Páramos Andinos



Ecología, hidrología y suelos de páramos

Proyecto Páramo Andino

Páramos Andinos

Ecología, hidrología y suelos de páramos

Luis Daniel Llambí
Alejandra Soto-W
Rolando Célleri
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

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

PRESENTACIÓN

Para el Proyecto Páramo Andino, la capacitación de sus técnicos y de las personas que viven y trabajan en el páramo, fue siempre un aspecto de fundamental importancia, porque ambos son protagonistas insustituibles de los procesos de conservación de los páramos.

Por eso, ha organizado una serie de talleres regionales destinados a fortalecer sus capacidades, a profundizar sus conocimientos, a intercambiar sus experiencias, a construir, entre todos, nuevos saberes para mejorar cada vez más la ardua y apasionante tarea de mantener la vida en el páramo y al páramo con vida.

Con interés y tenacidad, técnicos y profesionales, pobladores de los páramos, maestros de escuelas parameras, participaron en los talleres: aprendieron y enseñaron, practicaron en los mismos páramos de la región, reflexionaron sobre lo que vieron y lo que hicieron, discutieron, acordaron, comprendieron, compartieron. Y regresaron a sus países con nuevos ánimos y nuevos conocimientos para pensar y ejecutar estrategias que facilitarán la tarea de conservación y de uso sustentable del ecosistema páramo, un prodigio de la naturaleza que necesita nuestro respeto y nuestros cuidados para continuar su obra bienhechora de regular y distribuir el agua y retener el carbono, para evitar daños mayores a nuestro planeta.

Estos fueron los talleres realizados:

Para técnicos y profesionales

1. Ecología, Hidrología y Suelos de páramos
2. Manejo de páramos
3. Restauración de páramos
4. Investigación Acción Participativa

Para pobladores de los páramos

5. Restauración de páramos

Para profesores de las escuelas del páramo

6. Educación Ambiental

En cada oportunidad, se elaboró una Antología con artículos importantes referidos a la respectiva problemática y un material de apoyo sobre el tema, mediado pedagógicamente para facilitar los aprendizajes.

En esta oportunidad, nos es grato presentar los primeros cuatro módulos de la colección Páramo ANDINO, cuyos autores son los capacitadores de los respectivos talleres, a quienes agradecemos especialmente el muy valioso trabajo realizado.

Esperamos que esta colección recién iniciada, pueda ir creciendo con los aportes de las personas interesadas en rescatar los páramos andinos, en compartir conocimientos y en contribuir a mejorar la condición del ecosistema y la calidad de vida de su gente.

Bert De Bievre
Coordinador General
PROYECTO PÁRAMO ANDINO

PRÓLOGO

Este trabajo es el resultado de un sueño compartido. El sueño de contar con materiales y espacios regionales para la reflexión y discusión sobre la ecología y manejo sustentable de este ecosistema, único en el planeta, que con su particular distribución de islas en las alturas, constituye una especie de puente colgante monumental que nos une, desde Venezuela y Colombia, en el norte, pasando por Ecuador, hasta Perú, en el sur.

El contar con un espacio de formación colectiva era sueño compartido por muchas personas de diferentes instituciones y países, que tenían y tienen en común su pasión por el páramo y la convicción de que para su conservación es muy importante conocerlos, estudiarlos, volverlos a visitar, compartir conocimientos y experiencias y replantearnos constantemente el por qué y el cómo de nuestros esfuerzos de conservación.

El Proyecto Páramo Andino nos brindó la oportunidad de comenzar a caminar este sendero por la alta montaña tropical. Uno de los primeros retos que nos planteamos fue el de generar un módulo sobre la ecología de los páramos andinos. Para esto, partimos de tres premisas fundamentales. Primero, que para diseñar e implementar estrategias de manejo sustentable del páramo, es clave conocer (y respetar), su ecología, su diversidad natural y cultural, su historia de cambio y transformación y la compleja red de interacciones entre el agua, los suelos, la vegetación, los microorganismos, la fauna y la gente, que están en la base de su funcionamiento como ecosistema natural o transformado.

Los científicos comparten con los niños algo muy especial: la curiosidad, la duda, el tener siempre preguntas por contestar. Esta es una actitud muy importante que debemos incorporar a nuestro trabajo en el páramo: cuando utilizamos una práctica o una estrategia para su manejo, debemos siempre preguntarnos ¿qué impactos tendrá sobre esta delicada red de interacciones?, ¿qué es exactamente lo que queremos lograr?, y ¿por qué esa práctica en particular puede conducir a los resultados deseados?

Debemos evitar seguir, irreflexivamente, recetas de cocina. Para contestar estas preguntas necesitamos monitorear los impactos del manejo y mantener esta actitud de duda permanente sobre lo que hacemos. Por ejemplo, quienes sembraron -con buenas intenciones y siguiendo recetas extrapoladas de otros contextos- algunos de nuestros páramos con pinos en los años 60s y 70s hubieran hecho bien en hacerse muchas preguntas como ¿por qué utilizar pinos?, ¿por qué "reforestar" un ecosistema que no

es forestal?, ¿por qué iban a producir con eso una supuesta mejora en la producción o regulación del agua? etc.

Al diseñar este módulo de capacitación sobre los páramos, partimos de que esta actitud de reflexión crítica en torno a su ecología, podía ser importante para aquellos interesados en su conservación y manejo.

En segundo lugar, partimos de la premisa que necesitábamos un enfoque de capacitación horizontal, una metodología participativa de acción-reflexión-acción, con un balance adecuado entre teoría y práctica, en que facilitadores, capacitadores y participantes construyen conjuntamente el conocimiento, y en el que se privilegia el aprender haciendo.

Para algunos de nosotros, formados dentro de una escuela mucho más tradicional de educación, en la que la clase magistral es el instrumento de castigo privilegiado, aprender a trabajar con este enfoque resultó un reto fascinante y una experiencia muy formadora y enriquecedora. Es una metodología que nos permitió establecer un canal de comunicación, fluido y muy necesario, entre la investigación y el conocimiento científico en ecología y los técnicos, líderes comunitarios o tomadores de decisión, que están trabajando activamente en el manejo del páramo.

Y en tercer lugar, partimos de la premisa que un módulo de ecología de los páramos tenía que tener necesariamente un enfoque regional. Partiendo de reconocer la diversidad de realidades y contextos de los páramos en cada uno de los países, teníamos que ser capaces de ir más allá de lo local o lo nacional, para construir conjuntamente esta visión regional-andina de los páramos. Una visión que identificara los elementos comunes o unificadores y aquellos que constituyen la fuente de su diversidad. El contar con participantes de Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú, fue fundamental para poder construir esta visión regional, a través de un intercambio horizontal de experiencias, muy enriquecedor, en discusiones en las que las chispas volaron y los ojos brillaron, convirtiendo la experiencia en inolvidable para todos.

Esperamos que estos tres principios orientadores de nuestro enfoque de capacitación hayan permeado en las páginas que siguen y que este material aporte un grano de arena para que los espacios de capacitación y reflexión sobre la ecología de los páramos se multipliquen y fortalezcan.

Luis Daniel Llambí

ESTE MATERIAL TIENE 3 UNIDADES

UNIDAD 1: **ECOLOGÍA DE PÁRAMOS**

UNIDAD 2: **HIDROLOGÍA**

UNIDAD 3: **SUELOS**





Unidad 1

Ecología de páramos

Luis Daniel Llambí • Alejandra Soto-W





¿QUE NOS PROPONEMOS CON ESTA UNIDAD?

- Conocer el origen de los páramos y la distribución del ecosistema a nivel regional y mundial.
- Analizar las características de los páramos andinos.
- Identificar y caracterizar los distintos tipos de páramos andinos.
- Identificar y describir las distintas formas de vida vegetal y animal de los páramos.
- Analizar los aspectos que fundamentan la importancia de los páramos.
- Describir los procesos de transformación de los páramos debidos a la acción humana.

"Vigías silenciosos
Imponentes guardianes del agua
Protectores de formas de vida
únicas en el planeta.
La casa y el trabajo de mucha gente..."



¿Por qué el páramo?

Porque es uno de los ecosistemas del planeta menos conocidos y más importantes: es el que tiene mayor biodiversidad en alta montaña en el mundo.

Porque tiene una especial relación con el agua, y a través de ella, con las comunidades andinas rurales y urbanas. Es un almacenador y regulador del agua que recibe de las lluvias y de la niebla, allá en las alturas…

Porque tiene también una singular relación con el carbono, que en este momento, es relevante por los procesos de cambio climático que están ocurriendo. El páramo retiene el carbono en sus suelos, ricos en materia orgánica.

Porque, además de una gran importancia cultural y científica, ofrece un bello e imponente paisaje…

Por eso… y más…

¡EL PÁRAMO!



El páramo



Foto: Tania Calle

Páramo de Rumiñahui, Ecuador.

Poder definir al "páramo", no es sencillo y en la actualidad hasta puede llegar a ser un tema polémico, porque, a veces, sus limites son difíciles de determinar, ya que han variado por cambios naturales históricos y por influencia de las actividades humanas, que han contribuido a que, en algunos casos, haya una zona de transición transformada entre bosque y páramo y no una línea clara que los separe.

Esto puede generar conflictos. Por ejemplo en Colombia, ahora mismo, los limites del páramo son motivo de discusión, debido a que fue prohibida la actividad minera en el páramo y están en juego, diversos intereses económicos y políticos.

Sin embargo, como una primera aproximación, se puede decir que el páramo es:

> *"un ecosistema natural que se encuentra entre el límite continuo del bosque y el de las nieves perpetuas, en la alta montaña tropical húmeda."*

Aunque también podemos entender como páramo:

> *…"un área geográfica, un espacio de producción y de vida, e incluso un estado del clima."*

Mucho depende de desde dónde se mira al ecosistema y qué se prioriza cuando se lo considera.

Lo cierto es que, ante las amenazas actuales que sufre el páramo, es necesario conocerlo mejor, para poder conservarlo y para mejorar también las condiciones de vida de sus habitantes.

Comencemos…

Desde el principio

La palabra "páramo" proviene del vocablo en latín "paramus" que significa *"lugar frío y desamparado"*. Su origen exacto se desconoce, pero se sabe que el término fue utilizado por los celtas, los antiquísimos habitantes de la península Ibérica y de otras zonas de Europa occidental.

Cuando los españoles llegaron a la América Tropical, llamaron ***páramos*** a las tierras frías de los Andes del norte, debido a su similitud con las tierras altas, frías y yermas de la península Ibérica.

Resulta interesante señalar que, en las zonas altas y más secas de la Cordillera en los Andes Centrales de Bolivia y Perú, se mantuvo la denominación original indígena de ***puna***, para el ecosistema encima del límite del bosque.

Sin embargo hay que aclarar que ambos ambientes son diferentes: la puna es, en general, más seca y presenta estacionalidad anual en las temperaturas, debido a su localización sub-tropical. Es decir, muestra variaciones en la temperatura promedio mensual entre los meses más fríos de Junio a Agosto -invierno del hemisferio Sur- y los más cálidos Diciembre a Febrero –verano-.

Por el contrario, en el páramo, por estar ubicado en el trópico, se dan variaciones menos marcadas entre las temperaturas promedios de los diferentes meses del año.

En general, los páramos son ecosistemas más húmedos que las punas.

En el norte de Perú, también parece haberse mantenido la denominación original pre-hispánica de ***jalca*** para los ambientes abiertos de altura, dominados por pastizales, ubicados en la zona de transición entre la puna hacia el sur y el páramo hacia el norte.



Foto: Segundo Sánchez

Jalca de Cajamarca.

El páramo ¿un ecosistema natural?

El origen del páramo como ecosistema ha sido estudiado, enfatizando los acontecimientos históricos que originaron y permitieron su desarrollo.

Su formación es de origen *natural* y las condiciones que lo permitieron, básicamente, aparecieron, gracias a la actividad tectónica, o sea al movimiento de las placas que forman la superficie de la tierra y que van formando su relieve. Estos movimientos tectónicos se han presentado a lo largo de toda la historia geológica en los Andes.

El proceso de elevación de los Andes, hasta alcanzar condiciones actuales, ocurrió hace unos 4 a 5 millones de años atrás, durante la época del Plioceno. Así, el origen del páramo como ecosistema, se vincula con

este periodo de levantamiento de la cordillera, en el que las montañas alcanzaron sus altitudes actuales y durante el cual, se generaron las condiciones necesarias para el desarrollo del páramo: las condiciones del trópico frío.

Las plantas que colonizaron estos nuevos ambientes de la alta montaña tropical, llegaron desde tres zonas de origen diferente:

- Norte América (elementos holárticos).
- Extremo sur de Sudamérica (elementos austral-antárticos).
- Tierras más bajas tropicales, de ecosistemas como las sabanas (elementos tropicales).

Las nuevas condiciones climáticas que aparecieron en los Andes, crearon también nuevas condiciones ambientales, a las cuales, la diversidad biológica tuvo que adaptarse: un "trópico frío" y una distribución en "islas continentales" en las zonas más altas de la cordillera.

Esto propició la evolución y la aparición de nuevos géneros y especies, como los incluidos en el grupo de los frailejones (grupo de las Espeletias).





Páramo de Rabanal, Colombia

Foto: Adolfo Correa



Páramo de Gavidia, Venezuela

Foto: Luis D Llambí



Páramo de Tuñame, Venezuela

Foto: Adriana Morales



Páramo de La Esperanza, Ecuador

Foto: Tania Calle

Es sorprendente pensar en las más de 150 especies de frailejones que existen entre Venezuela, Colombia y el norte de Ecuador, aparecieron en los últimos dos a tres millones de años. Por esto la flora del páramo se considera una ¡flora moderna!

Se pudo llegar a determinar que **el páramo es un ecosistema natural**, estudiando la composición del registro fósil de polen, en el páramo.

El polen, dispersado por algunas especies de plantas del páramo y de los bosques, se conservó en los suelos de los pantanos, turberas y fondos de lagunas, gracias a la falta de oxígeno que impidió su descomposición.

Se estima que la presencia humana en el páramo data desde hace aproximadamente 10.000 a 15.000 años y por lo tanto, el ser humano no pudo participar en la aparición o " creación" del páramo, aunque si, en su modificación posterior.

Este registro, preservado en el polen que se depositó en diferentes momentos, ha permitido a los investigadores conocer los cambios en la distribución altitudinal de la vegetación, estudiando la proporción de polen de especies típicamente parameras o de especies típicas de los bosques altoandinos.

Los registros históricos de polen, nos permiten saber que existían plantas típicas de los páramos, mucho antes de la llegada de los seres humanos a Sudamérica.

A lo largo del período conocido como el Pleistoceno (que se inició hace unos 2 millones de años atrás), ocurrieron varios períodos fríos glaciales -las llamadas eras del hielo- alternados con períodos más cálidos (los periodos interglaciales).

Durante los períodos fríos y más secos, los páramos aumentaron su extensión y descendieron en altitud, permitiendo una mayor conexión entre ellos, a lo largo de los Andes del Norte.

Por ejemplo, durante el apogeo del último período glacial, hace unos 20.000 años, el límite del páramo con el bosque se encontraba a menor

altitud -entre 1200 y 1500 m más abajo- y las temperaturas promedio eran más bajas que las actuales, entre 6° y 7° C más frías.

Por otro lado, durante los períodos más cálidos, los páramos se encontraban restringidos a zonas más altas y por lo tanto, ocupaban una extensión menor.

El enfriamiento durante los períodos glaciales causó el descenso, expansión y conexión de los páramos

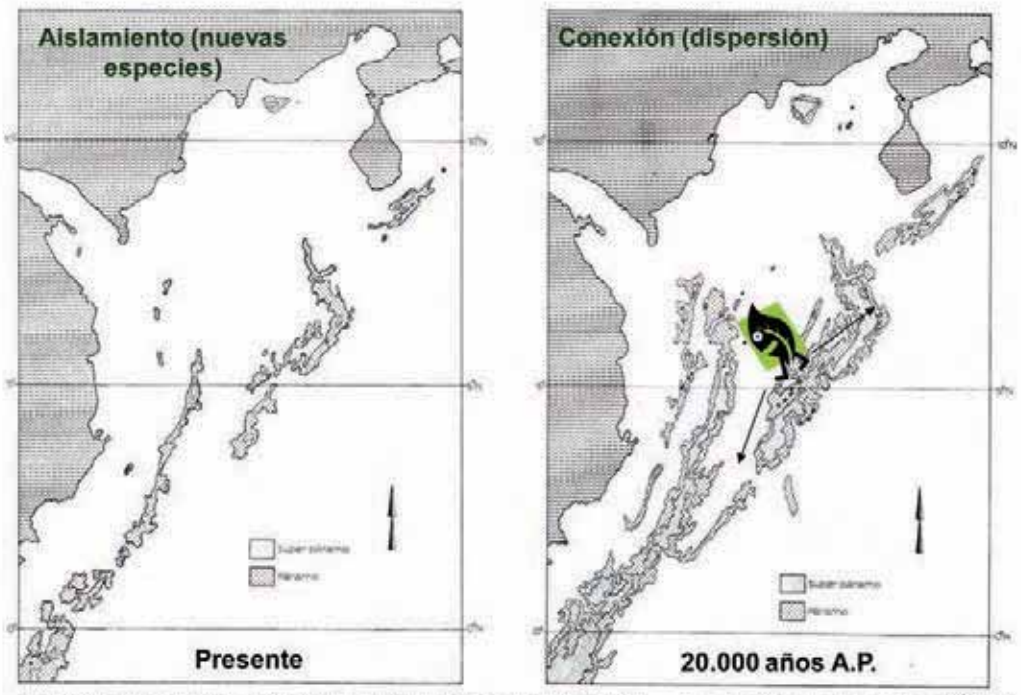


FIG. 7–10. Maps of páramo "islands," as they are now and as they were in the period 21,000–14,000 B.P.

Fuente: Van der Hammen (1974)

En este diagrama, se muestra la distribución actual de los páramos andinos, y la de hace 20.000 años, evidenciando la mayor conexión que existía, durante el último máximo glacial, entre las diferentes islas de páramo en la región, lo que permitió la dispersión de muchas nuevas especies de una isla a otra.

Para reconstruir la posición del límite entre los bosques y los páramos, en diferentes períodos históricos, podemos hacer uso de ***los diagramas de polen.***

Dependiendo de las características del polen que se encuentre en el sustrato, se puede calcular la proporción del polen que es típica de especies del bosque y la proporción que corresponde a especies del páramo y evaluar, sobre esta base, el tipo de vegetación que dominaba en determinada región, en el momento en que el polen se depositó, por ejemplo, en una turbera.

Veamos:

El estudio de polen preservado en turberas a diferentes altitudes ha permitido estudiar el movimientro del límite entre los bosques y el páramo

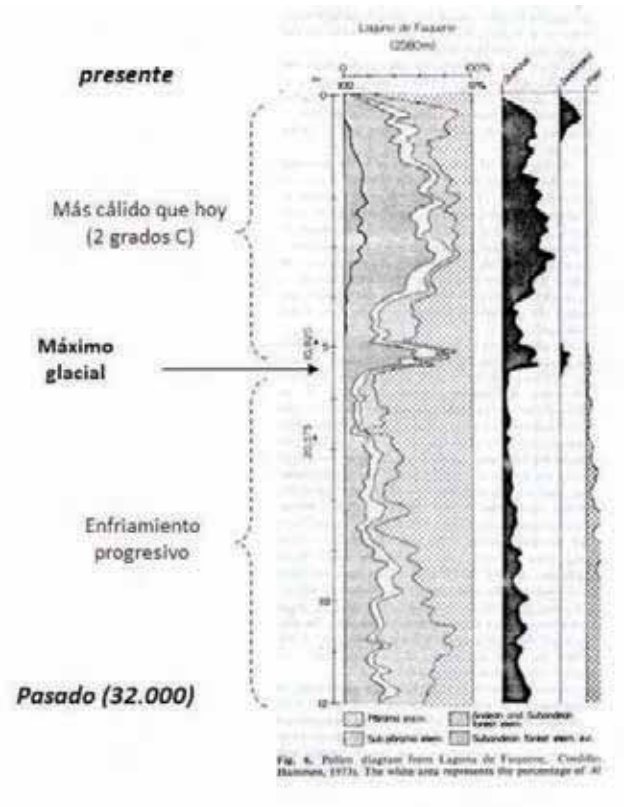
Diagrama de polen de la Laguna de Fuquene (2580 m)

Corresponde a los últimos 32.000 años (último ciclo glacial)

Durante el máximo glacial:

a) Descenso de pisos ecológicos de 1200 - 1500 m
b) Descenso temp. 6-7° C
c) Descenso de precipitación: de 900 a 400 mm o menos que hoy en el mismo sitio

Fuente: Van der Hammen (1974)

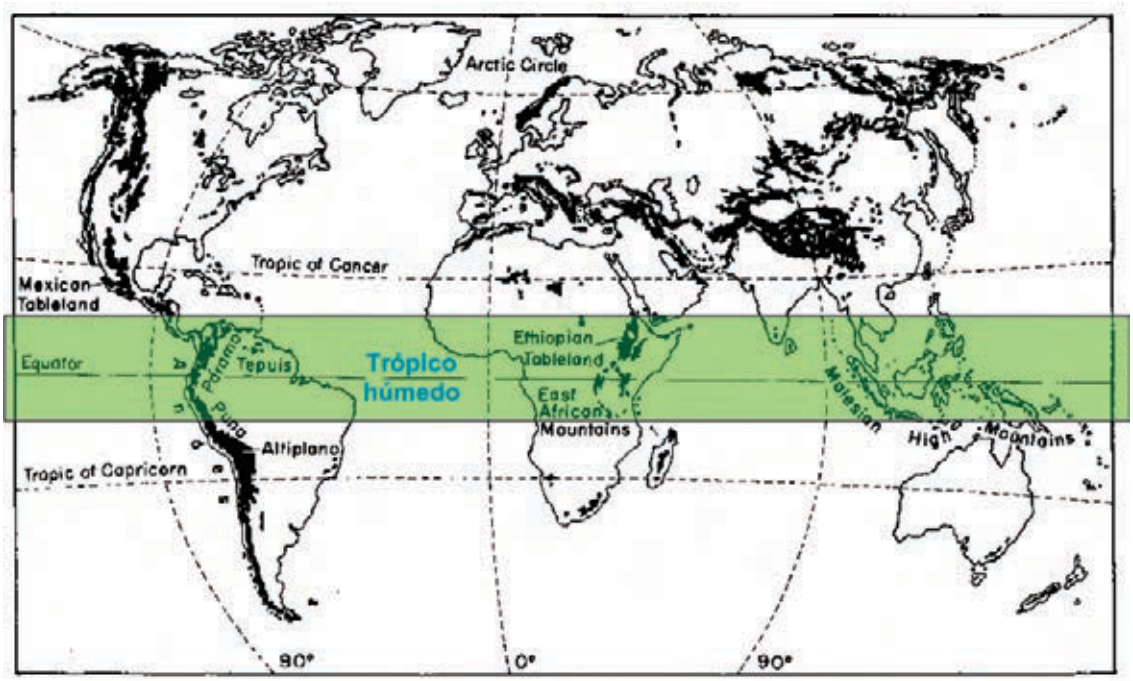


En la figura observamos cómo cambió la importancia relativa del polen de los páramos (área punteada en la figura) en comparación con la del polen de los bosques (áreas coloreadas en tonos de gris) durante los últimos 32.000 años.

Así se observa como, durante todo el período anterior al último máximo glacial, la proporción de polen de plantas del páramo fue aumentando progresivamente, en la medida en que las temperaturas se hacían mas frías.

¿Dónde están los páramos?

En las altas montañas tropicales del mundo.
La franja coloreada señala la zona de la alta montaña tropical, que coincide, aproximadamente, con la distribución de los ecosistemas afines al páramo, en todo el planeta.



Fuente: Monasterio y Vuilleumier, 1986.

En Sudamérica

Los páramos se encuentran concentrados en Venezuela, Colombia, Ecuador y norte de Perú, con pequeñas extensiones en Costa Rica y Panamá (Centroamérica).

Esta distribución discontinua, crea una serie de "*islas de vegetación paramera*" restringidas a las partes más altas de los Andes, brindando al ecosistema una configuración parecida a la de un archipiélago. (Ver el mapa de la distribución de los páramos, más abajo).

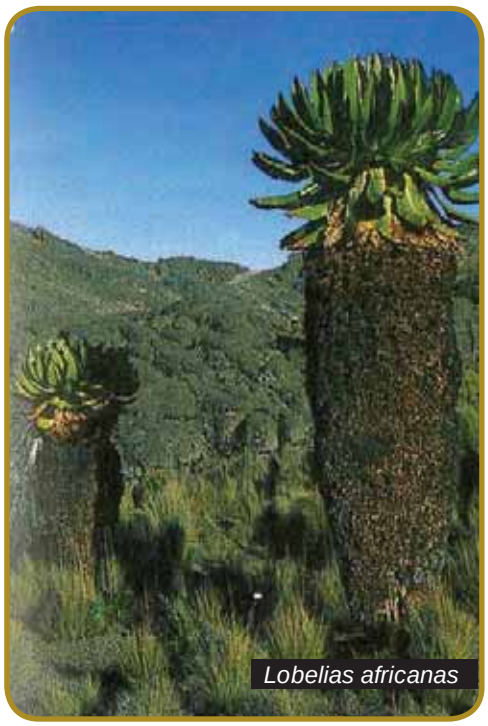
En África

Existe un ecosistema equivalente al páramo, conocido como "*ecosistema afro-alpino*" que se distribuye desde las altiplanicies de Etiopía, hasta las montañas del llamado Arco del Este, principalmente en Uganda, Kenia y Tanzania.

Ejemplos espectaculares de estos "páramos africanos" están asociados a las cumbres de volcanes como el Kilimanjaro o el Monte Kenya.

Formas de vida, como las rosetas gigantes, presentes en África, son muy similares a las de los páramos en Sudamérica, pero han evolucionado de manera independiente.

Pueden observarse algunas similitudes entre los frailejones africanos (*Lobelias* y *Dendrosenecios*) y los sudamericanos (*Espeletias*): ambos presentan hojas dispuestas en un gran penacho o roseta y una gruesa capa de hojas muertas, adosadas al tronco, a manera de abrigo. Sus hojas también presentan vellosidades (pubescencias) que las protegen de la intensa radiación propia de la alta montaña tropical.


Lobelias africanas


Frailejones suramericanos

Foto: Luis Daniel Llambí

Un ejemplo impresionante de convergencia evolutiva.

En Asia y Oceanía

Este ecosistema se encuentra presente también en varias montañas tropicales, en las islas ubicadas entre los continentes de Asia y Australia, incluyendo el archipiélago indonesio y la isla de Nueva Guinea. El páramo más alto se ubica a los 3805 m y el más extenso se encuentra en Nueva Guinea.

Lo que tienen en común todos estos ambientes montanos, de Sudamérica, África y Asia es su ubicación en zonas de alta montaña, en los trópicos.

Los páramos andinos

En Sudamérica, los páramos forman un corredor insular desde la Cordillera de Mérida, en Venezuela, hasta la depresión de Huancabamba, en el norte del Perú.

Al estar restringidos a las partes más altas de la cordillera, los páramos están distribuidos como fragmentos o islas de vegetación paramera, separadas entre sí, en las zonas de menor altitud, por bosques andinos y otros ecosistemas.

Fuera de la Cordillera de los Andes, existen complejos aislados de páramo en Panamá, Costa Rica y en la Sierra Nevada de Santa Marta en Colombia.

En la siguiente imagen se puede observar la superficie que ocupa el páramo en cada país de la región andina.

Distribución y extensión de los páramos en Sudamérica

•Superficie total (Andes del Norte): 3.576.798 ha

•7.3% de la superficie de los Andes del Norte

País	Superficie Páramos (ha)	Porcentaje
Colombia	1.405.765	39,30
Ecuador	1.835.834	51,33
Perú	95.346	2,67
Venezuela	239.854	6,71
Total	**3.576.798**	**100**



Fuente: Cuesta et al. (2008) CAN-PPA-ECOBONA

En Venezuela, el páramo se encuentra en la Cordillera de Mérida y en la Sierra de Perijá, con las mayores extensiones en los estados de Táchira, Mérida, Trujillo, Barinas y Zulia ocupando aproximadamente 239.854 hectáreas.

En Colombia, los páramos se distribuyen en la Sierra de Santa Marta y en las Cordilleras Oriental y Central, con unas islas muy pequeñas en la Cordillera Occidental, ocupando alrededor de 1.405.765 hectáreas.

En Ecuador, sobre la Cordillera Oriental, se encuentra el complejo de páramo continuo más grande de la región, con 3.970 km^2. La zona occidental de Ecuador también posee páramos, pero la cordillera es más angosta y al sur, los páramos son menos húmedos y de menor altitud.

En Ecuador la extensión de los páramos, alcanza, un aproximado de 1.835.834 hectáreas.

En Perú, los páramos al norte de la depresión de Huancabamba, forman una continuidad con los del sur del Ecuador, con una extensión aproximada de 95. 346 hectáreas.

Al sur de la depresión, las jalcas forman tres complejos importantes hasta la Cordillera Blanca.

Características generales del páramo andino

Se refieren en especial:

- al clima,
- a los suelos
- a la vegetación y
- a la fauna

El clima



Foto: Tania Calle

Neblina en el páramo de Zuleta, Ecuador

Los páramos presentan un clima de alta montaña tropical, con temperaturas diarias muy variables, es decir, tienen una gran *amplitud térmica*: frío congelante durante la noche y calor de más de 25°C durante el día.

El investigador sueco O. Hedberg (1964) lo definió como un clima en el que *"es verano cada día e invierno cada noche".*

La temperatura media anual está generalmente entre los 2° y los 10°C y la precipitación total anual oscila entre los 600 mm (en los páramos secos) y más de 4000 mm (en los páramos húmedos).

Los páramos a los que les llegan las masas húmedas de la Amazonía y la Orinoquía son muy húmedos y tienen una estacionalidad de lluvias muy poco marcada.

También los páramos de Colombia y noroeste de Ecuador, que están influenciados por la convergencia intertropical de las masas de aire, son húmedos durante muchos meses del año.

En contraste, los páramos del norte de los Andes de Venezuela, Colombia y Costa Rica poseen una estación seca muy marcada, debido a la influencia de los vientos alisios, que vienen del norte.

Y al sur, en Perú, debido a la presencia de la corriente fría de Humboldt, el Océano Pacífico no aporta masas húmedas hacia los Andes.

Ciertas zonas interandinas son más áridas, debido a que no ingresa humedad, desde ninguno de los dos lados de la cordillera. Otras tienen presencia de lluvias casi todo el año o tienen un régimen bimodal, por que reciben humedad desde ambos lados de la cordillera.

Existen variaciones locales muy importantes que tienen su base en la compleja interacción entre diferentes factores que originan la humedad que llega a los páramos.

El Suelo



Páramo de Pintag, Ecuador

Foto: Archivo PPA.

Los suelos se clasifican a nivel mundial de acuerdo con su estructura y composición, variando de un lugar a otro. Algunos de los tipos de suelos parameros más comunes en la región son:

- andisoles
- histosoles
- entisoles
- inceptisoles

Las características del suelo en los páramos andinos son muy variables. En su mayoría presentan una combinación de materia orgánica y ceniza volcánica, por lo cual los cambios en su composición se producen lentamente. En general son, en gran parte, de origen glaciar y volcánico.

En general:

Los páramos más altos poseen suelos rocosos y poco profundos con un alto porcentaje de arena, poca materia orgánica y muy baja retención de agua; son extremadamente infértiles.

En elevaciones medias, los suelos son relativamente húmedos, negros o cafés y ácidos, con una gran capacidad de retención de agua.

Los páramos más bajos presentan suelos muy oscuros, una acidez moderada, bajos niveles de calcio, alto contenido de agua, potasio y nitrógeno total.

Los suelos del páramo tienen un alto contenido de materia orgánica y por lo tanto una alta capacidad para retener agua y nutrientes.

Siempre en términos generales, podemos hablar de tres tipos principales de suelos de los páramos:

- andisoles
- entisoles
- inceptisoles

- **Andisoles:** Son suelos jóvenes, volcánicos, con horizontes orgánicos de hasta 3 m de profundidad y presencia de alofanas (asociaciones de materia orgánica y arcillas).
- **Entisoles e inceptisoles:** Son suelos jóvenes, no volcánicos, con poca profundidad (hasta 50 cm). Están presentes en las zonas más antiguas de los Andes -como los del norte del Perú- y en muchas zonas de la

Cordillera Oriental Colombiana o los de la Cordillera de Mérida en Venezuela. Son suelos jóvenes, porque se formaron después de la retirada del hielo, tras la última glaciación, hace unos 20.000 años.

La acumulación de materia orgánica está relacionada con un lento proceso de descomposición del material vegetal, debido a las bajas temperaturas. El que la descomposición sea lenta, ocasiona, en general una baja disponibilidad de nitrógeno mineral en el suelo.

Actividades humanas como el arado o el sobrepastoreo pueden ocasionar erosión y disminuir la capacidad de retener agua y nutrientes, reduciendo la fertilidad del suelo y el desarrollo de la vegetación natural.

La composición de los suelos en el páramo también puede depender de la altitud a la que se encuentran. Mientras mayor es la altitud, los suelos tienden a ser más rocosos y menos profundos, con un alto porcentaje de arena, menor retención de agua. Además son extremadamente infértiles.

La vegetación



Fotos: Archivo PPA

El páramo es importante en el mundo, debido a la enorme riqueza de especies vegetales que posee. De hecho:

Los páramos son considerados los ecosistemas con mayor diversidad de plantas de alta montaña, en el mundo.

Hasta el momento se han descrito alrededor de 5000 especies de plantas en los páramos.

Sólo en los páramos de Sudamérica hay 4000 especies de plantas vasculares, (plantas que tienen raíz, tallo, hojas y un sistema circulatorio para

la distribución del agua y nutrientes) de las cuales el 60% son **endémicas,** o sea, son **exclusivas del páramo**.

En general su diversidad no es tan alta si se la compara con la de otros ecosistemas tropicales -10 a 20% de la riqueza florística de los Andes– pero muy alta comparada con otros ecosistemas de alta montaña en el mundo.

Los géneros[1] con más especies son:

Espeletia	(126)
Pentacalia	(111)
Diplostephium	(73)
Senecio	(67)
Calceolaria	(65)
Valeriana	(58)
Lupinus	(56)
Hypericum	(56)
Miconia	(54)
Gentianella	(51)

Los estimados[2] preliminares de la diversidad de especies vegetales por país son:

País	**Nº de especies de plantas**	**Nº de especies / km²**
Venezuela	848	0.35
Colombia	1927	0.14
Ecuador	1524	0.8
Perú	1035	0.25 a 1.1

La vegetación del páramo se describe como principalmente abierta, dominada por gramíneas, hierbas, arbustos y rosetas gigantes del grupo de los frailejones.

1 Según Sklenar 2005.

2 Sklenar et al 2005.



Foto: Adolfo Correa

Páramo de Rabanal, Colombia

Sin embargo, la distribución de los frailejones está restringida a Venezuela, Colombia y el norte de Ecuador. En los páramos del centro y sur del Ecuador y del norte del Perú, aparecen otras rosetas gigantes, pero del género Puya.

Foto: Lucas Achig



Puyas en el páramo de Dudas, Ecuador.



Foto: Segundo Sánchez

Puya en Cajamarca Perú

Características de las plantas de páramo

Las plantas del páramo poseen adaptaciones realmente espectaculares para soportar las bajas temperaturas nocturnas, la radiación solar alta durante el día, la baja disponibilidad de nutrientes en el suelo y en algunos casos, condiciones de sequía estacional.

Por ejemplo, muchos arbustos del páramo tienen hojas pequeñas muy duras y resistentes. Esto les permite mantener las hojas verdes y el crecimiento durante todo el año.

Cerca del 60% de las plantas presentes en el páramo andino son especies endémicas (únicas del páramo).

¿Por qué se adaptan las plantas al páramo?

Porque necesitan sobrevivir en ese ambiente. Por eso se adaptan a las condiciones particulares de la alta montaña tropical.

Dos de los factores ambientales más importantes a los que deben estar adaptadas en las zonas de mayor altitud son:

- los altos niveles de radiación solar incidente (de hecho los páramos son los ambientes con la mayor radiación solar del planeta) y
- las temperaturas congelantes, todos los días durante la noche y las primeras horas del día.

Para enfrentar estas situaciones extremas, las plantas desarrollan algunas estrategias:

Veamos los siguientes ejemplos…

1
Adaptación de las plantas al exceso de radiación

- Posición paralela de las hojas a la luz incidente en rosetas
- Capacidad de variar el ángulo foliar
- Hojas pequeñas gruesas con abundantes tricomas

Adaptación al exceso de radiación



Angulo foliar vertical que minimiza la incidencia de radiación (*Lobelia* sp. 3900 m, Etiopía)



Hojas de *Hypericum* sp. (páramo andino). Hojas pequeñas y gruesas



Pubescencia blanca en *Espeletia schultzii* (Páramo Venezuela)

2
Adaptación de los frailejones para evitar el congelamiento

- Presencia de sustancias anticongelantes en los tejidos (así se evita el congelamiento aunque las temperaturas estén por debajo de 0º C)
- Mantenimiento de hojas muertas en el tronco para proteger al tallo del frío
- Acumulación de agua en el tallo para permitir la transpiración y la retención del calor

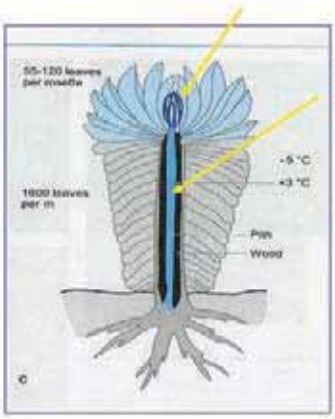
Evasión del congelamiento
Rosetas gigantes: Espeletia, Lobelia, Senecio



Senecio sp. Montañas del este de África



Espeletia sp. Páramo de Chingaza, Colombia



La fauna



La fauna del páramo ha sido muy poco estudiada, quizás por el difícil acceso a muchos de los páramos o porque los animales se mueven mucho de un lado a otro.

En este sentido, se estima que la mayoría de las especies, especialmente de mamíferos y aves, utilizan al páramo como un corredor o zona de transición, para realizar sus actividades en otras zonas de vida, como por ejemplo el bosque.

Sin embargo, los animales del páramo también presentan rasgos muy sobresalientes que los convierten en especies únicas, dadas sus adaptaciones fisiológicas para soportar las condiciones extremas de radiación y las bajas temperaturas.

También presentan especies emblemáticas reportadas como en peligro de extinción, amenazadas o vulnerables, como el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus)* o el tapir lanudo (*Tapirus pinchaque)*.



Osos de anteojos, Páramo de Papallacta, Ecuador

Foto: Turistas

El Colibrí chivito de los páramos



Este pequeño picaflor, reduce su metabolismo durante las noches, más o menos como hacen los osos al invernar, hasta quedar en un estado en que no pierde calor ni energía. Todas las mañanas, como por arte de magia, vuelve a recobrar la energía necesaria para volar y conseguir su alimento. Estas adaptaciones fisiológicas son las que le permiten soportar las bajas temperaturas nocturnas y evitan su congelamiento.

" ….él sabe que hacer
cuando en la noche,
se muere dulcemente
hasta mañana….

él sabe cómo
despertar al otro día
para salir a jugar
a su montaña"

Los mamíferos del páramo incluyen 70 especies -reportadas hasta ahora- entre las que se encuentran el puma (*Puma concolor*), el oso frontino (*Tremarctos ornatus*), el venado del páramo (*Mazama rufina*), al tapir o danta (*Tapirus pinchaque*), el conejo del páramo (*Sylvilagus brasiliensis*) el coatí (*Nasuella olivaceae*) entre otros.

Se han reportado para algunas zonas, cerca de 70 especies de aves que incluyen el emblemático cóndor (*Vultur gryphus*) y el colibrí pico espada (*Oxipogon guerinii*).



Cóndor (*Vultur gryphus*)

Foto: Wouter Bouyfaert

La diversidad de peces no es grande y se reduce, en la mayoría de los cuerpos de agua, a las truchas, especies introducidas en este ecosistema y que al parecer, siendo un pez carnívoro muy voraz, tuvo un gran impacto al eliminar la diversidad nativa de peces en los páramos.

La herpetofauna -reptiles y anfibios- incluye a anfibios como salamandras (*Bolitoglossa* spp.) ranas (*Hyla* sp.) y reptiles como las lagartijas (*Stenocercus*., *Phenacosaurus* , *Proctoporus*.). Sin embargo, ambos grupos, tanto anfibios como reptiles han sido poco estudiados.

Foto: Elkin Pedraza



Guasca, Colombia



Quimsacocha, Ecuador

Foto: Pablo Borja

Foto: Pablo Borja



Quimsacocha, Ecuador



Venezuela

Foto: P. Soriano

Entre los invertebrados se encuentran un alto número de artrópodos (insectos, arácnidos, crustáceos y miriápodos), moluscos, lombrices y otros.

Foto: Pablo Borja



Araña, páramo de Quimsacocha



Lombriz de tierra, en suelo del páramo de Mojanda

Foto: Tania Calle

Los invertebrados de los suelos del páramo, entre los que destacan escarabajos y lombrices de gran tamaño, juegan un papel muy importante en la descomposición de la materia orgánica, al fraccionar la hojarasca producida por la vegetación e incorporarla al suelo.

Por otro lado, el páramo también presenta especies endémicas de fauna. Los colibríes son el grupo más diverso, con componentes endémicos y de amplia distribución (incluido el colibrí más pequeño, la estrellita del Chimborazo, (*Oreotrochilus chimborazo*) y el más grande del mundo (*Patagona gigas*).

Los sapos jambatos (*Atelopus ignescens*) y la ranita de Mucubají (*Atelopus mucubajiensis*) fueron especies endémicas, ahora extintas. Su desaparición indica severos cambios ambientales y son un indicador del proceso de deterioro de las condiciones en estos ecosistemas.

Entre las especies emblemáticas de los páramos se encuentran: el cóndor de los Andes, el oso de anteojos, el venado cola blanca y la danta o tapir de montaña.

ACTIVIDAD

1. Describa ¿qué es el páramo y donde se ubica?

2. Explique las características del páramo donde usted vive o trabaja.

Diversidad biológica

Sabemos que los páramos son los ecosistemas de mayor diversidad biológica de las altas montañas del mundo. Es entonces oportuno aclarar qué entendemos por diversidad biológica:

> *"…es la variedad de seres vivos, ambientes o paisajes que existen en una región"*

La diversidad biológica puede considerarse en diferentes escalas espaciales:

- Regional
- De ecosistemas en el paisaje
- De formas de vida
- De especies

Escala regional: se consideran los tipos de páramos en los Andes tropicales, asociados a grandes gradientes ambientales, a escala continental.

Escala de ecosistemas en el paisaje: incluye mosaicos a escala local (arbustales, humedales, pajonales, cultivos) y regiones determinadas de páramos (Por ejemplo: páramos de Rabanal en Colombia, de Pacaicampa en Perú, del Cajas en el Ecuador o de Gavidia en Venezuela).

Escala de formas de vida: por las diferentes formas de vida o tipos de organismos vivos que los conforman (rosetas, gramíneas en macoya, arbustos, etc.) que existen en los páramos.

Escala de especies: por la gran diversidad de especies diferentes (frailejón, chuquiragua, árbol de papel o coloradito, etc.) representadas en cada una de las formas de vida del páramo.

Diversidad Regional de los Páramos

A escala regional-continental, es decir, desde Venezuela hasta Perú, la diversidad de los páramos depende de la existencia de amplios gradientes de variación ambiental, de aspectos como:

- **La geología** (páramos sobre suelos volcánicos recientes vs. páramos sobre suelos no volcánicos más antiguos).
- **El clima** (páramos secos vs. páramos húmedos).
- **El grado de aislamiento y distribución geográfica** (pequeñas islas de páramo vs. complejos de gran extensión).
- **La historia de uso** (páramos con una larga historia de manejo vs. páramos con un manejo muy reciente).

Para poder organizar y sistematizar esta enorme diversidad, es necesario establecer un sistema de clasificación de tipos de páramos. Cada país ha adoptado un sistema particular para clasificar sus páramos.

En la actualidad se cuenta con un sistema común entre los cuatro países de los Andes del Norte (en el marco del Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centrales).

La elaboración de ese mapa ha sido un ejercicio interesante de trabajo conjunto, auspiciado por la Secretaría General de la Comunidad Andina (CAN) y los Proyectos PÁRAMO ANDINO y ECOBONA, y ha permitido desarrollar una denominación común, para clasificar los ecosistemas de la región, utilizando los mismos criterios.

En términos generales, los sistemas de clasificación para los tipos de páramo, usan como principales criterios:

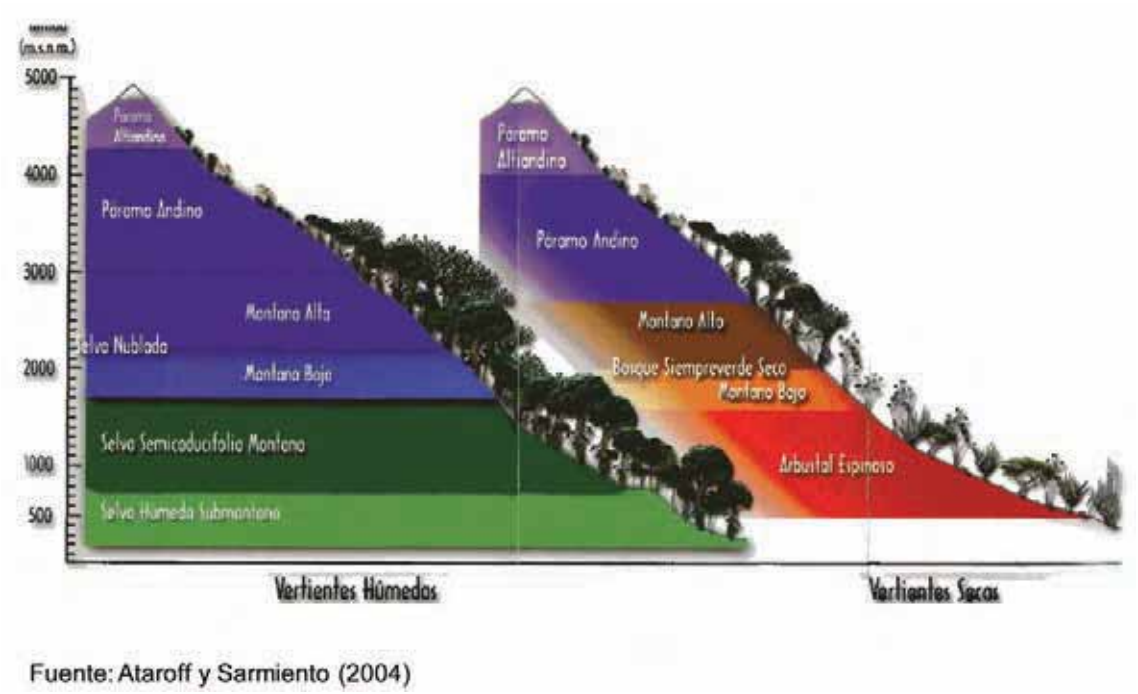
- **Variaciones en la temperatura y la precipitación**: verticales (en altitud) y horizontales (de una región a otra). La temperatura y la precipitación y sus cambios en el espacio y en el tiempo, son dos de los elementos más importantes que definen el clima.
- **Vegetación dominante** que se conoce como la fisionomía de la vegetación.

Así, por ejemplo, dependiendo de la precipitación anual, a los páramos se les puede clasificar como:

- secos,
- semihúmedos,
- húmedos,
- superhúmedos y
- pluviales.

La distribución altitudinal de los diferentes ecosistemas de los Andes, incluyendo el límite entre los bosques y los páramos, puede variar mucho dependiendo de si estamos ubicados en vertientes secas (generalmente en los valles interandinos) o en vertientes húmedas.

Distribución altitudinal
(vertientes húmedas vs. vertientes secas)

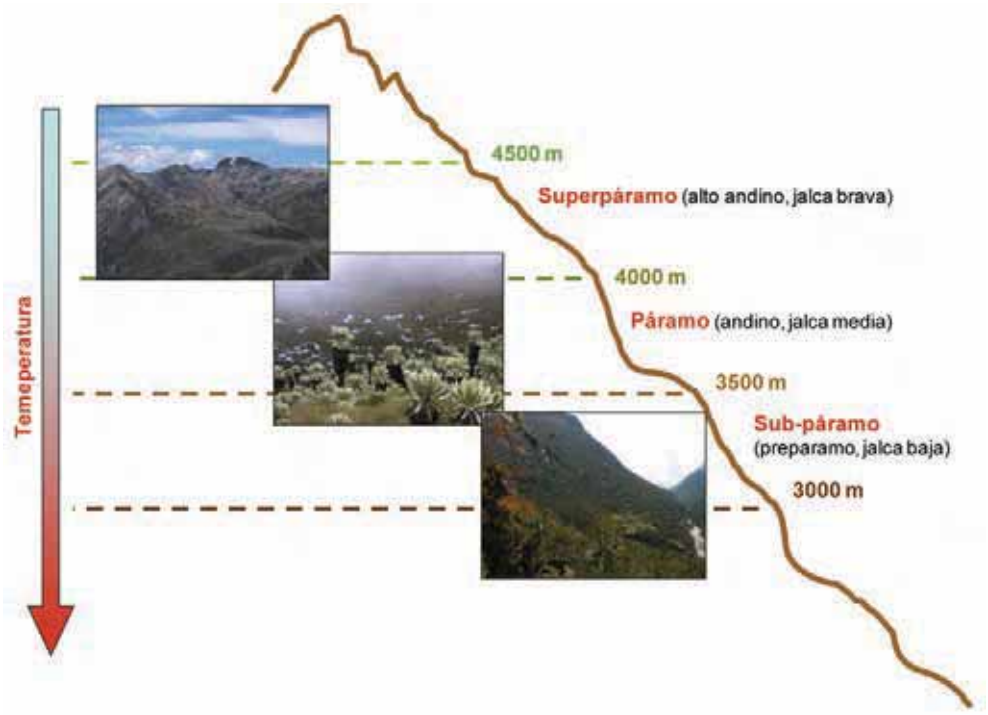


Fuente: Ataroff y Sarmiento (2004)

Partiendo de los cambios climáticos que ocurren a lo largo del gradiente altitudinal, los páramos han sido clasificados en tres pisos ecológicos:

- subpáramo,
- páramo y
- superpáramo.

Altitud que ocupan los diferentes gradientes altitudinales



El **subpáramo** (también conocido como *bosque pre-paramero o jalca baja*) es una zona de transición entre el bosque montano y el páramo abierto y está dominado por árboles pequeños y arbustos.

Por lo general, se encuentra entre los 3000 y los 3500 m, aunque su límite altitudinal varía, dependiendo de factores como la precipitación. Estos límites se pueden desplazar hacia abajo, por influencia de las vertientes mas secas, hasta unos 2500 m de altura.

Por encima del sub-páramo se encuentra **el páramo propiamente dicho** (también conocido como *piso del páramo andino o jalca media*) que se encuentra entre los 3500 y los 4000 m. Este es el piso de las formaciones vegetales más características del páramo como los arbustales, los frailejonales y los pajonales.

Todavía más arriba, encontramos el **super-páramo** (4000 m hasta el límite con las nieves perpetuas), también llamado *páramo altoandino o jalca brava* donde las condiciones climáticas se hacen más extremas, siendo ecosistemas generalmente más secos, en los cuales las temperaturas congelantes pueden ocurrir en cualquier día del año. Así, el super-páramo tiende a tener una menor cobertura y diversidad de vegetación y suelos menos desarrollados.

Sin embargo, estos páramos son el hogar de algunas de las formas de vida más impresionantes como los frailejones gigantes, que pueden alcanzar, aún bajo estas condiciones ambientales extremas, más de 3 m de altura y vivir más de 200 años.

Formaciones vegetales presentes en los páramos

Otro de los criterios para clasificar los tipos de páramos, es el de la estructura o "fisionomía" de su vegetación. Este tipo de clasificación enfatiza las formas de vida de plantas que dominan un área dada.

Esta es una dimensión muy importante de la diversidad paramera, ya que, contrario a lo que se pudiera pensar, los páramos no son sólo pajonales. Existe, de hecho, una impresionante diversidad de vegetación dentro de lo que conocemos como "páramo".

Algunas de las formaciones vegetales o tipos fisionómicos más comunes de los páramos andinos incluyen:

- Bosque paramero
- Pajonales
- Rosetales
- Arbustales o matorrales
- Bosque altoandino
- Páramo desértico o superpáramo
- Humedales altoandinos



Bosque paramero



Foto: Lucas Achig

Bosque paramero de Monay, Ecuador

- Conocido también como subpáramo, ceja andina, cinturón de ericáceas (especies arbustivas parameras)
- Se distribuyen entre los 2500 y 3500 m de altitud.
- Son bosques de transición entre los bosques altoandinos y el páramo, dominados por árboles y arbustos de géneros como Vaccinium, Gynoxis, Weinmannia y Gaultheria.
- En algunas zonas han sido fuertemente alterados, resultando en lo que se conoce como "paramización" del bosque.
- Pueden formar un límite abrupto o de transición suave con el páramo.
- Bajo escenarios de calentamiento global, este ecosistema de transición entre el bosque y el páramo, pudiera ascender –si no hubiera intervención humana- restringiendo la extensión de los páramos abiertos.

Pajonales



Foto: Lucas Achig

Páramo de Mazar, Ecuador

- Se los encuentra desde los 3000 m de altitud. Son muy comunes en Ecuador y Perú, pero también hay en Colombia y Venezuela.
- Están en páramos de origen natural húmedos, pero pueden aparecer en zonas muy secas o en arenales. Muchos páramos degradados por la acción humana (fuego, ganadería) se transforman también en pajonales.
- Dominan las gramíneas en macoya (ejemplo: Calamagrostis, Festuca, Stipa).

Rosetales



Foto: Tania Calle

Páramo de Rabanal, Colombia

- Se los encuentra desde los 2800 m de altitud.
- Ampliamente distribuidos en Venezuela, Colombia y norte de Ecuador. Paisaje dominado por rosetas gigantes del complejo Espeletia (frailejones Con cerca de 130 especies, todas únicas de los páramos de América del Sur (endémicas de Venezuela, Colombia y Ecuador).
- Dependiendo de las formas de vida dominantes pueden ser formaciones mixtas como el pajonal-rosetal y arbustal-rosetal.
- En Venezuela y Colombia tienden a sustituir al bosque de subpáramo en zonas intervenidas (ejemplos: potreros, parcelas agrícolas abandonadas).

Arbustales o matorrales



Arbustal en Tuñame, Venezuela

Foto: Adriana Morales

- Se encuentran desde 2800 a 4200 m de altitud en todos los países que poseen páramos.
- Dominan arbustos de porte bajo a medio (ej. Hypericum, Pernettya, Hesperomeles, etc.) y/o bambúes (ej. Chusquea).
- Generalmente poseen mayor cobertura en vertientes húmedas y en zonas de contacto con el subpáramo.
- Son alterados por la presencia humana, debido a la práctica de extracción de leña.
- En muchos sitios, han sido sustituidos por pajonales, debido a quemas frecuentes o sobrepastoreo.

Bosque Alto Andino



Fernando Pérez

Páramo de Piura, Perú

- Se encuentra entre los 3500 y 4500 m de altura, en forma de islas o parches boscosos, dentro de los páramos y superpáramos.
- Son bosques bajos dominados generalmente por diferentes especies de Polylepis y árboles de otros géneros (ej. Gynoxis, Diplostephium).
- Se encuentran frecuentemente en laderas empinadas donde existen grupos sueltos de piedras y alrededor de las lagunas.
- Su extensión ha sido restringida un poco por la extracción de leña o por el fuego.
- Albergan una alta diversidad de flora (hierbas, musgos, líquenes) y de fauna (aves, roedores, etc.)

Páramo desértico o superpáramo



Páramo Sierra de la Culata, Venezuela

Foto: Luis D. Llambí

- Se encuentran sobre los 4000 m de altura.
- En Venezuela y Colombia, se destaca la presencia de los frailejones gigantes. También son comunes pequeños arbustos, hierbas y plantas en forma de cojín o almohadillas.
- Dado su carácter desértico, la vegetación se da en parches, con mucho suelo desnudo.
- Las plantas presentan adaptaciones ecofisiológicas para resistir la alta radiación solar durante el día y las temperaturas congelantes durante las noches.

Humedales altoandinos



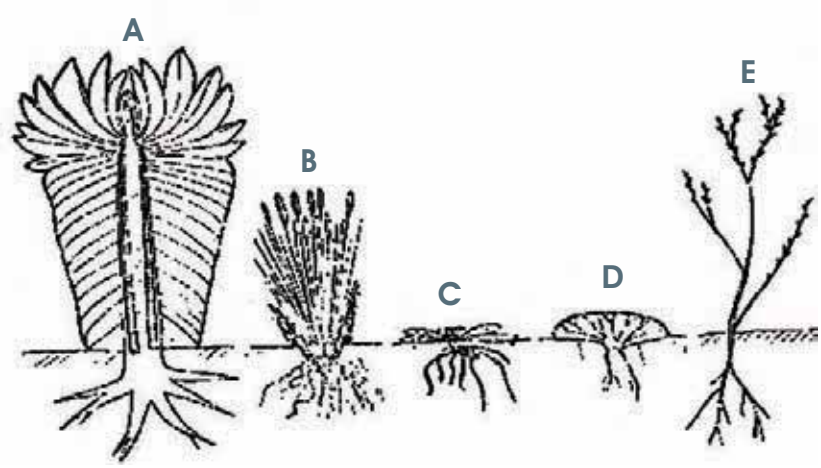
Páramo de Belmira, Colombia

Foto: Adolfo Correa

- Incluyen ciénegas, pantanos, céspedes, pastizales y turberas.
- Normalmente se encuentran en los fondos de los valles altos, en zonas de acumulación de agua y sedimentos.
- Plantas pequeñas dominan su paisaje (cojines, rosetas enanas, musgos, gramíneas, arbustos pequeños) y generalmente no hay árboles.
- Poseen especies únicas que no existen en otros tipos de vegetación paramera.
- Son ambientes de alta micro-heterogeneidad ambiental, ya que los cambios en el micro-relieve y los patrones de drenaje del agua, pueden generar cambios en la vegetación y la distribución de las plantas en unos pocos metros.
- Tiene doble importancia: áreas de alta oferta de forraje y claves en la regulación hídrica (suelos orgánicos muy profundos).

Formas de vida que presentan las plantas que habitan el páramo

En cada una de las formaciones vegetales del páramo, dominan diferentes formas de vida de plantas:



Fuente: Hedberg, 1964.

A. Rosetas caulescentes
B. Gramíneas en macoya
C. Rosetas acaules
D. Cojines
E. Arbustos esclerófilos

Así, por ejemplo, en los matorrales o arbustales, los arbustos esclerófilos (de hojas pequeñas y gruesas) son la forma de vida más abundante, mientras que en los rosetales, son las rosetas caulescentes (rosetas con tallo).

Cada una de estas formas de vida representa un plan de crecimiento, una "estrategia" diferente que las plantas del páramo han encontrado, para enfrentar las difíciles condiciones ambientales de la alta montaña tropical (bajas temperaturas nocturnas, altos niveles de radiación, suelos pobres en nutrientes, etc.)

Estas son las principales formas de vida presentes en el páramo, que muestran la gran diversidad de tipos diferentes de plantas que habitan estos ambientes.

Rosetas caulescentes (con tallo)
Ejemplos, frailejones del grupo *Espeletia*.

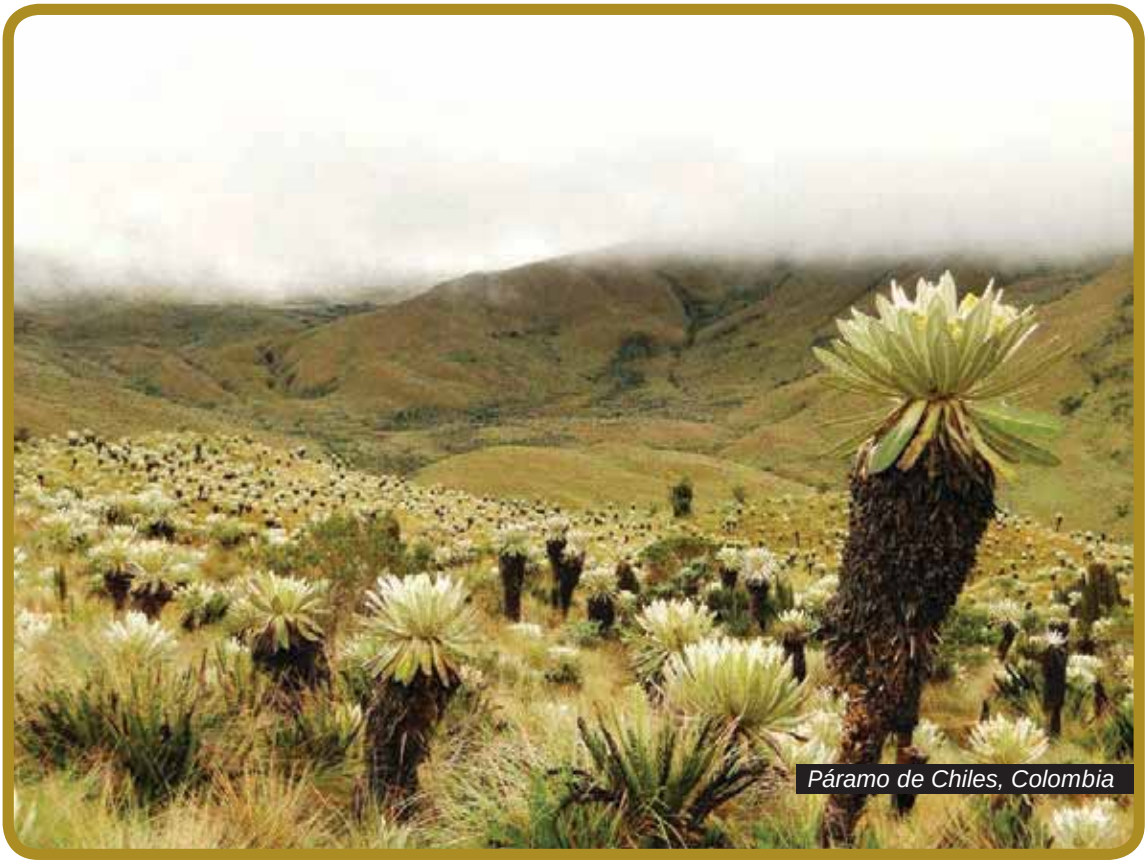


Foto: Adolfo Correa

Estas rosetas con tallo, suelen presentar una densa masa de hojas espiraladas, muy pubescentes, durante todo el año. Presentan también una gran cobertura de hojas muertas que rodean al tallo y que se descomponen lentamente. El tallo tiene una alta capacidad de almacenar agua.

Rosetas acaules (sin tallo)
Ejemplos de géneros como: *Echeverria*, *Oritrophyum*, *Acaena*, etc.



Fotos: Luis Daniel Llambí

Carecen de tallo o lo tienen enterrado en el suelo, son perennes y pueden vivir muchos años.

Su distribución ecológica es más amplia en las áreas muy frías y tienden a hacerse muy abundantes en los páramos más altos y en las zonas de humedales y pantanos.

Arbustos esclerófilos y árboles

Ejemplos de géneros como: *Baccharis*, *Hypericum*, *Hesperomeles*, *Alnus*, *Polylepis*, *Gynoxys,* etc.



Fotos: Luis Daniel Llambí

Los arbustos esclerófilos del páramo (con hojas pequeñas y gruesas) son generalmente plantas tolerantes al frío y a la sequía: todas sus estructuras aéreas están muy expuestas a las variaciones térmicas. Las hojas pequeñas y gruesas constituyen una adaptación que les permite mantenerse activas y verdes durante todo el año y les confiere resistencia a la sequía y a los altos niveles de radiación.

El *Polylepis* es el género arborescente que crece en las mayores alturas del mundo. Las veinte especies que constituyen este género son endémicas de las montañas de Sudamérica[3].

Gramíneas en macollas

Ejemplos de géneros como: *Calamagrostis*, *Cortaderia*, *Jarava*, *Festuca*, etc.



Fotos: Luis Daniel Llambí

Se adaptan con facilidad al clima de alta montaña. Las hojas muertas (necromasa en pié) permanecen en la planta por largo tiempo, permitiéndoles recuperar parte de los nutrientes invertidos en ellas y confiriéndoles protección a las hojas vivas y a las zonas de crecimiento (meristemas).

3 Kessler, en Azocar y Rada, 2006.

Hierbas

Ejemplos de géneros como: *Lupinus*, *Calceolaria, Senecio*, etc.



Fotos: Luis Daniel Llambí

Las hierbas de los páramos son extremadamente diversas en especies y en formas de crecimiento y le dan un impresionante colorido con sus flores, que generalmente aparecen en la época húmeda. Algunas son anuales y otras perennes. Esta es una forma de vida compartida con muchos otros ambientes.

Cojines

Ejemplos de géneros como: *Acciachne*, *Azorella*, etc.



Fotos: Luis Daniel Llambí

Tienen alta capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes, en suelos pocos desarrollados. La superficie de los cojines es compacta y lisa; solo las hojas superficiales están vivas. Por debajo de ellas, como un relleno, se acumulan hojas muertas en diferentes estados de descomposición lo cual otorga solidez a toda la estructura.

ACTIVIDADES

1. Exprese con sus propias palabras ¿qué entiende por diversidad biológica?

2. Clasifique el páramo donde usted vive o trabaja, según criterios

3. Haga una lista con las principales formas vegetales y formas de vida que existen en su páramo y explique algunas adaptaciones que presentan para habitar en estos ambientes.

Importancia del páramo

El páramo posee características únicas a nivel regional y mundial por lo cual se lo considera un ecosistema muy importante.

Entre sus rasgos más sobresalientes se encuentra el ser fuentes y reguladores de la disponibilidad de agua, la cuál es un recurso clave para muchos habitantes rurales y urbanos (incluyendo grandes ciudades como Bogotá o Quito) así como para la producción agrícola de los valles altos.

Su vegetación y suelos constituyen un reservorio de carbono y materia orgánica, claves en la regulación del agua y en la fertilidad de los suelos.

Los páramos además, son un espacio para la vida de muchas comunidades rurales y son hábitat de una gran diversidad de plantas y de animales, en peligro de extinción, como el oso frontino u oso de anteojos.

Razones de la importancia del páramo



Exploremos cada uno de los puntos que se mencionan en la figura anterior:

Diversidad biológica e interacciones bióticas

El páramo como ecosistema provee de hábitat a todos los seres vivos que habitan en él y permite el mantenimiento de las interacciones entre sus componentes físicos y biológicos.

Para que estas interacciones se lleven a cabo en los sistemas naturales existen componentes:

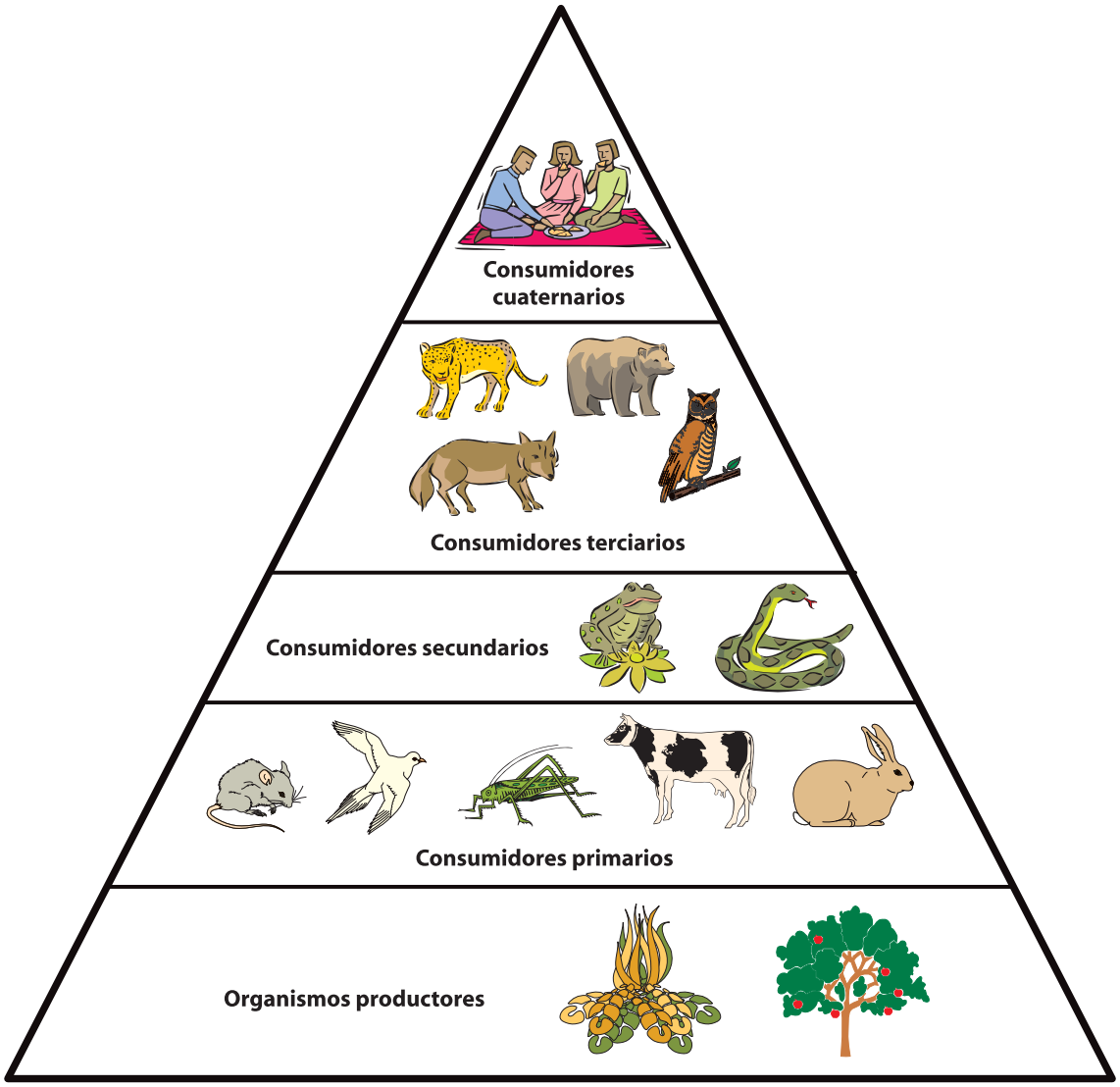
- vivos (microorganismos, plantas, animales y otra biota) y
- no vivos (minerales, agua, aire, temperatura, precipitación, materia orgánica en descomposición, etc.)

Una de las formas de visualizar estas interacciones, es estudiando las **cadenas alimenticias o tróficas** (del griego throphe=alimentación) en el páramo, que pueden entenderse como los **procesos de transferencia de energía alimenticia, a través de una cadena de organismos.**

En el páramo, como en todos los ecosistemas, existen los organismos capaces de producir su alimento al utilizar como energía la luz solar (productores primarios o autótrofos) y organismos que tienen que consumir a otros, para poder obtener la energía que necesitan para vivir (organismos consumidores o heterótrofos).

Estos organismos pueden clasificarse como:

- **Consumidores primarios.** Organismos que se alimentan de los organismos autótrofos (plantas y algas).
- **Consumidores secundarios.** Organismos que se alimentan de los consumidores primarios.
- **Consumidores terciarios.** Organismos que se alimentan de los consumidores secundarios.



La estabilidad y funcionamiento de los páramos, depende entonces de una intrincada red de interacciones entre los diferentes organismos que lo habitan.

Por otro lado, los organismos tienen otra serie de interacciones entre individuos de la misma especie o de diferentes especies. Los ecólogos expertos en el tema, han descrito para las poblaciones cada tipo de interacción, asignándoles una representación matemática en función de cómo afecta la interacción a los organismos que participan en ella, como se muestra en el siguiente cuadro:

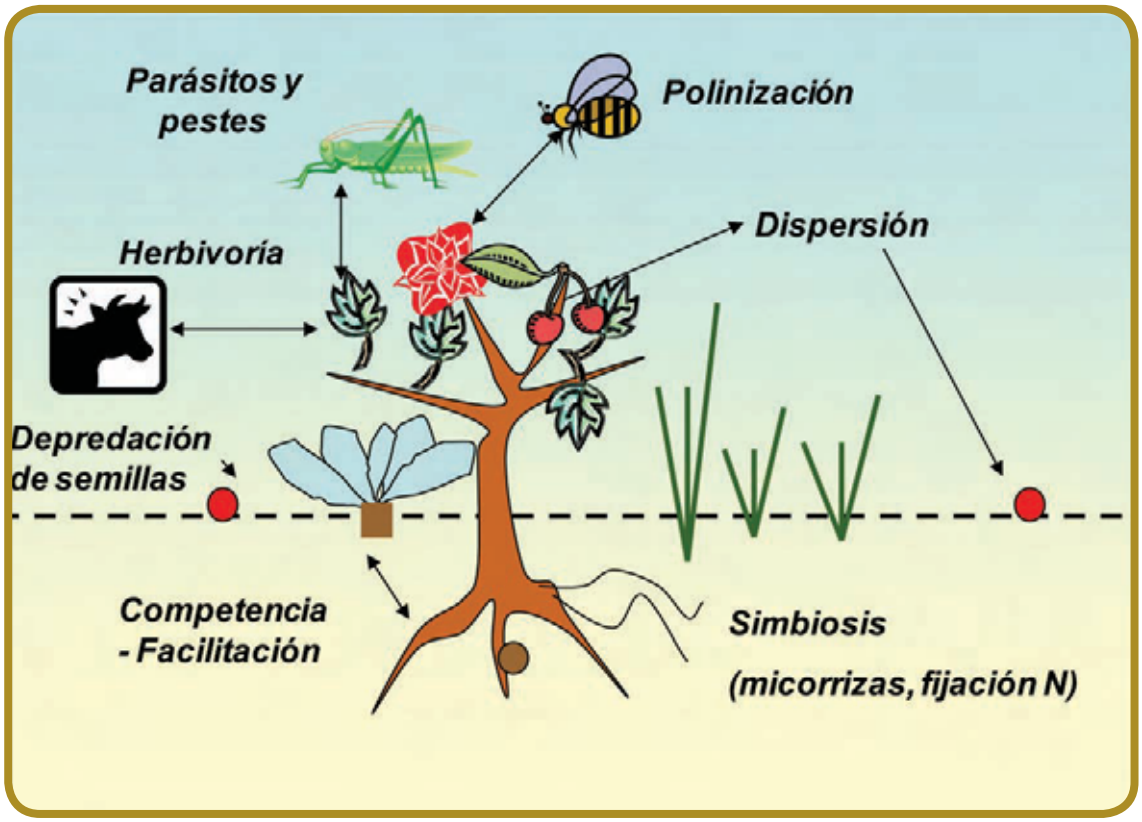
Nombre de la interacción	Representación matemática	Significado
Neutralismo	00	No existe beneficio ni perjuicio para ninguno de los individuos.
Comensalismo y facilitación	0+	Uno de los individuos obtiene un beneficio y el otro no se ve afectado.
Amensalismo	0-	Uno de los individuos no se ve afectado y el otro sufre algún daño.
Mutualismo	++	Los dos individuos se benefician.
Simbiosis	++	Los dos individuos se benefician, pero un individuo no puede vivir sin el otro.
Parasitismo y depredación	+-	Un individuo se beneficia y el otro es perjudicado.
Competencia	--	Los individuos compiten por un mismo recurso.

(0) no existe beneficio ni perjuicio para el individuo; (+) el individuo se ve beneficiado; (-) el individuo sufre un efecto negativo o daño.

En general, las especies tienden a utilizar los recursos de forma diferente, lo que permite su mayor aprovechamiento. Las interacciones que se presentan por ejemplo, en un sistema de polinización son muy variadas, ya que una misma especie de planta puede ser polinizada por diversos organismos, lo que hace a estas especies *mutualistas* no con una, sino con muchas especies de plantas.

Algunos ejemplos pueden observarse en la siguiente figura esquemática donde diferentes animales convergen en la misma planta, bien sea para alimentarse participando en la polinización de las flores o en la dispersión de las semillas.

Interacciones: bióticas



También hay relaciones de simbiosis entre micorrizas (hongos) y plantas. Las micorrizas se asocian en las raíces de las plantas y hacen que aumente su capacidad de explorar el suelo y capturar agua.

Otras especies de plantas facilitan el establecimiento o crecimiento de otras plantas o compiten con otras, evitando su crecimiento o disputándose el agua o la luz del sol.

Cada una de las interacciones que se muestran en la figura anterior, puede verse afectada por disturbios naturales o de origen humano. La desaparición de una especie puede tener serias consecuencias para el organismo que lo consume. Así, por ejemplo, la cacería de especies carnívoras en el páramo (ej. zorros) puede incrementar el número de individuos herbívoros como los roedores, que entonces, llegarán a convertirse en plagas, en zonas de cultivo.

Los animales también pueden competir por los recursos en el páramo (alimento, refugio, etc.). Esto es más fácil de observar cuando los ecosistemas sufren cambios drásticos, generalmente a causa de la alteración provocada por los seres humanos.

Pero también existen una serie de interacciones entre especies en las que al menos una de ellas resulta beneficiada (mutualismo y simbiosis). En este caso ambas especies se benefician de la relación. Por ejemplo:

- Muchas especies de colibríes funcionan como polinizadores de las inflorescencias de las plantas de Puya, estableciendo una dependencia entre estas aves y las plantas.
- Las leguminosas como el chocho (del género *Lupinus*) de los páramos, tienen en las raíces nódulos (engrosamientos de forma esférica) donde viven bactérias como *Rhizobium*. Estas bacterias tienen la capacidad de capturar y fijar nitrógeno atmosférico provocando que las plantas como el chocho ayuden a fijar nitrógeno en el suelo.

Hay plantas que no pueden vivir sin algunas aves...

En los páramos de Mérida, donde existen frutos de curuba o taxo (*Passiflora mixta*) existe un ejemplo de relación mutualista.

La planta de curuba proporciona alimento al colibrí pico espada (*Ensifera ensifera*) y a cambio, el colibrí pico espada participa en la polinización de las flores, interviniendo en consecuencia en la formación de frutos.

La existencia de algunas aves robadoras de néctar (aves que obtienen néctar de las flores sin proporcionar ningún beneficio a la planta) ocasionan que el colibrí pico espada, visite más y más flores en la búsqueda de néctar, aumentando la probabilidad de fecundación de las flores de las curubas[4].

No sabemos qué sucedería si el colibrí pico espada llegara a desaparecer del páramo, pero es muy probable que, al ser el principal polinizador de las flores, la producción de frutos se reduzca, ocasionando serias pérdidas a los productores.

En tal sentido es importante intentar alterar lo menos posible el páramo natural, a fin de mantener a cada uno de sus componentes ecológicos dentro del ecosistema, sin alterar sus interacciones biológicas.

4 Pelayo, R. C. 2006. Robo de néctar y algunos aspectos sobre la ecología reproductiva de Passsiflora mixta L. (Passifloraceae). Tesis de Licenciada en Biología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. PP 67.

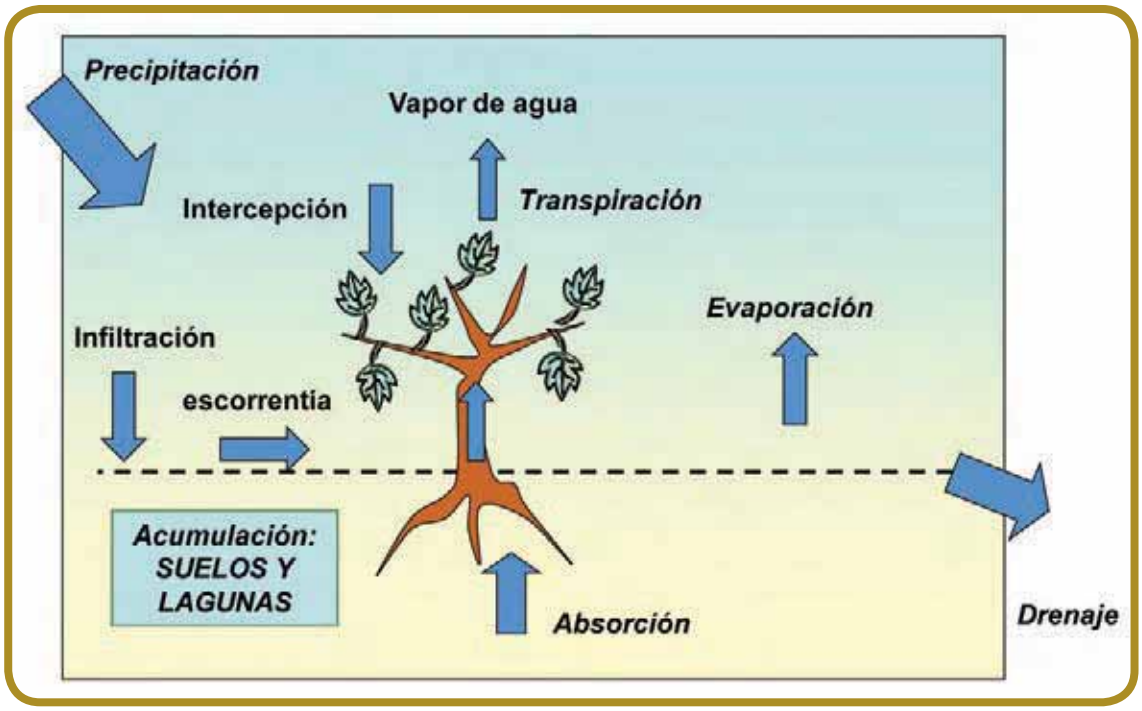
Regulación hídrica

Los altos contenidos de materia orgánica presente en los suelos del páramo permiten la captación del agua que proviene de las precipitaciones y su acumulación en el suelo, para luego liberarla lentamente a manantiales, ríos, riachuelos y lagunas.

Esta regulación se debe a que sus suelos funcionan como una esponja que absorbe agua y la libera lentamente hacia el subsuelo o la superficie.

Analicemos el siguiente gráfico:

Procesos: flujos de agua



El agua entra a los páramos a través de la **precipitación vertical** (lluvia o nieve) y la llamada **precipitación horizontal** (agua contenida en la neblina e interceptada por la vegetación).

Del agua que entra por precipitación:

- Una parte es interceptada por la vegetación y vuelve a la atmósfera a través de la evaporación directa, desde la superficie de las plantas, en forma de vapor de agua.
- Una parte llega al suelo y discurre sobre su superficie (escorrentía) o se infiltra en el suelo acumulándose o siendo liberada en quebradas y ríos a través del drenaje.

- Una parte del agua que llega al suelo regresa a la atmósfera, por evaporación directa.
- Una parte del agua que se infiltra en el suelo es absorbida por las raíces de las plantas y vuelve a la atmósfera, a través de la transpiración de las hojas.

Es importante tener presente, sobre la base de lo explicado, que la vegetación y los suelos de los páramos, **no son,** estrictamente hablando**, productores del agua.**

Como vemos, el agua proviene de las lluvias. Sin embargo, los páramos son muy importantes como reguladores de su disponibilidad, debido a que su vegetación y sus suelos interceptan esta lluvia y acumulan una parte, haciendo que su salida por los ríos y quebradas sea más gradual, lo que contribuye a un suministro más estable de agua.

Otro aspecto que debemos considerar, es el papel que cumple la vegetación en este proceso.

Al proteger los suelos de la radiación, la cobertura vegetal puede disminuir la evaporación directa de agua. Así mismo, con sus raíces, las plantas estabilizan estos suelos, previniendo la erosión y ayudando a mantener en su sitio a la esponja que representan los suelos orgánicos del páramo. Además las plantas participan en la formación del suelo, a través del aporte de hojarasca.

Sin embargo, debemos recordar que las plantas también consumen agua y la devuelven a la atmósfera a través de la transpiración. Así, cuando se siembran árboles de gran tamaño y con grandes demandas de agua en los páramos -como los pinos y eucaliptos-, esto puede contribuir a que estos páramos retengan menos agua, sus suelos se sequen y pierdan materia orgánica.

El flujo de agua desde los páramos a través de quebradas y ríos, depende de un delicado balance entre todos los procesos que son susceptibles de ser alterados por la intervención humana.

Almacenamiento de carbón atmosférico

Los suelos del páramo acumulan grandes cantidades de carbono (C). Son suelos ricos en materia orgánica, especialmente si son suelos de origen volcánico.

Dicha acumulación de C se lleva a cabo a través de la fotosíntesis que realizan las plantas. Al asimilar el carbono del dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera, producen carbohidratos para obtener su energía, los que a su vez pueden ser transformados en otros compuestos.

Después, cuando las plantas mueren, el carbono que acumularon, queda almacenado en la hojarasca y se incorpora al suelo donde comienza la descomposición de los restos de la planta. Durante esta descomposición, un poco de carbono regresa a la atmósfera como CO_2 debido a la respiración de los organismos descomponedores, pero otra fracción se acumula en la materia orgánica de los suelos del páramo.

Es muy importante conservar el carbono en los suelos del páramo. Esto se logra cuidando el suelo, evitando su erosión por prácticas inadecuadas de cultivo, su degradación por sobrepastoreo, por desecación de turberas, por quemas, etc.

Al alterar el suelo, se libera el carbono a la atmósfera y forma el CO_2 (dióxido de carbono), que es uno de los gases de efecto invernadero que más contribuye con el calentamiento global.

El almacenamiento de carbono sirve para mitigar el efecto del cambio climático a nivel global. Los páramos pueden ayudar a almacenar gran cantidad de carbono en sus suelos profundos y ricos en materia orgánica.

Prácticas productivas y extractivas

Los páramos son muy importantes como espacios productivos para la población que habita en ellos. Con la práctica de la agricultura, son varios los cultivos asociados a las condiciones únicas de los páramos. Aún cuando el rubro más importante es la papa, también se producen otros tubérculos andinos como las cuibas, las ocas, los mellocos y además, hortalizas, leguminosas, etc.

Por otro lado, muchos páramos son escenario de prácticas ganaderas extensivas, por lo general de vacunos. La cría de ovinos y equinos es también importante en algunas zonas. Actualmente en algunos páramos, existen proyectos para el manejo de camélidos andinos como las alpacas.

Además, las comunidades campesinas e indígenas extraen plantas para utilizarlas en la elaboración de medicamentos (frailejón morado, valeriana, chuquiragua, etc.) tanto para el uso doméstico como comercial.

Algunas especies de animales son utilizadas en la cacería de subsistencia o deportiva (por ejemplo: los conejos).

Otro aspecto a considerar es la introducción de especies exóticas como la trucha, utilizadas en la alimentación de los habitantes del páramo o para la pesca turística.

Importancia cultural

El páramo es escenario de vida de campesinos e indígenas, depositarios de una rica herencia cultural. El territorio paramero está, para la mayoría de sus habitantes, íntimamente ligado con sus tradiciones, mitos y leyendas. Un ejemplo de esto es el carácter mágico que tienen las lagunas en todos nuestros países.

La agreste belleza de los páramos ha inspirado a diversos artistas a plasmar sus obras, a través de la pintura y la poesía.

La laguna del gallo[5]



… Al misterio le gustan las lagunas.
Las lagunas que moran en la Cordillera
son calladas, espesas
y casi siempre oscuras.

Las lagunas son seres vivos:
Una laguna palpita, barbotea, descansa,
Se enfurece cuando le tiran piedras o gritan cerca de ellas

Una laguna tiene caminos subterráneos,
que los andinos llaman venas
cuando las venas quieren saber cómo
andan las cosas,
allá en la superficie,
simplemente se asoman,
van dejando un charquito,
que en realidad, es un ojo de agua,
también llamado el ojo del pantano.



Cada laguna tiene su dueño,
quiero decir su arcano,
Ese ser mágico que la protege.
En muchos sitios de los Andes,
a los dueños de las lagunas,
les dicen Encantos…





Pinturas del Colectivo Mubay de Mixteque.

5 Arreaza H. y Villafañe N. 2003. La laguna del Gallo. Siembraviva Ediciones. Mérida, Venezuela.

Atractivo turístico

El páramo es uno de los ecosistemas de los Andes del Norte más visitados por millones de turistas, que acuden para disfrutar de sus paisajes misteriosos y de las múltiples expresiones de su cultura.

Sin embargo, el turismo mal manejado es una de las causas del deterioro ambiental del páramo (acumulación de basura, alteración de la vegetación natural y de los suelos por el acceso de vehículos rústicos y motos, sobrepastoreo del ganado, etc.)

Algunos de los sitios turísticos emblemáticos en los páramos, son:

- La Laguna de Mucubají y el Sistema Teleférico de Mérida en Venezuela.
- El Parque Natural Chingaza en Colombia.
- Los volcanes del Cotopaxi y el Chimborazo en Ecuador.



Laguna de Mucubají, Venezuela

Foto: Ariel Espinosa



Páramo de Chingaza, Colombia

Foto: Patricia Velasco



Chimborazo, Ecuador

Foto: Gustavo Lucero

Por el contrario, los páramos del norte del Perú, son todavía una zona por descubrir para el turismo nacional e internacional.



Foto: Iván Mejía

Páramo de Pacaipampa, Perú

Importancia científica

El páramo ha sido también escenario de numerosas iniciativas de investigación científica, cuyos resultados nos han ayudado a explorar su funcionamiento y han contribuido a resaltar su importancia y su carácter único a nivel mundial.

Gracias a estos trabajos, hoy sabemos que es el ecosistema más diverso de las altas montañas del mundo y estamos comenzando a entender mejor aspectos como su papel en la regulación de la disponibilidad de agua o la capacidad de respuesta del ecosistema luego de disturbios como el fuego o la agricultura.

La mayor parte de la investigación se ha centrado en el estudio de la vegetación paramera, siendo menos conocidas la riqueza e historias de vida de la fauna y el papel que juegan, en el ecosistema, grupos como los hongos o los microorganismos.

ACTIVIDAD:

1. Describa la importancia del páramo donde vive o trabaja y su influencia en las áreas aledañas.

2. Analice la importancia del páramo en cuanto a biodiversidad de plantas y animales y proponga posibles soluciones a los problemas de intervención humana.

3. Relate una historia que conozca y que haya ocurrido en el páramo.

Transformaciones del páramo como consecuencia de la intervención humana

Un poco de historia...

Durante el período pre-incaico, las investigaciones disponibles sugieren que la mayoría de los páramos, especialmente los más altos, tuvieron un uso ceremonial y un uso ocasional para la cacería, pero en general no existió una población importante establecida en el sitio.

Por el contrario, en la actualidad existen diversos tipos de intervención humana en los páramos:

- Desarrollo de sistemas agropecuarios semi-tradicionales e intensivos
- Ganadería extensiva e intensiva
- Forestación con especies exóticas (pinos, eucaliptos)
- Minería a pequeña y gran escala (oro, carbón)
- Extracción de leña y plantas medicinales
- Cacería

¿Que sucedió históricamente?

Hubo distintos períodos:



Modificado de: Monasterio y Molinillo.

Periodo pre-incaico

En realidad, sabemos muy poco de la historia pre-incaica de ocupación del páramo, pero la evidencia disponible, sugiere que, en general, se daba al páramo un uso de tipo ceremonial o bien para zona de cacería, siendo la ocupación de los espacios, sólo temporal.

Sin embargo, es posible que esta visión cambie en la medida en que se profundicen las investigaciones.

Período incaico

Con la llegada de los Incas a los páramos ecuatorianos y a los del sur de Colombia, se da el primer período de transformación antrópica (intervención humana) de estos ecosistemas, asociados principalmente con el cultivo de la papa y con la introducción de camélidos andinos como las llamas.

Se sabe de hecho, que algunos de los rebaños más grandes de camélidos del imperio Inca, estaban en los páramos del Chimborazo y Loja, en Ecuador. Sin embargo, la ocupación incaica sólo duró unos 100 años y dio paso a un segundo período de transformación de mayor intensidad, producto de la conquista española.

Periodo colonial

Con la llegada de los españoles se introdujeron al páramo nuevas especies como ovejas, vacas, caballos, así como el cultivo de cereales (cebada, trigo y avena), especialmente en los bolsones secos interandinos.

De esta manera la frontera agrícola se expandió y en algunas zonas se generaron intensos procesos de degradación del páramo, por sobrepastoreo de ovinos y por el cultivo sostenido de trigo, en zonas de pendientes abruptas y suelos frágiles.

"… Se ha estimado que en los siglos XVI y XVII hubo más borregos en los Andes que ahora[6]"

6 ramón G. 2000. En Hofstede R. 2003. Los Páramos en el Mundo. Su diversidad y sus habitantes, en Hofstede R, Segarra P y P Mena (Eds) 2003.

Los páramos del mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/NC- IUCN/Ecociencia. Quito.

Durante este período se da también un primer proceso de marginación de la población paramera y su sometimiento, bajo diversos sistemas de explotación (huasipungo, encomiendas, etc.) al establecerse grandes haciendas en las zonas con los mejores suelos.

El huasipungo en Ecuador, consistía en cambiar el trabajo esclavizante de los indígenas en las haciendas, por un pedazo de tierra, para que sus familias pudieran vivir y trabajar, soportando la humillación y el maltrato permanentes.

En cuanto a las encomiendas, se trataba de un sistema para regular la explotación y el trabajo de los indígenas al servicio de "encomenderos" españoles o sus descendientes. El sistema consistía en la asignación, a cada encomienda, de un grupo de indígenas que debían vivir dentro de la propiedad en la que trabajaban, facilitando, al concentrarse, el adoctrinamiento de los indígenas por los religiosos católicos.

Período moderno

Finalmente, el último período de transformación, que pudiéramos llamar "moderno", se da de manera muy heterogénea, en las diferentes regiones.

Aunque es difícil generalizar, podemos decir que la característica distintiva de este período ha sido el establecimiento de sistemas de producción de papas y hortalizas, más intensivos en insumos (fertilizantes, pesticidas) orientados al mercado, que han generado procesos importantes de contaminación y expansión de la frontera agrícola.

Estas zonas de producción intensiva, coexisten hoy día con áreas más aisladas, en las que todavía existen modalidades de producción más tradicionales, con el uso de estrategias como los descansos largos (que permiten la recuperación parcial de la vegetación y la fertilidad de los suelos) y con un menor uso de insumos agroindustriales.

Una gran diversidad de historias de uso

Finalmente, conviene aclarar que los diferentes períodos esbozados sobre la transformación del páramo, no se dieron de la misma forma en todos los páramos. La ocupación durante el período incaico, por ejemplo, ocurrió más claramente en la jalca cajamarquina y en los páramos de la cordillera occidental en Ecuador.

Por otro lado, durante el período colonial, los páramos ubicados en las zonas más secas del interior de la cordillera (bolsones secos intermontanos) fueron objeto de un uso mucho más intensivo para el cultivo del trigo, lo que originó un primer período de degradación y erosión severa.

Esta degradación histórica del páramo encierra por lo tanto importantes lecciones si queremos evitar que ocurra de nuevo. Por el contrario, muchos páramos húmedos se mantuvieron prácticamente inalterados hasta el presente.

Estas diversas historias de relación de la gente con sus páramos, son muy importantes para entender cómo son los diferentes páramos de nuestro continente hoy en día, su estado actual de conservación, el conocimiento sobre cómo manejarlos y las estrategias necesarias para restaurar las áreas que han sido degradadas.

Paramización de los bosques y degradación del páramo

Es importante distinguir entre dos tipos de cambios o procesos que transforman los páramos: la degradación del páramo y la paramización de los bosques.

Por un lado, dentro del piso de los páramos propiamente dichos (piso del páramo andino y altoandino) las actividades humanas pueden generar procesos de degradación de las formaciones vegetales presentes.

Así, páramos diversos de rosetal o arbustal pueden ser transformados en áreas degradadas por cultivos o laderas con evidencias de sobrepastoreo.

Por ejemplo, en los bolsones secos intermontanos de Venezuela, -donde se cultivó trigo de manera muy intensiva durante siglos-, luego de la conquista, los páramos originales fueron remplazados por una vegetación secundaria menos diversa y con una cobertura del suelo mucho menor.

La ganadería y las quemas frecuentes también pueden transformar y degradar zonas de páramo reduciendo la diversidad de arbustos y aumentando la cobertura de gramíneas (pajonales secundarios).

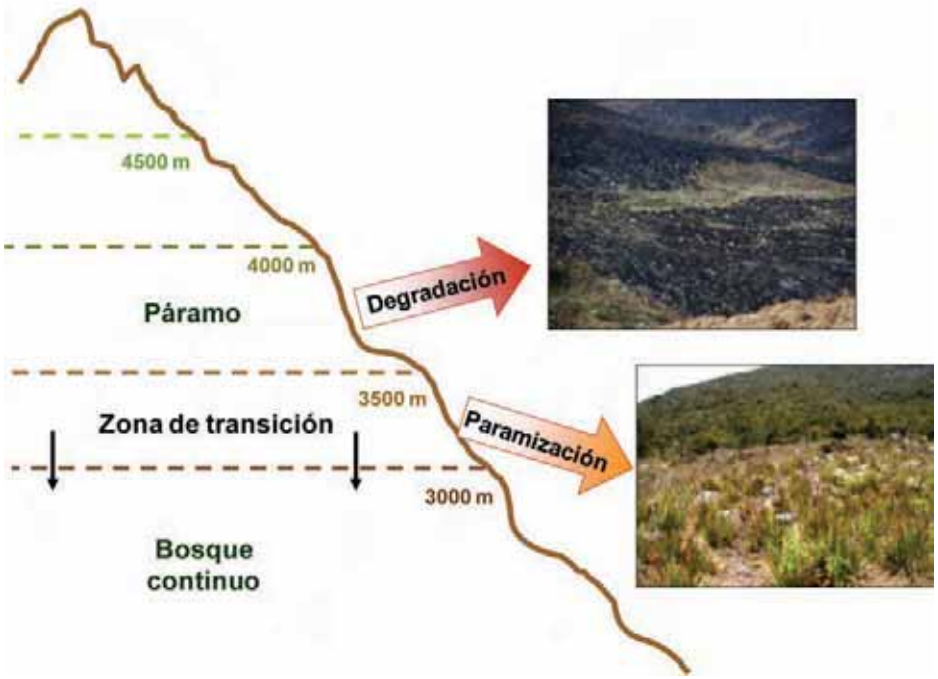
Por otro lado, en el piso del sub-páramo o del bosque paramero, las actividades humanas (cultivo y posterior abandono, creación de potreros, etc.) pueden generar un cambio en la cobertura vegetal, sustituyendo los bosques por páramos secundarios parcialmente degradados.

Así, la importancia relativa de los árboles disminuye drásticamente y las áreas sometidas a intervención (por ejemplo potreros abandonados) son en muchos casos, colonizadas por algunas especies del páramo, mejor adaptadas para establecerse en áreas abiertas (algunas gramíneas, frailejones, arbustos esclerófilos, etc.).

A este fenómeno de **sustitución de los bosques más altos por páramos secundarios**, se le denomina ***"paramización".***

Veamos la siguiente figura:

Paramización del bosque vs.
degradación del páramo por acción del hombre



A nivel de todos los Andes, se estima que cerca del 30% de la superficie que ocupa el páramo, se encuentra en condiciones naturales. El 40% se encuentra transformado.El 30% se encuentra degradado.

Degradación y amenazas

Los impactos actuales que generan amenazas potenciales de deterioro hacia el páramo, han sido identificados como consecuencia de una serie de actividades humanas.

Es necesario analizar con más detalle, las diferentes actividades que constituyen amenazas importantes para la conservación de la diversidad

y para los servicios ecológicos del páramo, sobre todo cuando son realizadas sin criterios de sostenibilidad ambiental.

Agricultura

Foto: Segundo Sánchez



Cultivo en Jalca de Cajamarca, Perú



Papa en Páramo de Rabanal, Colombia

Foto: Adolfo Correa

Foto: Adriana Morales



Arando para cultivar, Tuñame. Venezuela



Parcelas listas para sembrar, Chimborazo, Ecuador

Foto: Xavier Mera

La agricultura es, posiblemente, la actividad económica más importante que afecta a los páramos en todos los países andinos.

La intensidad de la actividad agrícola y el tipo de cultivo cambian, dependiendo de la zona, pero por lo general, en todas las regiones donde hay actividad agrícola, se siembra papa. Otros productos que también se cultivan, son: oca, olluco, hortalizas, cebolla, ajo, cereales, chochos, habas, quinua, etc.

Los sistemas de cultivo varían:

- hay sistemas tradicionales con descansos largos y
- sistemas muy intensivos, sin descansos, con uso de pesticidas, fertilizantes y riego.

Las áreas de mayor producción se encuentran en Mérida (Venezuela); Santander, Boyacá, Antioquia, Nariño (Colombia); Carchi y Chimborazo (Ecuador). La intensificación de la producción y el aumento de su impacto ambiental se dieron entre los años 1940 y 1950.

Entre los impactos ecológicos que generalmente se observan asociados al disturbio agrícola en el páramo, están:

- invasión de malezas exóticas (*Rumex acetosella*, *Poa annua*, etc.),
- reducción de la cantidad y la diversidad de los microorganismos (incluyendo las micorrizas) y a fauna del suelo,
- acidificación y pérdida de materia orgánica y de nutrientes del suelo,
- contaminación de suelos y aguas con efectos adversos sobre la salud humana, por el uso de agroquímicos como pesticidas y herbicidas asociados a sistemas intensivos,
- destrucción de la estructura del suelo y por lo tanto de la capacidad de retención de agua.

El reto de la investigación y del desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles, es lograr lo "ambientalmente amigable" de los sistemas que utilizan pocos insumos agrícolas y agrotóxicos, y niveles altos de producción.

También habría que destinar zonas para la conservación, de manera que se asegure agua para las actividades productivas.

Ganadería



Foto: Segundo Sánchez

Jalca de Cajamarca, Perú

La ganadería es otra actividad humana que afecta una gran superficie de páramos, en los cuatro países de Sudamérica.

Así es. Sobre todo domina la ganadería bovina y ovina, pero también son importantes los equinos (asociados a la actividad turística y agrícola), los caprinos y camélidos andinos (llamas y alpacas).

En Colombia, Ecuador y Perú, el manejo de los pastos involucra la quema, lo que ha implicado la transformación de extensas áreas de páramo.

En los páramos más secos, el pastoreo puede concentrarse en las zonas de pantanos y humedales altoandinos, especialmente en la época seca, pudiendo generar la degradación de estas áreas frágiles e importantes para el almacenamiento de agua.

En los sistemas más intensivos, se utilizan pastos introducidos como el *kikuyo* o el *ray grass* y se mantiene al ganado en potreros manejados.

La ganadería paramera cumple diversas funciones como: la producción de leche y productos lácteos, la producción de carne y animales de lidia, la participación de los animales en el transporte y las labores agrícolas como el arado. En algunos casos los animales sirven también, como caja de ahorros para las familias que los venden cuando lo necesitan.

Por lo general, es una ganadería muy ineficiente y poco rentable, pero con un gran arraigo cultural.

Entre los impactos ecológicos que generalmente se observan asociados a la ganadería están:

- Cambios en la vegetación, disminuyendo la abundancia de especies preferidas por el ganado (palatables) y produciendo generalmente una simplificación y homogeneización de la vegetación (transformación de pastizales en céspedes degradados).
- Aumento de la abundancia de especies poco palatables, indicadoras de disturbio como: invasoras, cojines y hierbas rastreras (*Rumex acetosella, Lachemilla orbiculata, Acciachne pulvinata*).
- Compactación de los suelos y disminución de su capacidad de retención de agua.
- Aumento de las tasas de erosión, pérdidas de materia orgánica y acidificación del suelo por sobrepastoreo.

Quema de la vegetación



Foto: Adolfo Correa

Frailejones después de la quema, Belmira, Colombia

Esta actividad se practica por lo general, para estimular el nacimiento de los brotes de las plantas, que sirven de alimento para el ganado. Las quemas también se utilizan en algunos casos para limpiar el terreno antes de una siembra.

Entre los impactos ecológicos asociados a la quema de los páramos están:

- Disminución de cobertura de bosques parameros y arbustales y aumento de la cobertura de pajonales.
- Aumento en la mortalidad de frailejones y arbustos, sobre todo si aumenta la frecuencia de las quemas.
- Disminución de la abundancia de material seco en pie (hojas secas, especialmente en el caso de las gramíneas, que se mantienen unidas a la planta antes de caer al suelo).
- Aumento del suelo desnudo, erosión y pérdida de nutrientes por volatilización por quemas frecuentes.

Forestación



Páramo de Quimsacocha, Ecuador

Foto: Pablo Borja

En los páramos se han introducido varias especies exóticas, como el pino y el eucalipto, en plantaciones forestales, desde principios del siglo XX, transformando muchos páramos en bosques artificiales.

La justificación que se utilizó para la introducción de estos árboles estuvo asociada sobre todo, con la provisión de madera y con la supuesta conservación de cuencas y su reforestación, aún cuando se estaban utilizando especies que no son propias de los páramos y "reforestando" un ecosistema que mayoritariamente no es forestal.

Entre los impactos ecológicos de la forestación del páramo con especies exóticas, están:

- Alteración del paisaje y cambios marcados en la abundancia de las especies de plantas originales de los páramos. Por lo general se produce una disminución de la diversidad vegetal. Sin embargo, los bosques pueden funcionar -en algunos casos muy particulares- como cinturones protectores de áreas de páramo y como refugios de fauna.

- Acidificación marcada del suelo y pérdida de materia orgánica, nitrógeno y en algunos casos, de fósforo disponible, por plantaciones de pino.
- Disminución de la capacidad de retención de agua en el suelo y reducción de los caudales base (hasta el 50%) en cuencas forestadas con pino.

Desde 1988, se ha introducido en los páramos, la especie racemosa del género Polylepis, originaria de la puna, que aún siendo una planta andina, está causando impacto negativo sobre las especies de Polylepis de los páramos. Por un lado, se mezcla con los Polylepis nativos, lo cual implica que estos pierdan potencialmente diversidad genética y por otro, al ser un árbol de crecimiento rápido, consume más agua[7].

Minería



Foto: Segundo Sánchez

Minería a cielo abierto en la jalca de Cajamarca

7 Segovia 2009.

En Perú, Ecuador y Colombia, la actividad minera, para la extracción de minerales como oro y carbón, es una amenaza para el páramo, debido a:

- los severos problemas de contaminación de aguas y suelos asociados a estas actividades,
- la destrucción de la estructura de los suelos y la pérdida de la capacidad para retener agua,
- la construcción de carreteras y campamentos mineros y
- los cambios que ocasiona en la organización social de las comunidades.

Las superficies que están directamente bajo explotación, son mucho menores que las que se encuentran en trámites para su exploración, que pueden alcanzar entre el 14 y el 20% de los páramos, en Colombia, Ecuador y Perú.

Entre los impactos de la minería están:

- Daños sobre el suelo y sobre su capacidad de almacenamiento hídrico.
- Alteraciones de los recorridos del agua a nivel local y regional.
- Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.
- Daños sobre la biodiversidad y sobre las interrelaciones del ecosistema.
- Cambios sobre las estructuras sociales y culturales.

Todas las actividades mencionadas –agricultura, ganadería, quemas, forestación y minería- afectan de una manera u otra al páramo. Al modificar las áreas, **reducen** el hábitat para la mayoría de los mamíferos, aves y otros animales y provocan cambios en la dieta de muchas especies.

Por ejemplo, en el Ecuador, actualmente existen conflictos entre el oso de anteojos y las comunidades que habitan cerca de sus habitats, porque, por la destrucción de los bosques, los osos carecen de alimentos y lo buscan en las plantaciones de maíz a su alcance.

En ocasiones, algunos osos han atacado al ganado que pasta en el páramo y aunque es un comportamiento no generalizado, provoca que se los persiga y se los cace.

Por lo general el efecto de las actividades humanas ocasiona la eliminación de la cobertura vegetal, la pérdida de especies vegetales nativas, la modificación en la estructura del suelo y la destrucción de micro-hábitats claves, para la supervivencia de invertebrados.

Actividades menores

Cacería de especies animales

Reduce el número de individuos en las poblaciones, se sabe que dantas, osos, cóndores y venados se han reducido notablemente.

Introducción de especies exóticas

Un ejemplo referido a una especie animal introducida, traída de Norte América, que tuvo un impacto importante sobre la diversidad de especies nativas, es el de la *trucha arco iris*, que fue introducida, a gran escala, en lagunas y ríos de los páramos.

Aunque no existe evidencia real que la trucha haya desplazado o disminuido las poblaciones de especies nativas, en el lago Titicaca, (Perú-Bolivia) se habla de una disminución de 80 a 2 ó 3 especies de peces nativos, después de haber introducido la trucha arco iris.

Así mismo, la introducción de animales domésticos como perros y gatos, puede tener un impacto importante aunque poco conocido sobre la fauna nativa, ya que tienden a ser cazadores efectivos, especialmente de aves y mamíferos pequeños. En una reciente investigación de carnívoros en páramos del norte de Ecuador, la mitad de los animales registrados ¡eran perros!

Por otro lado, en Colombia, la introducción del *retamo espinoso* con fines ornamentales, ha llevado a que esta planta se convierta en una maleza muy problemática, que invade áreas de páramo perturbadas por potreros.

Recolección de plantas y de leña

Es una actividad cuyo impacto es poco conocido. En el caso de la extracción de leña, principalmente para su uso como combustible doméstico, la intensidad de la actividad ha venido disminuyendo en la

medida en que se ha hecho más accesible el gas, en especial, en los páramos menos aislados.

Por otro lado, la extracción de plantas con fines medicinales, puede tener un impacto relativamente bajo, si es para autoconsumo.

Sin embargo, la extracción comercial a gran escala de plantas medicinales, puede tener un impacto negativo sobre las poblaciones silvestres (Por ejemplo: la extracción y comercialización del frailejón morado, *Orithrophium peruvianum,* en forma de jarabe, en los páramos de Venezuela).

El turismo

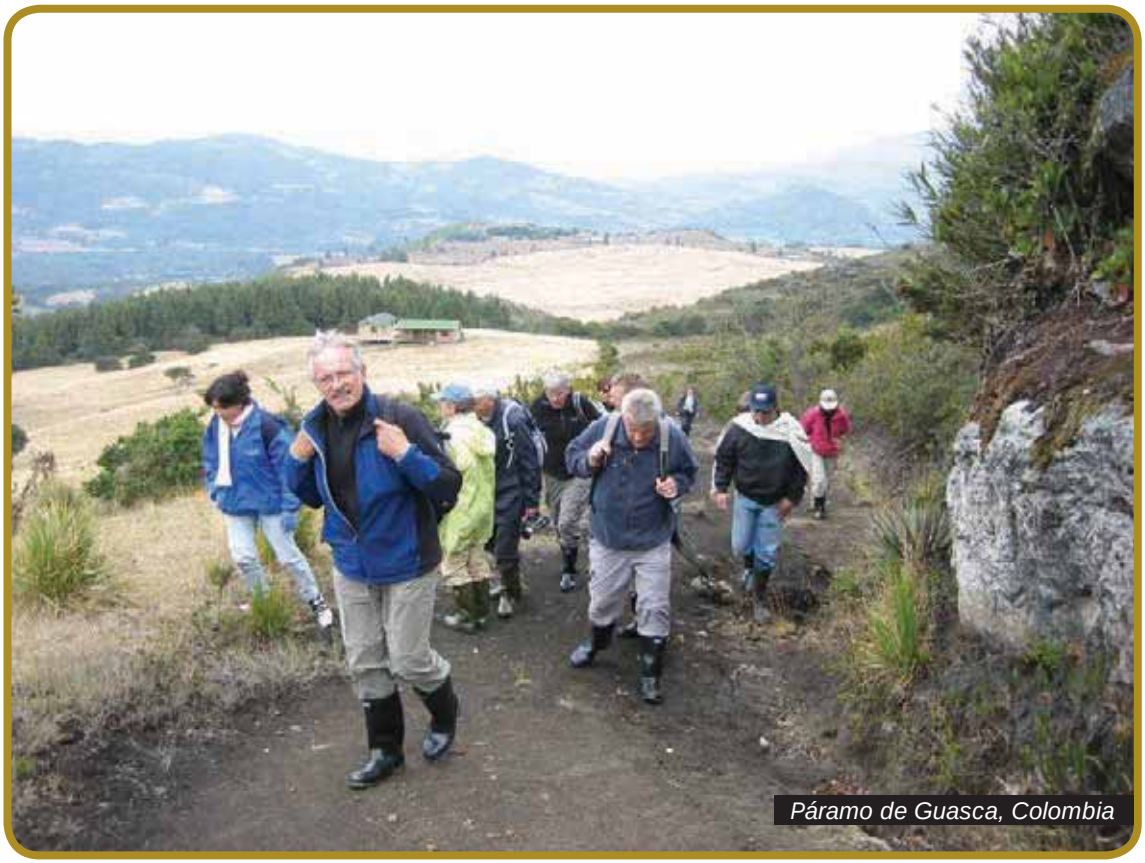


Foto: Elkin Pedraza

Páramo de Guasca, Colombia

El turismo puede causar importantes daños al páramo, sobre todo en función de la cantidad de turistas, el tipo de manejo turístico y el tipo de actividad desarrollada.

Obviamente, el turismo masivo puede generar impactos a través del aumento en la demanda de recursos básicos (alimentos, agua, etc.) o a través del aumento en actividades como el pastoreo de equinos (paseos a caballo).

El manejo de los desechos sólidos, es otro problema común en áreas visitadas con frecuencia por turistas, como por ejemplo, las visitas a las lagunas.

El llamado *turismo ecológico* es una actividad que se desarrolla tratando de no dañar el ambiente. Por ejemplo, se regula la cantidad de personas que puede recibir determinada área, se evita que se arroje basura, se respetan las reglas establecidas, etc.

El turismo no ecológico tiende a ser poco respetuoso de las tradiciones y costumbres de la población local, generando cambios en los patrones de consumo e incidiendo negativamente en la cultura paramera.

Por otra parte, existen actividades turísticas completamente incompatibles con la conservación del páramo porque pueden tener grandes impactos, como las actividades de motocross y vehículos rústicos (off-road.)

ACTIVIDADES

1. ¿Cuáles son los principales problemas que presenta el páramo que conoce o donde vive?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. ¿Qué habría que hacer para solucionarlos?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

En menos palabras…

El páramo andino es un ecosistema natural que se encuentra por encima de los bosques y por debajo de las nieves perpetuas en los Andes tropicales.

Se encuentra distribuido en forma de un corredor insular a lo largo de los Andes de Venezuela, Colombia, Ecuador y el norte de Perú.

Existen otros ecosistemas tropicales de alta montaña en el mundo (en Costa Rica y Panamá, África, Asía y Oceanía) que comparten muchas de las características ecológicas esenciales de los páramos andinos.

Entre las características ambientales y ecológicas más importantes de los páramos se encuentra su clima frío y húmedo de alta montaña tropical, sus suelos con altos contenido de materia orgánica y su vegetación relativamente abierta en que dominan hierbas, cojines, arbustos y rosetas.

Los páramos andinos son ecosistemas de origen natural, cuyo surgimiento estuvo asociado al último período de levantamiento de los Andes, hace unos 5 millones de años. Durante este tiempo (relativamente corto en términos evolutivos) la vida en los páramos ha experimentado un proceso muy rápido de diversificación, asociado principalmente a la aparición de nuevas especies durante los períodos cálidos interglaciales (en que los diferentes páramos permanecieron aislados en las partes más altas de la cordillera) y a la dispersión de estas especies durante los períodos fríos glaciales en los que, los páramos estuvieron más conectados entre sí.

Los páramos andinos son los ecosistemas de mayor diversidad biológica y grado de endemismo del mundo (60% de las plantas son exclusivas de este ecosistema) por lo que constituyen un patrimonio único.

La diversidad de los páramos puede ser analizada a varias escalas (continental, de paisajes, de formas de vida, de especies). Esta diversidad hace relativamente difícil el establecer generalizaciones, y nos recuerda que cuando hablamos del páramo andino en singular, estamos en realidad hablando de muchas cosas diferentes: páramos húmedos y páramos secos, páramos de arbustal y páramos de pajonal, superpáramos desérticos y bosques parameros, páramos transformados y páramos bien conservados, etc.

La flora de los páramos cuenta con más de 4000 especies diferentes, lo que constituye más del 10% de la diversidad florística de los Andes. Las plantas del páramo presentan adaptaciones muy especiales a las difíciles condiciones del trópico frío. Un ejemplo espectacular es el de los frailejones gigantes, con sus hojas lanudas protegidas de la radiación y sus troncos cubiertos de hojas muertas, que forman un abrigo que evita que el agua almacenada en su interior se congele.

La fauna de los páramos es menos conocida, pero alberga también especies endémicas (especialmente en grupos como los anfibios o los escarabajos), además de especies emblemáticas de los Andes y que se encuentran en peligro de extinción como los impresionantes cóndores y los osos de anteojos.

Para entender la importancia de los páramos es necesario entender los delicados procesos que intervienen en su funcionamiento como ecosistemas y que incluyen toda una intrincada red de interacciones entre las especies que en ellos habitan (ej. entre plantas y colibríes polinizadores o entre los hongos del grupo de las micorrizas y las raíces de las plantas, permitiéndoles aumentar la captación de nutrientes).

Así mismo, para entender el papel de los páramos en la acumulación y regulación hídrica y en la acumulación de carbono en sus suelos, es necesario entender los delicados procesos que intervienen en el movimiento o flujo del agua y el carbono a través del ecosistema.

Aún cuando los páramos son ecosistemas naturales, algunos de ellos han sido objeto de procesos de transformación humana desde hace más de 10.000 años. Estos procesos de transformación del páramo pueden dividirse en 4 períodos principales: pre-incaico, incaico, colonial y moderno. Sin embargo, diferentes regiones de los páramos han tenido historias muy diferentes de intervención, por lo que su estado de conservación actualmente varía desde páramos muy bien conservados (aproximadamente un 30%), pasando por páramos transformados (c. 40%) hasta páramos muy degradados (c. 30%).

Las principales amenazas para la conservación del páramo incluyen su transformación en sistemas agrícolas, el sobrepastoreo con vacunos, equinos y ovinos, la minería y la forestación (especialmente con especies exóticas).

Finalmente, cuando se proponen acciones de manejo humano en zonas de páramo, es fundamental detenerse a preguntarse, qué efecto tienen estas acciones (cultivos, pastoreo, forestación, etc.) sobre el mantenimiento de la diversidad local y regional de los páramos, sobre los procesos de regulación del flujo del agua o del carbono y sobre la intrincada red de interacciones que están en la base del funcionamiento de este ecosistema único en el planeta.



Glosario

Adaptación: proceso evolutivo que modifica la anatomía, la fisiología y el comportamiento, obteniendo como resultado un aumento en la capacidad de una población para vivir en un ambiente determinado.

Comunidad: en lo ambiental, una asociación de especies en interacción, que viven en una zona concreta. A menudo, se define como *"todos los organismos de un grupo taxonómico en particular que viven en una zona dada y en un momento dado (ej. la comunidad de plantas del páramo de Chingaza)"*

Diversidad biológica: variedad de seres vivos, ambientes o paisajes que coexisten en una región dada.

Ecología: estudio de las relaciones entre los organismos y su ambiente.

Ecosistema: es un sistema complejo formado por un conjunto de componentes bióticos (plantas, animales, microorganismos) y abióticos (agua, nutrientes, materia orgánica) interconectados por flujos de energía y movimientos de materia.

Especies endémicas: especies que son exclusivas de un área geográfica determinada.

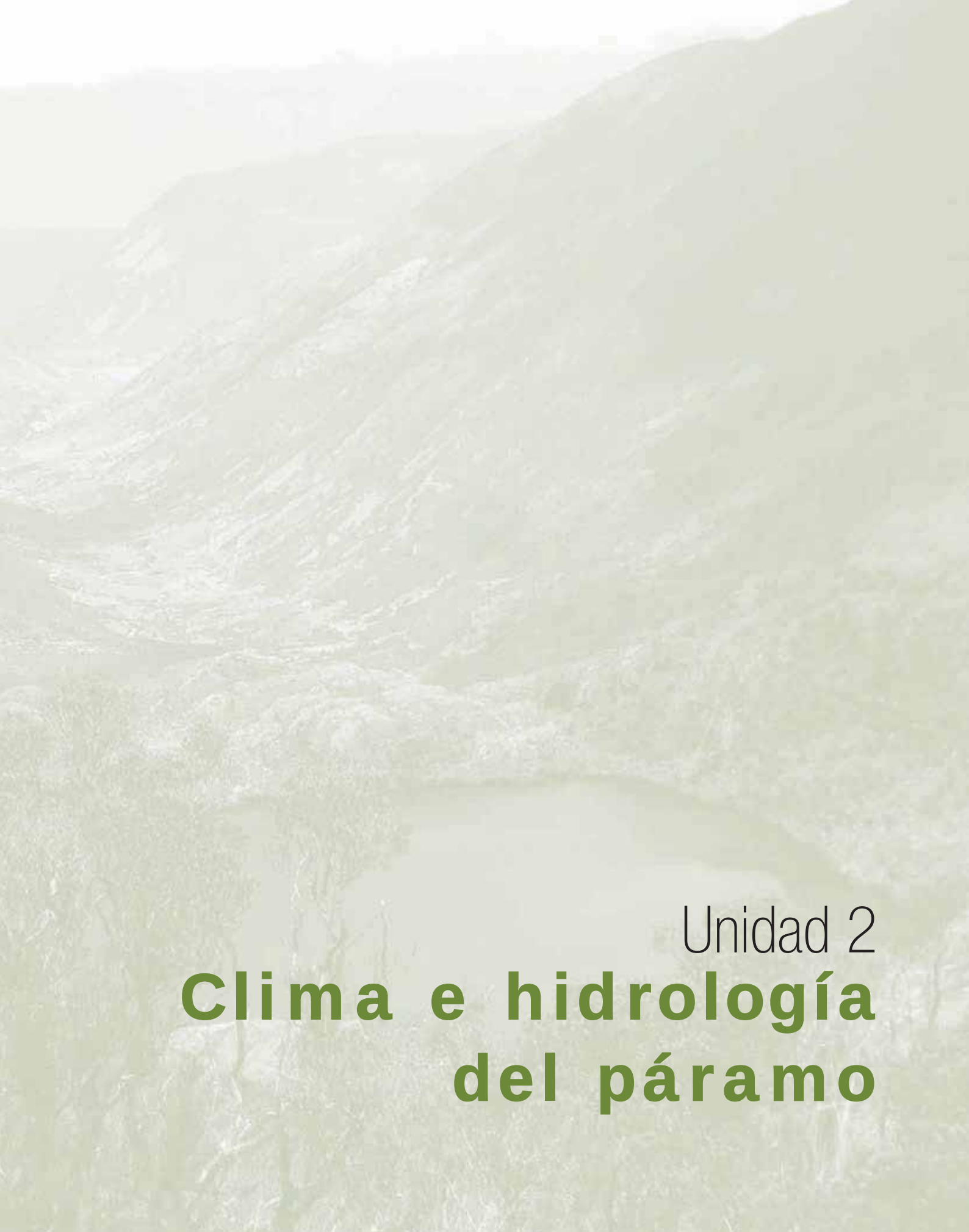
Forma de vida: (de una planta.) Es una combinación de su estructura y su forma de crecimiento. Las formas de vida vegetales más representativas de los páramos incluyen a las rosetas caulescentes y acaules, los arbustos, las gramíneas en macoya y los cojines.

Riqueza de especies: número de especies diferentes que integran una comunidad dada.

Transformación antrópica: transformaciones en el ambiente, ocasionadas por los seres humanos.







Unidad 2

Clima e hidrología del páramo

Rolando Célleri • Bert De Bièvre • Boris Ochoa




Foto: Xavier Mullo

Antes de comenzar…

El páramo es uno de los ecosistemas más importantes de la región andina debido a los múltiples servicios ambientales que presta a la sociedad. Además de la diversidad biológica que alberga, la importancia que tiene para nuestros pueblos lo ha convertido en un elemento fundamental de su historia y de su cultura. Este trascendental valor como ecosistema viene dado precisamente por uno de los elementos más valiosos para la vida: el agua. El agua es posiblemente el elemento más separador y unificador a la vez, y mucho de esta concepción se basa en el poco conocimiento que podemos tener sobre él.

La provisión y regulación de agua de excelente calidad es el servicio más significativo de los ecosistemas andinos para la sociedad. Más de 100 millones de personas se benefician del agua para uso urbano, agrícola, industrial y para la generación eléctrica. Aun así, el conocimiento que tenemos sobre la hidrología del páramo ha sufrido un tardío desarrollo, y la transmisión de información oportuna hacia los tomadores de decisiones y actores directos del agua no ha sido priorizada. Esto se hace más severo cuando nos enfrentamos a fenómenos mayores como el Cambio Climático.

Es por esto que este trabajo es un esfuerzo del Proyecto Páramo Andino para fortalecer el conocimiento de los técnicos locales que trabajan directamente en el uso y la gestión de los ecosistemas andinos y en especial del páramo. Entender el clima como un factor desencadenante del ciclo hidrológico, los procesos ambientales que determinan la hidrología del páramo, los impactos producidos por las actividades humanas sobre el agua, y las certezas e incertidumbres sobre el Cambio Climático, son la base para el entendimiento de este elemento dentro del contexto de todo el ecosistema.

Además, como parte del proceso de formación y de fortalecimiento de capacidades locales, se presenta una sección para comprender la importancia del monitoreo hidrológico y meteorológico de los ecosistemas. Sobre todo, es importante la vinculación de las comunidades dentro de los procesos de generación de conocimientos porque son los principales usuarios, actores y gestores del agua en estos ecosistemas. El término "monitoreo hidrológico participativo" es la finalidad última que busca esta Unidad para compartir e intercambiar información con comunidades que viven y sienten el agua del páramo como un componente vivo.

Esta Unidad está destinada a transmitir el conocimiento generado a través de investigaciones científicas sobre la hidrología del páramo, pero puede ser usada en otros ecosistemas de igual manera. Los conceptos generales sobre meteorología e hidrología están destinados a favorecer el entendimiento de este tema y pueden servir para investigar otros sitios igual de importantes y delicados.

Este material ha sido mediado pedagógicamente con el propósito de facilitar los aprendizajes conservando su rigurosidad científica.

Esperamos que sea un aporte importante y de utilidad para todas aquellas personas, instituciones y organizaciones que trabajan en la hidrología del páramo, en particular, y de los ecosistemas andinos, en general.

Entender la meteorología y la hidrología como base para la toma de decisiones y acciones sobre los ecosistemas, es fundamental para guiar las actividades hacia la conservación y recuperación de los servicios ambientales que prestan, pero, sobre todo, para valorar el agua como un elemento cultural y ambiental significativo, que por años nuestros pueblos, con sabiduría, consideraron como la sangre de la Pachamama.

Los autores.

¿QUÉ NOS PROPONEMOS CON ESTA UNIDAD?

- Entender el clima como un factor desencadenante del ciclo hidrológico y como controlador de varios de sus componentes.

- Describir los procesos ambientales que determinan el funcionamiento hidrológico del páramo y cómo la influencia humana los afecta.

- Analizar:

  - las características del ciclo hidrológico en general y el del páramo en particular.
  - los impactos producidos por las actividades humanas sobre la disponibilidad del agua.

- Comprender la importancia de realizar monitoreos meteorológicos e hidrológicos.

- Desarrollar capacidades para implementar acciones de monitoreo hidrológico teniendo en cuenta la participación de las comunidades.

De la lluvia, de la niebla,
se desliza el agua
para esconderse en el suelo,
y dormir el sueño de la creación.

Hasta que, de pronto, se despierta
y sale a recorrer caminos,
a llenar huecos,
a formar ríos que sueñan con ser mar…

En su andar entre rocas, pajonales, hierbas y llanuras,
el agua va calmando la sed de todo el mundo.
La sed de la tierra, la sed de la gente,
La sed de animalitos y la sed de las plantas
que siempre la esperan con ansiedad y alegría.

El agua siente que florece en el verdor vegetal
por eso canta con voces de vidrio, de metal o de piedra.
Y sabe que nadie podrá quitarle esa emoción,
porque hay quienes vigilan y defienden su destino…

Agua y Páramo

"... como nuestra sangre, el agua es la vida. El agua sirve para todo, es como sangre de la Pachamama"[8].

El agua es una importante razón de ser en la vida de las personas y de los páramos.

Como se sabe, el **páramo** es el **ecosistema principal para el abastecimiento de agua** que consumen las comunidades andinas, tanto rurales como urbanas.

En efecto, uno de los servicios más importantes que presta el páramo a las poblaciones es la **provisión de agua** de excelente calidad y de forma constante a lo largo del año.

¿De dónde viene el agua de los páramos? Ciertamente de la lluvia y de la neblina, que son parte del **clima.** Por eso es necesario profundizar este tema -el clima- para poder entender mejor la situación del agua en los páramos andinos.

Clima y tiempo

Por lo general cuando se habla de **clima** se alude al estado del tiempo: frío, calor, lluvias, vientos, etc.

Clima y **tiempo** se suelen usar como si fueran la misma cosa, pero no lo son. Ambos se describen a través de algunas variables meteorológicas como:

- temperatura,
- humedad,
- velocidad y dirección del viento,
- nubosidad,
- precipitación y
- presión.

8 Bartolo Otavalo, comunidad de Tocagón. Imbabura Ecuador.

La diferencia está en el período de tiempo analizado o sea, en la **escala temporal** con la que se analizan los fenómenos atmosféricos, que son estudiados por la meteorología.

Meteorología es la ciencia que estudia la atmósfera terrestre y los procesos atmosféricos que producen tanto el clima como el tiempo[9].

El tiempo indica el estado de la atmósfera durante un corto período de tiempo: horas, días o semanas.

Los pronósticos que realizan las agencias meteorológicas por ejemplo, nos indican el posible estado del tiempo del día siguiente:

"… *para mañana se espera tiempo seco, con una temperatura promedio de 20 grados centígrados*".

El clima generalmente prevalece en una región determinada, durante un período de tiempo largo: meses, años o siglos.

Por ejemplo: "*el* ***clima*** de la costa es cálido y húmedo", lo cual quiere decir que **normalmente** las temperaturas y la humedad son altas, aunque en determinado momento ***el tiempo*** en la costa, también puede llegar a ser frío.

Así mismo, al decir que el clima del verano en la sierra de Ecuador es seco y ventoso, se da a entender que, **por lo general,** durante cierto período (Julio-Agosto) hay pocas lluvias y presencia de vientos fuertes; sin embargo, en determinado momento de este período, puede llover.

A pesar de esta diferencia, en algunas regiones es común hablar de clima para todas las escalas temporales, sean cortas o largas.

En latitudes mayores como en Canadá o en la Argentina el tiempo varía fuertemente durante el año. Estas variaciones a través de las estaciones son parte del clima de este lugar.

9 Whiteman, 2000.

Elementos básicos de meteorología

Son siete las principales variables meteorológicas que nos indican el estado de la atmósfera y se expresan así:

Variable	Unidad
Temperatura del aire	°C (grados Celsius)
Precipitación	mm (milímetros de agua)
Dirección del viento	° (grados)
Velocidad del viento	m/s (metros por segundo)
Humedad relativa del aire	% (porcentaje)
Presión del aire	mb (milibares)
Radiación solar	W/m^2 (Watts por metro cuadrado)

La **temperatura** del aire indica el grado o intensidad de calor presente en las masas de aire.

La **precipitación** es la cantidad de agua que ha caído sobre la superficie terrestre. Existen varias formas de precipitación, siendo las más importantes:

- la lluvia,
- la llovizna,
- el granizo, y,
- la nieve.

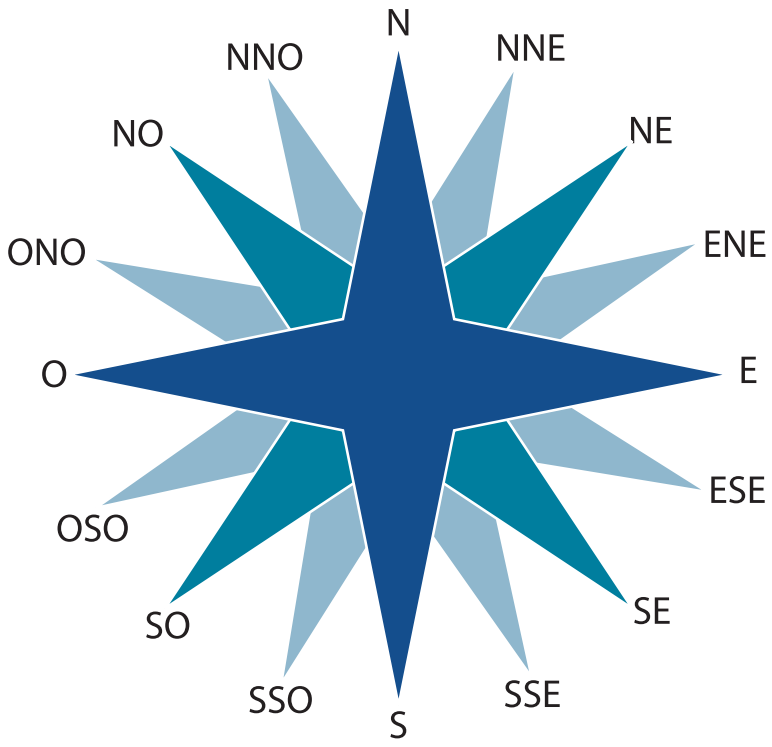
Si se pudiera acumular la cantidad de precipitación que cae, en un intervalo de tiempo determinado, (por ejemplo una hora o un día) se podría ver una capa de agua sobre el suelo. El espesor de esta capa, expresado en milímetros (mm), es **la unidad de medida de la precipitación**.

Un milímetro de lluvia equivale a un litro de agua caída en un metro cuadrado de superficie.

La **dirección del viento** indica hacia donde sopla el viento en un momento determinado. Se mide en sentido de las manecillas del reloj (sentido horario) desde el Norte; así, una dirección de cero grados apunta hacia el Norte y otra de 180 grados hacia el Sur.

La rosa de los vientos es la representación de la dirección del viento, como el viento no sopla siempre en la misma dirección la rosa de los vientos nos permite estimar hacia donde va el viento.

Rosa de los vientos para representar la dirección



La **velocidad del viento** es la velocidad a la cual se desplazan las masas de aire. Se mide en un plano horizontal y no depende de la dirección en la cual sopla el viento.

La **humedad** es la cantidad de vapor de agua que puede contener el aire. Se puede expresar de forma **absoluta** como una relación entre la cantidad de vapor de agua (gramos) por unidad de volumen de aire (m^3), o de forma **relativa** que es la cantidad de vapor que existe en el aire, en relación con la cantidad que el aire puede contener al 100% antes de que empiece la condensación. El aire saturado de vapor de agua tiene una humedad absoluta máxima y el 100% de humedad relativa. La humedad relativa es la forma más habitual de expresar la humedad del aire.

La **presión de aire o presión atmosférica** es la medida del peso de la columna de aire que se encuentra sobre un sitio determinado. En la costa, la columna de aire es mayor que en una zona de montaña, por lo que la **presión del aire** es menor en zonas altas.

La **radiación solar** es la energía emanada por el sol, que incide sobre la Tierra.

Antes de ingresar a la atmósfera de la tierra se conoce como r*adiación extraterrestre* y va disminuyendo conforme ingresa a la atmósfera. La nubosidad aumenta esta disminución. El ángulo con el que se reciben los rayos solares también disminuye la radiación solar.

Por lo tanto en sitios elevados la radiación solar es mayor que en sitios bajos. Por ejemplo en el páramo es muy intensa.



Páramo de Gavidia, Venezuela

Foto: Bernabé Torres

Factores que determinan el clima

Existen cuatro factores básicos que determinan el clima:

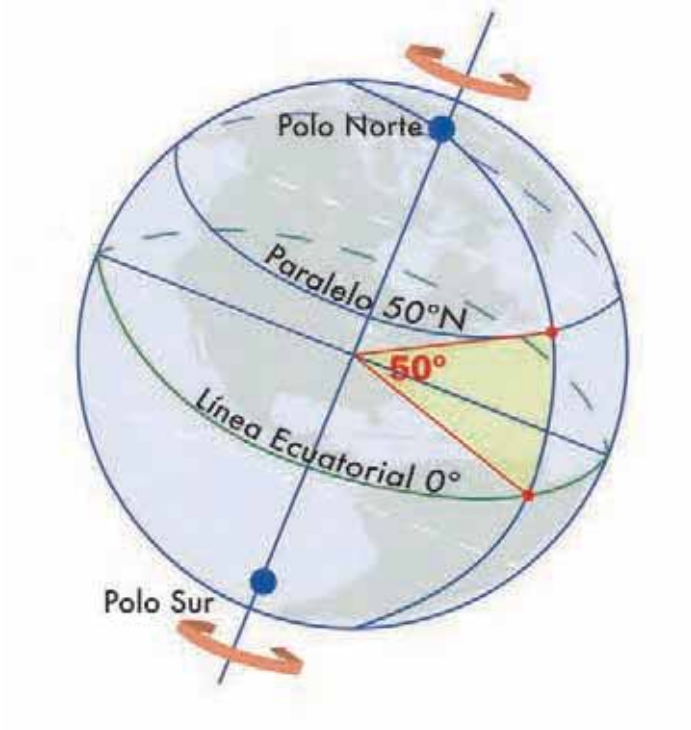
- **latitud,**
- **altitud,**
- **continentalidad y**
- **exposición a circulaciones regionales**[10].

10 Whiteman, 2000.

Latitud

Es la distancia angular -al Norte o al Sur de la línea ecuatorial- , donde se ubica un determinado sitio. En la figura, por ejemplo, un punto ubicado en cualquier lugar sobre el paralelo 50 norte, estará siempre ubicado a 50° de latitud norte.

Determinación de la latitud

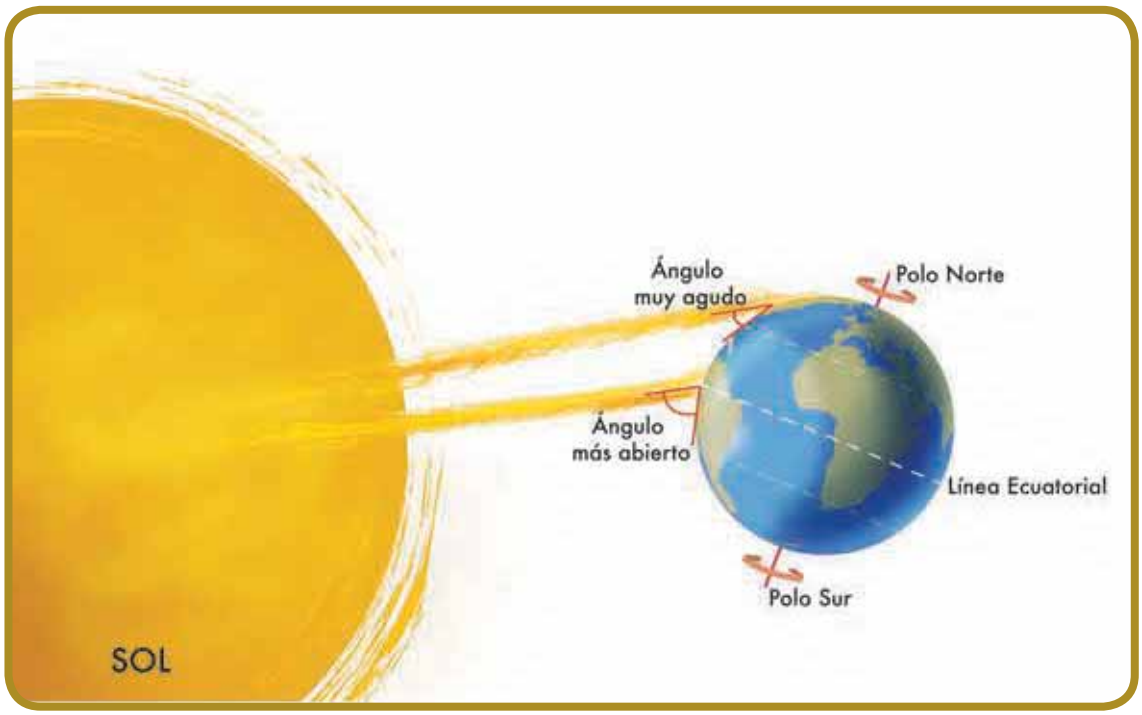


La importancia de la **latitud** radica en que **determina la cantidad de radiación solar** que se recibe en ese sitio y que se establece por el ángulo de inclinación con respecto del sol y por la duración del día.

Por ejemplo, un sitio ubicado en los páramos cercanos a Quito (latitud cero) tiene el sol en posición cercana a perpendicular durante todo el año. Esto, además de que la duración del día sea igual durante todo el año, hace que la radiación solar sea permanentemente muy alta.

A latitudes mayores (sitios mas lejanos de la línea equinoccial), la radiación solar recibida es menor**.** Por ejemplo, en esta figura, cerca del polo norte el ángulo de inclinación de los rayos solares es muy agudo. En cambio, cerca de la línea ecuatorial el ángulo es más abierto.

Radiación solar en función de la latitud



Los rayos calientan más o menos según se concentren en una superficie más grande o más pequeña.

Las variaciones en la cantidad de radiación recibida, producen variaciones en el clima y en el tiempo, que pueden registrarse en escalas temporales largas y cortas.

En escalas largas (1 año), a mayor latitud, mayor variación entre las estaciones fría y caliente, a lo largo del año. Los extremos ocurren en estaciones con mucha radiación (verano) y estaciones con poca radiación (invierno) como en Canadá y Argentina.

Altitud

Es uno de los factores más determinantes del clima y del tiempo en nuestras zonas de montaña, ya que la mayoría de **las variables meteorológicas, varían con la altitud.**

La temperatura, la radiación solar de onda corta, la humedad atmosférica, la precipitación, la velocidad del viento y la presión del aire, varían con la altitud.

En la capa más baja de la atmósfera (la troposfera de 0 - 11 km de altura) la **temperatura** del aire **disminuye** con la elevación, por lo que los sitios elevados son más fríos que los sitios a nivel del mar.

La temperatura disminuye entre 0.5 y 1 grado Celsius por cada 100 metros de aumento de altitud, en promedio.

La radiación solar se incrementa con la altitud.

Como para llegar a los sitios bajos, la radiación solar tiene que atravesar una capa más gruesa de la atmósfera, los rayos solares tienen más oportunidad de perder su intensidad, debido a procesos de absorción y reflexión que se producen en la masa de aire especialmente -pero no únicamente-, cuando hay nubes, por lo cual, la radiación es menor en sitios bajos que en los sitios más altos.

La humedad atmosférica o humedad del aire, depende en gran medida, de la cercanía de una fuente de agua.

En sitios costeros, la **cercanía al mar** permite que la **humedad** en la atmósfera sea **alta**. De la misma manera, la humedad sobre la selva amazónica es alta, porque la selva es fuente de humedad a través de la transpiración de la vegetación. Mientras en sitios **más altos**, la cantidad de **humedad** atmosférica **es menor** porque hay mayor distancia con la fuente de humedad.

Sin embargo, en altitudes mayores, se observa generalmente mayor cantidad de precipitación.

Esto se debe a que, cuando una masa de aire caliente y húmedo asciende, la masa de aire se enfría. Lo que disminuye la capacidad del aire de contener vapor y una gran parte de su humedad se condensa y se forma la precipitación. Pero hay muchos factores que localmente pueden cambiar esta relación entre precipitación y altura como por ejemplo la topografía local que facilita o impide los movimientos de las masas de aire.

La velocidad del viento generalmente se incrementa con la altitud.

Esto se debe a que en elevaciones altas existe muy poca resistencia al movimiento del aire. En cambio, en elevaciones bajas, existe una mayor fricción entre la capa de aire y la superficie de la tierra.

En las zonas altas, la presión atmosférica es menor.

En el cuadro siguiente encontrará un resumen de las variables meteorológicas y su relación con la altitud.

Variables meteorológicas por altitud

Variables / Altitud	Temperatura	Radiación solar	Humedad del aire	Precipitación	Velocidad del viento	Presión del aire
En zonas altas	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Mayor	Menor
A nivel del mar	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Menor	Mayor

Continentalidad

Se refiere a la ubicación del sitio de interés, dentro del continente, en relación con su distancia a los océanos. Sitios ubicados **cerca de océanos** tienen una **menor variación de la temperatura**, tanto estacional como en el día, debido a que las masas de agua se calientan y enfrían más lentamente que la superficie terrestre.

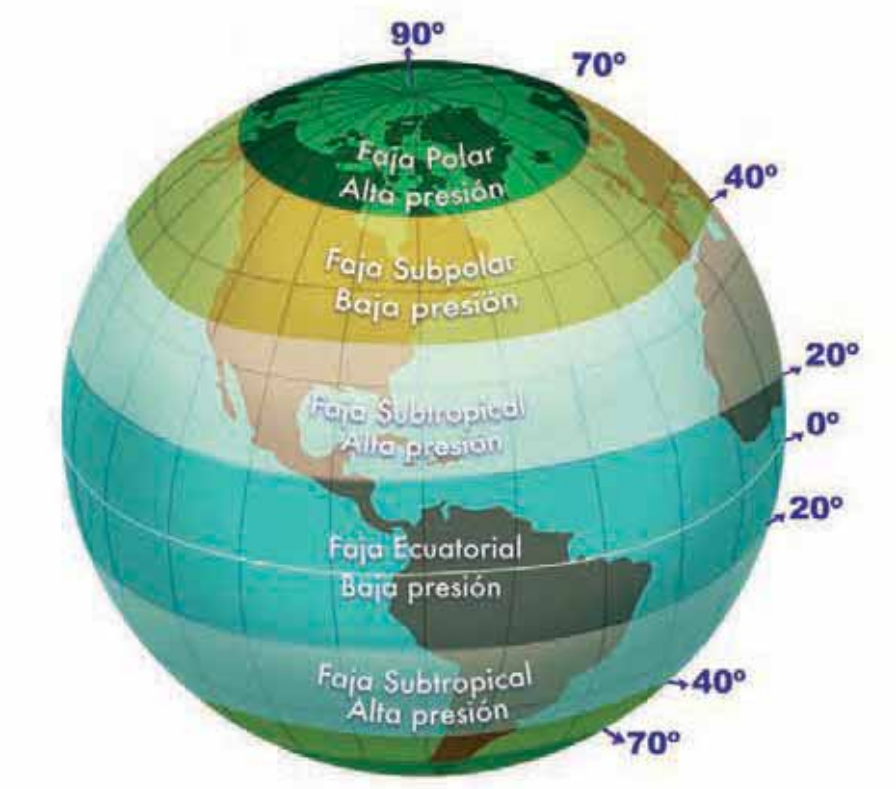
Por otro lado, sitios ubicados en el centro del continente, normalmente presentan menor nubosidad, menor humedad y menor precipitación, pero mayor radiación que los sitios cercanos al mar.

Exposición a Circulaciones Regionales

Son producidas por los sistemas de presiones atmosféricas altas y bajas. Estos sistemas son responsables de formar lo que se llama ***fajas latitudinales*** que circunvalan la tierra.

En la figura se pueden observar las fajas de presión en el globo terráqueo. Zonas de baja presión ocurren en la faja ecuatorial (0-20° de latitud) y en las fajas subpolares (40-70°). Se alternan con zonas de alta presión, que ocurren en las fajas subtropicales (20-40°) y polares (70-90°).

Fajas de presión



Las fajas de **bajas presiones** están asociadas con: **movimientos ascendentes** del aire en la atmósfera, nubosidad, precipitación y fuertes vientos.

Las fajas de **altas presiones**, se relacionan con **movimientos descendentes** del aire en la atmósfera: cielos despejados, aire seco y vientos ligeros.

Estos sistemas de presión no son constantes durante el año, sino que presentan modificaciones con las estaciones que hacen variar el clima.

Mapa climático

En el mapa se observan los tipos de clima en América del Sur.



¿Por qué la gran variedad de climas?[11]

La gran variedad de climas se produce por:

- **La amplitud de latitudes que ocupa el continente.**
- La mayor parte de Sudamérica se encuentra dentro de las zonas tropicales.
- La línea equinoccial la atraviesa por la parte norte y el trópico de Capricornio pasa cerca de su latitud media.

11 Editado de Wikipedia.

Por debajo del trópico de Capricornio, predomina el clima templado en Uruguay, centro de Argentina y sur de Brasil; y el clima mediterráneo en el centro de Chile. Finalmente en la Patagonia se encuentran climas fríos (húmedo en la zona cordillerana y secos en la zona oriental). El extremo sur penetra en la zona subantártica.

- **La diferencia de temperaturas entre los océanos Atlántico y Pacífico**. Generalmente el lado Atlántico es más cálido y el Pacífico es más frío por la presencia de la corriente de Humboldt, procedente del continente Antártico.
- **La presencia de la Cordillera de los Andes,** que actúa como biombo climático, y presenta grandes diferencias térmicas según la altitud (cuenta con hielos eternos incluso en la zona ecuatorial).

Los extremos son tales que en la costa del Pacífico, entre los Andes y el Océano Pacífico, se encuentran tanto las zonas más húmedas -la zona del Chocó que cubre Panamá, Colombia y el norte del Ecuador- como las más secas del planeta -el desierto de Atacama en Chile que limita con Perú, Bolivia y Argentina.

El clima a escala de los Andes tropicales

Los Andes Tropicales, desde Venezuela hasta Bolivia, se caracterizan por ser uno de los sistemas climáticos más complejos del mundo, con gradientes extremos de precipitación y temperatura.

El régimen de temperatura es dominado por los grandes gradientes altitudinales, y en las latitudes mayores de la zona tropical, por una muy moderada estacionalidad. Los patrones de precipitación tienen su origen en sistemas climáticos de gran escala sobre el Océano Pacífico y la Amazonía, y en el caso de los Andes colombianos y venezolanos, adicionalmente por el Caribe.

Estos sistemas climáticos en muchos sitios se sobreponen unos con otros. La extensión de la influencia desde uno u otro sistema también varía según la estación del año. Aunque esas variaciones le dan una complejidad extrema a la distribución espacial y temporal de la precipitación en los Andes Tropicales, se pueden señalar algunas tendencias generales:

- La **Amazonía** envía masas húmedas de aire hacía los flancos orientales de los Andes, mecanismo que en el hemisferio norte se presenta con baja variación durante el año. En el hemisferio sur, la cordillera peruana y boliviana reciben mucha mayor humedad desde la Amazonía durante el período diciembre-abril, que durante el resto del año.

- El **Océano Pacífico,** desde el occidente, envía masas húmedas de aire por la zona de convergencia intertropical, proceso que es amplificado por la corriente cálida del Niño. Estas masas se presentan todo el año en la Cordillera Occidental colombiana, y con estacionalidad, en la Cordillera Occidental ecuatoriana. Más al sur, en la costa peruana, es bien conocido que la corriente fría de Humboldt impide que se transporte humedad desde el océano a la zona costera y al flanco occidental de la Cordillera.

- **Las masas húmedas de origen caribeño** en el Norte de los Andes, traídas por los vientos alisios, añaden un factor adicional a estos patrones.

En los valles interandinos puede existir mayor o menor influencia desde los diferentes orígenes de humedad, en función de la topografía de las cordilleras, que impida o no el ingreso de masas húmedas a la zona interandina. Ciertas zonas interandinas son áridas debido a que no puede ingresar humedad desde ninguno de los dos lados, y otras tienen presencia de lluvias casi todo el año o tienen un régimen bimodal, o sea dos épocas de lluvias en el año, provenientes una de cada lado.

Esa gran variedad en el régimen de precipitación, da origen a expresiones locales tales como el "veranillo del Niño" en Ecuador, y otras del mismo estilo. El veranillo del Niño es resultado de cambios atmosféricos y climáticos producidos por el "Fenómeno del Niño", en particular por la presencia de la "Corriente del Niño" que se origina en el Golfo de Guayaquil.

En general, se puede decir que la estacionalidad de la lluvia es mayor en el sur (Perú, Bolivia) y menor en el norte (Ecuador, Colombia), debido principalmente a que el origen de la humedad en el sur es solamente Amazónico y no proveniente del océano Pacífico. En la Cordillera de Mérida en Venezuela, existe una marcada estacionalidad.

Meteorología de alta montaña: Características del clima en el páramo

Las montañas influencian el clima en múltiples escalas, desde la local, hasta las escalas globales.

A escala local, el aire es forzado a elevarse por las pendientes de las montañas, por lo que se produce la formación de nubes y la posterior precipitación. Por eso las zonas de montaña, especialmente en los Andes tropicales, tienden a tener un clima más húmedo que las regiones bajas.

A escala global, las cordilleras modifican el flujo de los vientos de las grandes circulaciones, creando condiciones totalmente distintas a las que se presentarían de no existir estas grandes barreras naturales.



Páramo de Gavidia, Venezuela

Foto: Julia Smith

El clima en el páramo

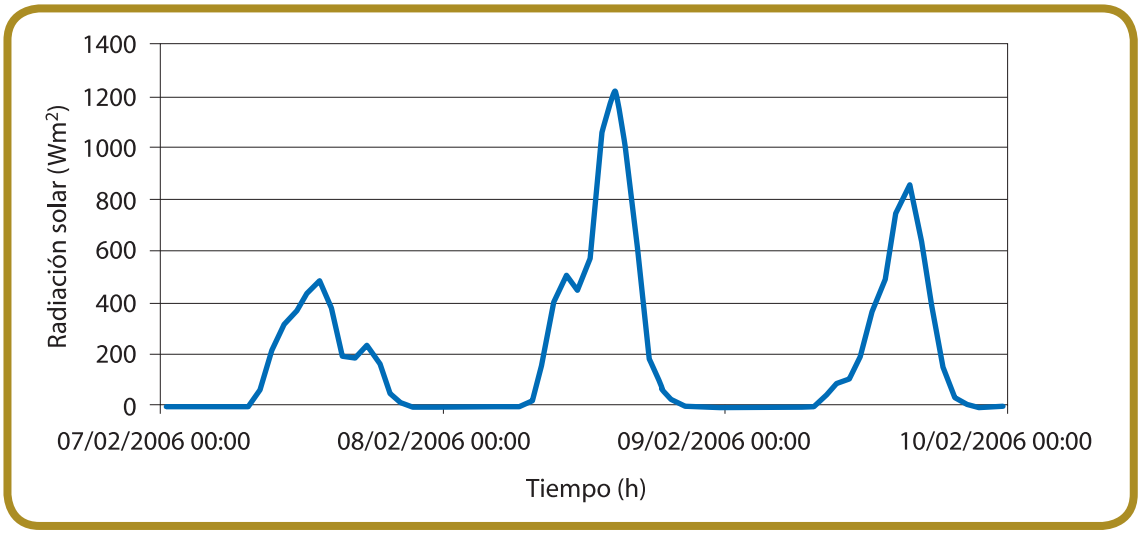
Las variables: radiación solar, temperatura y precipitación tienen características específicas en los páramos.

Radiación solar

Al existir una menor capa atmosférica en las zonas altoandinas, la cantidad de **radiación** que llega al suelo por metro cuadrado es **mayor** allí, que en las zonas costeras. A esto se suma el hecho de que los páramos se encuentran cerca de la línea ecuatorial y, por lo tanto, la cantidad de radiación solar incidente, es aún mayor que en el resto de zonas montañosas.

En el gráfico se observa la variación diaria en la radiación solar incidente, para la estación meteorológica Zhurucay (Ecuador), típica de la zona de páramo. Los picos más altos, se registran durante el medio día. Por la noche, la radiación incidente es cero.

Variación de la radiación solar en la estación Zhurucay, Ecuador



También puede observarse que **la radiación depende de la nubosidad**: durante el primer día -nublado- la radiación al medio día llega solamente a 500 W/m^2. En tanto, al día siguiente -despejado-, a la misma hora aumenta sobre los 1200 W/m^2 (lo que es cercano al máximo teórico en el planeta: 1367 W/m^2). En días despejados la cantidad de radiación incidente es muy elevada.

Temperatura

A pesar de que existe una mayor incidencia de radiación solar en zonas altas, su efecto sobre la temperatura es bajo. Esto se debe a que solo una pequeña fracción de la radiación es absorbida por la atmósfera, llegando casi en su totalidad a impactar el suelo o la superficie terrestre, que se calienta; o sea, esta radiación no calienta el aire pero sí el suelo (y a nosotros, las personas, si estamos en el medio).

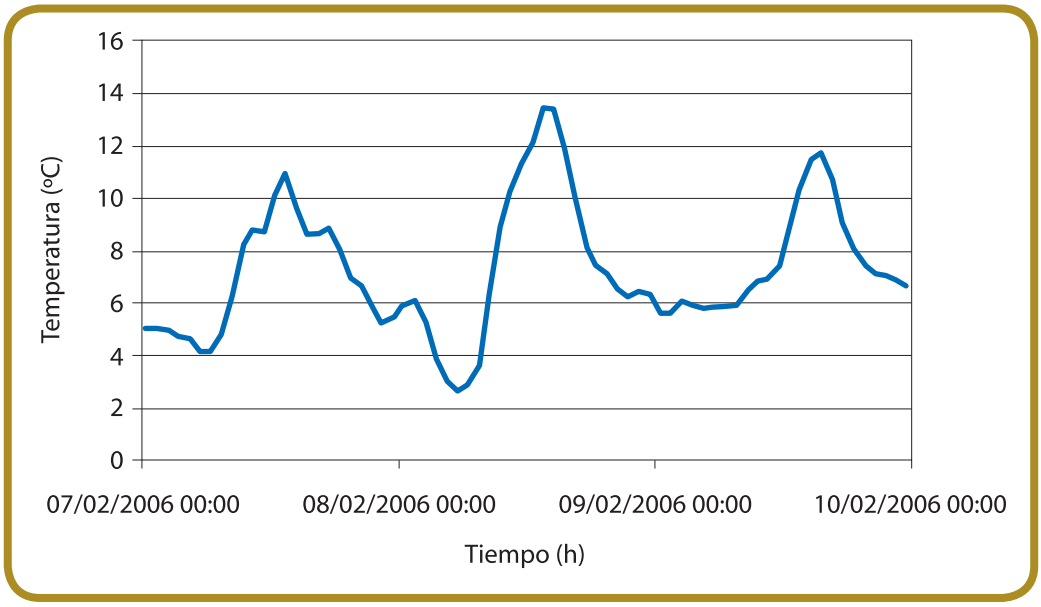
Por lo tanto, la atmósfera se calienta principalmente desde abajo, por el calor emanado desde la superficie del suelo.

En zonas montañosas existe una gran diferencia de elevación en pequeñas distancias, en comparación con zonas costeras, hay una pequeña cantidad de superficie en una franja determinada (por ejemplo entre 3600 y 3700 m). Esto hace que la **temperatura** del aire no suba tanto, a pesar de las altas radiaciones recibidas.

En los páramos existe suficiente energía para crear grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche. Esta diferencia se conoce como ***amplitud térmica***. Esta variación ha llevado a describir el clima del páramo como: "invierno todas las noches, verano todos los días".

El gráfico siguiente, **Variación de la temperatura en la estación Zhurucay,** muestra un ejemplo de variación de la temperatura dentro del día, donde se puede observar cómo, después de la salida del sol, la temperatura puede incrementarse mucho hasta el medio día. En el segundo día (08/02/2006), se puede observar un incremento de 11 °C (de 3 en la madrugada hasta 14 °C en el medio día) en un lapso de 8 horas. En algunas épocas del año, son comunes diferencias mayores.

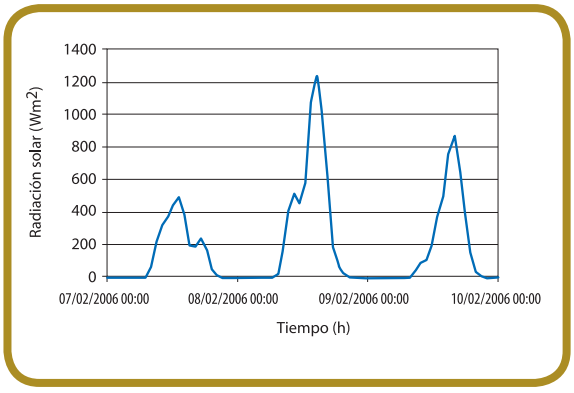
Variación de la temperatura en la estación Zhurucay, Ecuador



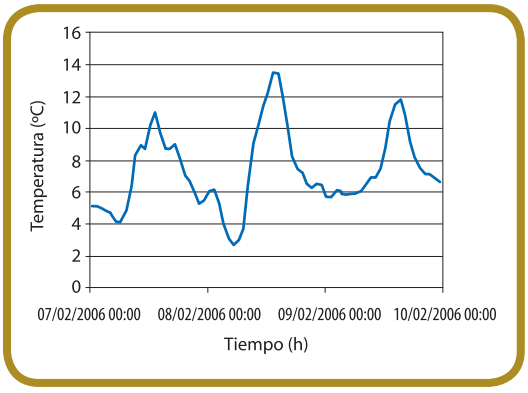
Dijimos que a pesar de que existe una mayor incidencia de radiación solar en zonas altas, su efecto sobre la temperatura es bajo.

Esto se puede comprobar observando los gráficos siguientes. El incremento de radiación al medio día, de 500 a 1200 W/m^2 de un día a otro (Gráfico de la izquierda), únicamente produjo un incremento aproximado a 3 °C en la temperatura de medio día (Gráfico de la derecha).

Variación de la radiación solar en la estación Zhurucay, Ecuador



Variación de la temperatura en la estación Zhurucay, Ecuador



Ambos gráficos corresponden a datos registrados en la misma estación durante el mismo periodo de tiempo.

Debido a que los páramos se encuentran en las zonas altas de la región tropical, las variaciones estacionales de la temperatura y de la radiación

solar, son mínimas. Esto significa que la temperatura promedio es bastante uniforme durante el año, siendo más alto el rango de variaciones entre el día y la noche.

Precipitación

La radiación y el calentamiento del aire en los valles de las zonas andinas, también producen una mayor evaporación que aumenta la humedad del aire.

En un día normal, al mediodía, el aire de los valles se calienta y su densidad ha disminuido lo suficiente -comparado con el aire de las zonas altas- , como para que se produzca un sistema de vientos ascendentes denominado ***valle-montaña***. Este viento húmedo asciende por el valle hacia los páramos, hasta un punto en el cual la temperatura es lo suficientemente baja como para producir su condensación y la consecuente precipitación.

Es por estos procesos que en los páramos se presentan **precipitaciones frecuentes** en las tardes, aunque se pueden dar también, durante la mañana y la noche, dependiendo de las condiciones meteorológicas existentes.

Por otro lado, la temperatura, en un sitio determinado, no depende solamente de la altitud, sino también de la orientación de la ladera.

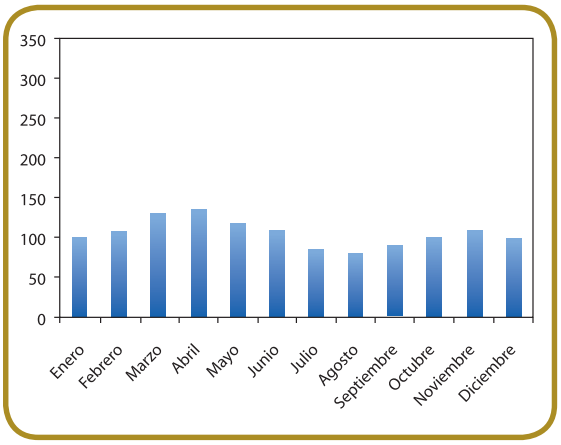
Durante las mañanas, las laderas orientadas hacia el Este se calientan más que las orientadas hacia el Oeste, debido a la acción de la radiación sobre la superficie. Estas diferencias de temperatura son importantes, debido a que pueden originar vientos locales, que a su vez pueden desencadenar precipitaciones.

Estos procesos (valle-montaña, calentamiento disparejo de laderas) en un punto dado se sobreponen con la dinámica de los grandes sistemas climáticos regionales (los de la Amazonía, del Pacífico y del Caribe). Así por ejemplo tenemos una mayor precipitación en la zona ecuatorial de la Amazonía desde julio hasta septiembre. Y tenemos que la corriente fría de Humboldt, que causa sequía en la costa del Pacífico, sube hasta la línea equinoccial durante los meses de junio a noviembre, mientras que sube solamente hasta la frontera de Ecuador con Perú durante los meses de diciembre hasta abril.

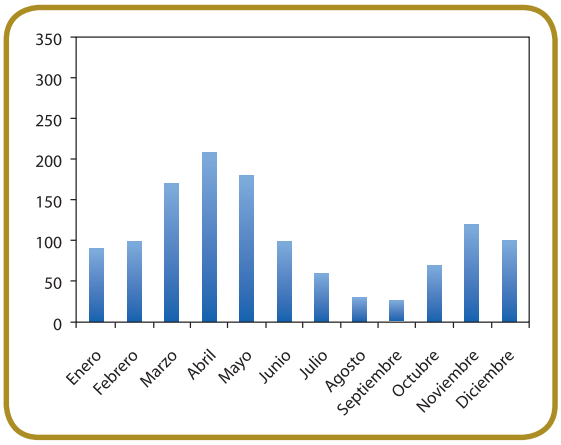
Sin embargo, la **estacionalidad en la precipitación** es generalmente reducida.

La estacionalidad es la manera en la cual la precipitación anual, se encuentra distribuida entre todos los meses del año.

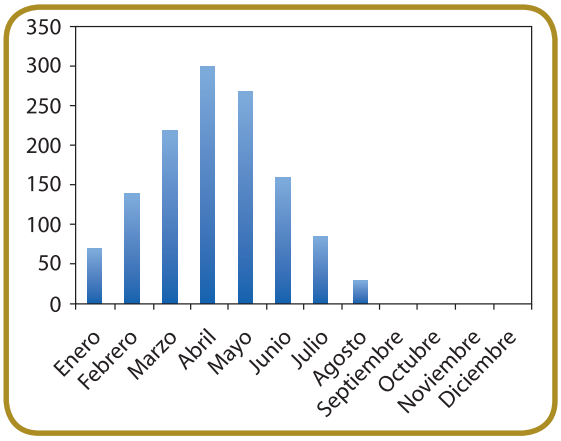
Observe los gráficos de la Estacionalidad de la lluvia en 3 sitios:



Sitio 1: Poco estacional



Sitio 2: Claramente estacional



Sitio 3: Altamente estacional

Los 3 registran la misma cantidad de lluvia anual total (sumando la lluvia de cada mes).

Sin embargo se observa que:

- En el sitio 1, la lluvia se encuentra bien distribuida durante todos los meses del año.
- En el sitio 2 se pueden notar claramente una estación lluviosa (entre Marzo y Mayo) y una estación seca (entre Julio y Septiembre).

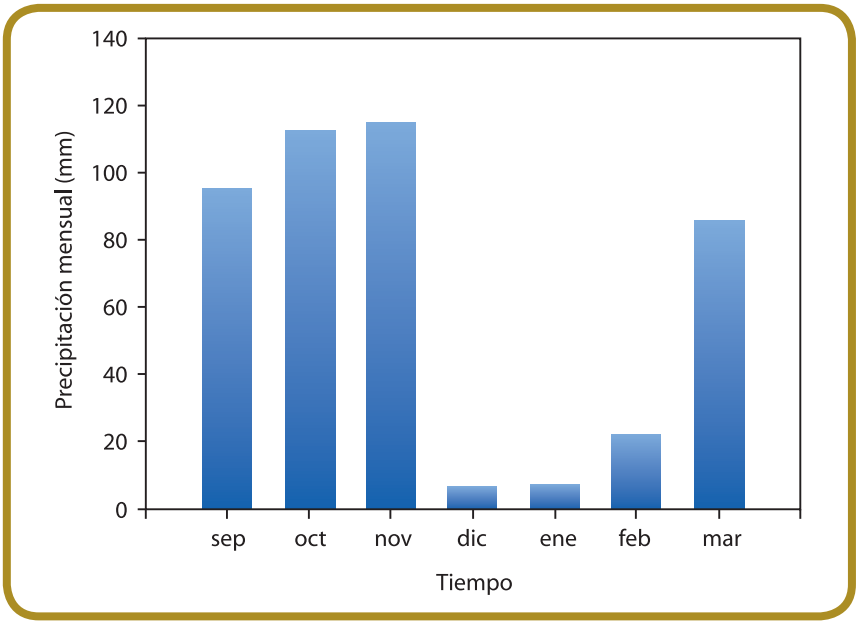
- En el sitio 3 toda la lluvia cae entre Enero y Agosto. El resto del año es totalmente seco.

El sitio 1 tiene una estacionalidad baja, el sitio 2 una clara estacionalidad, mientras que el sitio 3 es altamente estacional.

Generalmente las lluvias en los páramos se asemejan al sitio 1, mientras que los sitios 2 y 3 son representativos de la región interandina y de la costa ecuatoriana respectivamente.

Sin embargo, no todos los páramos son iguales y, por lo tanto, la disponibilidad de lluvia puede ser muy distinta a lo largo de los páramos andinos. Esto se puede ver en el gráfico de barras siguiente para los páramos de Venezuela.

Variabilidad en la precipitación del páramo de Mixteque, Venezuela[12]



Como se ve, hay mucha precipitación en los meses de septiembre a noviembre. En cambio, de diciembre a febrero la precipitación es mucho menor lo que indica una estación seca. En marzo nuevamente se registra un valor alto de precipitación que indica una nueva estación de lluvias en los meses siguientes.

12 Rodríguez, 2010.



Foto: Diana Jiménez

Mixteque, Venezuela

Debido a su latitud y altura, los páramos están afectados por muchísimos factores que dan origen a la precipitación, desde sistemas regionales de clima hasta procesos muy locales, los que determinan la cantidad y variabilidad de precipitación registrada en cada sitio.

Así se pueden encontrar desde páramos superhúmedos con precipitaciones anuales sobre los 3000 mm, por ejemplo en la Cordillera Occidental de Colombia, hasta páramos relativamente secos con precipitaciones anuales de menos de 800 mm, como en Venezuela, y en la Cordillera Occidental en el centro del Ecuador. Sin embargo, generalmente los valores registrados en un páramo determinado son mayores a los registrados en las zonas aledañas más bajas.

En cuanto a la **intensidad de precipitación**, se ha encontrado que es generalmente más baja en el páramo que en zonas aledañas más bajas. Es decir, en el páramo la lluvia cae en forma más suave durante períodos prolongados de tiempo, y con poca frecuencia en forma de tormentas cortas de alta intensidad. Hasta tal punto que la palabra "páramo" también es usada para indicar una lluvia suave: "está paramando" se dice.

Monitoreo meteorológico

El **monitoreo meteorológico** comprende la **observación** permanente **de las variables meteorológicas** de interés para los objetivos de un determinado proyecto. Esta observación puede realizarse mediante estaciones meteorológicas manuales o automáticas.

Estación Convencional



Foto: INAMHI

Estación convencional en Sulupali, Ecuador

En la estación convencional de la fotografía puede observarse una caseta donde se alojan los termómetros y otros sensores. También puede observarse el poste donde se encuentran ubicados en la parte alta la veleta que indica la dirección del viento y el anemómetro que mide la velocidad del viento. En este caso, es necesario contar con un **operador** u observador permanente, encargado de realizar las lecturas de los instrumentos en ciertos momentos específicos de cada día. Por ejemplo, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) realiza las observaciones (mediciones) a las 7h00 y 19h00 de cada día en ciertas estaciones denominadas Ordinarias.

Estación Automática



Foto: Diego Mejía

Estación automática en Zhurucay, Ecuador

Las **estaciones automáticas**, como aquella mostrada en la fotografía, están equipadas con sensores electrónicos que realizan la **toma de datos en forma automática**, sin la necesidad de un operador permanente. Los datos son almacenados en una memoria ubicada dentro del sistema electrónico de la estación. Sin embargo esto no evita la necesidad de un operador, ya que las labores de mantenimiento, calibración y descarga de la información, tienen que realizarse de manera periódica.

Muchas veces se piensa que, una vez instalado un sensor automático, ya no se requiere de un observador porque sus mediciones son perfectas: ¡nada más equivocado! Los sensores pueden descalibrarse, ensuciarse, desgastarse o moverse por efectos de fuertes vientos. Si esto no se advierte, los datos registrados serían de muy poca utilidad por lo que se podrían cometer equivocaciones en los cálculos.

Un problema generalizado del monitoreo meteorológico en zonas de páramo y alta montaña, es la falta de estaciones ubicadas en los sitios de interés. Esto se debe principalmente a que se trata de sitios remotos, por lo cual es difícil encontrar operadores permanentes para las estaciones.

Se considera que para poder determinar la climatología de una zona es necesario contar con datos de al menos un período de 10 años.

Esto porque, año tras año, existen variaciones normales del clima y por ende es necesario contar con varios años de observación para poder establecer las condiciones promedio del clima.

En el cuadro se muestran las 7 variables meteorológicas más importantes con el respectivo instrumento o sensor utilizado para realizar las observaciones.

Variables meteorológicas típicas de una estación automática

Variable	Instrumento o Sensor
Temperatura	Cobertura para el sensor  Sensor de temperatura y humedad relativa (termómetro e higrómetro)
Humedad relativa	
Presión atmosférica	 Barómetro
Radiación solar	 Piranómetro
Velocidad del viento	 Anemómetro
Dirección del viento	 Veleta
Precipitación	 Pluviógrafo

Cuentan los abuelos:

"Cuando en alguna comunidad no llueve
los mayores dicen que el agua se ha cansado
y se hace necesario refrescarla con aguas jóvenes.
Entonces todos empiezan a traer vasijas
con el agua de ríos y vertientes lejanas.
Y en medio de fiestas, ritos, carnavales, chicha y alegría,
se hace "el casamiento de las aguas"
que nos dará la regeneración de nuestra sagrada Pachamama,
que nos devolverá la esperanza y la vida..."[13].

13 Gustavo Quezada. Azuay, Ecuador.

La Hidrología

La Hidrología es la ciencia específica que estudia el agua y se ocupa de:

- su distribución y su circulación en la atmósfera y en la corteza terrestre,
- sus propiedades físicas y químicas, y
- su relación con el ambiente, incluyendo los organismos vivos.

La Hidrología es considerada la columna vertebral de la gestión de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos.

A través de la historia…

El interés por el conocimiento y estudio de las aguas sobre los continentes, comienza casi en el principio de los tiempos. Una de las referencias más antiguas se puede encontrar en La Biblia:

"Todos los ríos van al mar,
pero el mar no se llena.
Al lugar de donde los ríos vinieron,
allí vuelven para correr de nuevo"[14].

Esto demuestra que el conocimiento acerca del movimiento del agua sobre la superficie no es nuevo. Sin embargo, por muchos siglos permaneció como un misterio, la forma en la cual el agua regresaba a las cuencas de captación o de origen de los ríos.

De hecho, hasta la Edad Media, se pensaba que existían ríos subterráneos que corrían hacia arriba, lo que daba origen a los ríos superficiales. Este tipo de creencias era común también en varias culturas ancestrales.

La percepción se originó, porque se pensaba que la lluvia, por sí sola, no era capaz de producir los caudales permanentes de los ríos en las zonas bajas, dado que estos ríos, tienen agua durante todo el año, aún en períodos en los que no hay lluvias.

14 Eclesiastés 1:7.

Hubo que esperar hasta el siglo XVII para realizar las primeras mediciones de caudales y de precipitación, en Francia, que arrojaron un resultado sorprendente: el volumen de agua que pasaba por el Sena era "inferior" al volumen de agua que había llovido en la cuenca hidrográfica: solamente entre un 60-70 % de la lluvia se había convertido en caudal.

El ciclo hidrológico y sus procesos principales

Las observaciones científicas respecto de la distribución y circulación del agua continuaron hasta llegar a descubrir el denominado **ciclo hidrológico o ciclo del agua**. Este describe el movimiento tanto vertical como horizontal del agua, en estado gaseoso, líquido o sólido, entre la superficie, el subsuelo, la atmósfera y los océanos terrestres.

Para el estudio del ciclo hidrológico, se separa el movimiento del agua sobre los continentes (también denominada como la *fase terrestre* del ciclo hidrológico) del movimiento del agua sobre los océanos (que es materia de la oceanografía).

"El agua, desde el principio,
viaja en círculos:
baja del cielo con la lluvia
vuelve al cielo evaporada.
Y comienza de nuevo,
Su trabajo de rueda
de rueda de cristal…"[15].

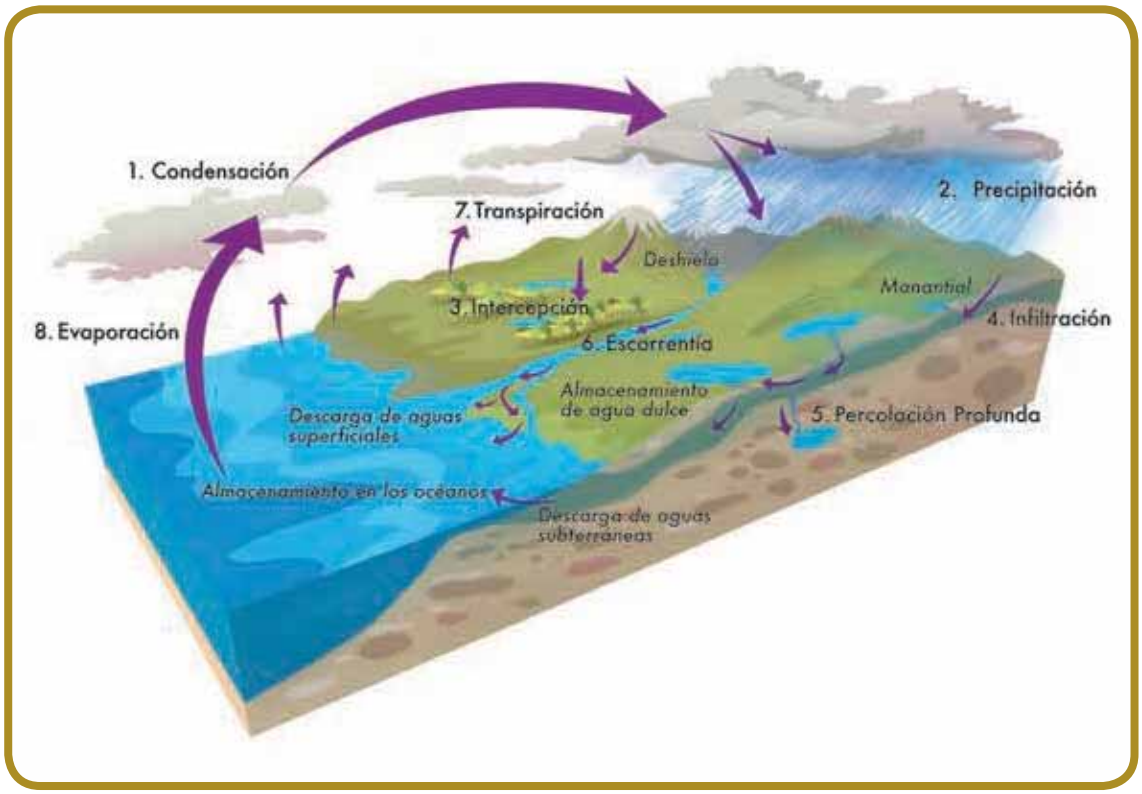
Los componentes del ciclo hidrológico

Los componentes del ciclo hidrológico son:

- condensación,
- precipitación,
- intercepción,
- infiltración,
- percolación profunda,
- escorrentía,
- transpiración, y,
- evaporación.

15 Castro Saavedra y Samper Martinez. Agua viva, Bogotá, 1988.

Componentes del ciclo hidrológico



Como su nombre indica, el ciclo hidrológico es un proceso continuo de fases por las que se pasa el agua periódicamente. El gráfico de los componentes del ciclo hidrológico muestra la conexión entre estas fases y su concepción puede empezar desde cualquier de ellas. Es común iniciar la explicación del ciclo hidrológico por la **evaporación** del agua desde los océanos y su posterior transporte hacia las zonas altas de las cuencas, donde, por las bajas temperaturas se produce la **condensación**.
Aquí es donde empezaremos nuestra explicación.

El primer proceso hidrológico es la condensación: el paso del agua del estado gaseoso al estado líquido.

Inicialmente, el vapor de agua condensado forma gotas de agua de tamaño muy, muy pequeño, que por si mismas no tienen el peso suficiente para precipitarse hacia la tierra. Por eso, muchas nubes no causan lluvia y más bien, una gran cantidad de estas nubes, son evaporadas. Un observador perspicaz, puede ver cómo las nubes aparecen y desaparecen en el cielo.

Una vez que las pequeñas gotas de lluvia se unen, pueden llegar a tener un peso suficiente para precipitarse.

La precipitación es la entrada de agua desde la atmósfera a las cuencas hidrográficas. Esta entrada puede producirse principalmente en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo.

La entrada de agua hacia la cuenca puede darse también por otros procesos como la captura de niebla y el rocío. Estos fenómenos son formas de **condensación**.

Sin embargo, no toda la precipitación llega al suelo, ya que una gran cantidad de agua puede ser **interceptada** por la vegetación y quedarse allí almacenada.

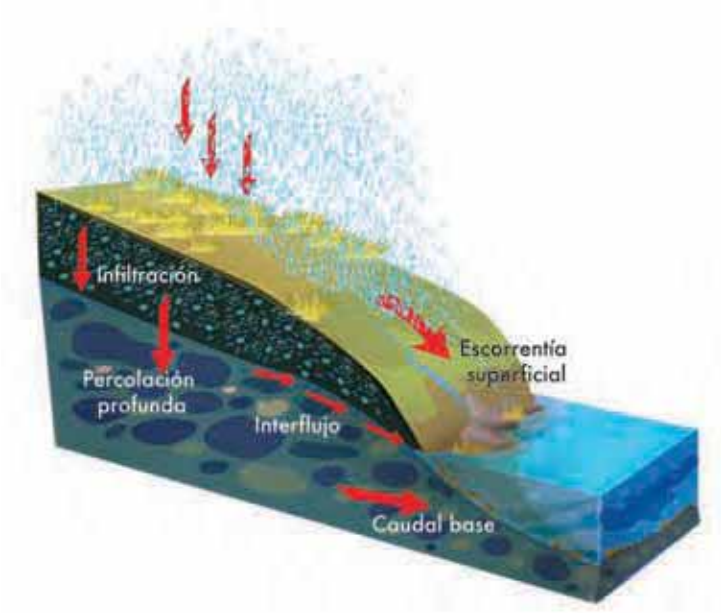
Los pequeños eventos de precipitación pueden ser totalmente interceptados en zonas con abundante vegetación. Sin embargo, la capacidad de intercepción de la vegetación es limitada y basta un evento de volumen considerable (una lluvia larga, una tormenta con lluvia intensa o una secuencia de varios episodios de lluvias breves) para que la capacidad se sobrepase. Entonces una parte del agua no es interceptada y cae al suelo.

Cuando el agua llega al suelo, comienza a humedecerlo. Si la cantidad de agua es pequeña podrá **infiltrarse** hacia capas inferiores del suelo. Pero si el agua cae muy rápidamente (alta intensidad), una parte del agua no podrá infiltrarse y empezará a acumularse sobre la superficie, creando charcos en las concavidades y depresiones.

Si la lluvia continúa, los charcos empezarán a rebosar y el agua escurrirá por las pendientes hacia los cursos de agua (riachuelos, quebradas) en forma de **escorrentía superficial**.

En el dibujo se puede observar:

- **infiltración** de agua en el suelo,
- **percolación profunda** hacia capas interiores,
- **interflujo** o **flujo subsuperficial**, que es relativamente rápido hacia el cauce fluvial por debajo de la superficie,
- **caudal base** que está determinado por la permeabilidad de las capas interiores y más profundas, y
- **escorrentía superficial** que es el flujo que comúnmente observamos.

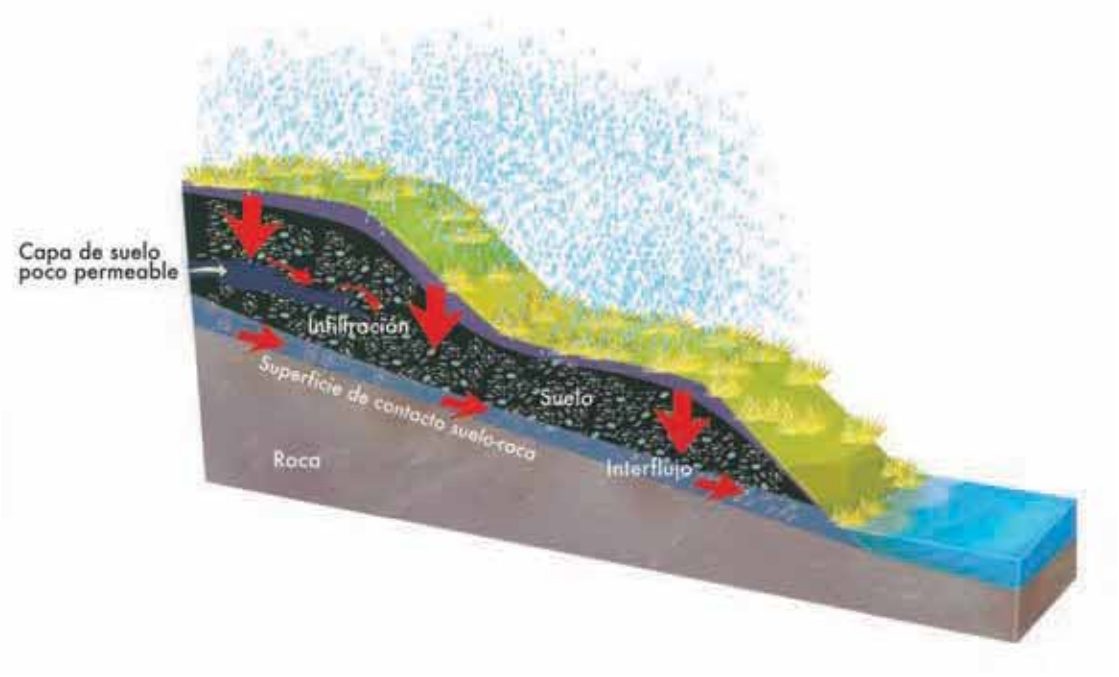


Este mismo proceso ocurre cuando el suelo se ha saturado con varios eventos de precipitación: no puede almacenar más agua y la que queda en la superficie, forma los charcos en depresiones, y escorrentía superficial en las pendientes.

Normalmente el proceso de **saturación** se da en sitios cercanos a los cauces, donde es más probable que el agua que baja de las laderas se acumule, haciendo que estos sitios estén húmedos en forma permanente. La saturación también se da en zonas planas al pie de laderas, donde es común que se formen los humedales.

El agua infiltrada puede llegar a una capa poco permeable del suelo, o a la roca, donde ya no puede infiltrarse con facilidad. Si existe una gran cantidad de agua que llega a esta capa, el agua se acumulará y empezará a fluir ladera abajo, hacia los cursos de agua en forma de **escorrentía subsuperficial**.

Flujo en la superficie de contacto suelo-roca



Parte del agua que permanece dentro del suelo, puede ser utilizada por la vegetación y ser absorbida por sus raíces y, posteriormente cuando es **transpirada,** puede volver a la atmósfera en forma de vapor de agua. La mayor parte del agua tomada del suelo, no es utilizada por la vegetación, sino que retorna como vapor de agua.

Otra parte del agua infiltrada puede continuar penetrando las capas del suelo en forma de **percolación profunda**, que va a recargar los acuíferos de aguas subterráneas, los que, en algún momento, también llegan a fluir hacia los cauces.

Por eso, el agua puede **escurrir** hacia los cauces por tres caminos distintos:

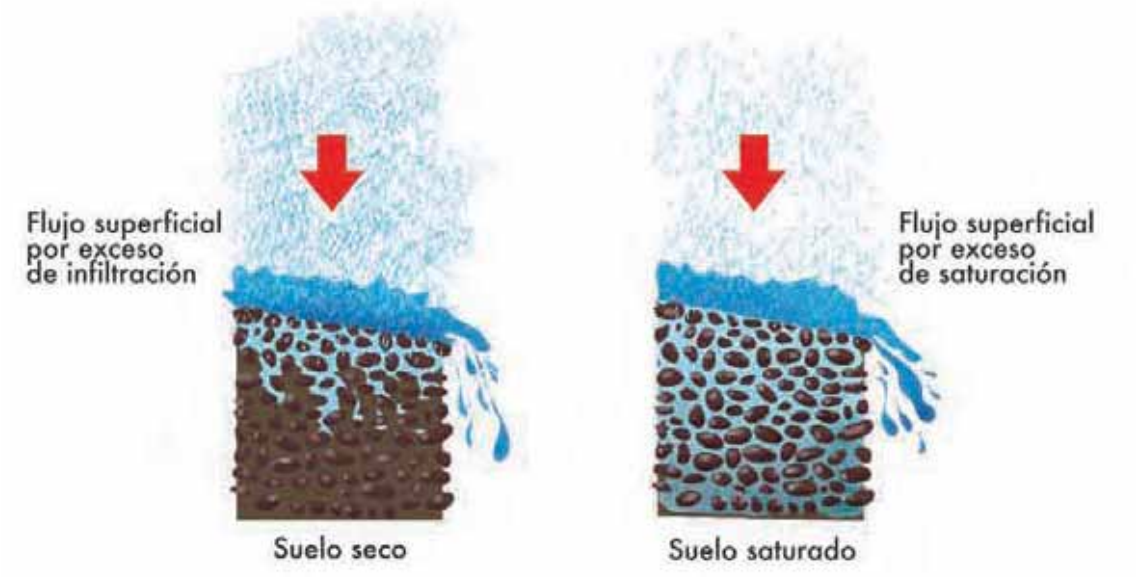
1.- Escorrentía superficial.
2.- Escorrentía subsuperficial.
3.- Escorrentía subterránea.

1. Escorrentía superficial que se produce por dos motivos:

- **por exceso de infiltración**, cuando la lluvia cae con una intensidad mayor a la capacidad del suelo para absorberla. Como no puede ser infiltrada en el suelo, se acumula en forma de charcos y escurre hacia las quebradas o arroyos, y

- **por exceso de saturación**, cuando el suelo llega a su límite de capacidad de retención de agua y ya no puede aceptar más, produce un encharcamiento y un posterior escurrimiento hacia quebradas.

Tipos de escorrentía superficial



2.- Escorrentía subsuperficial que se produce cuando el agua infiltrada escurre bajo la superficie, a poca profundidad. Puede ser un aporte muy importante en zonas con suelos muy permeables y bajas intensidades de precipitación.

3.- Escorrentía subterránea se produce cuando el agua de los acuíferos profundos puede fluir hacia los ríos. En las cuencas hidrográficas donde existen acuíferos, a este flujo también se lo conoce como **flujo base**.

En el caso de los ecosistemas altoandinos, especialmente en los páramos, el **flujo base** se produce por escorrentía subsuperficial debido a la geología.

De estas tres, la más rápida es la escorrentía superficial, seguida por la subsuperficial y finalmente por la subterránea. La velocidad de respuesta de los dos primeros tipos de escurrimiento es de minutos y horas, mientras que para el caso de acuíferos, el agua puede permanecer muchísimo más tiempo (semanas, varios años o incluso décadas) antes de salir hacia los cauces.

De los ríos, el agua fluye hacia grandes cuerpos de agua -ya sean lagos o el mar-. El agua que ha ingresado a la cuenca hidrográfica puede **evaporarse** y retornar a la atmósfera.

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua líquida pasa a ser vapor de agua.

Tanto el agua que fue interceptada por la vegetación, como el agua que se ha acumulado en los charcos, puede evaporarse. Esto se produce principalmente por la acción de la radiación solar y la temperatura. Los fuertes vientos también apoyan el proceso de evaporación, así como el estado de humedad del aire.

Un aire más seco puede recibir más vapor de agua, mientras que un aire saturado tiene un límite y no puede recibir más.

Desde allí, el ciclo del agua se inicia nuevamente retomando su destino de rueda, como dice el poeta.

El balance hídrico

El **balance hídrico** es la herramienta más útil para los hidrólogos. Se deriva del concepto de continuidad o conservación de la masa, que se refiere al hecho de saber que el agua no desaparece ni se "produce", sino que fluye y cambia de estado, debido a los procesos hidrológicos.

Por medio del balance hídrico se puede **calcular la cantidad de agua existente, en un lugar en particular de la cuenca hidrográfica, en un determinado espacio de tiempo**.

De acuerdo con eso, el volumen de agua, en cualquier punto de un sistema hidrológico, puede ser determinado en función:

- del caudal entrante,
- del caudal saliente del sistema y,
- de la cantidad de agua que almacena la cuenca.

En otras palabras:

El caudal entrante menos el caudal saliente, equivale al cambio en almacenamiento dentro de la cuenca.

Esto es:

$$\mathbf{E - S = \pm \Delta A}$$

donde: **E** es el caudal entrante,
S el caudal saliente, y,
Δ **A** el cambio positivo o negativo ($\pm$) en almacenamiento.

Las **entradas** al sistema hidrológico (generalmente a la cuenca hidrográfica) son producidas por la condensación -rocío, neblina- y las diversas formas de precipitación -lluvia, llovizna, granizo y nieve, entre las más importantes.

Las **salidas** se dan:

- por **evaporación** (de agua del suelo, de cuerpos de agua y del agua interceptada por la vegetación),
- por **transpiración,**
- por **percolación profunda** en algunos casos, y,
- por el **caudal circulante** a través del sitio de interés en el río estudiado (la salida o cierre de la cuenca).

Normalmente a la **evaporación** y a la **transpiración** se les conoce como **pérdidas de agua,** debido a que son **fracciones de agua que retornan a la atmósfera** y, por lo tanto, **no van a contribuir con los caudales de los ríos.**

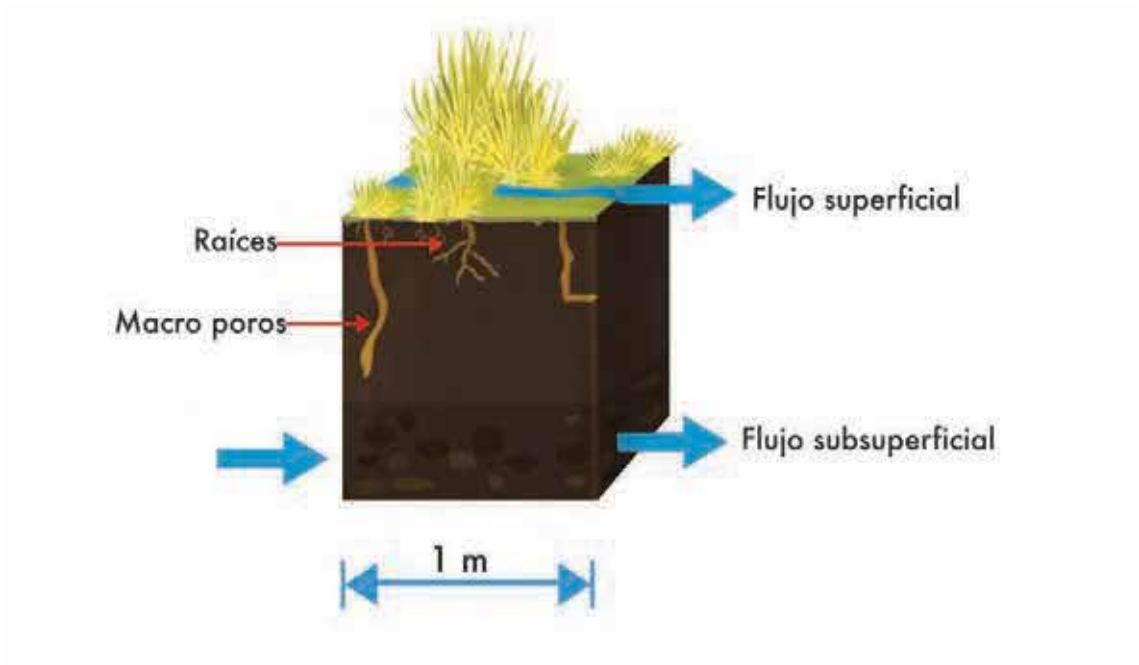
El **cambio en almacenamiento,** representa la variación del agua almacenada en el suelo y en cuerpos de agua dentro de la cuenca estudiada durante un período.

A menudo las personas se preguntan qué componentes del ciclo hidrológico son los más importantes. La respuesta a esta pregunta no es simple, pues depende de muchos **factores** que inciden sobre los procesos o componentes, entre los que se citan:

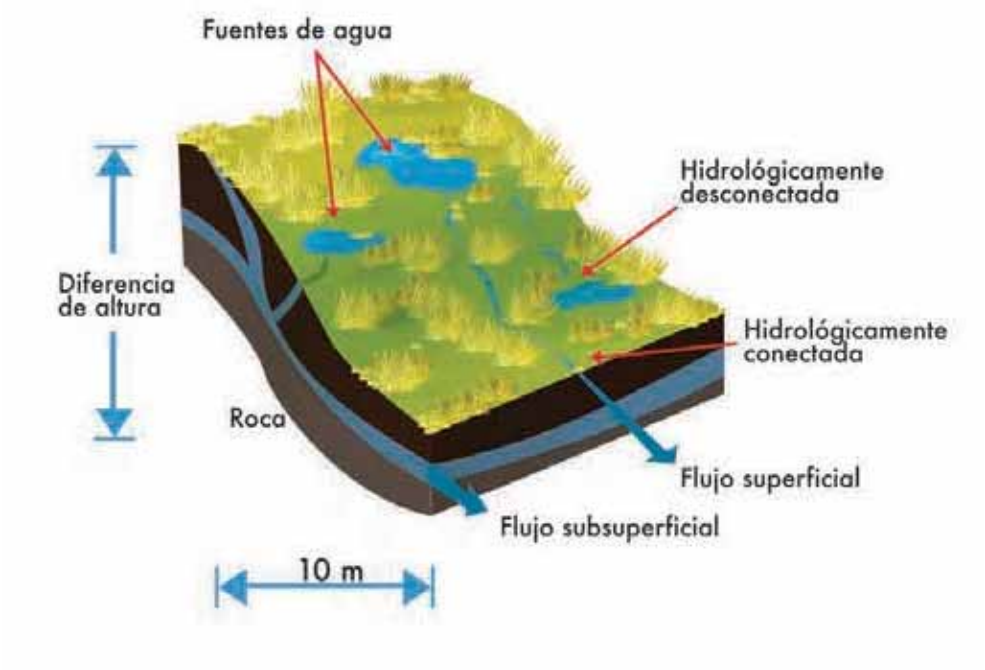
- el **tamaño** de la cuenca o sistema hidrológico de interés, y,
- las **características biofísicas** de la cuenca, entre las que son de particular importancia: el tipo de suelo, la vegetación o uso de la tierra y la topografía (pendientes) del área de interés.

Las escalas frecuentes para la realización de estudios hidrológicos son:

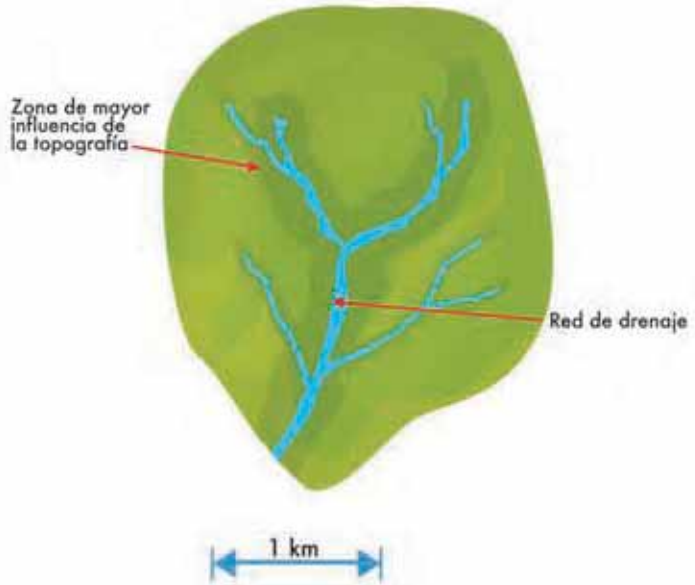
Escala de parcela o pequeña, la respuesta hidrológica está gobernada por la micro-topografía, el tipo de suelos (en relación con su capacidad de infiltración y retención de agua) y la presencia de macro-poros en el suelo (sitios por donde el agua puede infiltrarse mucho más rápidamente) y por donde corre la escorrentía subsuperficial.



Escala de ladera los factores que la controlan son la topografía (laderas empinadas versus laderas de poca pendiente), la existencia de zonas hidrológicamente desconectadas (por ejemplo, zonas donde el agua se acumula pero no llega a escurrir a una quebrada) y drenajes.



Escala de microcuenca entre 1 y 50 km^2, es muy importante la topografía (a mayor pendiente mayor velocidad del flujo de agua) y la densidad de la red de drenaje compuesta por quebradas y arroyos (a mayor densidad de drenaje mayor velocidad de salida de agua).



Escala de cuenca o mayores se vuelve más importante la presencia de distintos ecosistemas y usos de la tierra.



El ciclo hidrológico aplicado a la alta montaña: el caso del páramo

En zonas altoandinas el ciclo hidrológico también pasa por los procesos de:

- condensación,
- precipitación,
- intercepción,
- infiltración,
- percolación profunda,
- escorrentía,
- transpiración, y,
- evaporación.

Vamos a describir con mayor detalle cada uno de ellos y su relación con el páramo andino.



Páramo de Chiles, Colombia

Foto: Adolfo Correa

En las cuencas que tienen glaciares -siempre que el área de glaciar sea importante-, el mayor control sobre el ciclo hidrológico, se encuentra en los procesos de acumulación de nieve y deshielo, los cuales dependen fuertemente de la radiación solar, la temperatura y de sus variaciones diurnas y estacionales.

Sin embargo, la mayoría de páramos no tienen glaciar por encima, por lo que en este caso, la descripción se realizará para cuencas desprovistas de glaciares.

En los páramos, la **condensación** se produce principalmente por efectos de relieve (orográficos) cuando nubes de aire caliente son empujadas hacia las zonas altas y frías (proceso de convección de masas de aire "valle-montaña") produciendo la formación de gotas de agua por el enfriamiento y su consiguiente precipitación.

La **precipitación**, normalmente, se produce en forma de lluvia, aunque no es rara la formación de granizo. Por lo general, las lluvias no son torrenciales sino que más bien son de baja intensidad y larga duración.

También la neblina produce una entrada adicional de agua por condensación, cuando entra en contacto con la vegetación. Esta forma de entrada de agua, es muy poco considerada en estudios hidrológicos. Todavía hay desconocimiento sobre su magnitud, debido a que es muy difícil de medir (no hay estandarización de instrumentos ni de métodos).



Foto: Rolando Célleri

Intercepción de la lluvia en el pajonal

Por lo tanto, si se considera solamente la lluvia como entrada de agua, se está subestimando la precipitación total.

En muchos páramos, la precipitación es relativamente uniforme a lo largo del año, lo cual comprueba la noción de que los páramos son auténticas **torres de agua**. Esto también favorece la presencia permanente de agua en los ríos.

Cuando la lluvia es interceptada por la vegetación, como se observa en la fotografía, puede evaporarse rápidamente, debido a la acción de la radiación solar y del viento.

Debido a que las lluvias son de baja intensidad, es probable que un buen porcentaje -en relación con otros ecosistemas ubicados montaña abajo- que fue interceptado por la vegetación retorne a la atmósfera. Sin embargo no hay estudios que cuantifiquen estos valores por lo que quedan postulados a manera de hipótesis.

El agua que llega al suelo del páramo, puede infiltrarse rápidamente.

Los suelos del páramo, generalmente del tipo Andosol (el suelo negro encontrado en los páramos), tienen una estructura porosa que facilita la infiltración y además poseen una extraordinaria capacidad para retener el agua.

La mayor parte de los eventos de lluvia tienen intensidades menores a la capacidad de infiltración del suelo, por lo que casi toda el agua lluvia puede infiltrarse, salvo en los humedales o sitios que están saturados.

El contenido de agua en el suelo saturado sobrepasa el 80% de su volumen, lo cual es excepcional si se compara con valores de suelos minerales (de cuencas medias y bajas) que registran valores entre 30 y 40%. Esta alta capacidad de retención de agua se explica en buena medida debido al alto contenido de materia orgánica del suelo.

Por estos motivos, el agua lluvia puede infiltrarse con facilidad en el suelo y permanecer almacenada allí.

Por otro lado, aunque no se reportan mediciones, se estima que el consumo de agua del pajonal es bajo.

En épocas de lluvias permanentes, la capacidad de almacenamiento del suelo se sobrepasa y entonces se forman charcos en todo el paisaje paramero, debido a la presencia de pequeñas depresiones, como se observa en la fotografía.

Por esto no es raro encontrar charcos, aun en zonas de ladera, aunque son mucho más frecuentes en las zonas planas, cercanas a los cauces, donde se forman grandes humedales.



Formación de charco

Foto: Rolando Célleri

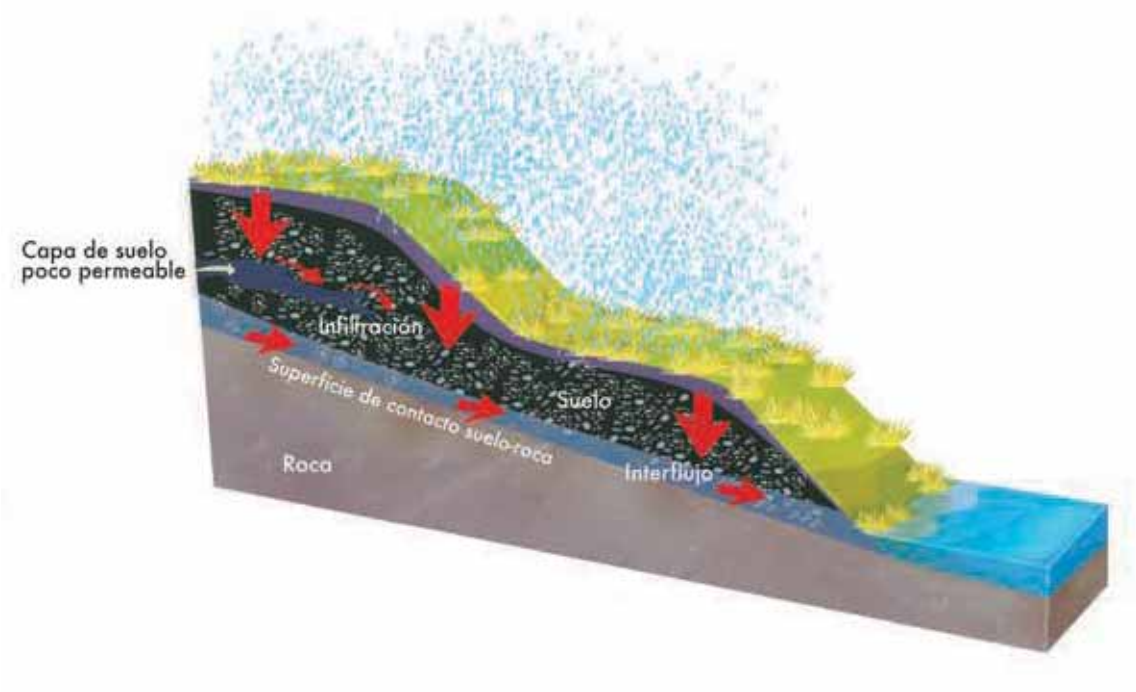
En épocas de lluvias permanentes, la evaporación y transpiración son bajas, por:

- la baja radiación disponible por alta nubosidad,
- las bajas temperaturas, y a que,
- el aire está siempre cerca de la saturación.

Si bien los Andosoles parameros tienen excelentes características hidrológicas, por lo general son suelos poco profundos. Por lo tanto, el agua infiltrada a través de ellos, puede llegar rápidamente al material geológico que tiene una permeabilidad mucho más baja.

Esto ocasiona que el agua empiece a escurrir ladera abajo (flujo subsuperficial), en la zona de contacto entre el Andosol y la capa geológica o roca, como se observa en la figura.

Flujo en la superficie de contacto entre Andosol y roca



La recarga de los acuíferos depende mucho de las condiciones locales y se limita a las zonas donde el material geológico es más permeable, o en las depresiones, donde el agua puede permanecer estancada por más tiempo.

Por eso no se puede asegurar que los páramos sean zonas de recarga. Más bien se puede señalar, que **los páramos alimentan las zonas de recarga ubicadas río abajo, en terrazas y otros depósitos aluviales.**

Con esto, el agua llega a los cauces de páramo por 2 caminos principales:

- **escorrentía subsuperficial**, la más común, que corresponde al aporte de las laderas hacia las quebradas y ríos;
- **escorrentía superficial**, que se produce solamente por lluvia caída en zonas saturadas, normalmente en los humedales cercanos a ríos.

La regulación hidrológica y el rendimiento hídrico

La **regulación hidrológica** es una de las funciones hidrológicas más importantes de los ecosistemas altoandinos.

La regulación del ciclo hidrológico se produce cuando un ecosistema almacena agua durante períodos húmedos, para liberarla durante los períodos secos.

Esta regulación es más fuerte en cuencas provistas de acuíferos profundos, donde el agua puede ser almacenada por décadas y hasta por siglos.

En cuencas con glaciares, el almacenamiento también se produce en el glaciar, en forma de nieve o hielo.

En los páramos, el agua no es almacenada en acuíferos ni en la vegetación (como comúnmente se piensa) sino en el suelo.

La alta regulación hidrológica del páramo se explica principalmente por:

- la alta capacidad de almacenamiento de los suelos, y,
- la morfología de las cuencas.

Debido a su gran capacidad de almacenamiento de agua, los **suelos del páramo** se constituyen en un gran **reservorio**, los que proporcionan un balance natural entre épocas lluviosas y secas.

De no existir estos suelos, los caudales en las épocas lluviosas serían más altos y en las épocas secas los ríos estarían secos.

Por otro lado, la presencia de **depresiones topográficas** en la cuenca, permite la creación de **reservorios naturales**, que acumulan agua por períodos considerables de tiempo. Las zonas altas de páramo pueden tener una cantidad importante de lagunas y charcos que aportan agua a los cauces de quebradas y ríos en forma mantenida y constante.

Igual que los bosques andinos, los páramos son ecosistemas que regulan muy bien el ciclo hidrológico.

Otro aspecto importante es el rendimiento hídrico, que es la relación entre el volumen de agua que ha salido de una cuenca en forma de caudales y el volumen de precipitación que ingresó a ella a lo largo del año.

Las cuencas de páramo presentan un alto rendimiento hídrico (60 - 70 %), mientras que otras cuencas en zonas bajas, presentan rendimientos mucho más bajos.

El alto rendimiento hídrico del páramo se debe principalmente a:

- la baja evapotranspiración de la vegetación, causada por el clima frío y húmedo, y,
- las características especiales de la vegetación paramera.

Si bien un alto rendimiento hídrico es importante para una cuenca, la regulación hidrológica es más importante todavía.

Por ejemplo, una cuenca degradada donde los suelos se han erosionado, puede tener un alto rendimiento hídrico, pero tiene una bajísima regulación. Esto se debe a que el reservorio natural se ha perdido y por lo tanto la cuenca no puede almacenar agua durante la época de lluvias.

Este ejemplo puede ilustrar mejor la diferencia entre rendimiento y regulación:

En una cuenca pavimentada, toda la lluvia sale en forma de caudales, con lo que se tiene un rendimiento del 100%.

Sin embargo, luego de un corto tiempo de finalizada la lluvia, no habría ni una sola gota que salga de la cuenca, con lo que su regulación es nula porque no hay ninguna posibilidad de almacenamiento.

Por ello se encuentra que la función de regulación es más importante que el rendimiento total de una cuenca.

Impactos del cambio de uso de tierras sobre la hidrología del páramo[16]

Cuando el ecosistema natural es alterado por la acción humana, se producen cambios significativos en el ciclo hidrológico, debido a que los procesos biofísicos que lo controlan, se alteran, y en consecuencia los servicios hidrológicos se degradan.

16 Editado del documento Síntesis CONDESAN, Producto 1. Célleri, 2008.

Las acciones más frecuentes que alteran los procesos biofísicos son:

- Quemas,
- Conversión de pajonales en cultivos,
- Conversión de pajonales en plantaciones forestales con especies exóticas, y,
- Conversión de pajonales en pastos para ganadería intensiva o extensiva.



Quema

Foto: Pablo Borja



Conversión de pajonales en cultivos

Foto: Adolfo Correa



Plantación de pinos

Foto: Pablo Borja



Páramo con efectos de sobrepastoreo

Foto: Pablo Borja

Quemas

Los efectos de las **quemas** son principalmente el aumento de la escorrentía rápida y la erosión del suelo. Esto se debe a la eliminación de la vegetación que lo protege, por lo que las precipitaciones fuertes pueden producir escorrentía superficial que fácilmente arrastra partículas de suelo.

La densidad aparente de los Andosoles es aproximadamente 0.4 g/cm^3. Esto quiere decir que es más liviano que el agua (1 g/cm^3). Por eso, cuando

el suelo se seca y su estructura se rompe (por ejemplo por arado), es fácilmente transportado por la escorrentía superficial, lo cual explica las altas tasas de erosión en páramos cultivados.

Investigando...

Se estudiaron[17] los **efectos de la quema y la labranza** a escala de parcela, usando un simulador de lluvia. Se encontró un incremento de los coeficientes de escorrentía (relación entre el volumen de escorrentía superficial sobre volumen de lluvia) de entre un 10-15% para una cobertura de pajonales (valor testigo) a valores de entre 30-50% para el primer evento de lluvia, en el sitio quemado, y entre 65-75% para otros eventos de precipitación.

Mientras las pérdidas del suelo en los sitios con pajonal fueron despreciables (aproximadamente 100 g), para los sitios quemados o cultivados, la erosión aumentó en un rango de entre 200 y 1400 g.

Conversión de pajonales en cultivos

Como consecuencia de las **prácticas agrícolas,** los suelos permanecen descubiertos (en barbecho) por algunos periodos de tiempo durante el año. Esta exposición directa a la radiación solar, produce un secamiento del suelo y la correspondiente pérdida irreversible de capacidad de retención de agua, de hasta el 40%, así como también *hidrofobicidad* (el suelo repele o "rechaza" el agua)[18].

En sitios descubiertos, se ha observado que después de un período seco prolongado e intenso, se reduce el volumen del suelo superficial, formando pequeños grumos endurecidos, que han perdido su capacidad de retención de agua.

Las labores de labranza, también ocasionan una reducción de la capacidad de retención de agua en el suelo.

Estudios realizados[19] encontraron una reducción en la capacidad de retención de agua desde valores de 100 y 77% (para saturación y punto

17 Poulenard et al. 2001.

18 Buytaert et al., 2002.

19 Díaz y Paz, 2002.

de marchitez, respectivamente) en páramos naturales hasta 85 y 63%, respectivamente, en cultivos permanentes.

Al estudiar parcelas cultivadas[20], se encontró que el balance hídrico está dominado por la evapotranspiración, llegando a constituir hasta un 66% de las salidas de agua del sistema, lo que significa una reducción importante del rendimiento hídrico.

A escala de microcuenca, los efectos de los cultivos son:

- el incremento de los caudales de crecida,
- la reducción de los caudales base (de verano), y,
- el incremento en la erosión.

El problema fundamental es que la capacidad de regulación de la cuenca se ve severamente reducida.

Investigando...

Los estudios en microcuencas se han realizado mediante el monitoreo de cuencas pareadas: se identifican 2 microcuencas muy cercanas una de la otra, lo que asegura que las condiciones climáticas sean muy similares, al igual que los suelos y la topografía. El único aspecto que las diferencia notablemente es la cobertura vegetal o de uso del suelo.

La Universidad de Cuenca[21], Ecuador, investigó 2 microcuencas en la parte alta de la subcuenca del río Machángara, provincia de Azuay.

Una microcuenca tenía una cobertura natural, mientras la otra estaba cultivada con papas.

Los investigadores monitorearon el caudal y el clima encontrando:

- un cambio significativo en el régimen hidrológico, con un incremento en flujos pico (promedio de 20%), y,
- una reducción fuerte de los caudales base, de hasta un 50%.

De esta manera, la relación entre caudales pico y base, aumentaba de 5 para la cuenca inalterada a 12 en la cuenca agrícola. Así mismo, se encontró una reducción en la capacidad de regulación, estimada en un 40%.

20 Sarmiento, 2000, citado por Buytaert et al., 2006.

21 Buytaert et al., 2004 y 2005a, b.

La explicación radica en que **las actividades agrícolas aumentan significativamente la red de drenaje** (para evitar que el suelo se sature), **conectando pequeñas depresiones antes desconectadas y uniéndolas con las quebradas naturales** (la red de drenaje principal).
Por eso también se observó una reducción significativa en el tiempo de respuesta de los caudales a eventos de precipitación: el agua lluvia salía más rápido de la cuenca luego de construir los drenajes.

Aunque no se realizaron mediciones de producción de sedimentos, la cantidad observada de sedimentos en la micro-cuenca con cultivos, fue muchísimo mayor, lo cual se reflejó en el número de ocasiones en que el vertedero, donde se medían los caudales, se llenaba de sedimentos y era necesario hacer la limpieza.

Conversión de pajonales en plantaciones forestales con especies exóticas

A escala de microcuenca las plantaciones de pinos también reducen notoriamente los caudales tanto base como de crecida.

Investigando...

A semejanza del estudio realizado para conocer los efectos de los cultivos, en este caso, se identificaron 2 microcuencas aledañas: una con cobertura natural y otra con plantación de pino patula (*Pinus patula*) de aproximadamente 15 años de edad, con una alta densidad de plantas y sin manejo.

Se encontró que el rendimiento hídrico anual de la microcuenca con pinos fue un 50% menor al observado en la cuenca de pajonales, lo que indica que las pérdidas por evapotranspiración fueron del 50% (despreciando las pérdidas por percolación profunda).

Así mismo, el cambio en el régimen hidrológico fue total, pero, a diferencia del impacto de la agricultura, en este caso, se produjo una reducción significativa tanto de caudales pico como de caudales base. Se observó que los caudales base, en general, llegaban a ser un tercio de aquellos registrados en la microcuenca de pajonales, y el cauce llegó a secarse por completo en ciertas épocas del año.

Si bien los caudales pico fueron reducidos durante años normales, en un evento extremo, registrado en el 2007, los caudales específicos pico, generados en las dos micro-cuencas, fueron de similar magnitud, lo que significa que el posible servicio ambiental de los pinos, de atenuar crecidas excepcionales, quedó descartado.

Esto último se debe a que los suelos de ambas cuencas llegaron a saturarse debido a la lluvia persistente y de elevado volumen. Por lo tanto los suelos de las dos microcuencas ya no tenían capacidad para almacenar más agua, por lo que su respuesta a la lluvia produjo caudales idénticos.

Conversión de pajonales en pastos para ganadería intensiva o extensiva

En el caso de **cambio de pajonales a ganadería**, el principal efecto es un aumento en la densidad aparente del suelo, de 0.4 g/cm^3 en pajonal a 0.62 g/cm^3 en pastos[22].

Este fenómeno se explica por la compactación que sufre el suelo, debido al pisoteo por los animales. Se encuentran aumentos en la densidad aparente desde valores entre:

- 0.2-0.31 g/cm^3 en páramos naturales a 0.34-0.41 g/cm^3 para ganadería extensiva, y,
- fuertes aumentos de 0.19-0.3 g/cm^3 a 0.81-0.86 g/cm^3, en ganaderías permanentes intensivas (aunque valores de hasta 0.99 g/cm^3 fueron encontrados en ganaderías intensivas recientes)[23].

Esta compactación del suelo, ocasiona una reducción en la capacidad de retención de agua y por lo tanto en su cantidad.

Conclusiones similares obtuvieron otros estudios[24]: una marcada reducción en la capacidad de retención de agua, en zonas con ganadería permanente, **aunque en menor grado** que en zonas cultivadas.

22 Quichimbo, 2008.

23 Díaz y Paz, 2002.

24 Díaz y Paz, 2002.

Relación entre la provisión de agua y otros servicios ambientales proporcionados por el páramo

Como se dijo, la regulación hidrológica del páramo está dada principalmente por los suelos, entre otras cosas, por sus altos contenidos de materia orgánica.

De hecho, los Andosoles se constituyen en un enorme reservorio de carbono orgánico.

Mientras, en páramos húmedos se pueden tener contenidos de carbono orgánico superiores al 40%, en páramos más jóvenes, se encuentran contenidos de entre 2 y 10% (3.5-10 kg/m^2), magnitud similar a la encontrada en páramos más secos.

Las plantaciones de pinos aumentan la evapotranspiración y afectan al suelo.

Investigaciones realizadas en escala puntual[25], encontraron que los suelos bajo plantaciones de pino, registraron reducciones en la retención del agua y en el contenido de carbono orgánico del suelo.

En este estudio, los horizontes superior e inferior del **suelo bajo plantaciones de pino,** de 25 años de edad, tuvieron respectivamente un **35 y 57% menos carbono orgánico que los suelos con pajonales**. Mientras que el contenido de humedad del suelo para humedades de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez, se redujo en un 14, 55 y 62%, respectivamente.

El hecho que las humedades de saturación sean muy similares entre pajonal y pinos, mientras que se produce una reducción significativa en el suelo bajo pinos, para la humedad de capacidad de campo y de punto de marchitez, es indicativo de un cambio en la distribución del tamaño de poros y quizás una reducción de poros finos.

La pérdida de materia orgánica del suelo puede ser la causante de la reducción de su capacidad de retención de agua.

25 Farley et al., 2004.

Las plantaciones de pinos, si bien contribuyen a la acumulación de carbono en los árboles, reducen la cantidad de carbono almacenada en el suelo[26].

La preocupación es que el carbono está siendo transferido de un reservorio más estable y seguro (el suelo) a otro (plantación) que puede desaparecer por quemas.

Finalmente, cuando la plantación sea cosechada, el efecto neto en el ecosistema será negativo, pues incluso la capa de hojarasca suele ser quemada antes de realizar una nueva plantación.

Entonces:

Existe una estrecha relación entre el servicio hidrológico y el servicio de acumulación de carbono.



26 Farley et al., 2004.

Impactos del cambio climático global sobre el clima en zonas de montaña y el funcionamiento hidrológico

Existe una gran incertidumbre en torno al cambio climático, derivado de lo que sabemos y lo que no sabemos sobre este fenómeno, que crea mitos y certezas en torno a esta situación. En realidad, no estamos en capacidad de describir escenarios futuros precisos, que puedan enmarcar una aplicación uniforme de medidas de adaptación al cambio climático.

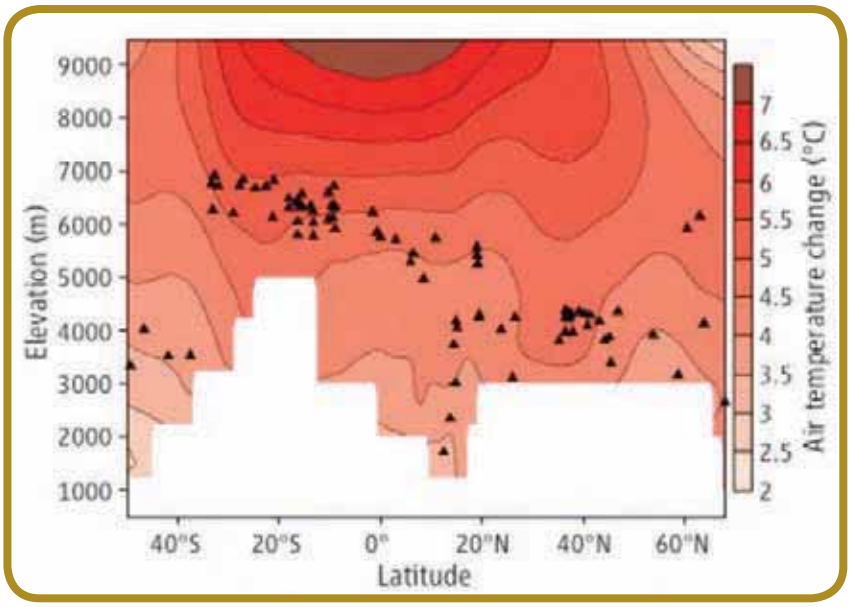
Frente a esta situación, los esfuerzos deben estar dirigidos a fortalecer capacidades, crear sistemas de gestión robustos, mejorar la gobernanza, implementar monitoreo climático e hidrológico, llenar vacíos de información sobre ecosistemas poco conocidos, entre otras acciones que puedan ayudar a enfrentar mejor cualquier evento que venga en el futuro.

La principal certeza sobre los efectos del cambio climático es el aumento de temperatura. Aún con medidas drásticas de reducción de emisiones de CO_2, este efecto seguirá en aumento por un buen tiempo.

Para las zonas de montaña la situación es aún más crítica, hay fuertes indicios que la temperatura aumentará más en la altura que a nivel del mar. Como se observa en la figura, en el eje inferior se representa la latitud, en el eje izquierdo la elevación sobre el nivel del mar, y en el eje derecho el aumento de temperatura atmosférica, los triángulos indican la elevación de las montañas más altas a diferentes latitudes.

Se prevé un aumento en la temperatura a los 3000 msnm del doble que en zonas costaneras.

Cambio proyectado en la temperatura atmosférica a lo largo de la cadena montañosa principal de América del Sur y del Norte[27]



Las predicciones más optimistas señalan un aumento de 1.5 °C aproximadamente entre los años 2040 y 2070, mientras las más pesimistas indican un aumento de 4.5 a 5 °C.

Los glaciares son excelentes indicadores de cambio climático. Si bien su importancia dentro del aporte hídrico de una cuenca no es tan significativa como el de los ecosistemas altoandinos (páramo, jalca, puna), al menos en la zona tropical, de cierta manera se han ganado un protagonismo en la concienciación de los efectos del aumento de temperatura, por la puesta en evidencia que muestran en su retroceso.

Aún así, el deterioro de los glaciares se limita a áreas cercanas y su peso sobre la hidrología de las cuencas andinas tropicales es bajo, pero aumenta conforme avanzamos hacía el sur de Perú, Bolivia, Chile y Argentina.

Los efectos directos del aumento de temperatura en el tema hídrico son múltiples. Sin tomar en cuenta los cambios en la precipitación, las consecuencias del aumento de temperatura son certeras: los límites verticales naturales entre ecosistemas sufrirán una variación vertical. Así, los límites entre nieves perpetuas, páramo, pastos naturales, y bosques andinos todos suben.

27 Bradley et al., 2006.

Un aumento de 1°C en la temperatura representa en principio una subida de 150 m, verticalmente, de los límites ecosistémicos.

Lo más importante en el análisis de este cambio es la identificación de los ecosistemas que remplazan a los que son desplazados.

Si se produjera una subida totalmente natural de **ecosistemas no intervenidos**, en el límite de páramo o puna se remplazarían los ecosistemas altoandinos -de extraordinaria capacidad en retención de agua- por bosque con características hidrológicas igualmente preciosas, lo cual no sería un cambio dramático.

Pero en una **zona intervenida**, con una presión antrópica creciente, el páramo no sería remplazado por bosque, sino por agricultura u otros usos en los que el cambio en las características extraordinarias hidrológicas si sería muy drástico y perjudicial.

En cuanto a la precipitación, los estudios sobre la base de series de tiempo no encuentran cambios coherentes, significativos, lo que produce una incertidumbre enorme alrededor de esta variable.

Aunque los regímenes de lluvia están cambiando, no existen tendencias coherentes, y se encuentran serias contradicciones en las variaciones registradas de sitio a sitio.

La aplicación de modelos de clima actual y futuro, que intentan obtener en forma detallada las variaciones en la precipitación, encuentra problemas enormes en los Andes. Los modelos no coinciden en los cálculos y proyecciones de futuros regímenes de precipitación. Aún así, el promedio de los modelos indica un cambio pequeño (±10%) en la cantidad de lluvia anual que podría registrarse en el futuro.

Una buena parte de la **percepción** que se tiene sobre disminución del agua disponible, no es por cambios en la precipitación, sino por otros cambios no necesariamente relacionados al cambio climático. El aumento de la demanda de agua y el aumento de la extracción de agua de las fuentes produce que aguas abajo haya menos cantidad del líquido vital que antes. Por lo tanto observamos menor caudal que podemos relacionar erróneamente con la menor cantidad de lluvia.

La reducción de la cantidad de agua no necesariamente se debe a que llueva menos, sino al aumento en la extracción de agua más arriba.

También se debe al deterioro de las cabeceras de las cuencas hidrográficas, la degradación de humedales y de ecosistemas. Este deterioro afecta la capacidad de regulación y por lo tanto, reduce el agua disponible en los caudales durante la época seca. Además provoca que la cuenca responda de manera diferente y no porque la precipitación haya cambiado. A esto se suma que no se recuerdan las variables climáticas que cambia con frecuencia naturalmente en nuestro medio.

El cambio climático produce una variación en la demanda de agua de los ecosistemas. El aumento de temperatura produce un incremento en la evapotranspiración que resulta en la disminución del agua que se infiltra y escurre por el suelo. Sin embargo, los **cambios producidos por el aumento de la población pueden ser más significativos**, debido al incremento de la demanda de agua para cultivos, generación hidroeléctrica y consumo humano.

Una de las fuentes de incertidumbre mas importantes, con respecto a los efectos del cambio climático es la existencia de vacíos importantes en el conocimiento sobre los procesos climáticos e hidrológicos actuales de los ecosistemas andinos.

La limitada capacidad predictiva de los modelos de clima se fusiona con la dificultad de traducir las proyecciones climáticas que estos arrojan en proyecciones hidrológicas de caudales resultantes.

Para conocer mejor el futuro, entendamos primero el presente.

Finalmente, la población andina siempre se ha caracterizado por su capacidad de adaptación a la variabilidad climática. La diversificación de los cultivos en distintos pisos ecológicos, las grandes variedades de productos y los sistemas de riego que tienen como fuente un área con régimen hidrológico complementario, son medidas que han permitido el desarrollo de las culturas andinas en situaciones extremas.

La incertidumbre: ¿Cómo actuar frente al Cambio Climático?

Muchos de los problemas que existen actualmente en la gestión de recursos hídricos se deben a fallas en la gobernanza más que a la falta del propio recurso.

La **gobernanza del agua** se refiere a todos los sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos que regulan el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos, así como el suministro de servicios del agua en diferentes niveles de la sociedad. Por consiguiente, la gobernanza también abarca la forma en que los actores interactúan a diferentes niveles (desde el local hasta el internacional) y los diversos conjuntos de normas que regulan dicha interacción, ya sean formales (por ejemplo la legislación del agua) o informales (por ejemplo las normas sociales).

En el contexto del cambio climático la gobernanza del agua tendrá que enfrentar cada vez más incertidumbres que no pueden reducirse en el corto plazo (por ejemplo incertidumbres relacionadas con la precipitación y el régimen fluvial, o con la intensidad y la frecuencia de los fenómenos extremos), así como decisiones sobre políticas que no pueden posponerse hasta tener más conocimientos sobre la materia.

En consecuencia, para poder hacer frente a las incertidumbres y sorpresas inevitables se requiere un sistema de gobernanza del agua flexible y sólido.

Últimamente muchos países han emprendido reformas en el sector del agua, que a menudo se basan en el enfoque de la **gestión integral de recursos hídricos** (GIRH).

La GIRH bien aplicada es una buena manera de aumentar la capacidad de respuesta del sistema de gobernanza del agua frente al cambio climático. Además, varios procesos de elaboración de políticas que actualmente se están desarrollando a nivel internacional, ofrecen marcos y oportunidades para introducir una gobernanza del agua más adaptable.

Se concluye que:

- Los sistemas de **gobernanza policéntrica** pueden tener una mayor capacidad de respuesta al cambio climático que los sistemas centralizados o fragmentados.

- Los sistemas de gobernanza de recursos hídricos que han adoptado **enfoques innovadores involucrando las incertidumbres** existentes en la toma de decisiones, tenderán a responder de forma más adecuada al cambio climático que se produzca en el futuro.
- Un **marco legal y administrativo razonable** para la gestión de recursos hídricos es un requisito esencial para obtener buenos resultados en la adaptación relacionada con el agua, pero debe complementarse con una capacidad de implementación adecuada.

Las medidas de conservación hídrica que se han tomado en cuenta antes de la consideración del cambio climático, son válidas para este fenómeno.

Conservar los bosques, ecosistemas altoandinos, páramos y humedales, no invadir áreas conservadas mediante la introducción de vegetación de alto consumo de agua (como pinos o eucaliptos), la restauración de la cobertura vegetal natural en sitios donde se haya perdido, el almacenamiento a nivel macro y micro de agua para satisfacer la demanda y reducir la presión sobre los ecosistemas, la disminución de pérdidas y el aumento en la eficiencia de uso, son todas medidas que se han considerado antes y que ahora dentro de un contexto de cambio climático requieren una mejor y más rigurosa aplicación.

La investigación científica ayudará a reducir la incertidumbre sobre los procesos hidrológicos que aún se desconocen como a potenciar la aplicación de éstas medidas.

Monitoreo hidrológico en microcuencas

El monitoreo hidrológico comprende la observación de los caudales de los ríos y cursos de agua. Esta observación se la realiza sobre la base que los niveles del agua de un sitio determinado del río o curso de agua pueden traducirse en caudales. Sin embargo, hay que dejar en claro que medir el nivel del agua en una sección, no es una medición directa de caudal. La conversión de niveles en caudales, dependerá de varios factores como: la precisión en las mediciones, los cálculos efectuados para esta transformación, pero sobre todo, del tipo de sección del río o curso de agua.

La estimación de caudales mediante la medición de niveles de agua en una sección conocida es más precisa que la realizada sobre una sección natural generalmente irregular.

Al igual que el caso del monitoreo meteorológico, existen estaciones hidrológicas manuales y automáticas.

En las estaciones manuales es necesario contar con un operador u observador permanente, encargado de realizar las lecturas del nivel del agua. En este caso el nivel del agua se puede medir por medio de una regleta graduada (en centímetros) ubicada en una de las márgenes del río. A este tipo de estación se la conoce como **estación limnimétrica**.

Por otro lado, las estaciones automáticas miden el nivel del agua sin la necesidad de un operador permanente. Estas estaciones pueden estar equipadas con equipos mecánicos y/o con sensores electrónicos que realizan la lectura de niveles en forma automática.

En el caso de contar con equipos mecánicos, la estación está provista de un flotador enlazado a un tambor giratorio, equipado con un papel especial. El tambor gira alrededor de su eje y una pluma del sistema del flotador marca las variaciones de nivel de agua. Así, los niveles de agua quedan graficados en el papel. Estas son las **estaciones limnigráficas,** pues grafican la variación del nivel del agua.

Por otro lado, las **estaciones electrónicas** están equipadas con sensores que detectan el nivel de agua. Los datos son almacenados en una memoria ubicada dentro del sistema electrónico de la estación.

En ambos casos, es necesario un operador ya que las labores de mantenimiento, calibración y descarga de la información, tienen que realizarse de manera periódica. Una de las tareas más importantes es la comprobación de la calibración del sensor electrónico, que puede descalibrarse y arrojar datos equivocados.

En cuencas pequeñas, es factible la construcción de un **vertedero** en el cauce.

El **vertedero** es una obra hidráulica que permite una medición bastante precisa del nivel del agua y del caudal. La construcción de esta obra permite tener una sección conocida en el cauce de agua en la cual la estimación del caudal en función de la altura de agua depende únicamente de sus características geométricas e hidráulicas. El vertedero más común es el triangular, aunque en casos de mayor caudal los vertederos rectangulares o de sección combinada (triangular y rectangular) son necesarios. Los caudales bajos se estiman de forma precisa con la altura de agua sobre el vertedero triangular, mientras que los caudales altos pueden ser estimados con la altura sobre la sección rectangular combinada.

Vertederos en ríos y quebradas de páramo



Vertedero de sección combinada

Foto: Henni Hampel



Vertedero triangular en cauce pequeño

Foto: Rolando Célleri

En las fotografías se observan vertederos que forman parte de un observatorio eco-hidrológico del Grupo de Ciencias de la Tierra y del Ambiente de la Universidad de Cuenca, compuesto por 11 vertederos en una misma microcuenca de páramo ubicada en el sector de Quimsacocha, en la cuenca de Zhurucay. Los vertederos mostrados son (a) de hormigón y platina de metal, de sección combinada triangular y rectangular en una microcuenca de 3 km^2 y (b) de metal, de sección triangular en una microcuenca de 0.2 km^2 a la salida de un bosque de polylepis.

Para lograr un monitoreo adecuado con fines de conocer el funcionamiento de una cuenca hidrográfica, es necesario combinar el monitoreo hidrológico con el monitoreo meteorológico, en el denominado: monitoreo hidrometeorológico.

Cuando además el objetivo es determinar los servicios ambientales hidrológicos, se deben conocer también varios detalles de sus aspectos biofísicos como los suelos, su pendiente y sobre todo, sus usos.

Monitoreo hidrológico + monitoreo meteorológico = monitoreo hidrometeorológico

Monitoreo mínimo

El monitoreo básico de una cuenca se denomina **monitoreo mínimo** y consiste en monitorear las **precipitaciones** (principalmente la lluvia) y los **caudales** a la salida de ella.

El número de pluviógrafos necesarios para medir la lluvia, dependerá de:

- las dimensiones de la cuenca,
- la variabilidad espacial de la precipitación, y,
- el número de ecosistemas presentes, aguas arriba del sitio de medición del caudal.

En una microcuenca de menos de 5 km^2, normalmente, hay un solo ecosistema, pero la variabilidad de la lluvia, puede ser significativa (algunos estudios han demostrado variaciones de un 25% en microcuencas de 1 km^2).

Con esta configuración de la red de monitoreo, la evapotranspiración se puede estimar cerrando el balance hídrico, sobre la base de la diferencia entre volúmenes de lluvia y caudal, en un tiempo dado, siempre y cuando las condiciones de humedad del suelo sean similares al inicio y al final del período de estudio.

Por otro lado, si se desea calcular la evapotranspiración, para afinar el estudio, será necesaria la implementación de una estación meteorológica, la cual, además de medir las variables meteorológicas, puede equiparse con sensores para medir la humedad del suelo. Estos últimos datos permitirán reducir la incertidumbre con relación al estado de almacenamiento de agua en el suelo.

Los sensores electrónicos pueden ser programados para registrar datos a cualquier intervalo de tiempo, proporcionando una gran facilidad para las personas que realizarán los cálculos.

Generalmente la frecuencia de toma de datos depende:

- del tamaño de la cuenca,
- de la capacidad de memoria del sensor, y,
- de la frecuencia de recolección de datos de los operadores.

Si en una cuenca pequeña se toman datos con baja frecuencia (por ejemplo diarios) es muy probable que no se registren los picos de las crecidas, con lo cual se puede subestimar la cantidad de agua que sale de la cuenca.

Por otro lado, la toma muy frecuente de datos (algunos sensores permiten tomar datos cada segundo) va a llenar la memoria del sensor muy rápidamente, proporcionando información redundante, que es de poco interés para los estudios, desgasta las baterías del sensor e inclusive, puede ocasionar un desgaste prematuro a algunos sensores.

Para cuencas de 1 a 3 km^2 se sugiere una toma de datos cada 5 minutos, pero este valor deberá ser escogido según los objetivos de la investigación.

Este monitoreo hidrometeorológico deberá complementarse con datos de la morfología de la cuenca y estudios de suelos (tipos de suelos, su profundidad, propiedades de retención de agua, cantidad de materia orgánica, entre otros) para poder tener el panorama completo del funcionamiento hidrológico de las cuencas.

Finalmente, es muy recomendable conocer los requerimientos de potenciales usuarios de esos datos, aparte de las personas involucradas directamente, quienes podrían cofinanciar la operación de los equipos.

Monitoreo hidrológico participativo

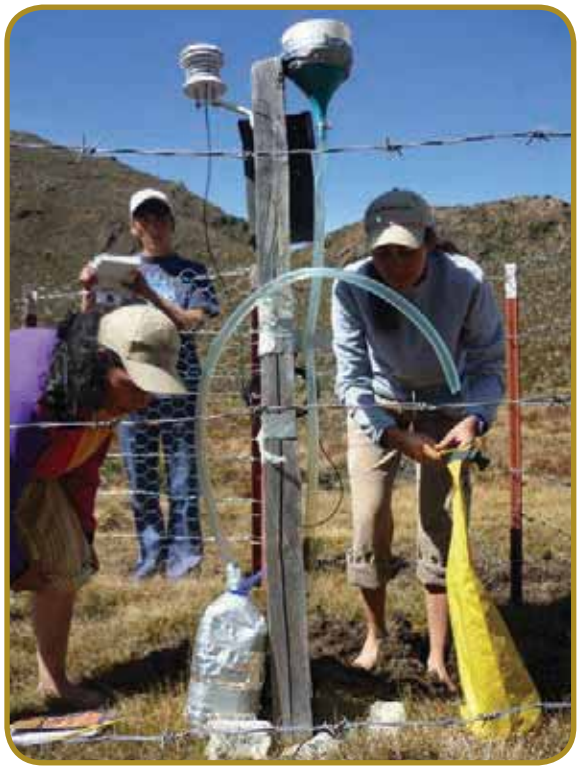




Foto: Henni Hampel

Lectura de datos, comuneras de Mixteque y técnicos de la Universidad de los Andes. Venezuela

El monitoreo participativo es un proceso de colaboración para recoger y analizar datos, y comunicar resultados, en un intento conjunto de identificar y resolver problemas.

La comunidad propietaria de la tierra o que usa el agua en donde se desarrollan las actividades de monitoreo hidrológico, debe resultar beneficiada y participar durante todo el proceso de investigación sobre el funcionamiento hídrico del ecosistema y no únicamente en la aplicación de los resultados.

La vinculación entre comunidad – institución – gobierno – organización, es fundamental para la sostenibilidad del sistema de monitoreo, pero sobre todo para identificar los objetivos y poner en práctica los resultados para la obtención de las metas que efectivamente beneficien a los socios involucrados.

Así, la comunidad conoce:

- los elementos causa-efecto de sus acciones sobre la hidrología,
- tiene acceso a información científica y técnica que permita mejorar sus prácticas,
- recibe apoyo presupuestario para el manejo y la gestión de la cuenca,
- puede dar prioridad de acción a los grupos marginados, y,
- logra un mayor vínculo con el gobierno, lo cual le permite el acceso y la influencia sobre los tomadores de decisiones.

La organización, institución o gobierno, por su parte pueden:

- realizar el monitoreo con un presupuesto menor gracias al apoyo de la comunidad,
- trabajar con más información en el planeamiento gubernamental, y,
- fortalecer la vinculación con la colectividad mediante la extensión de redes de monitoreo a diferentes niveles.

La participación de la comunidad en el proceso de monitoreo hidrológico puede ser de forma directa o indirecta, siempre considerando que los fines hacia los cuales apuntan los resultados de este proceso, son para el beneficio de la comunidad.

La inclusión de la población en el proceso garantiza que la toma de conciencia sobre la información resultante sea más fácilmente aceptada y aplicada por los habitantes y que se produzca una retroalimentación

que enriquezca la investigación y la toma de decisiones que involucran al monitoreo.

Así por ejemplo, si una comunidad es vinculada a un proceso de restauración de bosque nativo, mediante la clausura de una zona que anteriormente era usada para pastoreo, el proceso de participación de la población, permitirá que la transformación hacia otras prácticas de uso de suelo y desarrollo sustentable, que justifiquen y suplan su antigua actividad económica, sea aceptada.

Si durante el monitoreo en esta área, la comunidad es testigo del cambio favorable en el funcionamiento hidrológico, su convicción y apoyo a estos procesos se verá altamente fomentada.

La participación de la comunidad en el proceso de monitoreo puede implicar una colaboración sobre un sistema manejado por la institución encargada, como el mantenimiento de los equipos, limpieza, seguridad y su cuidado. O puede ser incluso más directa, mediante la realización de prácticas de monitoreo sencillas que permitan a los habitantes de la comunidad la toma de sus propios datos, que adecuadamente procesados, desemboquen en información valiosa.

Aun así, hay que considerar que la participación de la comunidad no está limitada solamente al uso de equipos de baja tecnología o bajo presupuesto, sino que el fortalecimiento de capacidades debe ser un eje transversal que guíe las propuestas de monitoreo.

Si bien el monitoreo hidrológico mínimo puede ser limitado a la hora de responder preguntas complejas sobre la dinámica del ecosistema, aporta información valiosa sobre procesos aún desconocidos respecto de su funcionamiento hidrológico. Además, la sola comparación entre la respuesta hídrica por diferentes usos de la tierra permite responder preguntas como ¿cuánto de la regulación hidrológica se puede perder si la cuenca es degradada?, o ¿cuánto de la regulación hidrológica se puede recuperar con acciones de restauración de ecosistemas degradados?

Si bien los objetivos que tiene cada institución a la hora de realizar monitoreo hidrológico son diferentes, es fundamental definir metas que estén guiadas hacia el trabajo de la población que depende de la tierra y el agua donde se encuentran los equipos de monitoreo.

Las escalas de monitoreo son altamente variables según los objetivos de un municipio, una ONG o un grupo de investigación y es importante considerar que el factor humano es siempre una constante en todos los casos.

La información que genera la ciencia no siempre es la adecuada para la gestión debido a las agendas aisladas entre científicos y políticos. Este desfase de información ha dado como resultado la generación de mitos sobre los ecosistemas andinos y el comportamiento hidrológico, como la sobrestimación de los glaciares o la falsa certeza sobre los beneficios de la (re)forestación.

El uso de la información científica está sujeto a intereses sectoriales, y ambos actores deben enfrentar problemas complejos que lleven a coordinar su trabajo en una labor conjunta. La gestión de recursos hídricos es un proceso evolutivo, se promueve la creación de una nueva cultura del agua, con enfoque ecosistémico que complemente y fortalezca la gestión.

Es necesario asegurar un ajuste claro entre la información suministrada y la requerida, coordinar agendas comunes, dar acompañamiento continuo, crear una plataforma de comunicación permanente entre la ciencia, la práctica y la toma de decisiones. Hay que ser pragmático en el momento de aceptar que llegar a un consenso es mejor que perseguir una utopía.

ACTIVIDADES

Le proponemos que cuando pueda, y con el propósito de fijar sus conocimientos y realizar comprobaciones que seguro serán nuevos aprendizajes, realice las siguientes actividades en campo, teniendo en cuenta que:

- Dado el clima tan variable que se puede encontrar en el páramo, es muy difícil planificar las acciones a realizar durante un día de campo para observación del clima y la hidrología. Y es que lo ideal es poder observar toda esta variabilidad para entender mejor cómo se dan las interrelaciones clima-vegetación-suelo-agua.

- Es importante la duración de la visita y la hora del día en la cual se realizará. Con suerte, en una visita de un día completo, se podrán observar las variaciones más importantes del clima y la precipitación. Pero en caso de una visita corta, las posibilidades son menores (normalmente se espera lluvia durante la tarde y noche, mientras al medio día puede estar soleado).

- Un día con buen clima (soleado) no es el ideal para observar y comprender las características del páramo.

Por todo lo expuesto, nos pareció importante ofrecerle un listado de actividades que se pueden desarrollar de acuerdo a las circunstancias aprovechando las condiciones existentes.

Hemos incluido varias actividades para ser realizadas en diferentes situaciones climáticas (meteorológicas), de modo que siempre se podrá aprovechar la visita al campo.

¿Qué necesita llevar?

- Cuaderno para realizar anotaciones,
- Cámara de fotos,
- Vailejo, pala o machete (para remover el suelo),
- Ropa apropiada para clima muy frío y húmedo (lluvioso), impermeable, gorra con visera, ropa abrigada y gruesa. Botas de caucho son siempre recomendadas.
- Flexómetro.

Otros artículos recomendados (pero no imprescindibles)

- Altímetro
- GPS

Seleccione la actividad que le interese de acuerdo con las condiciones climáticas:

Componente	Va a observar:	Objetivo	Actividades y Preguntas guía
Meteorología, tiempo	Temperatura, humedad, radiación, nubes, neblina, velocidad del viento.	Identificar cambios claves en el tiempo. Identificar diferencias entre el tiempo del páramo y las regiones bajas cercanas	Describir las condiciones del tiempo (de cada variable) y su variación durante la duración de la visita. ¿Cómo cambian las variables meteorológicas cuando se nubla el cielo? ¿Qué se puede decir acerca de la variabilidad del tiempo? Comparar las condiciones existentes en el páramo con las de la ciudad más cercana. ¿En qué se diferencian y en qué se asemejan?
Precipitación	Lluvia, neblina	Identificar las características de las diferentes formas de precipitación	Opinar sobre la intensidad de la lluvia. ¿Se pueden apreciar diferencias con la intensidad de la lluvia de las zonas más bajas de los alrededores? Muchas personas piensan que la constante llovizna del páramo no es suficiente para llegar al suelo y luego a los cauces. ¿Usted que opina? ¿La neblina llega a topar el pajonal u otra vegetación, o se mantiene por encima de ella? ¿Podrá mojar al pajonal y sumarse así al agua lluvia? ¿En qué casos, es frecuente qué?

Componente	Va a observar:	Objetivo	Actividades y Preguntas guía
Intercepción	Intercepción en pajonal y otras formas vegetales	Determinar la capacidad de la vegetación para interceptar la precipitación	Observar la ocurrencia de agua interceptada por la vegetación: ¿Qué porcentaje de lluvia es interceptada? ¿Cómo se relaciona con la intensidad de la lluvia? ¿El agua interceptada puede escurrirse y llegar al suelo?
Humedad	Humedad del suelo y evaporación	Determinar los efectos de la cobertura/uso de tierras sobre la humedad del suelo	Observar las diferencias de humedad del suelo bajo diferentes coberturas: Bajo pajonal, en humedales, en zonas desprovistas de vegetación, en zonas cultivadas, en plantaciones forestales, en zonas ganaderas (intensivas y extensivas). Responda estas preguntas: ¿Son significativas? ¿Pueden observarse diferencias en la estructura del suelo bajo diferentes coberturas? Si el suelo descubierto esta seco, ¿a qué profundidad se encuentra suelo húmedo?

Componente	Va a observar:	Objetivo	Actividades y Preguntas guía
Capas de suelo	Horizontes	Conocer algunas características físicas (infiltración, capacidad de almacenamiento de agua, humedad) de las capas de suelo	En la carretera de acceso, detenerse en un sitio donde exista un corte en el que se pueda observar un perfil de suelo completo (desde suelo negro hasta roca). ¿Qué profundidad tiene el suelo negro? ¿Pueden observarse diferencias en humedad entre los diferentes horizontes/capas de suelo? ¿Pueden observarse sitios con mayor humedad que otros? ¿Dónde están ubicados? ¿Qué se puede decir/inferir sobre la capacidad de infiltración y de almacenamiento de agua en cada horizonte? ¿En qué dirección se mueve el agua que se infiltra desde la superficie hasta llegar a un cauce? Si el suelo negro esta seco, ¿se puede notar alguna diferencia en la textura y estructura del suelo seco con respecto a un suelo negro no expuesto a los efectos del clima? (Es posible que sea necesario remover un poco el material seco para analizar).

Componente	Va a observar:	Objetivo	Actividades y Preguntas guía
Evaporación y evapotrans-Piración	Evaporación y evapotrans-piración	Identificar las principales fuentes de evaporación Reforzar el concepto de evapotrans-piración, en especial su variabilidad temporal	Es muy difícil observar la evaporación y evapotranspiración, debido a que son procesos lentos, sin embargo es una buena oportunidad para conversar sobre estos procesos en: • Agua interceptada por vegetación • Charcos • Lagunas y humedales • Suelo cubierto por vegetación • Suelo descubierto (por quemas por ejemplo) • Cultivos • Pastos • Bosquetes • ¿Qué variables meteorológicas afectan la evaporación de cada una de estas superficies? Ordene las superficies de acuerdo con su grado de evaporación potencial. ¿Cómo cambia la evaporación y evapotranspiración potencial en el tiempo (estaciones, meses, años)?
Uso de tierras y ciclo hidrológico	Uso de la tierra, componentes del ciclo hidrológico	Determinar y comprender las interrelaciones entre uso de tierra y ciclo hidrológico	Sobre la base de los procesos observados y las actividades anteriores: ¿Cómo afecta el mosaico de usos de tierra observados al ciclo hidrológico y a los caudales que salen de la cuenca? ¿Qué componente del ciclo hidrológico es el más afectado por el uso de tierras? Plantee estrategias para minimizar los efectos negativos del uso de tierras sobre el ciclo hidrológico.

Glosario

Capacidad de campo: es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente, evitando perdida por evapotranspiración hasta que la humedad del suelo se estabilice.

Corriente cálida del Niño: es una corriente marina cálida que se orienta hacia el sur y que se da en la costa occidental del Pacífico, en la zona intertropical, cada mes de diciembre. Sin embargo, en la actualidad, se reserva el nombre de "el Niño" para el fenómeno oceánico y atmosférico que ocurre por el calentamiento de las aguas del Océano Pacífico, con circunstancias excepcionalmente intensas y persistentes que se repiten de forma erráticamente cíclica.

Corriente fría de Humboldt: es una corriente marina originada por el ascenso de aguas profundas muy frías, que se produce en las costas occidentales de América del Sur y que recorre desde la costa central de Chile hacia el norte, pero principalmente a lo largo del litoral peruano. Ejerce influencia determinante sobre el clima de la costa chileno-peruana con cielos cubiertos de neblinas, ausencia de lluvias y temperaturas templadas durante el invierno.

Densidad (símbolo): en física y química, es una magnitud escalar referida a la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.

Densidad aparente y densidad real: la densidad aparente es una magnitud aplicada en materiales porosos como el suelo, los cuales forman cuerpos heterogéneos con presencia de aire u otra sustancia normalmente más ligera, de forma que la densidad total del cuerpo es menor que la densidad del material poroso si se compactase.

Gradiente: es la intensidad de aumento o disminución de una magnitud variable.

Granizo: es un tipo de precipitación que consiste en partículas irregulares de hielo. El granizo se produce en tormentas intensas en las que se producen gotas de agua sobreenfriadas, es decir, aún líquidas pero a temperaturas por debajo de su punto normal de congelación (0 °C).

Hidrometeoros: son partículas acuosas suspendidas en la atmósfera.

Humedad de saturación: es el contenido de agua o humedad máxima que puede contener el suelo en unas condiciones determinadas de presión, compactación, porosidad y estructura.

Intensidad de precipitación: es la razón de incremento de la altura (mm de lluvia) que alcanza la lluvia respecto al tiempo. Por la intensidad, las lluvias se clasifican en débiles (menor a 2 mm/h), moderadas (entre 2 y 15 mm/h), fuertes (entre 15 y 30 mm/h), muy fuertes (entre 30 y 60 mm/h) y torrenciales (mayor a 60 mm/h).

Llovizna: es un tipo de precipitación que se caracteriza por tener un tamaño de gota pequeño, usualmente menos de 0.5 mm de diámetro.

Lluvia: es la precipitación de partículas líquidas de agua, de diámetro mayor de 0,5 mm o de gotas menores, pero muy dispersas. Si no alcanza la superficie terrestre, no sería lluvia sino virga y si el diámetro es menor sería llovizna.

Neblina: es un hidrometeoro que consiste en la suspensión de muy pequeñas gotas de agua en la atmósfera, de un tamaño entre 50 y 200 micrómetros de diámetro, que reducen la visibilidad horizontal a una distancia de un kilómetro o más.

Nieve: es un tipo de precipitación que consiste en pequeños cristales de hielo que se agrupan en copos. La nieve se forma comúnmente cuando el vapor de agua experimenta una alta deposición en la atmósfera a una temperatura menor de 0 °C, y posteriormente cae sobre la tierra.

Precipitación: es cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre.

Punto de marchitez: es el punto de humedad mínima en el cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo y por lo tanto marchita.

Radiación de onda corta: es la radiación electromagnética proveniente del Sol. La radiación solar tiene una gama de longitudes de onda o "espectro" distintiva que va desde la radiación ultravioleta hasta la radiación infrarroja.

Radiación de onda larga: es en general la radiación electromagnética emitida por la superficie de la Tierra y por la atmósfera, que se ubica en la porción infrarroja del espectro.

Rocío: es un fenómeno físico-meteorológico en el que la humedad del aire se condensa en forma de gotas por la disminución brusca de la temperatura, o el contacto con superficies frías.

Virga: es un hidrometeoro que cae de una nube pero que se evapora antes de alcanzar el suelo.





Unidad 3

Los suelos del páramo

Pablo Borja





Foto: Galo Carrión

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: Pablo Borja

Fuente de agua en una zona de páramo

Para poder entender mejor el por qué 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 frio 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

Foto: Pablo Borja

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.



Valle en forma de U

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.



Vegetación de pantano (turbera)

Foto: Pablo Borja

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.



Foto: Pablo Borja

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

Suelo de pantano

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 alófanas 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 m^2/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 Andosoles[30], 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 diferente[31] .



Páramo de Piedras Blancas, Venezuela

Foto: Yolanda Cáceres



Páramo de Belmira, Colombia

Foto: Adolfo Correa

31 Bertsch, 1995.



Páramo de Quimsacocha, Ecuador

Foto: Pablo Borja



Páramo de Pacaipampa, Perú

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

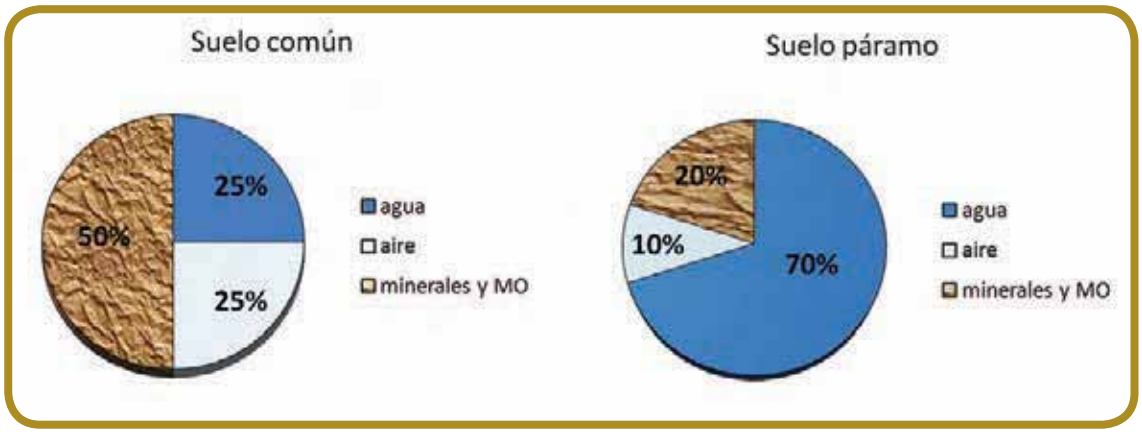


Gráfico: Pablo Borja

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:

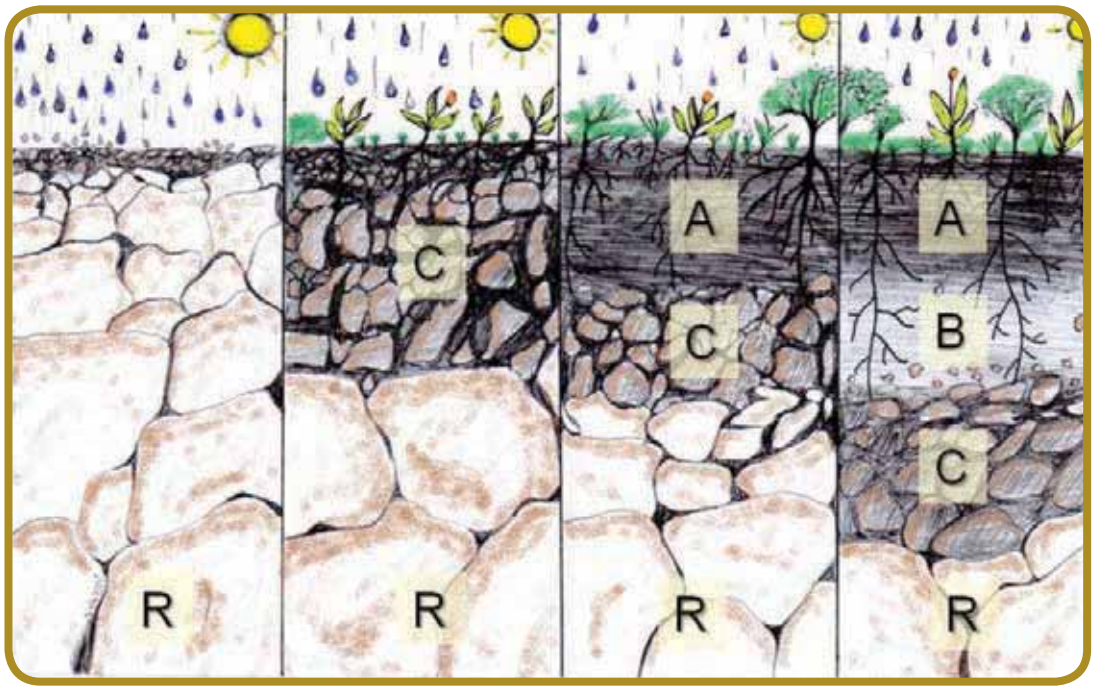
h (acumulación de materia orgánica),
p (horizonte alterado por labranza,
w (horizonte de alteración - meteorizado)

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

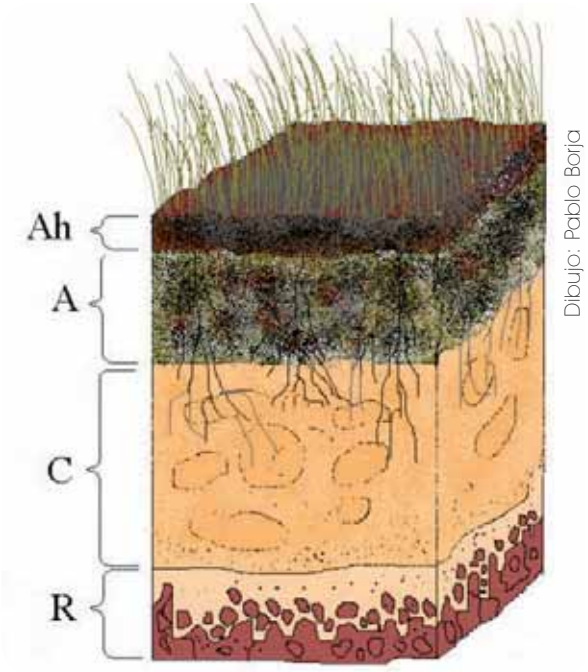


Dibujo: Pablo Borja

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

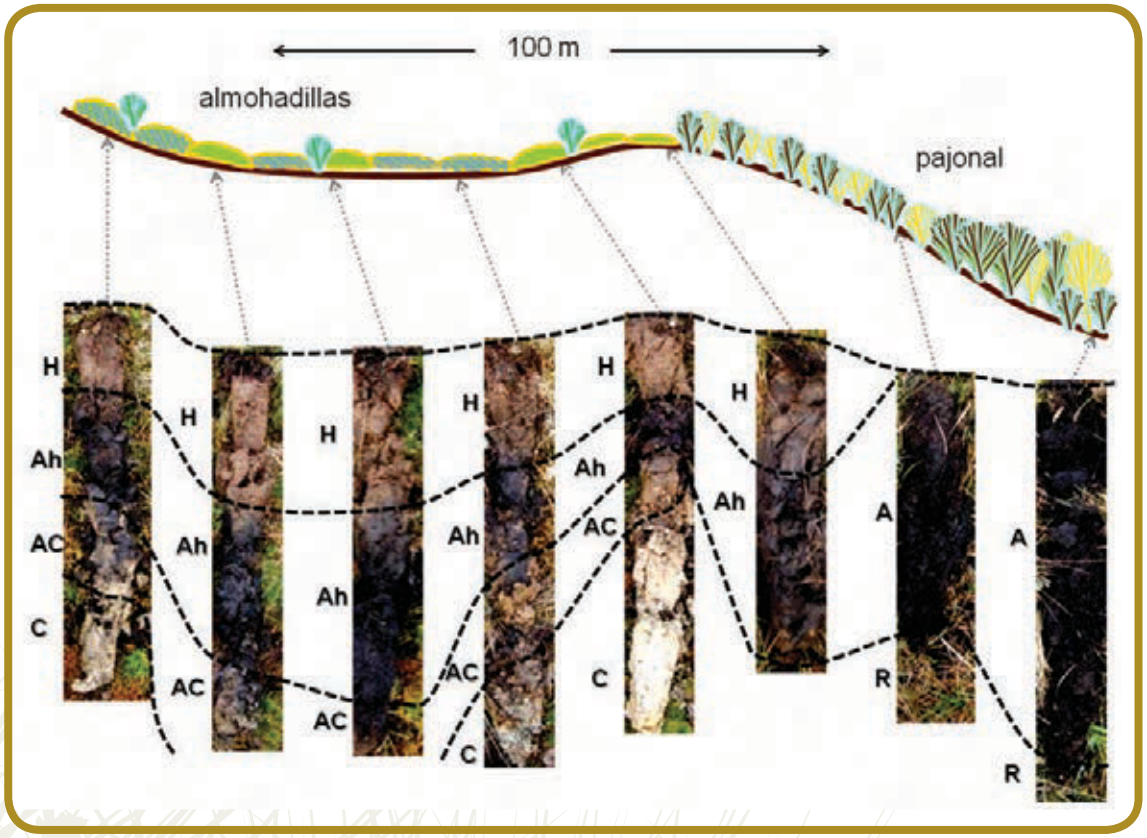
Ah – A – C como se ve en el gráfico.

Perfil esquematizado de un suelo de páramo



Dibujo: Pablo Borja

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



Fotos: Pablo Borja

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 1m 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, ligera 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.

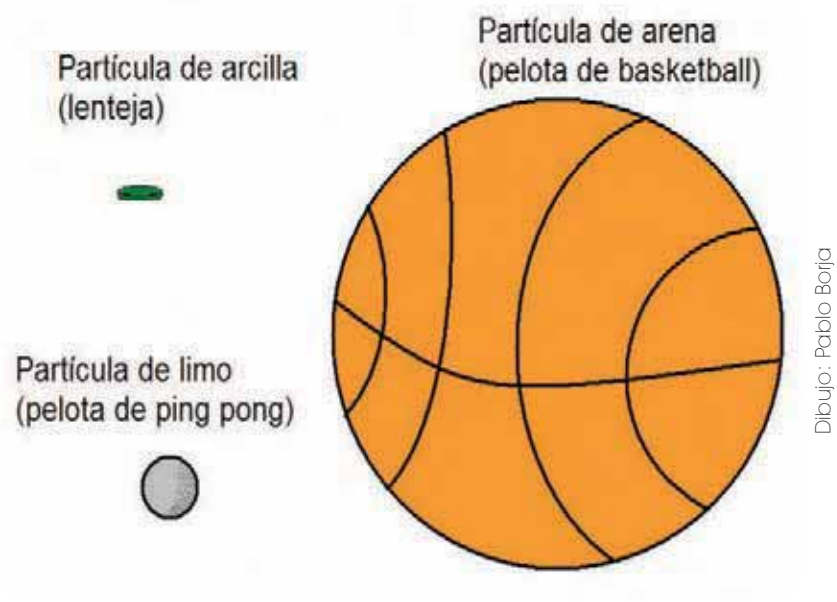
La cantidad (%) de estas partículas en una muestra de suelo, define su textura.

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



Dibujo: Pablo Borja

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 marchitez[33].

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 errores[34].

El método de Bouyoucus[35] produciría una dispersión incompleta de las partículas en este tipo de suelos, debido a los complejos orgánico – minerales que forman seudo-agregados de arena y/o limos. De manera que para lograr una dispersión adecuada, es necesario un pretratamiento que consiste en separar los seudo-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 tacto[36].

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 %

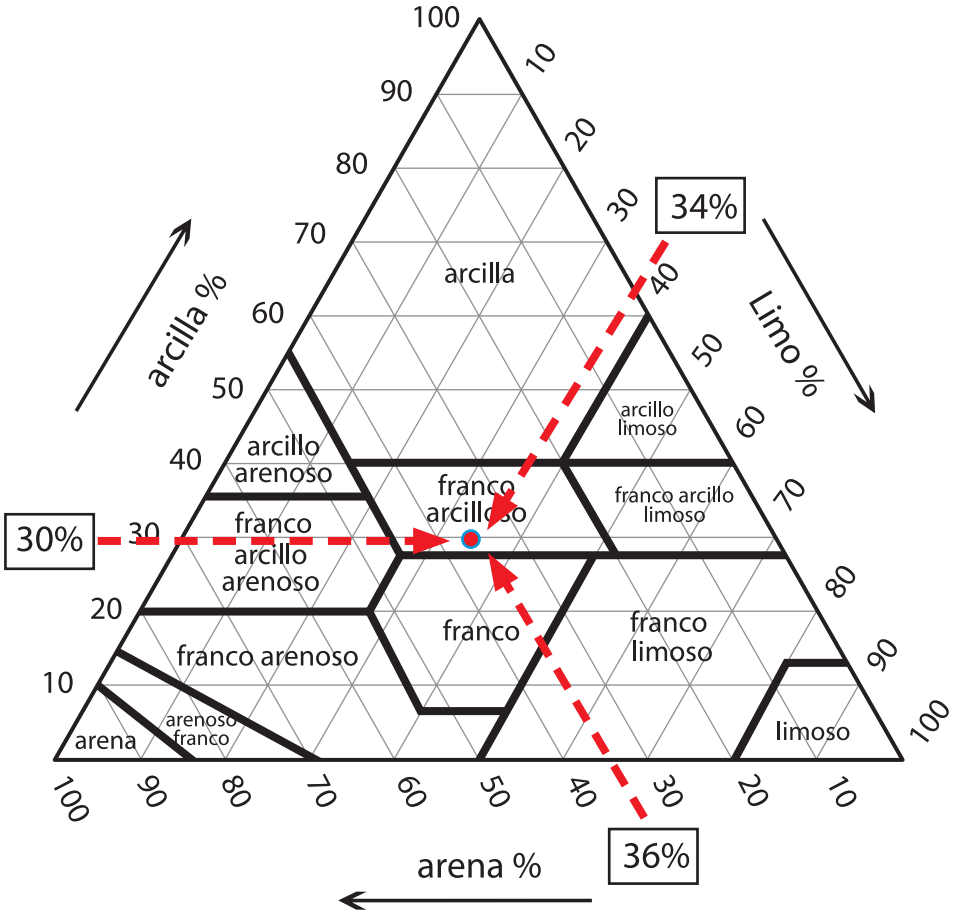
ubicamos estos valores en el triángulo de texturas como se indica en el gráfico y obtenemos la clase textural que le corresponde: **franco arcilloso** en este ejemplo.

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



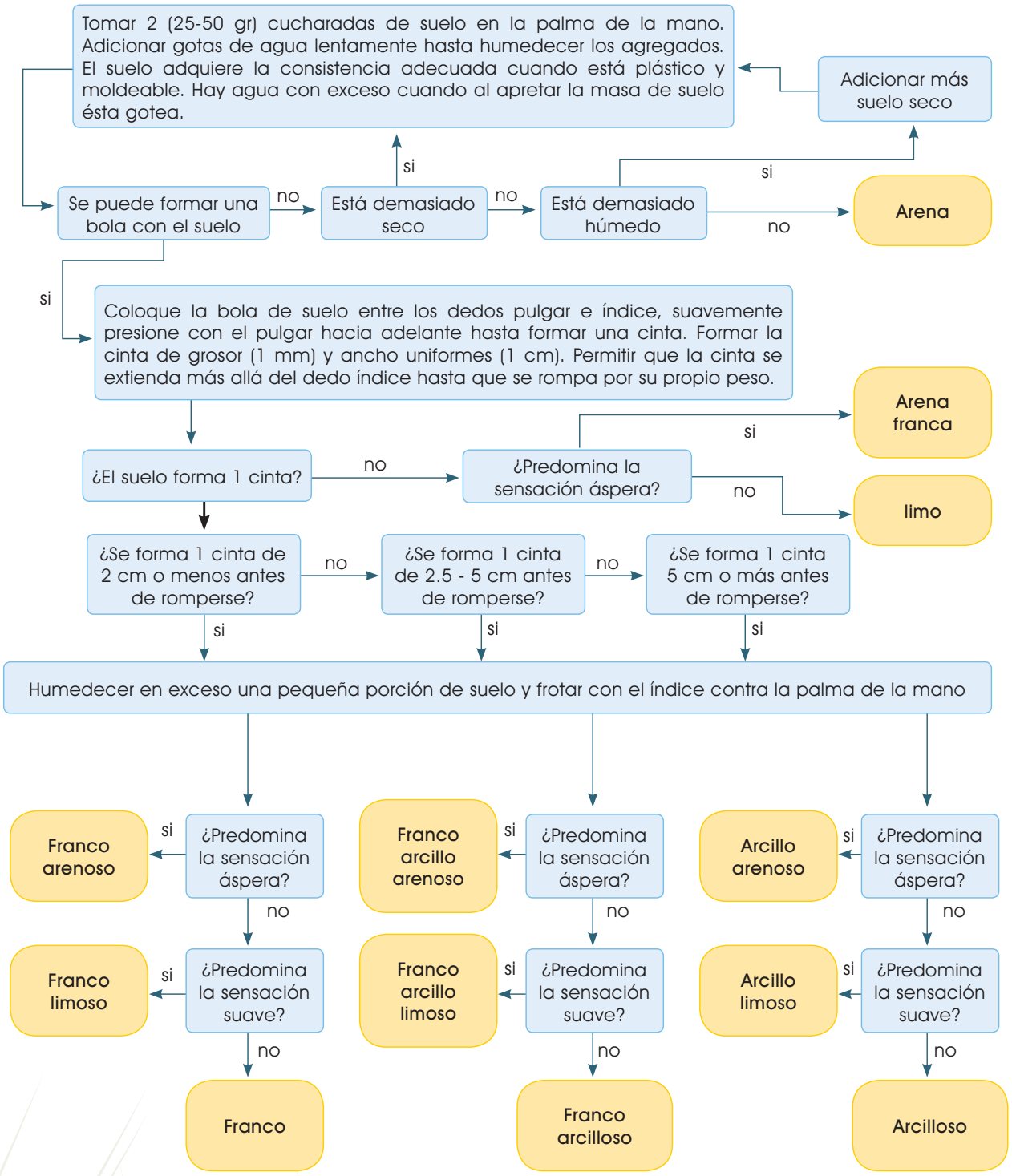
Método para determinar la textura en el campo

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 diagrama[37]. Con práctica, esta estimación puede ser bastante precisa.

37 Thien, 1979.

Diagrama para la determinación de la textura por el tacto[38]



38 Thien, 1979.

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

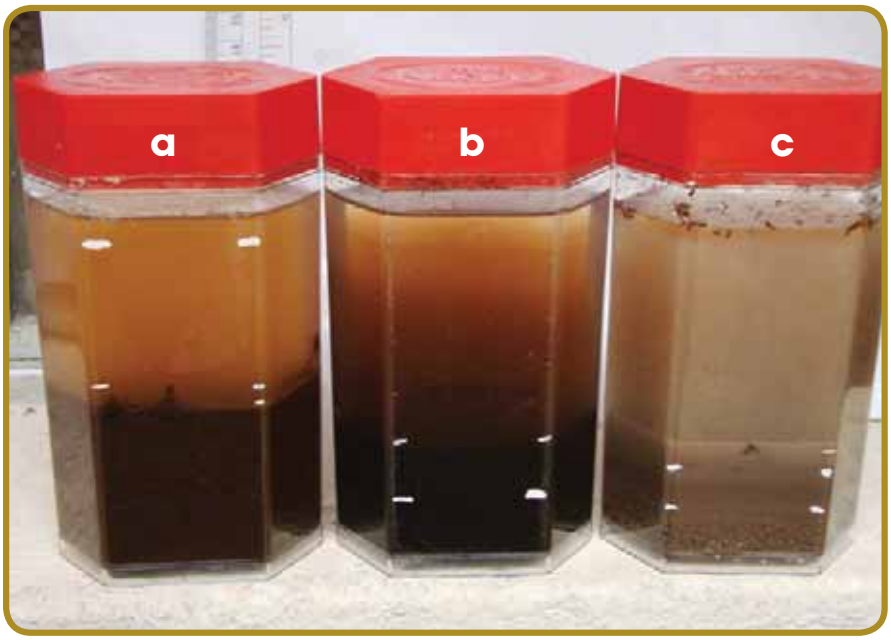


Foto: Pablo Borja

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 ¾ 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 si, 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 prismáticas[39]. 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.



Estructura granular

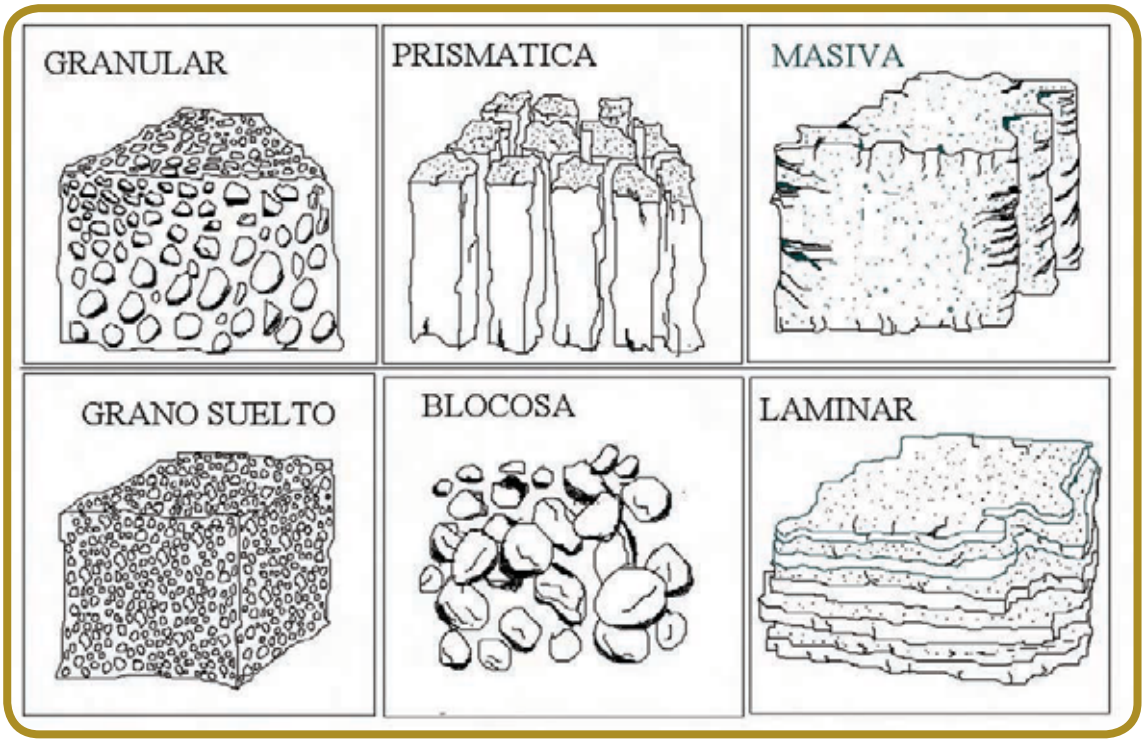
Foto: Pablo Borja

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?

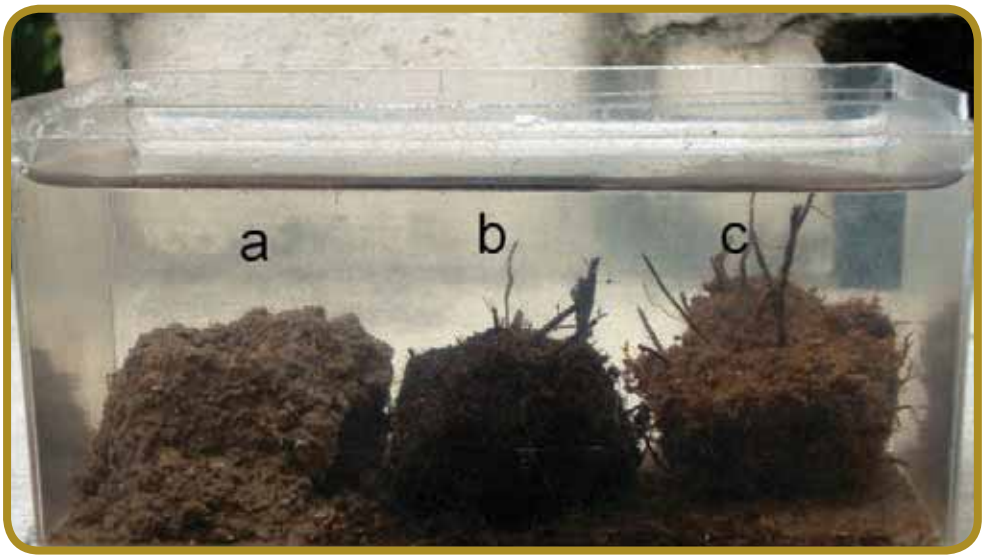


Foto: Pablo Borja

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 /cm3
Densidad del cuarzo =	2.65 g /cm3
Densidad del hierro =	7.8 g /cm3

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 arcillas[40], 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 g/cm^3 (Podwojewski et al., 2002; Poulenard 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.

$$da = \frac{Mss}{V}$$

Donde: **da** = densidad aparente del suelo (g/cm^3)
M_{ss} = masa del suelo seco (g)
V = volumen de la muestra de suelo (cm^3), 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

$$p = \left(1 - \frac{da}{dr}\right)100$$

Donde: **p** = porosidad (%)
dr = 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.



Toma de muestras

Foto: Pablo Borja

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



Pesaje de las muestras

Foto: Pablo Borja

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.



Secado de las muestras

Foto: Pablo Borja

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 cm^3 (V cilindro = 3.1416 x (diámetro/2)^2 x altura del cilindro)
- Masa del suelo seco (M_{ss}) = 126.5 – 91.5 = 35 g

$$da = 35 / 100 = 0.35\ g/cm^3$$

$$Porosidad = (1 – (0.35/2.65) \times 100) = 86.79\ \%$$

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 acumulados[41]

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 negra[42]. Sin embargo, no todos los horizontes ricos en humus son negros[43].

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

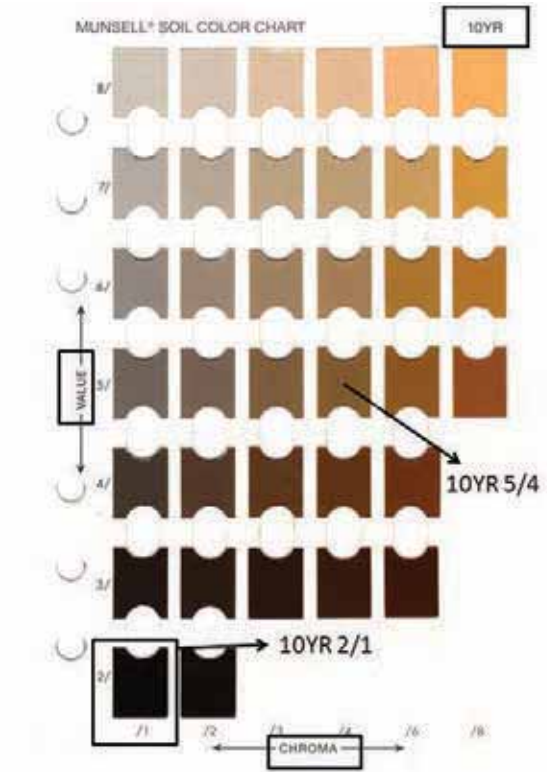


Foto: Pablo Borja

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 m[44]. Otro ejemplo: para suelos del sur de Ecuador, el promedio de la profundidad del suelo correspondiente al horizonte A, es de 47 cm[45].

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 Ecuador[46].

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 Cajas[47] y una zona de estudio en el páramo de Quimsacocha[48] 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.

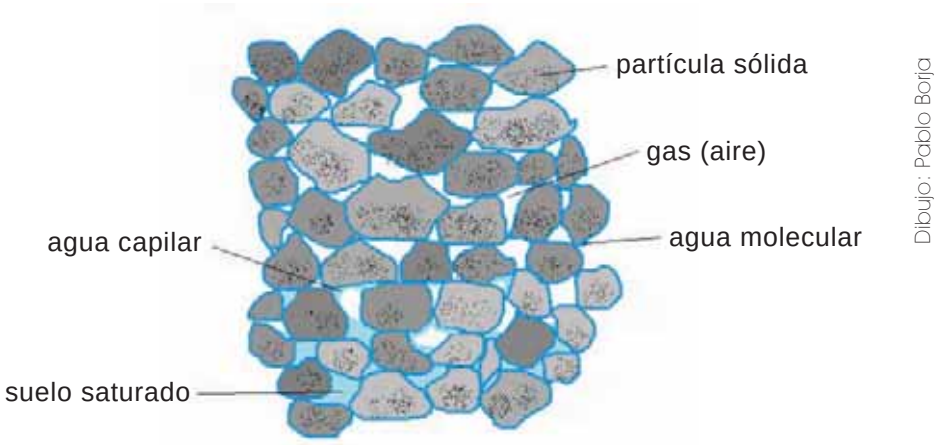
La conductividad hidráulica (k) se relaciona con el contenido de agua o su presión y describe la velocidad con la que el agua se mueve en el interior del suelo.

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



Dibujo: Pablo Borja

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.

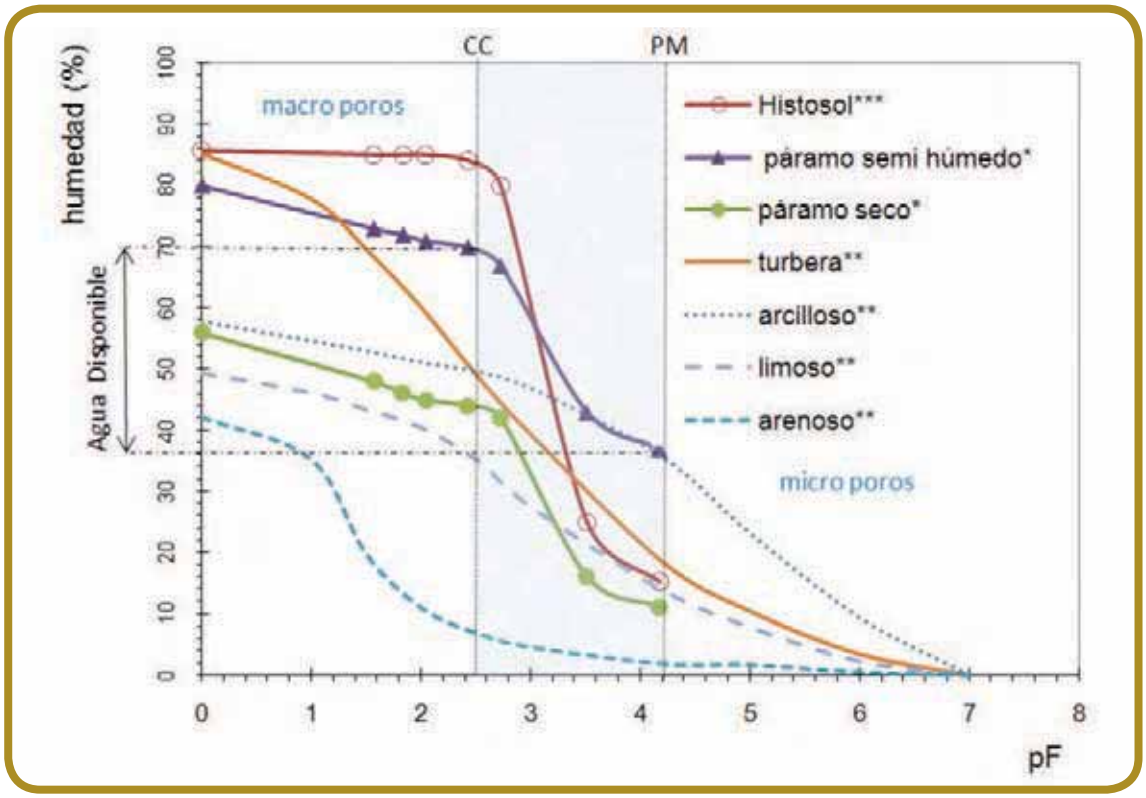
También se suele representar como porcentaje en relación con el peso (o más correctamente "masa") o como **lámina de agua** en milímetros (1mm = 1lt/m^2). Si el contenido de agua se lo calcula en relación al peso se denomina contenido gravimétrico.

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 anuales[49].

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/cm^3)	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 marchitez[53] 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 orgánica[54]. Se han encontrado altas correlaciones entre el contenido de humedad del suelo y el porcentaje de materia orgánica[55].

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 minerales[56].

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 agua[57].

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 externos[58].

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: Msh = masa del suelo húmedo (g)
Mss = masa del suelo seco (g)
Msh - Mss = masa de agua
θm = contenido gravimétrico de agua del suelo (%)

Humedad volumétrica (relación al volumen)

$$\theta_v = \theta_m da$$

Donde: θv = 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.

2. 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



Colocación de papel filtro



Saturación de muestras

Foto: Pablo Borja

3. 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.



Muestra después de salir del horno

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 cm^3
- 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
- da = 35 / 100 = **0.35** g/cm^3
- $\theta_{m(actual)}$ = ((92.6 – 35)/35) x 100 = 164.6 %
- $\theta_{m(sat)}$ = ((116.9 – 35)/35) x 100 = 234 %
- $\theta_{v(actual)}$ = 0.35 x 164.6 = **57.6** %
- $\theta_{v(sat)}$ = 0.35 x 234 = **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.



Prueba de infiltración en un suelo de bosque de Polylepis

Foto: Pablo Borja

Valores promedio de conductividad hidráulica saturada pueden ser de 1.3 cm/h para suelos de páramos húmedos[62] y de 5 – 6 cm/h para algunos suelos de páramos secos[63].

62 Buytaert, 2004.

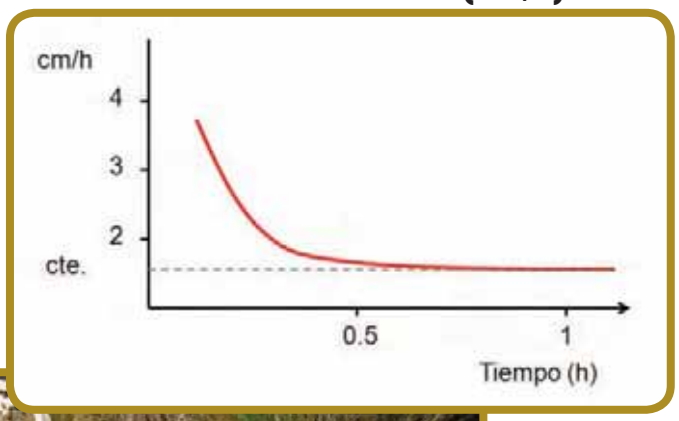
63 Poulenard et al., 2001.

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 taza de infiltración.

Al principio el agua se mueve rápidamente por los poros hasta que estos se van llenado, 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)





Uso del amuzímetro para estimar conductividad hidráulica

Foto: Pablo Borja

¿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,
- taza 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 mucho 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 variable[64].

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 4.8[69].

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 (H_2O). 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.



Determinación del pH

Foto: Pablo Borja

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.

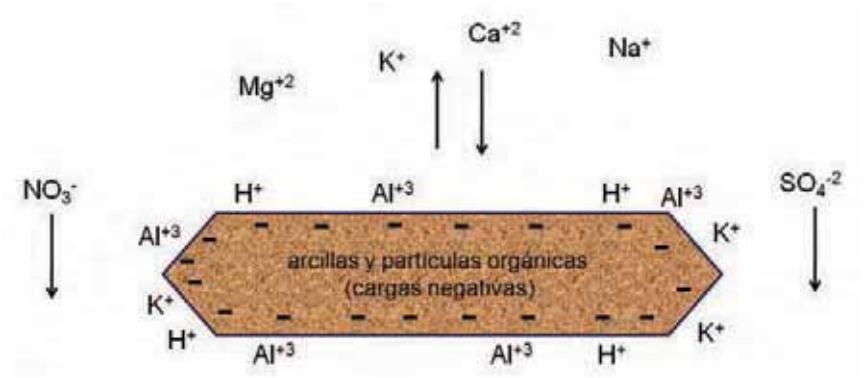
Dependiendo del tipo de partículas y de sus cargas (positivas o negativas) habrá más o menos espacios para que estos iones sean adsorbidos. Los iones positivos (cationes) se pegarán en espacios con carga negativa en la partícula del suelo, mientras que los iones negativos (aniones) se pegarán en espacios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



Dibujo: Pablo Borja

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.

$$\mathbf{CICE = (Ca+Mg+K+Na) + (Al+H)}$$

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^{+}.

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

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 5 [77].

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 Ecuador[78].

Los suelos de páramo más jóvenes (depósitos recientes de cenizas), de acuerdo con algunos investigadores[79], 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 alófanas 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 C[80]. 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 agrícolas[81].

78 Poulenard et al., 2003.

79 Podwojewski y Poulenard,2000a.

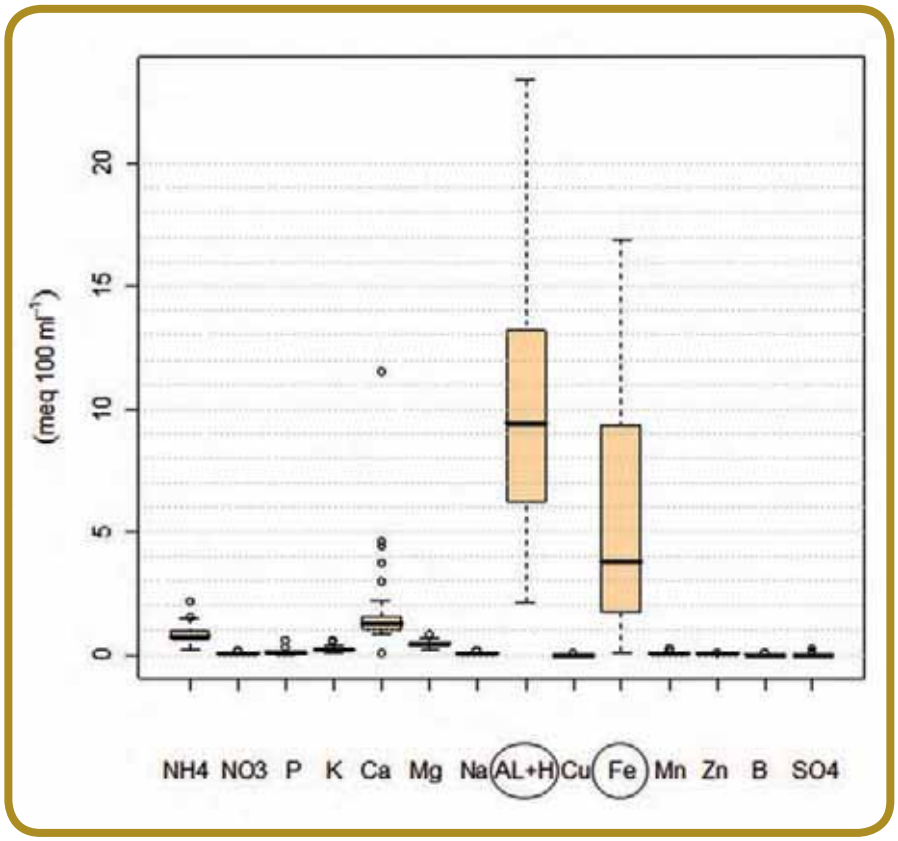
80 Buytaert, 2004.

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 suelos[82].

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 alofánicos[83]. 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 almohadillas[86].

El ecosistema de páramo es un gran reservorio para carbono y al conservarlo se evita la emisión de este elemento a la atmósfera[87].

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/ha[88]. En la tabla se presentan datos de contenido de materia orgánica para suelos de algunos páramos de Ecuador[89].

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/ ha[90], mientras que para páramos forestados con pino, se ha estimado en 150 T/ha sobre la base de la biomasa del suelo[91].

En cuanto a suelos del norte de Ecuador[92], se ha calculado el contenido de C en 1400 T/ha, y de 870 +- 120 T/ha hasta una profundidad de 2 m[93]. 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/ha [94].

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 Ecuador[97] 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

Perfil de Andosol

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/cm3), 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 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/cm^3.

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



Perfil de Histosol

Foto: Pablo Borja

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 fíbrico (Histosol Hémico) y

3. horizontes hísticos donde, luego de frotar el material orgánico, 2/3 o más consiste en tejido vegetal reconocible (**Histosol Fíbrico)**[100] .

100 IUSS Working Group WRB, 2006.



Material orgánico de un Histosol

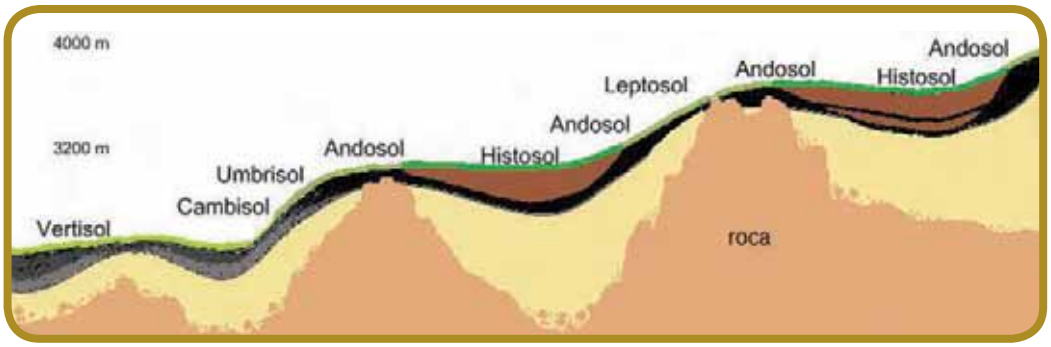
Foto: Pablo Borja

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.



Efecto de un período prolongado de sequía en un humedal

Foto: Pablo Borja



Destrucción 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 Borja



Foto: Pablo Borja

Suelo después de una quema

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 presentar[101]:

- 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 excesivamente[103]. 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).



Evaporación en un suelo luego de haber sido arado con tractor

Foto: Pablo Borja

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 estudio[104], 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 completo[105].

Los niveles de erosión en suelos cultivados durante muchos años pueden ser hasta 500 veces más severos que en zonas naturales o recientemente cultivadas[106].

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 recuperarse[107].

Sin duda una de las principales consecuencias de suelos cultivados, es el impacto en la capacidad de retención de agua[108].

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 Poulenard, 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 pastoreo[110]. Como consecuencia, en la superficie, aparecieron costras que dificultan la infiltración del agua.



Foto: Pablo Borja

Quemas

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 significativa[111].

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 estudio[112] 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

Al^{3+}: 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 (1bar) 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 (log10 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 volcano-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.





Índice

Ecología, hidrología y suelos de páramos

PRESENTACIÓN i
PRÓLOGO iii

ESTE MATERIAL TIENE 3 UNIDADES v

Unidad 1
Ecología del páramo 1

¿QUÉ NOS PROPONEMOS EN ESTA UNIDAD? 5

¿Por qué el páramo? 7

El páramo 8
Desde el principio 9
El páramo ¿un ecosistema natural? 10
¿Dónde están los páramos? 16
- En Sudamérica 17
- En África 17
- En Asia y Oceanía 18

Los páramos andinos 19
Distribución y extensión de los páramos en Sudamérica 19
Características generales del páramo andino 20
- El clima 21
- El Suelo 22
- La vegetación 24
- Características de las plantas de páramo 27
  - ¿Por qué se adaptan las plantas al páramo? 27
  - La fauna 29

Diversidad biológica 35
Diversidad Regional de los Páramos 35
Formaciones vegetales presentes en los páramos 39
- Bosque paramero 40
- Pajonales 41
- Rosetales 42
- Arbustales o matorrales 43
- Bosque Alto Andino 44
- Páramo desértico o superpáramo 45
- Humedales altoandinos 46

Formas de vida que presentan las plantas que habitan el páramo 47
Rosetas caulescentes (con tallo) 48
Rosetas acaules (sin tallo) 48
Arbustos esclerófilos y árboles 49
Gramíneas en macollas 49
Hierbas 50
Cojines 50

Importancia del páramo 52
Diversidad biológica e interacciones bióticas 53
Regulación hídrica 58
Almacenamiento de carbón atmosférico 60
Prácticas productivas y extractivas 60
Importancia cultural 61
Atractivo turístico 63
Importancia científica 65

Transformaciones del páramo como consecuencia de la intervención humana 67
Un poco de historia… 67
¿Que sucedió históricamente? 67
Periodo pre-incaico 68
Período incaico 68
Periodo colonial 68
Período moderno 69
Una gran diversidad de historias de uso 69
Paramización de los bosques y degradación del páramo 70
Degradación y amenazas 71
Agricultura 72
Ganadería 74
Quema de la vegetación 76
Forestación 77
Minería 78
Actividades menores 80
Cacería de especies animales 80
Introducción de especies exóticas 80
Recolección de plantas y de leña 80
El turismo 81
En menos palabras… 83

Glosario 86

Unidad 2

Clima e hidrología del páramo 89

Antes de comenzar… 93

¿QUÉ NOS PROPONEMOS EN ESTA UNIDAD? 95

Agua y Páramo 97
Clima y tiempo 97
Elementos básicos de meteorología 99
Factores que determinan el clima 101
- Latitud 102
- Altitud 103
  - Variables meteorológicas por altitud 105
- Continentalidad 105
- Exposición a Circulaciones Regionales 105

Mapa climático 107
- ¿Por qué la gran variedad de climas? 107

El clima a escala de los Andes tropicales 108
Meteorología de alta montaña: Características del clima en el páramo 110
- El clima en el páramo 111
  - Radiación solar 111
  - Temperatura 112
  - Precipitación 114

Monitoreo meteorológico 117
- Estación Convencional 118
- Estación Automática 119

Cuentan los abuelos 121

La Hidrología 122
A través de la historia… 122
El ciclo hidrológico y sus procesos principales 123
- Los componentes del ciclo hidrológico 123

El balance hídrico 129
El ciclo hidrológico aplicado a la alta montaña: el caso del páramo 133
La regulación hidrológica y el rendimiento hídrico 138
Impactos del cambio de uso de tierras sobre la hidrología del páramo 140
- Quemas 142
- Conversión de pajonales en cultivos 143
- Conversión de pajonales en plantaciones forestales con especies exóticas 145

Conversión de pajonales en pastos para ganadería intensiva o extensiva 146
Relación entre la provisión de agua y otros servicios ambientales proporcionados por el páramo 147

Impactos del cambio climático global sobre el clima en zonas de montaña y el funcionamiento hidrológico 149
La incertidumbre: ¿Cómo actuar frente al Cambio Climático? 153

Monitoreo hidrológico en microcuencas 155
Monitoreo mínimo 158
Monitoreo hidrológico participativo 160
ACTIVIDADES 164
¿Qué necesita llevar? 164
Otros artículos recomendados (pero no imprescindibles) 164

Glosario 169

Unidad 3
Los suelos del páramo 173

Antes de comenzar… 177

¿QUÉ NOS PROPONEMOS EN ESTA UNIDAD? 179

Los suelos del páramo 181
Características generales 181
Muchos páramos, muchos suelos 182
¿Cómo se forman los suelos de los páramos? 183
Material parental 185
Clima 186
Vegetación 186
Relieve 189
Horizontes del suelo 195
¿Cómo se nombran los horizontes? 196
ACTIVIDAD 1: Identificación de horizontes 199
¿Cuáles son las características físicas de los suelos del páramo? 200
ACTIVIDAD 2: Identificación de las principales características físicas 201
Textura 202
Método para determinar la textura en el campo 205

ACTIVIDAD 3: Determinación de la textura en campo 207
Estructura 208
ACTIVIDAD 4: Identificación de estructuras del suelo 210
Densidad Aparente 212
Determinación de la densidad aparente 213
Porosidad 213
ACTIVIDAD 5: Determinación de la densidad aparente y porosidad 214
Color del suelo 216
Profundidad 217
Relaciones entre el suelo y el agua 219
Fuerza con que el agua es retenida en el suelo 219
Formas de humedad del suelo 220
Representación de la humedad del suelo 221
Curvas de retención de humedad para algunos suelos 222
Capacidad de retención de agua 223
Determinación del contenido de humedad del suelo 225
Importancia de la curva de retención de humedad del suelo 226
ACTIVIDAD 6: Determinación del contenido de humedad del suelo 226
Permeabilidad 228
¿Cuáles son las características químicas de los suelos de páramo? 231
pH (reacción del suelo) 231
ACTIVIDAD 7: Determinación del pH 233
Capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases 234
Nutrientes, minerales y metales 236
Relación entre la materia orgánica y los suelos de páramo 239
Acumulación de la materia orgánica 239
¿Qué tipos de suelo podemos encontrar en el páramo? 241
Andosoles 243
Histosoles 245
¿Por qué los suelos del páramo son vulnerables? 248

Para concluir.... 257

Glosario 258

Bibliografía 274



Bibliografía

Bibliografía

ECOLOGÍA DEL PÁRAMO

Arreaza, H y N. Villafañe 2003. *La laguna del Gallo*. Siembraviva Ediciones. Mérida, Venezuela.

Azócar, A. y F. Rada. 2006. *Ecofisiología de plantas de páramo*. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE). Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 182 pp.

Balslev, H. y J. L. Luteyn. 1992. *Páramo: An Andean ecosystem under human influence*. Academic Press, Londres.

Castaño, C. 2002. *Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición hotspot y global climatic tensor*. IDEAM. Bogotá.

Cleef, A.M. 1981. *The vegetation of the páramos of the Colombian Cordillera Oriental*. Diss. Bot. 61: 1-320.

Cuatrecasas, J. 1958. *Aspectos de la vegetación natural de Colombia*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Físicas. 10(40):221-264.

Diaz, A., Pefaur, J.E. and P. Durant. 1997. Ecology of South American Páramos with emphasis on the fauna of the Venezuelan Páramos. En: Weilgolaski, F.E. (ed.) *Polar and Alpine Tundra*. Ecosystems of the World 3. Amsterdam: Elsevier. pp 263-310.

Farley, K. y E.F. Kelly. 2004. *Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status*. Forest ecology and management 195:281-290.

Ferweda, W. 1987. *The influence of potato cultivation on the natural bunchgrass páramo in the Colombian Cordillera Oriental. Internal report no. 220*. Hugo de Vries Laboratory. Amsterdam: Universidad de Amsterdam.

Hedberg, O. 1964. *Features of Afroalpine plant ecology*. Acta Phytogeographica Suecica 49: 1-144.

Hedberg, I. y O. Hedberg. 1979. *Tropical-alpine life-forms of vascular plants*. Oikos 33: 297-307.

Hofstede, R. G. M. 1995. *Effects of burning and grazing on a colombian páramo ecosystem*. Tesis de Doctorado. Universidad de Amsterdam, Holanda.

Hofstede, R., Lips, J., Jongsma, W. y J. Sevink. 1998. *Geografía, Ecología y Forestación de la Sierra Alta del Ecuador*. Revisión de Literatura. Editorial Abya Yala, Quito. 242 pp.

Hoftede, R., Groenendijk, J.P., Coppus, R., Fahese, J. y J. Sevink. 2002. *Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes*. Mountain Research and Development 22: 159-167.

Hofstede, R., P. Segarra y P. Mena V. (Eds). 2003. *Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de Los Páramos*. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/ EcoCiencia. Quito.

Kok, K., P. Verweij y H. Beukema. 1995. Effects of cutting and grazing on Andean treeline Vegetation. En: Churchill, S.P., Balslev, H., Forero, E., y J. L. Luteyn (eds.): *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest*. The New York Botanica Garden. New York. 527-539 p.

Lauer, W. 1979. La posición de los páramos en la estructura del paisaje de los andes tropicales. En: Salgado-Labouriau, M. (Ed): *El Medio Ambiente Páramo*. IVIC. Caracas, Venezuela, 29 – 45 pp.

Luteyn, J. L. 1999. *Páramos: A checklist of plant diversity, geographical distribution and botanical literature*. The New York botanical Garden Press, Nueva York.

Malagón, D. 1982. *Evolución de los Suelos en el Páramo Andino* (N.E. del Edo. Mérida, Venezuela). Mérida: CIDIAT. Serie Suelos y Clima. 190 p.

Molinillo, M. and M. Monasterio. 1997. *Pastoralism in páramo environments: practices, forage and impact on the vegetation in the Cordillera of Mérida, Venezuela*. Mountain Research and Development 17: 197-211.

Monasterio, M. 1980. *Estudios ecológicos en los páramos andinos*. Ediciones de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Monasterio, M. and L. Sarmiento. 1991. *Adaptive radiation of Espeletia in the cold Andean tropics*. Trends in Ecology and Evolution 6:387-391.

Ramsay, P.M. and E.R.B. Oxley. 1996. *Fire temperatures and postfire plant community dynamics in an Ecuadorian grass páramo*. Vegetatio 124:129-144.

Rivera, D. 2001. *Páramos de Colombia*. Banco de Occidente. ISBN obra completa. 958-95504-2-8. ISBN Volumen 95896749-2-5.

Rundel, P.W. 1994. Tropical alpine climates. En: Rundel, P.W. Smith, A.P. and F.C. Meinzer (eds.) *Tropical Alpine Environments: plant form and function*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 21-43.

Rundel, P.W. Smith, A.P. and F.C. Meinzer (eds.). 1994. *Tropical Alpine Environments: plant form and function*. Cambridge: Cambridge University Press.

Sarmiento, G. 1986. Ecological features of climate in high tropical mountains. En: Vuilleumier F. y M. Monasterio (Eds): *High altitude tropical biogeography*. Oxford University Press. Oxford. 11-45 pp.

Sarmiento, L y LD. Llambi. 2011. Regeneración del páramo luego de un disturbio agrícola: una síntesis de 20 años de investigaciones en sistemas con descansos largos en la cordillera de Mérida. En: Herrera, F. y Herrera, I. (eds.). *"La Restauración Ecológica en Venezuela: fundamentos y experiencias"*. Ediciones IVIC, Caracas.

Sarmiento, L. Monasterio, M. y M. Montilla. 1993. *Ecological bases, sustainability, and current trends in traditional agriculture in the Venezuelan high Andes*. Mountain Research and Development 13: 167-176.

Smith, J.M.B. y A.M. Cleef. 1988: *Composition and origins of the world's tropicalpine floras*. J. Biogeography. 15: 631-645.

Smith, A.P. y T.P. Young. 1987. *Tropical alpine plant ecology*. Annual Review of Ecology and Systematics 18:137-158.

Suárez, E. y G. Medina. 2001. *Vegetation structure and soil properties in Ecuadorian Páramo Grasslands with Different Histories of Burning and Grazing*. Arctic, Antarctic and Alpine Research 33:158-164.

Van der Hammen, T. 1974. *The pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America*. Journal of Biogeography 1: 3-26.

Van der Hammen, T. y A. Cleef. 1986. Development of the high Andean páramo flora and vegetation. In: Vuilleumier, F. and M. Monasterio (eds.) *High Altitude Tropical Biogeography*. Oxford: Oxford University Press. pp. 53-201.

Verweij, P. 1995. *Spatial and temporal modelling of vegetation patterns. Burning and grazing in the paramo of Los Nevados National Park, Colombia*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciencies, ITC, Holanda.

Vuilleumier F y M. Monasterio. 1986. *High Altitude Tropical Biogeography*. Oxford University Press. Oxford.

HIDROLOGÍA

Bradley, R.; Vuille, M.; Diaz, H.; Vergara, W. 2006**.** *Threats to water supplies in the tropical Andes*, en Science, n° 312, pp. 1755-1756.

Buytaert, W.; Deckers J.; Dercon, G.; De Bièvre, B.; Poesen, J.; Govers, G. 2004. *Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador*, en Soil Use and Management, vol. 18, n° 2, s.l.: British Society of Soil Science, pp. 94-100.

Buytaert, W.; De Bièvre, B.; Wyseure, G.; Deckers J. 2004. The use of the linear reservoir concept to quantify the impact of land use changes on the hydrology of catchments in the Ecuadorian Andes, en *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 8, n° 1, s.l.: s.e., pp. 108-114.

Buytaert, W.; Iñiguez, V.; Célleri, R.; De Bièvre, B.; Wyseure, G.; Deckers, J. 2005. *Analysis of the water balance of small páramo catchments in south Ecuador*, Proceedings of the International Conference on Headwater Control VI: Hydrology, Ecology and Water Resources in HeadWaters. Bergen, Noruega, 20-23 de junio de 2005. CD-ROM.

Buytaert, W.; Wyseure, G.; De Bièvre, B.; Deckers J. 2005. The effect of land use changes on the hydrological behavior of Histic Andosols in south Ecuador, en *Hydrological Processes*, vol. 19, n° 20, s.l.: s.e., pp. 3985-3997.

Buytaert, W.; Célleri, R.; De Bièvre, B.; Cisneros, F.; Wyseure, G.; Deckers, J.; Hofstede, R. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos, en *Earth Science Reviews*, vol. 79, n° 1-2. Ámsterdam: Elsevier, pp. 53-72.

Célleri, R. 2010. Estado del conocimiento técnico científico sobre los servicios ambientales hidrológicos generados en los Andes, en QUINTERO, Marcela, (Ed): *Servicios Ambientales Hidrológicos en la Región Andina*, CONDESAN, IEP, Lima, pp. 25-45.

Díaz, E. y L. Paz. 2002. *Evaluación del régimen de humedad del suelo bajo diferentes usos, en los páramos Las Ánimas (Municipio de Silvia) y Piedra de León (Municipio de Sotará), Departamento del Cauca*, Tesis de grado, Fundación Universitaria de Popayán, Colombia,.

Farley, K.; Kelly, E.; Hofstede R. 2004. *Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes*, en Ecosystems, vol. 7, n° 7, Nueva York: Springer, pp. 729-739.

Poulenard, J.; Podwojewski, P.; Janeau, J. L.; Collinet, J. 2001. *Runoff and soil erosion under rainfall simulation of andisoils from the Ecuadorian páramo: effect of tillage and burning*, en Catena, vol. 45, n° 3, Ámsterdam: Elsevier, pp. 185-207.

Quichimbo, P. 2008. *Efecto de la forestación sobre la vegetación y el suelo*, Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Ecuador.

Rodríguez, M. 2010. *El páramo andino como productor y regulador del recurso agua. Microcuenca alta del Quebrada Mixteque, Sierra Nevada de Mérida (Venezuela)*, Universidad de Los Andes.

Whiteman, C. D. 2000. *Mountain meteorology: fundamentals and applications*, New York, Oxford University Press, Inc.

SUELOS

Abcouwer K., 2000. *Soil bound carbon in the Ecuadorian páramo*. Master's thesis, University of Amsterdam.

Aertsen W. y N. Jansen, 2006. *Bodemkundige en ecologische effecten van bebossing met Pinus Patula in de páramo*. Master's thesis, K.U.Leuven, Leuven.

Borja P. y J. Garrido, 2003. *Análisis de las características hidrofísicas de los Andosoles y la influencia del uso del suelo en su capacidad de retención de agua*. PROMAS – Universidad de Cuenca. Tesis de grado.

Borja P., 2006. *Desarrollo de Funciones de Edafo-Transferencia para la caracterización hidráulica de Andosoles*. PROMAS – Universidad de Cuenca. Tesis de M.Sc.

Borja P., Iñiguez V., Crespo P., Cisneros P., Cisneros F. y Feyen J., 2008. *Caracterización hidráulica de Andosoles e Histosoles del Austro del Ecuador*. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Quito. (Conferencia Magistral).

Borja P., Iñiguez V., Crespo P., Feyen J. y Cisneros P., 2009. *Andosoles e Histosoles de la región de Páramo del Austro Ecuatoriano: propiedades físicas*. II Congreso Mundial de Páramos. Loja, junio 21 al 27. (Ponencia)

Buytaert W., Deckers J., Dercon G., De Bièvre B., Poesen J. y Govers G., 2002. *Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador*. Soil Use and Management. 18:94-100.

Buytaert W., 2004. *The properties of the soils of the south Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology*. Katholieke Universiteit Leuven. Tesis de Ph.D.

Buytaert W., Sevink J., Leeuw B. y Deckers J., 2005. *Clay mineralogy of the soil in the south Ecuadorian páramo region*. Geoderma 127, 114 – 129.

Buytaert W., Célleri R., De Bièvre B., Cisneros F., Wyseure G., Deckers J. y Hofstede R. 2006a. *Human impact on the hydrology of the Andean páramos*. Earth-Science Reviews: 79, 53-72.

Buytaert W., Deckers J. y Wyseure G., 2006c. *Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo)*. Geomorphology. 73: 207–221.

Chimner R. y Karberg J., 2008. *Long-term carbon accumulation in two tropical mountain peatlands, Andes Mountains, Ecuador*. Mires and Peat, Volume 3, Article 04, http://www.mires-and-peat.net/

Cisneros F., Cisneros P. y Borja P., 2006. Determinación del volumen de almacenamiento del agua en el suelo con base a su profundidad en el Parque Nacional Cajas. En: *Expediente para la nominación del Parque Nacional Cajas a Patrimonio de la humanidad - Caracterización de la Capacidad de Almacenamiento de Agua*. ETAPA, Cuenca. (Documento técnico no publicado).

Cisneros P., Borja P., Cajamarca J. y Tenorio G., 2009. *Desarrollo de un Modelo Empírico para determinar la profundidad del Suelo en el Páramo de Quimsacocha*. II Congreso Mundial de Páramos. Loja, junio 21 al 27. (Ponencia)

Dirksen C., 1999. *Soil Physics Measurements*. Geoecology paperback. Catena Verlag. Reiskirchen. pp154

Farley K. y Kelly E., 2004. *Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status*. Forest Ecology and Management, 195:271–290.

Farley K., Kelly E. y Hofstede R., 2004. *Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes*. Ecosystems, 7:729–739.

Harden C., 1996. *Interrelationships between land abandonment and land degradation: A case from the Ecuadorian Andes*. Mountain Research and Development, 16(3):368-385.

Henmi T., 1991. *Idea and methodology on the study of amorphous clays*. J. Clay Sci. Soc. Jap, 31:75-81.

Hofstede R., 1999. El páramo y la fijación de carbono atmosférico. En: Medina, G. y Mena, P., (Eds.). *El páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico*. Serie Páramo1. GTP/Abya Yala. Quito.

Hofstede R., 2003. Los Páramos del mundo: su diversidad y sus habitantes. En: Hofstede R., Segarra P. y Mena P., 2003. *Los Páramos del mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos*. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/ EcoCiencia. Quito. 299 pp.

Ilaco, B.V. 1985. *Agricultural compendium for rural development in the tropics and subtropics*. 2ed. Amsterdam, Elsevier. 738 pp.

INRENA, 1995. *Inventario y Evaluación de Recursos Naturales de las provincias de Huancabamba y Morropon departamento de Piura*. Instituto de Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura. Lima.

ISSS Working Group RB, 1998. *World Reference Base for Soil Resources: Introduction*. (Deckers, J.A., Nachtergaele, F.O. y Spaargaren, O.C.) First Edition. International Society of Soil Science (ISSS), International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Acco. Leuven, 157 pp.

IUSS Working Group WRB, 2006. *World reference base for soil resources 2006 - A framework for international classification, correlation and communication*. Second Edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. 128 pp.

Jaramillo, D., 1995. *Los Andisoles del Oriente Antioqueño. Propiedades químicas fertilidad*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 35 pp.

Jongmans A., Verburg P., Nieuwenhuyse A. y van Oort F., 1995. *Allophane, imogolite, and gibbsite in coatings in Costa Rican Andisdol*. Geoderma, 64: 327-342.

Luteyn J., 1999. *Páramos, a checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature*. New York Botanical Garden Press. Nueva York.

Medina G. y P. Mena, 2001. Los Páramos en el Ecuador. En: Mena, P., Medina, G. y Hofstede, R. (Eds.). *Los páramos del Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas*. Abya Yala. Proyecto Páramo. Quito, pp. 1–24.

Mejía L., 1983. *Pedología descriptiva*. Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF). Bogotá. 176 pp.

Montilla M., Herrera R. y Monasterio M., 2002. *Influencia de los períodos de descanso sobre la distribución vertical de raíces, micorrizas arbusculares y pelos radicales en páramos Andinos Venezolanos*. ECOTROPICOS 15(1): 85 - 98

Muñoz R., 1984. La acidez y encalamiento de los suelos. En: *Curso Fertilización Racional del Suelo*. SCCS. Medellín. pp. 69-93.

Nanzyo M., Shoji S. y Dahlgren R., 1993. *Volcanic Ash Soils: genesis, properties and utilization*. Developments in Soil Science N°21. Elsevier, Amsterdam, 288 pp.

Norambuena P., Luzio W. y Vera W., 2002. *Comparación entre los métodos de la pipeta y Bouyoucos y su relación con la retención de agua en ocho suelos de la zona altiplánica de la provincia de Parinacota, Chile*. Agric. Téc. Vol. 62, no. 1: 150-157.

Orozco H., Soto G., Pérez O., Ventura R., y Recinos M., 1995. *Estratificación preliminar de la zona de producción de caña de azúcar (Sacharum spp) en Guatemala con fines de investigación en variedades*. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar. Documento técnico No. 6. 33pp.

Parfitt R. y M. Saigusa, 1985. *Allophane and humus – Al in Spodosols and Andepts*. Soil Sci. 139: 149-155.

Podwojewski P. y J. Poulenard, 2000a. Los suelos de los páramos del Ecuador. En: *Los Suelos del Páramo*. Serie Páramo 5. GTP, Abya Yala. Quito.

Podwojewski P. y J. Poulenard, 2000b. La degradación de los suelos en los páramos. En: *Los Suelos del Páramo*. Serie Páramo 5. GTP, Abya Yala. Quito.

Podwojewski P., Poulenard J., Zambrana T. y Hofstede R. 2002. *Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador)*. Soil Use and Management, 18: 45–55.

Poulenard J., Podwojewski P., Janeau J. y Collinet J. 2001. *Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian páramo: effect of tillage and burning*. Catena, 45: 185-207.

Poulenard J., Podwojewski P. y Herbillon A., 2003. *Characteristics of non-allophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos*. Geoderma, 117: 267–281.

PROMAS, 2009. *Elaboración de la línea base en hidrología de los páramos de Quimsacocha y su área de influencia: Estudio edafológico II año*. (Borja P., Iñiguez V., Crespo P. y Cisneros P. Reporte Técnico no publicado. Universidad de Cuenca.

Rangel C., 2000. *La región de vida paramuna. Colombia Diversidad Biótica III*. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, Bogotá.

Shoji S., Nancyo M. y Dahlgren R., 2003. *Volcanic Ash Soils, genesis, properties and utilization*. Development in Soil Science 21. Elsevier.
Soil Survey Staff, 2006. Keys to soil Taxonomy. Tenth Edition. United States Department of Agriculture, Washington D.C.

Thien S., 1979. *A flow diagram for teaching texture by feel analysis*. Journal of Agronomic Education. 8: 54-55.

Tonneijck, F., Jansen B., Nierop K, Verstraten J, Sevink J y Lange L., 2008. *Carbon stocks and stabilization mechanisms in volcanic ash soils in natural Andean ecosystem of northern Ecuador*. Submitted to Global Biogeochemical Cycles.

Van Ranst, E., 1997. *Tropical Soils: Geography, Classification, Properties and Management*. Laboratory of Soil Science. Gent, Belgium.

Esta publicación es el fruto del esfuerzo de los autores y de las organizaciones que integran el Proyecto Páramo Andino, que trabajaron durante 5 años en los temas de páramo con el auspicio del GEF y PNUMA.

Proyecto Páramo Andino

Conservación de la Diversidad en el Techo de los Andes

Para la impresión de este texto se contó con el co - auspicio del Fondo para la protección del Agua - FONAG (con el apoyo de la USAID*)

* USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, conforme a los términos de la cooperación número 518-A-00-07-00056-00). Las expresiones aquí manifestadas pertenecen al autor o autores y no reflejan, necesariamente, el punto de vista de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos de América.

