análisis químicos muy específicos.

Para ser considerado como Histosol, un suelo debe tener más de 40 cm de material orgánico, y empezar a no más de 30 cm desde la superficie. Si se encuentra directo sobre roca continua o fragmentada, debe tener por lo menos 10 cm de grosor.

Además, el material orgánico de suelo debe tener un contenido de **carbón orgánico** (en relación con el peso) de 12 a 18 % o más (más del 20 % de materia orgánica), dependiendo del contenido de arcilla.

En cuanto al contenido de humedad, debe permanecer saturado por lo menos 30 días consecutivos al año. Todos estos criterios definen al **horizonte hístico**.

Los horizontes hísticos presentan diferentes estados de descomposición de la materia orgánica, criterio utilizado para clasificarlos en subcategorías de acuerdo a los siguientes calificadores:

1. horizontes hísticos que tienen, después de frotar el material orgánico, menos de 1/6 (en volumen) de tejido vegetal reconocible (Histosol Sáprico);
2. horizontes hísticos donde, luego de frotar el material orgánico, quedan de 1/6 a 2/3 como restos reconocibles de tejido vegetal. La situación es intermedia entre sáprico y fíbriico (Histosol Hémico) y
3. horizontes hísticos donde, luego de frotar el material orgánico, 2/3 o más consiste en tejido vegetal reconocible (**Histosol Fíbriico**)¹⁰⁰ .

¹⁰⁰ IUSS Working Group WRB, 2006.



Foto: Pablo Borja

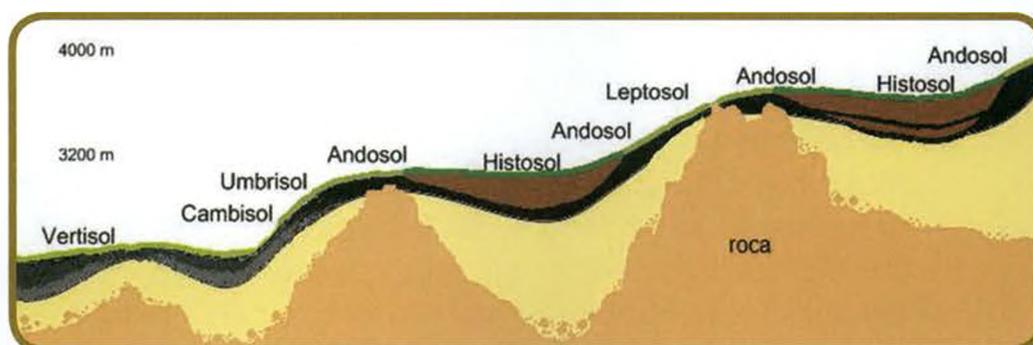
Material orgánico de un Histosol

Sin embargo para el caso de los Histosoles existen más de 30 calificadores según los cuales se puede definir mejor la clasificación de este grupo de suelos.

Tanto los Andosoles como los Histosoles son muy importantes desde el punto de vista ecológico, por las grandes cantidades de carbón orgánico que almacenan.

La sucesión y relación de los suelos, en el paisaje de páramo, puede ser típicamente así:

Relación entre el paisaje, tipo de suelo y profundidad



Dibujo: Pablo Borja

¿Por qué los suelos del páramo son vulnerables?

Porque son tan sensibles a los cambios como las especies animales y vegetales que habitan el páramo, debido a que durante miles de años se han adaptado a las condiciones muy particulares y en algunos casos extremas del ecosistema.

Por lo tanto las mismas características que hacen a los suelos de páramo tan únicos son la causa de su alto grado de vulnerabilidad. Las principales son:

- **Alta capacidad de retención de agua:** cuando se drenan o secan no recuperan su condición original. Su rol como reguladores hídricos puede alterarse. Incluso, el ritmo con el que ciertas especies vegetales exóticas transpiran agua desde el suelo, podría ocasionar cambios aunque no se conoce todavía a qué nivel.
- **Baja densidad aparente y porosidad elevada:** cuando se secan son sensibles a la erosión, no soportan labranza mecanizada ni la labranza profunda, su estructura se destruye, se compactan, se vuelven más friables y pierden su capacidad de retención de agua. El pisoteo del ganado también puede alterar estas características cuando se da en forma intensiva.
- **Altos contenidos de materia orgánica:** las alteraciones pueden ocasionar descomposición de la materia orgánica y liberación del carbono del suelo.
- **Bajo pH:** siendo el pH ácido de estos suelos una fuerte limitante para la agricultura, es común que se busque incrementar sus valores hasta niveles aptos para el cultivo. Al hacer esto se alteran muchos procesos químicos, la materia orgánica comienza a descomponerse, se crean condiciones para que otras especies vegetales colonicen el páramo. Los exudados de raíces de plantas del páramo (sustancias liberadas) son responsables de algunas de las características químicas de muchos suelos, por lo que nuevas especies podrían representar cambios a este nivel.
- **Carga del suelo dependiente del pH:** al variar el pH, las partículas del suelo pueden cambiar el tipo de iones que retienen en su superficie. Normalmente las plantas no pueden tomar con facilidad ciertos elementos del suelo, por lo que al variar la carga de las partículas esos elementos ya podrían ser más fácilmente aprovechados por las raíces, ocasionando una disminución de la fertilidad natural del suelo.

- **Bajas temperaturas del ecosistema:** al igual que muchas especies del ecosistema el suelo es sensible a cambios en la temperatura. Muchos procesos biológicos dependen de la temperatura, por lo que un aumento de temperatura, también puede aumentar la actividad microbiana en el suelo, la mineralización de la materia orgánica, puede provocar cambios en el ritmo de meteorización.

Existen algunas actividades que pueden constituir potenciales fuentes de riesgo para la conservación del páramo. Estas dependerán sin duda del tipo de clima de la zona, del tipo de suelo, de la intensidad y del tiempo durante el cual se lleve a cabo. Entre las más importantes podemos mencionar: agricultura, ganadería, quemas, forestación, turismo, minería. También debemos considerar el cambio climático.

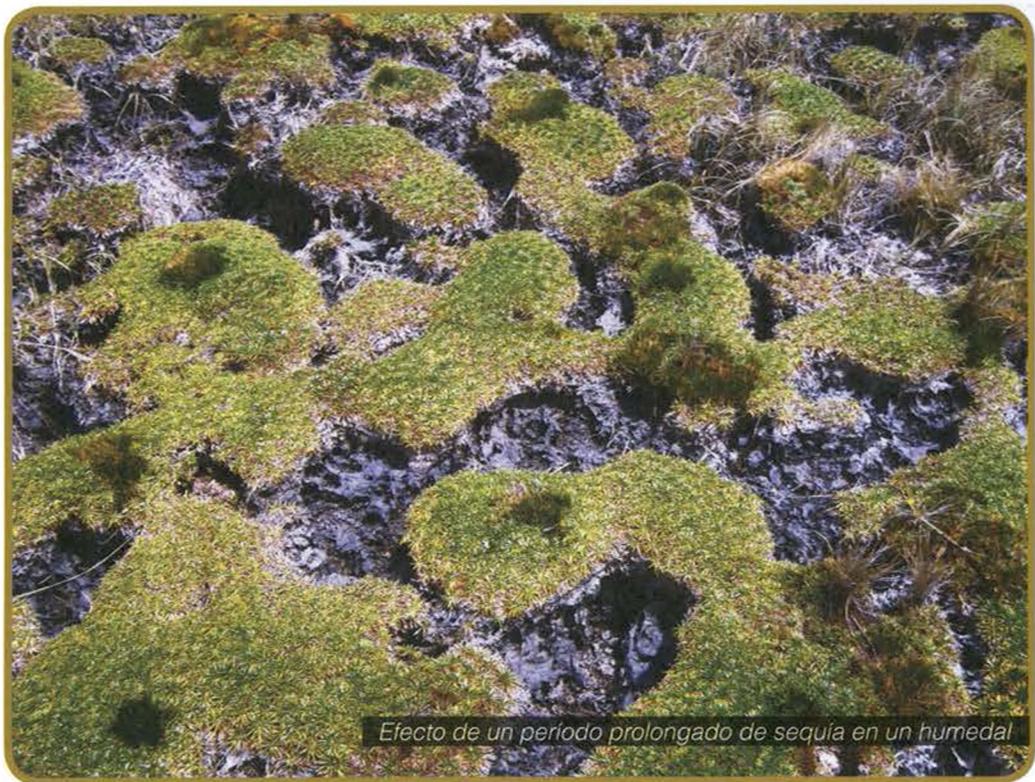


Foto: Pablo Borja

Efecto de un período prolongado de sequía en un humedal



Foto: Pablo Borja

Dstrucción de la cobertura vegetal y la estructura de un suelo de pantano por prácticas de motocross



Foto: Pablo Borja

Excavación para construir un reservorio



Foto: Pablo Bojija

Como se mencionó, debido a su alta capacidad para retener agua, esta característica constituye una de las más importantes por el rol que representa en la hidrología del ecosistema y que por lo tanto ha recibido mucha atención.

La mayoría de las investigaciones se han concentrado en la evaluación del efecto que algunas de las actividades humanas tienen sobre la capacidad de retención de agua del suelo. Además esta capacidad de retención está fuertemente relacionada con características como la cantidad de materia orgánica, densidad aparente y porosidad.

Los suelos de páramo siempre permanecen húmedos lo que implica que no están adaptados a condiciones de secamiento. Aunque por lo general son suelos estables y resistentes a la erosión en condiciones naturales, después de haber sido expuestos a secamiento, pueden presentar¹⁰¹:

- un alto valor de deshidratación irreversible,
- alta susceptibilidad a la erosión,
- alta friabilidad (fragilidad de los agregados),
- estado polvoso,
- baja densidad y
- flotamiento de los agregados.

¹⁰¹ Jongmans et al., 1995.

Su baja densidad aparente los hace sensibles a la compactación. Son suelos que presentan una baja resistencia mecánica y la tendencia a volverse líquidos bajo presión, por lo que **no son adecuados para labores agrícolas con maquinaria pesada**¹⁰².

La **alta permeabilidad**, resultado de un **material muy poroso**, hace que estos **suelos no sean muy susceptibles a la erosión por agua**. Sin embargo, Andosoles altamente hidratados, son una excepción a esta regla, sobre todo cuando se secan excesivamente¹⁰³. Como consecuencia pueden formarse materiales **hidrofóbicos**, que reducen drásticamente la velocidad de infiltración en el suelo disminuyendo la permeabilidad.

Los cultivos pueden causar secamiento irreversible y condiciones de repelencia al agua, en las partículas del suelo (hidrofobicidad), de manera que estas flotan y son arrastradas (erosión hídrica).



Foto Pablo Borja

Evaporación en un suelo luego de haber sido arado con tractor

¹⁰² ISSS Working Group RB, 1998.

¹⁰³ van Ranst, 1997.

La labranza también puede contribuir a la degradación de la estructura del suelo, debido a la compactación y a la reducción de la materia orgánica, que reemplaza las estructuras originales por bloques sub-angulares y angulares.

Además ciertos cultivos como el de papa requieren de aplicaciones frecuentes de agroquímicos, que cuando son manejados de manera poco técnica, pueden ocasionar que una buena parte vaya a parar al suelo y posteriormente al agua alterando la calidad de estos dos elementos.

A nivel del suelo el pH puede verse alterado por el excesivo uso de fertilizantes, existiendo el riesgo de que el suelo se acidifique aún más.

Los cambios de uso de suelos en páramos, pueden tener como consecuencia alteraciones en su comportamiento hidrodinámico: escorrentía más rápida, y aumento de las velocidades de flujo.

En un estudio¹⁰⁴, se encontró que la conductividad hidráulica saturada, la infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos, correspondientes a una microcuenca alterada, resultaron ser más altas en comparación con una inalterada, lo cual concuerda con resultados encontrados por otros investigadores.

Sin embargo, aquí es muy importante considerar la intensidad y el tiempo durante el cual el suelo ha sido cultivado. Por otro lado, en este estudio se consideró la curva completa de retención de humedad que da una idea más real de lo que sucede con la capacidad de retención de agua del suelo, analizando tanto la parte húmeda (a presiones menores) como la seca (a las presiones más altas) de la curva.

Si se analizan valores individuales de la curva pF obviamente para cada uno de ellos, se tiene una disminución en el contenido de humedad correspondiente a la cuenca alterada. Por otro lado una buena parte de esa agua almacenada permanecería inactiva o retenida de tal forma que no estaría disponible.

El **tiempo** es un **factor clave durante los procesos de degradación del suelo**, ya que de este depende que el suelo pueda recuperarse antes de que los daños sean permanentes.

¹⁰⁴ Buytaert et al., 2006a.

En suelos cultivados durante 70 años, la capa orgánica puede desaparecer casi por completo¹⁰⁵.

Los niveles de erosión en suelos cultivados durante muchos años pueden ser hasta 500 veces más severos que en zonas naturales o recientemente cultivadas¹⁰⁶.

Además del tiempo, otro factor importante es el tipo de páramo, habiéndose encontrado que **los páramos secos se degradan más rápido** y pueden tardar mucho más tiempo en recuperarse¹⁰⁷.

Sin duda una de las principales consecuencias de suelos cultivados, es el impacto en la capacidad de retención de agua¹⁰⁸.

Se ha determinado que la reducción causada por el cultivo, en la capacidad de retención de agua al punto de marchitez, puede ser de un 16 % ¹⁰⁹. A una profundidad de 25 cm esta reducción puede ser de 21 % y a 40 cm solamente de un 10 %.

También se señala que **las pérdidas en la retención de agua son irreversibles**, y que los cambios estructurales que afectan esta capacidad de retención de agua, pueden detenerse o estabilizarse cuando el cultivo se reemplaza por pastos, sin embargo la capacidad de retención de agua no se restablece.

Además se observó que la **capacidad de retención de agua** al punto de marchitez, **puede disminuir** hasta en un **16 % luego de dos años de cultivo**.

105 Podwojewski y Poulénard, 2000b.

106 Harden, 1996.

107 Podwojewski et al., 2002.

108 Buytaert, 2004.

109 Buytaert et al., 2002.

Las quemas pueden inducir a la formación de agregados altamente repelentes al agua. Se ha detectado un aumento en la escorrentía y una reducción de la conductividad hidráulica saturada, en suelos sometidos a quemas y pastoreo¹¹⁰. Como consecuencia, en la superficie, aparecieron costras que dificultan la infiltración del agua.

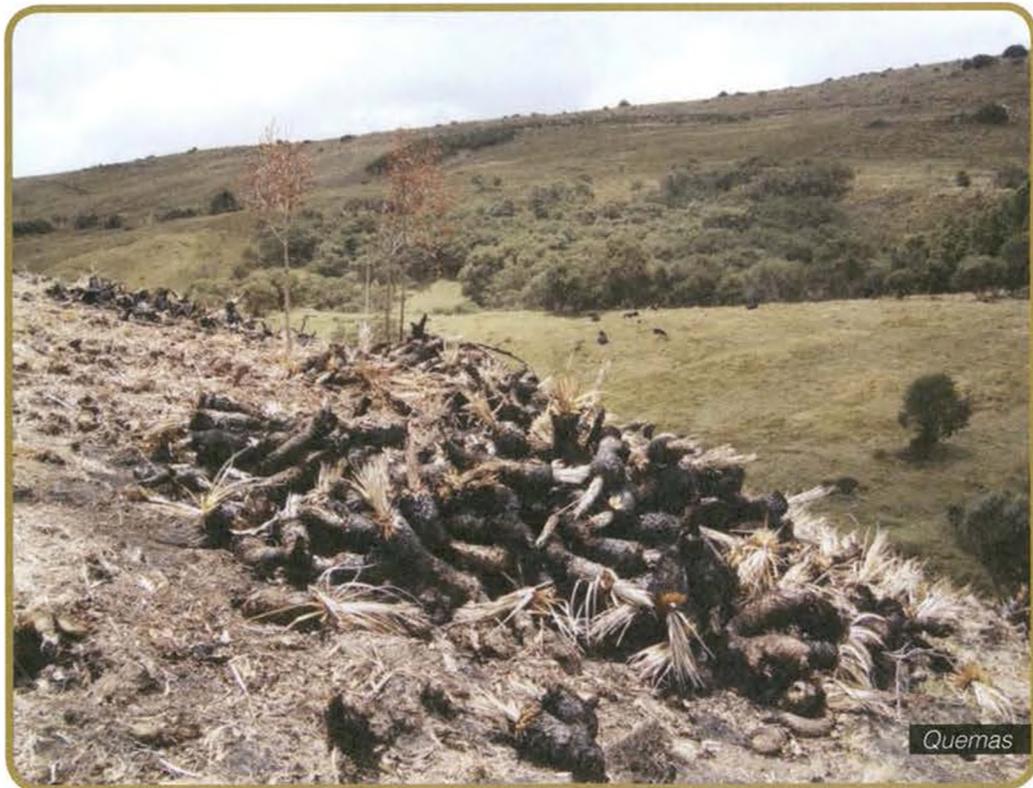


Foto: Pablo Borja

Otra actividad que **puede producir cambios a nivel del suelo** —que aún no ha sido suficientemente estudiada— es **la forestación con especies exóticas**.

Algunos estudios muestran que el pino puede alterar las características químicas y la capacidad de retención de agua del suelo y señalan que los niveles de carbono podrían descender en forma significativa¹¹¹.

En cuanto al **carbono** del suelo, este **puede disminuir en suelos cultivados** ocasionando que también lo haga su capacidad de retención de agua. Muchos suelos de páramo cultivados, presentan señales de erosión y una disminución en los niveles de carbono.

¹¹⁰ Poulenard et al., 2001.

¹¹¹ Farley y Kelly, 2004; Farley et al., 2004.

En un estudio¹¹² realizado en una zona húmeda de Tungurahua, se detectó una reducción en el contenido de carbono del suelo desde 100 hasta 50 g/kg. Mientras que en una zona seca la reducción fue de 70 a 40 g/kg. Como consecuencia de esto, disminuye la macroestructura y se desarrolla una microestructura altamente repelente al agua.

Relación de las principales características de los suelos y el clima

	páramo semihúmedo - muy húmedo	páramo seco
precipitación anual	1196.5 - 2918 mm	623.5 - 1196.5 mm
pH	< 5.5 (muy ácido)	5 - 7 (ácido a neutro)
materia orgánica	alta	media - baja
nutrientes / fertilidad	baja	media - alta
densidad aparente	baja	media
retención de agua	alta	media
profundidad suelo	baja - media	media - alta
color	horizontes muy oscuros	menos oscuros
erosión / degradación	menos propensos	más propensos
recuperación	tardan menos	tardan más

¹¹² Podwojewski et al., 2002.

Para concluir....

No se puede negar la enorme importancia que tiene el suelo para el ecosistema páramo y para quienes dependemos de él. No solo como almacén de agua, sumidero de carbono y factor clave en la regulación hídrica, sino también como el principal elemento que soporta y sustenta la vida de innumerables especies animales y vegetales de singular belleza y que son verdaderas muestras de la adaptación necesaria para condiciones extremas.

Los suelos de páramo poseen propiedades tanto físicas como químicas que los hacen únicos entre los demás suelos, pero que también hacen más complicado su estudio, por lo que ha sido uno de los elementos menos investigados.

En parte debido a esto y a la costumbre de generalizar, se han creado algunos mitos en torno al suelo y al ecosistema en general, como por ejemplo, pensar que todo suelo de páramo es fértil y apto para la agricultura.

La mayoría de los suelos de páramo presentan serias limitaciones para el cultivo y son muy susceptibles a las alteraciones.

En la actualidad contamos con importante información respecto de la física y la química de suelos de páramo, sobretodo generada en estudios sobre el efecto de prácticas agrícolas en las propiedades de estos suelos, en Colombia, Ecuador y Venezuela. Todavía falta estudiar un poco más los suelos del páramo y de la jalca de Perú. También se han realizado varias investigaciones para comprender la relación entre el suelo y la hidrología (hidro-edafología).

El reto actual es investigar el vínculo vital entre el suelo (edafología), las plantas y animales (biología) y el agua (hidrología) para entender mejor los procesos que involucran los diferentes elementos del ecosistema páramo.

Glosario

Al³⁺: catión predominante en suelos muy ácidos como los de páramo (pH < 5), es tóxico y fácilmente intercambiable.

Absorción: consiste en la capacidad que tiene una sustancia u organismo para tomar materia o energía hacia su interior.

Acidez intercambiable: existen algunos tipos de acidez. La acidez activa o actual se refiere a los protones H⁺ libres en la solución del suelo y se mide por el pH del suelo en agua destilada. La acidez potencial o acidez intercambiable corresponde casi por completo a Al que ocupa posiciones de intercambio (o sea que está adherido a las arcilla o coloides orgánicos) y se mide en meq/100 g de suelo o cmol/kg. La acidez total es igual a la suma de la acidez activa + la acidez intercambiable. La que normalmente se determina es la acidez activa. La acidez intercambiable es la más importante en suelos con pH menor a 5.5.

Adsorción: es el proceso por el cual los iones son tomados de la solución del suelo o de la atmósfera del suelo para ser retenidos en la superficie de las partículas del suelo.

Agua capilar: es el agua mantenida en poros capilares o más pequeños, normalmente a tensiones menores a 60 cm de agua (0.06 bar o pF 1.77).

Agua gravitacional: es el agua que se mueve en, a través o fuera del suelo, bajo la influencia de la gravedad.

Agua molecular o higroscópica: es el agua adsorbida por el suelo seco de una atmósfera de alta humedad relativa o el agua que permanece en el suelo después de ser secado al aire.

Arcilla: es un separado del suelo que consiste en partículas menores a 0.002 mm en diámetro equivalente. Desde el punto de vista mineralógico es un material compuesto por minerales de grano fino que se vuelven plásticos a contenidos adecuados de humedad y que se vuelven muy duros cuando se secan. Poseen un área superficial muy grande.

Buffer: o capacidad amortiguadora, es la habilidad de la fase sólida del suelo de resistir cambios en la concentración de iones en la solución, es decir obstaculizan el cambio brusco de acidez o alcalinidad de la solución de suelo.

Capacidad de campo: cantidad de agua que permanece en un suelo después que el agua libre ha drenado, un día o dos después que la zona radicular ha sido previamente saturada. Es la mayor cantidad de agua que el suelo retendrá bajo condiciones de drenaje libre.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): es la medida de la capacidad del suelo para retener cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y H^+ , Al^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{3+}).

Capacidad de retención de agua disponible: es el intervalo de agua disponible del suelo que puede ser absorbida a un ritmo adecuado para garantizar el crecimiento normal de las plantas. Se calcula como la diferencia entre la humedad a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (1/3 a 15 bares).

Ceniza volcánica: se refiere al material eyectado por volcanes (tephra), incluyendo material piroclástico de caída y materiales de flujo tales como ceniza volcánica, pumita y escoria. Todos estos materiales están dominados por vidrio volcánico que presenta una mínima resistencia a la meteorización química.

Coloide: es una sustancia muy fina (1 micrón a 1 milimicrón) que, cuando está suspendida en el agua, no se difunde del todo o muy suavemente a través de una membrana semipermeable.

Compuestos órgano-metálicos: corresponden a coloides formados por Al, Fe y humus. Los complejos humus-metal son dominantes a pH menor que 5.

Costra: capa superficial en los suelos, de espesor variable (1 – 20mm), mucho más compacta, dura y quebradiza cuando está seca que el material que está por debajo.

Densidad aparente: es la masa de suelo seco por unidad de volumen aparente. Las unidades son g / cm^3 .

Erosión: es el desprendimiento y movimiento del suelo o fragmento de roca por el agua, viento, hielo o gravedad.

Factores de formación del suelo: las variables (usualmente naturales) que son activas y responsables de la formación del suelo. Los factores son agrupados usualmente en 5 categorías: material parental, clima, organismos, topografía y tiempo.

Fijación de fósforo: el proceso por el cual este elemento es convertido de forma soluble o intercambiable a una forma menos soluble o intercambiable en el suelo.

Friable: término usado para la consistencia del suelo húmedo que corresponde a la facilidad con la que éste se deshace o desmenuza bajo ligera o moderada presión entre el pulgar y el índice. Las otras categorías son: suelto, muy friable, firme, muy firme, extremadamente firme.

Glaciar: los glaciares son grandes masas de hielo en movimiento que están formadas en tierra por la compactación y re cristalización de nieve. Pueden moverse pendiente abajo o en todas las direcciones debido a la enorme tensión que genera su propio peso.

Hidrofóbico: moléculas o superficies que tienen poca o ninguna afinidad por el agua. Los suelos se vuelven repelentes al agua por ciertas causas, entre ellas el secamiento excesivo o la acción del fuego.

Humus: es la fracción estable de la materia orgánica del suelo que queda después que la mayor parte de los residuos animales y vegetales añadidos que se han descompuesto. Generalmente es amorfa y de color oscuro.

Infiltración: es el flujo o ingreso del agua dentro del suelo a través de poros. La tasa de infiltración es el volumen de agua que entra a través de una superficie y en un tiempo determinado.

Ion: átomos, grupos de átomos o compuestos que están eléctricamente cargados como resultado de la pérdida de electrones (cationes) o la ganancia de electrones (aniones). Los cationes tienen carga positiva mientras que los aniones carga negativa.

Materia orgánica del suelo: la fracción orgánica del suelo exclusiva de residuos inalterables de animales y plantas.

Material parental: minerales no consolidados más o menos meteorizados químicamente o la materia orgánica a partir del cual se desarrolla el suelo por procesos edafogénicos.

Meteorización: los procesos por los cuales las rocas y minerales expuestos al clima, cambian en carácter, se desintegran, se descomponen y sintetizan nuevos compuestos y minerales de arcilla, en el proceso de hacer material parental de los suelos. Estos cambios son físicos y químicos.

Mineral primario: un mineral que no ha sido alterado químicamente desde su deposición y cristalización de lava derretida.

Mineral secundario: mineral resultante de la descomposición de un mineral primario o de la re-precipitación de los productos de descomposición de un mineral primario.

Paleosuelo: un suelo formado en el paisaje en el pasado con características morfológicas distintivas como resultado de climas diferentes a los actuales.

Permeabilidad de suelo: la facilidad con la que gases, líquidos o raíces de plantas penetran o pasa a través de la masa de suelo o de una capa de suelo.

pF: es el logaritmo de una columna de agua expresada en cm ($\log[h]$) y es igual a la succión o presión con que el agua es retenida. La carga de presión también se expresa en forma de columna de agua, es así que la presión atmosférica (1 bar) es equivalente a la presión que ejerce una columna de agua de 10 m.

pH: es el logaritmo negativo de base 10 de la concentración de H^+ . Como la escala utilizada para expresar el pH es logarítmica (\log_{10} negativo de la concentración de iones hidrógeno), un pH 5 es 10 veces más ácido que un pH 6 y el mismo pH 5 es 100 veces más ácido que un pH 7.

Relieve: las diferencias existentes entre las áreas altas y bajas de un terreno. Equivalente a la topografía.

Rocas ígneas: se desarrollan a partir de materiales fundidos en las profundidades de la tierra. Ejemplo: andesita.

Rocas metamórficas: roca que se ha solidificado en respuesta a pronunciados cambios en temperatura, presión y ambiente químico. Se forman cuando las rocas antiguas son alteradas por el calor y la presión. Ejemplo: mármol.

Rocas sedimentarias: formadas por la litificación de sedimentos. Consisten en fragmentos desmenuzados de otras rocas. Ejemplo: caliza.

Suelo: un mineral no consolidado y material orgánico de la superficie inmediata de la tierra, que sirve como un medio natural para el crecimiento de las plantas terrestres. Este material ha estado influenciado por factores genéticos y ambientales (material parental, clima, macro y micro-organismos, topografía) actuando sobre el tiempo.

Tephra: todos los materiales volcánico-clásticos que son eyectados de un cráter durante una erupción y transportados por el aire, incluyendo ceniza, lapilli, bloques, escoria y pumita

Vertisol: sistema de clasificación de la USDA. Suelo arcilloso con alto potencial de contracción –expansión que tienen grietas amplias y profundas cuando están secos. La mayoría de estos suelos tienen distintamente períodos secos y húmedos.



