



# El bosque húmedo de montaña

## Investigaciones sobre la diversidad de un ecosistema de montaña en el Sur del Ecuador

Proyecto de la Fundación Alemana para la Investigación Científica-DFG

“Funcionalidad de un bosque húmedo tropical de montaña del Sur del Ecuador: diversidad, procesos dinámicos y uso potencial desde una visión ecosistémica”

Katalin Kiss y Achim Bräuning

con el auspicio de la Universidad de Erlangen



# Contenido

- 3** Los sucesores de Humboldt
- 6** El bosque húmedo de montaña
- 7** El ecosistema bosque húmedo de montaña
- 9** El clima tropical de alta montaña
- 13** Los pisos de vegetación en el bosque húmedo de montaña
- 20** Nutrientes y ciclo de la materia
- 26** El trueque subterráneo
- 31** Jardines colgantes – El mundo de las epifitas
- 38** Reproducción de plantas y animales
- 43** En las alturas del páramo
- 47** Génesis del paisaje y de la vegetación- Una larga historia
- 51** El hábitat humano
- 54** Uso del suelo y deforestación
- 57** Perspectivas: Potencialidad de uso del ecosistema bosque húmedo de montaña
- 67** Bibliografía
- 64** Agradecimientos



# Los sucesores de Humboldt

*“¡Que árboles! Cocoteros de 50 a 60 pies de altura; Poinciana pulcherrima con flores del tamaño de un pie, hermosas y de rojo intenso; plátanos y una abundancia de árboles con hojas enormes y flores olorosas, tan grandes como la palma de la mano, de las cuales no sabemos nada... Correteamos como los dementes; los primeros días fuimos incapaces de clasificar planta alguna; recogemos una cosa para botarla enseguida y luego tomamos otra. Bonpland me dice todo el tiempo, que se volverá loco si este milagro no termina.” (Alexander von Humboldt, 1799)*

Así describió, hace aproximadamente 200 años, Alexander von Humboldt al bosque húmedo de las tierras bajas en Venezuela. La exploración de los exuberantes bosques tropicales se remonta a los viajes de Humboldt, y desde entonces aún no ha sido terminada. Recientemente, los científicos determinaron que, si bien el conocimiento sobre diversos aspectos de los bosques tropicales de las tierras bajas es alto, lo que sabemos sobre los bosques montanos es, por el contrario, escaso.

Los bosques siempre húmedos están ampliamente distribuidos por las montañas tropicales y constituyen, al igual que los bosques húmedos de tierras bajas, ecosistemas muy ricos en biodiversidad, pero también muy vulnerables. Sin embargo, entre los bosques de montaña y los de tierras bajas, existen enormes diferencias. A pesar de investigaciones aisladas, realizadas en distintas regiones montañosas tropicales, hasta ahora había sido un enigma el funcionamiento integral de un bosque montano. Un amplio grupo interdisciplinario de investigación trata en la actualidad de realizar aquello que Humboldt empezó hace doscientos años: descifrar el bosque húmedo montano de los trópicos. En el área de investigación al Sur del Ecuador, los Andes configuran una de las regiones con mayor biodiversidad y, por lo tanto, más enigmáticas del planeta, constituyéndose en un lugar de trabajo perfecto para los investigadores.

El proyecto de investigación **“Funcionalidad de un bosque tropical húmedo de montaña del Sur del Ecuador: diversidad, procesos dinámicos y uso potencial desde una visión ecosistémica”**, financiado por la Fundación Alemana para la Investigación Científica (DFG), ha sido desarrollado por un numeroso grupo de científicos de aproximadamente 17 universidades alemanas y 5 ecuatorianas. Algunos biólogos, ecólogos, geógrafos y forestales han trabajado desde la inicio del proyecto en 1997 y, para una fase posterior al período de investigación (2001–2007), se ha previsto la realización de proyectos complementarios por parte de nuevos investigadores.

Este documento presenta algunos resultados interesantes de las recientes investigaciones, así como un resumen del conocimiento existente sobre el Bosque húmedo de montaña.

*1 La Estación Científica San Francisco (ESCF), en el centro del bosque húmedo de montaña, al Sur del Ecuador.*

*2 y 3 Entrada a la ECSF y reunión anual del grupo de investigadores.*

*© S.-W. Breckle*



Con su trabajo en el valle del río San Francisco, los científicos persiguen varios objetivos. En primera instancia, pretenden investigar la diversidad y la dinámica del ecosistema bosque húmedo de montaña. El Sur del Ecuador ha sido determinado por los expertos como un “hotspot”, es decir, un punto caliente de biodiversidad. Es una tarea difícil y laboriosa comprender esa increíble diversidad. Por sobre todo, para entender la dinámica de la naturaleza deben ser descifradas las variadas interacciones entre los organismos vegetales y animales, así como las relaciones entre los elementos vivos e inertes del ecosistema.

En segundo lugar, los científicos alemanes y ecuatorianos están interesados en desarrollar estrategias para el uso sustentable del bosque. Así, se deberá trabajar sobre los conceptos de uso que mantengan el equilibrio ecológico del bosque y que, de manera concomitante, mejoren la situación económica de la población local. La creación de una base de datos, de un sistema de información y de una amplia cantidad de mapas y modelos de terreno, así como el incremento del herbario en la Universidad Nacional de Loja (UNL), son también resultados importantes que ofrecen respuestas prácticas a las preguntas que surgen durante la investigación aplicada.

El grupo de investigadores trabaja en la Reserva Biológica San Francisco, implementada por la Corporación Naturaleza y Cultura Internacional (NCI). Esta área de bosque se encuentra al Sur del Ecuador, en la región húmeda de los flancos orientales de los Andes (Cordillera Real); presenta una extensión de más de 1.000 hectáreas y una variación altitudinal entre 1.800 y 3.400 m s.n.m.

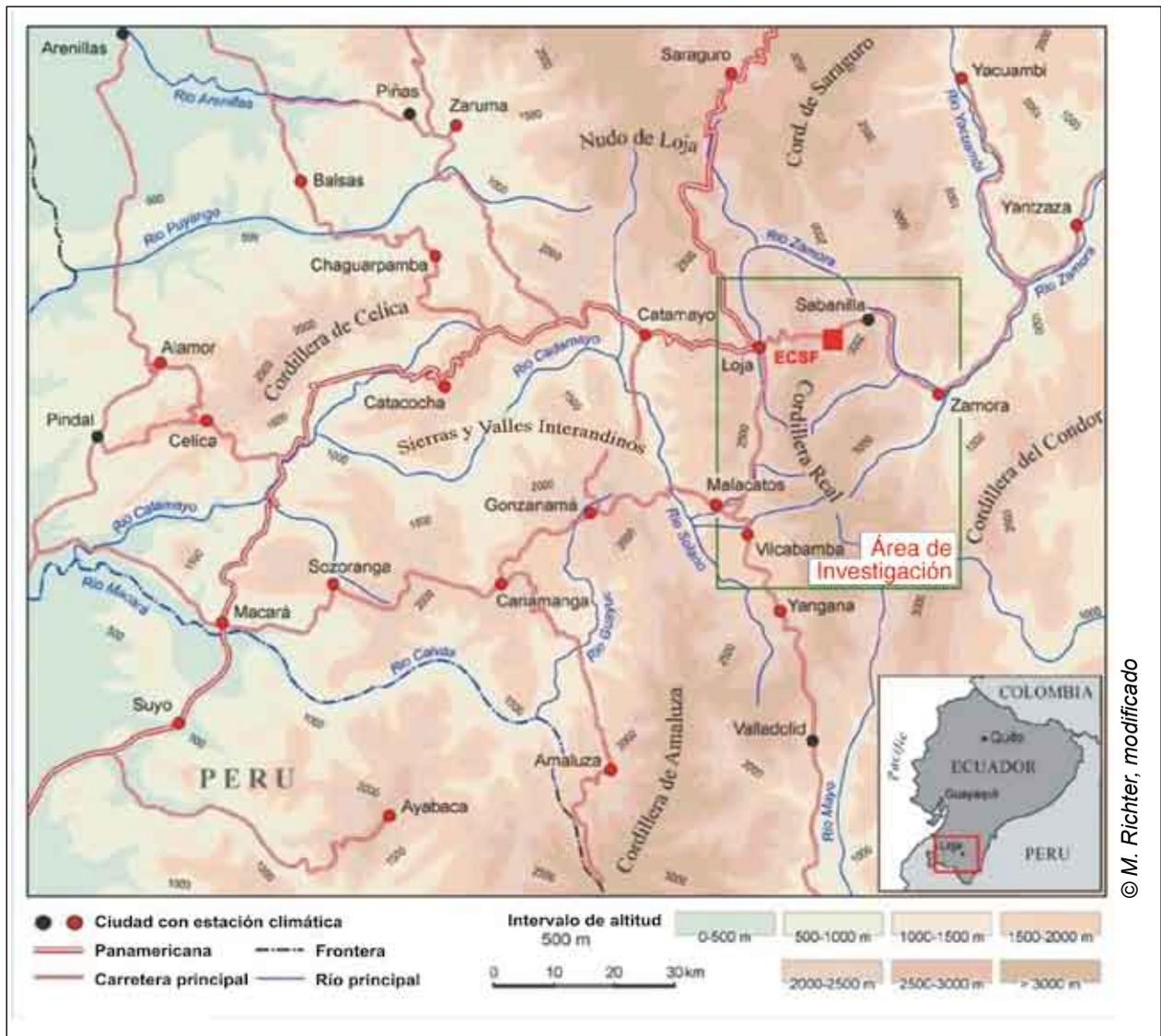
El “bosque de la Estación”, es decir, el bosque de la Reserva Biológica San Francisco, colinda con la parte norte del Parque Nacional Podocarpus y está cubierto por vegetación arbórea natural. Según el geógrafo M. Richter de Erlangen (Alemania), el empinado terreno y la enorme precipitación en la zona, constituyen para los científicos no sólo un desafío académico, sino también físico. Sin embargo, el trabajo de los científicos no se restringe solamente al área de la Estación, sino que abarca también el área deforestada de la pendiente norte del valle del río San Francisco, así como los bosques cercanos, los páramos de altura y el paisaje antrópico de los valles bajos interandinos.

El punto de partida para el trabajo de campo es la Estación Científica San Francisco, ubicada en el valle del río San Francisco, a 1.850 m s.n.m., a un lado de la carretera que une las capitales provinciales Loja y Zamora. La Estación tiene capacidad de hospedaje para 30 científicos y dispone de laboratorios, los cuales facilitan la realización de análisis sencillos. También ofrece espacio para guardar instrumentos y materiales. Un herbario facilita el estudio de la flora local y en una biblioteca pequeña se compilan los resultados de la investigación realizada hasta ahora. Existe un sinnúmero de revistas científicas especializadas, que están documentadas en la página web del grupo de investigadores (<http://www.bergregenwald.de>). Muchas se pueden descargar directamente, además de algunas docenas de tesis de pre y postgrado. De esta manera, los científicos que ingresan a esta página pueden fácilmente formarse una visión general del área de estudio.

*4 La ECSF ofrece espacio de residencia y trabajo para alrededor de 30 científicos. Su localización excepcional en la zona de investigación tiene una importancia central en la logística, para un trabajo de campo eficiente y exitoso.*

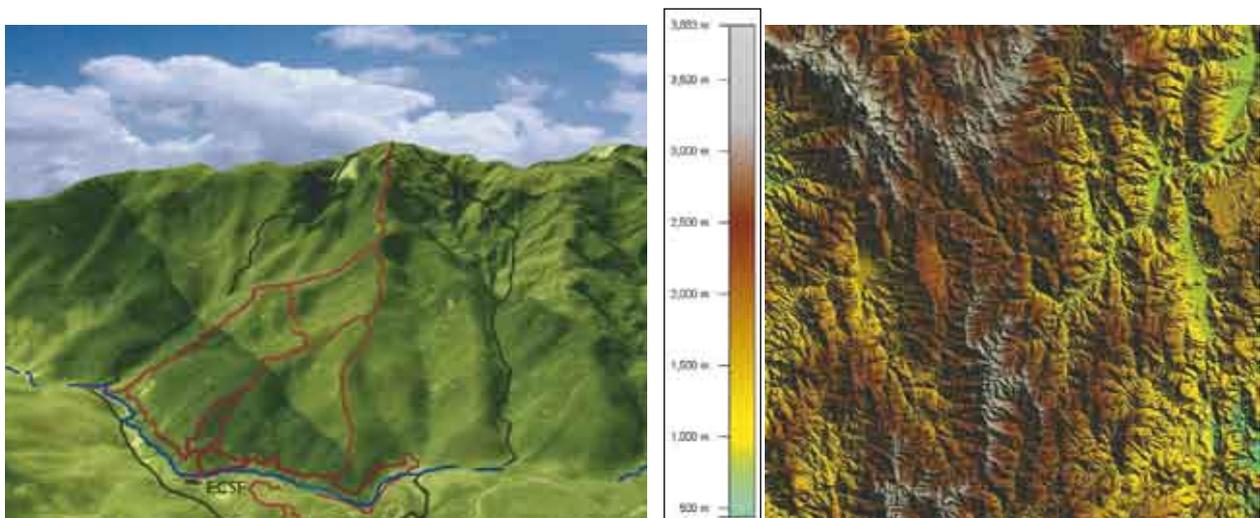
*Fotos: A. Bräuning*





4a La ECSF se ubica al Sur del Ecuador. La mayor parte de los trabajos de investigación se realizan en la pendiente oriental de la Cordillera Real.

4b, c: La figura de la izquierda representa un modelo computarizado de la zona de investigación en la Reserva Biológica San Francisco (borde negro). Las líneas rojas representan la red de senderos y gradas, instalados con mucha dificultad, que permiten dominar el accidentado relieve. El modelo de terreno (derecha) demuestra la complejidad del relieve de la región.



## El bosque húmedo de montaña



© A. Bräuning

5 En el bosque de la Estación generalmente domina una neblina espesa.

¿Qué es un bosque húmedo de montaña? ¿Qué lo diferencia de un bosque húmedo de tierras bajas? En las regiones tropicales de la Tierra se extienden enormes bosques con una vegetación exuberante. Conforme se asciende desde las zonas bajas de la Amazonía hasta la Sierra del sur ecuatoriano, aproximadamente a los 1.000 m s.n.m., se evidencia un cambio en la vegetación. El tamaño de los árboles se reduce, las hojas se hacen más pequeñas, las raíces de soporte desaparecen y un vasto número de epifitas\* cubre las ramas. Se llega así a la zona del bosque húmedo de montaña. Pero no solamente cambia la vegetación. Esta zona se caracteriza por una mayor humedad y menor oferta de luz para las plantas, y porque muchas sustancias de la atmósfera son receptadas a través de la neblina, ya que se encuentra a la altura de la capa de condensación, donde se forman las nubes. Justo por debajo del límite de distribución altitudinal de los árboles, se encuentra la formación del bosque enano, también conocido como bosque achaparrado, donde los árboles de tamaño pequeño están revestidos por una cobertura musgosa. Estos bosques de fábula solamente se encuentran bajo condiciones climáticas con un nivel alto y constante de humedad del aire.

En las empinadas estribaciones de la Cordillera Real, en el Sur del Ecuador, se encuentran diferentes unidades naturales dentro de espacios muy reducidos. En las zonas de valles pendientes y aristas, existen distintas estructuras boscosas, debido a las diferencias del relieve y de exposición frente a la luz del sol. Además, las pendientes empinadas, frecuentemente humedecidas por la lluvia y la neblina, incrementan la inestabilidad del suelo superficial y, así, los deslizamientos naturales\* son frecuentes. De esta manera, se forma en el bosque húmedo de montaña un mosaico de tipos de vegetación, con características micro climáticas, edafológicas y de relieve muy diferenciadas. Esta alta heterogeneidad de micro ambientes es uno de los factores que permiten la gran diversidad de fauna y flora en el bosque húmedo de montaña. Por su riqueza de especies y extrema complejidad, este tipo de bosque es una polifacética y emocionante zona de trabajo para los investigadores, donde aún queda mucho por descubrir.



© M. Richter

6 Debido a los constantes deslizamientos, aparece un mosaico de tipos de vegetación en diferentes estadios de recuperación o sucesión.

7 Los árboles son habitados por una gran variedad de epifitas.

### Glosario

**Epifitas:** plantas que crecen sobre los árboles, también conocidas como plantas aéreas.

**Deslizamientos:** movimientos en masa de rocas o suelo inestable en una pendiente fuerte y humedecida.

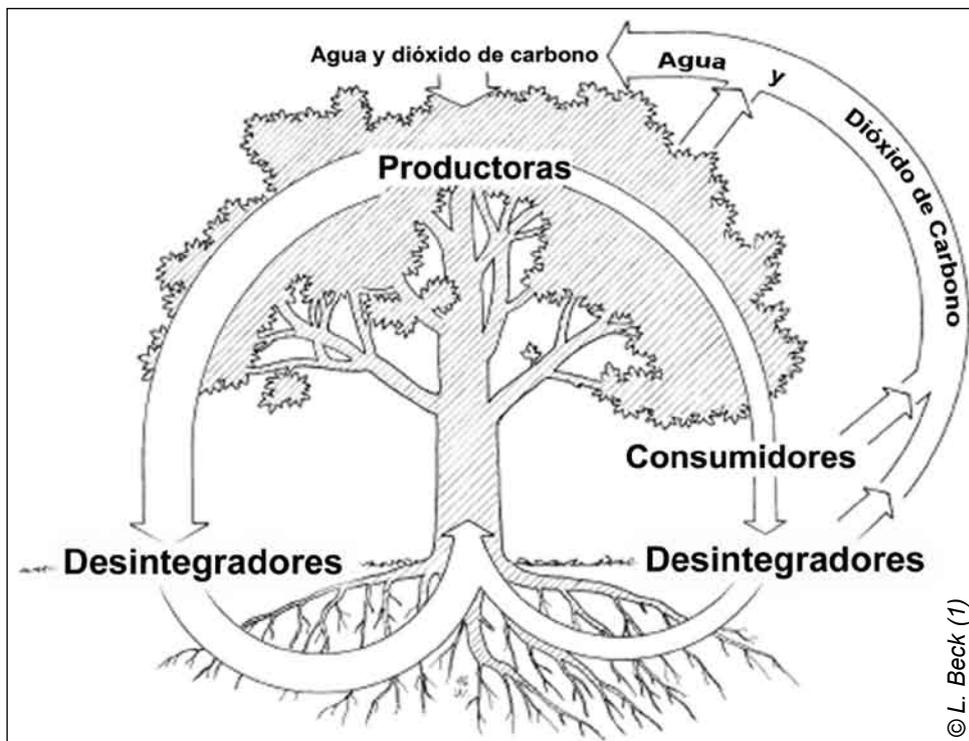


© A. Bräuning

# El ecosistema bosque húmedo de montaña

Un ecosistema está compuesto por elementos vivos e inertes. Entre los elementos inertes del bosque húmedo de montaña se incluyen las formaciones rocosas, el suelo, el relieve y el clima, que en su conjunto forman un espacio vital (biotopo). En este espacio habitan diferentes organismos animales y vegetales, los que directa o indirectamente, son dependientes entre sí y forman un conjunto de productores\*, consumidores\* y desintegradores\*. Entre esos elementos orgánicos e inorgánicos del ecosistema, existen relaciones dinámicas, que se manifiestan en la circulación de la materia y en los flujos de energía.

A través de la cadena alimenticia, el ciclo de la materia puede ser claramente demostrado. Primero, las plantas verdes construyen sustancias orgánicas a partir de la luz solar y del CO<sub>2</sub> de la atmósfera (producción primaria\*). Las hojas y frutos de las plantas sirven como alimento para los herbívoros\*, los cuales transforman parte de su alimentación en masa corporal y pueden convertirse en víctimas de los carnívoros. Estos, al mismo tiempo, pueden ser alimento de grandes depredadores. Las plantas y animales muertos, así como partes caídas de las plantas, son descompuestos por la fauna del suelo y transformados en materia inorgánica por hongos y bacterias. De esta manera se transporta la materia a través de algunos organismos, hasta que ésta nuevamente se mineraliza, produciendo elementos como calcio, potasio, magnesio, fósforo y sustancias esenciales para la vida, como dióxido de carbono, agua y otras, que pueden utilizarse para la creación de materia orgánica.



8 El ciclo de la materia de un ecosistema, con el ejemplo del agua y del dióxido de carbono.

Dentro del ecosistema, la energía fluye de forma paralela al ciclo de la materia. Primero, la energía solar se transforma en energía química mediante la fotosíntesis de las plantas verdes. Esta energía es utilizada por distintos niveles de la cadena alimenticia para vivir, y a la vez es transmitida al nivel superior, perdiendo una parte de la energía a través de la respiración. Finalmente, toda la energía restante es consumida.

## Glosario

**Productores:** plantas que a través de la fotosíntesis crean sustancias orgánicas a partir de elementos inorgánicos.

**Consumidores:** organismos que viven alimentándose de los productores.

**Desintegradores:** Bacterias y hongos que transforman la materia orgánica en inorgánica.

**Producción primaria:** generación de sustancia orgánica a partir de elementos inorgánicos a través de la fotosíntesis.

**Herbívoros:** animales que comen plantas.

**Carnívoros:** animales que comen carne.

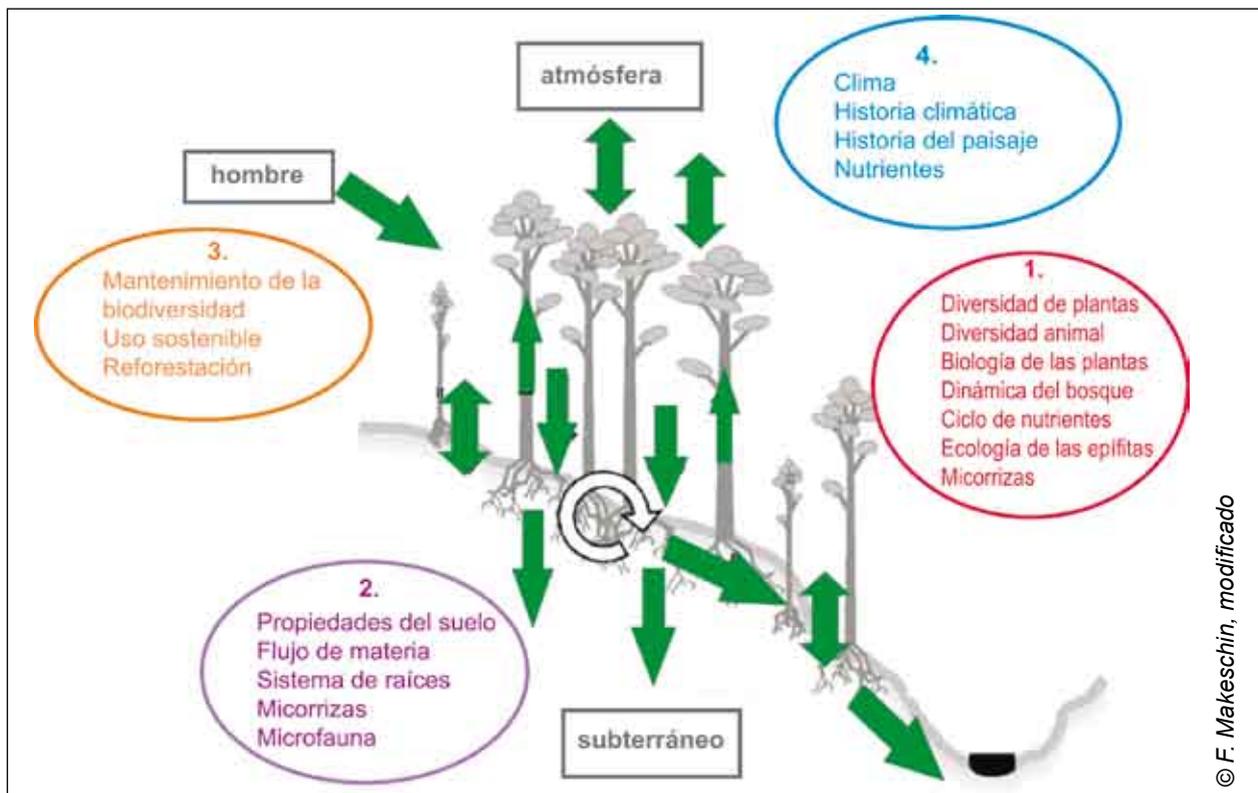
Los ecosistemas son, sin embargo, sistemas abiertos. Por un lado, la radiación solar suministra energía y muchos nutrientes llegan con las gotas de lluvia y la neblina. Por otro lado, el agua de lluvia se filtra hacia el subsuelo o se escurre por la pendiente y se pierde energía por la respiración. Estos procesos implican entrada y salida de energía y materia en el ecosistema.

Al igual que los bosques húmedos de tierras bajas, los bosques húmedos de montaña son ecosistemas especialmente ricos en organismos vivos. Es importante mencionar, sobre todo, a las plantas verdes, que pueden surgir en una incontable diversidad de especies y crean, mediante la llamada producción primaria\* y a través de la fotosíntesis, la mayor parte de la materia orgánica. Mientras más altas son la temperatura y la precipitación, mayor es la producción primaria. Esta es una ley general, válida para todos los ecosistemas boscosos. En los bosques húmedos de montaña, debido a las temperaturas templadas y a la precipitación constante, la vegetación se encuentra activa durante todo el año. Junto a los bosques húmedos de tierras bajas, los bosques húmedos montañosos son considerados como los más biodiversos del planeta. Pero, ¿hay otros factores que influyen en esta alta productividad y biodiversidad? y, si es así, ¿cuáles son?

En el largo período de su existencia, los ecosistemas naturales han desarrollado una estabilidad interna muy alta y pueden remediar por sí mismos muchas perturbaciones. Sin embargo, considerando que cada ecosistema está constituido de diferente manera, y que no responden con la misma sensibilidad a los cambios introducidos, todavía hay mucho que explorar sobre las reacciones del bosque húmedo de montaña ante las perturbaciones. ¿Cómo está constituido el bosque húmedo de montaña? ¿Existen especies con funciones claves en el sistema? ¿Es el subsuelo rico o pobre en nutrientes? ¿Qué nutrientes son los más importantes para la vegetación? ¿Cuáles son las simbiosis que ocurren en el bosque húmedo de montaña? ¿Cómo interaccionan los animales y las plantas? ¿Cuál es el rol que han tenido las glaciaciones en el área de investigación? ¿Qué influencia tienen los humanos como parte del ecosistema en el bosque húmedo de montaña? ¿Qué oportunidades existen para asegurar la permanencia del bosque húmedo de montaña?

Estas y muchas preguntas similares son las que ocupan a los investigadores de la Estación Científica San Francisco.

9 El gran proyecto “Bosque húmedo tropical de montaña”, está constituido por cuatro áreas de trabajo: 1. Diversidad de organismos e interacciones; 2. Ciclo de nutrientes; 3. Manejo sustentable agrario y forestal del ecosistema; 4. Historia climática y paisajística. Estas áreas son investigadas por cerca de 30 grupos de trabajo. La figura representa la estructura del proyecto e indica algunos de los temas más relevantes de cada grupo de trabajo. Las flechas dibujadas en el modelo del ecosistema, aclaran las interacciones entre los elementos. Debido a la complejidad del ecosistema, la interconexión y coordinación entre los grupos de trabajo es indispensable.



# El clima tropical de alta montaña

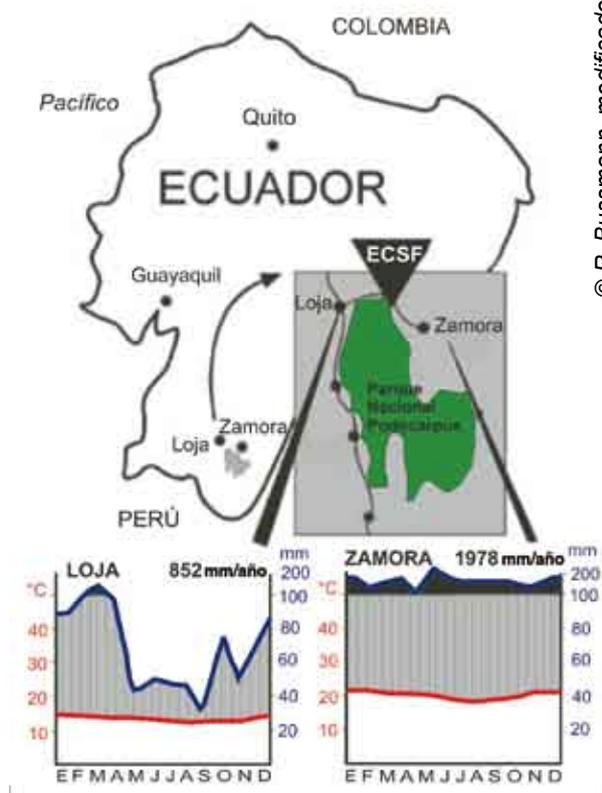
El típico clima tropical, con amplias variaciones durante un mismo día, es característico en el Sur del Ecuador. En contraste con el clima estacional, aquí no existen estaciones climáticas anuales con distintas condiciones de radiación y temperatura (estaciones térmicas). Tampoco existen los largos inviernos que en otras latitudes interrumpen la actividad biológica por la constante permanencia de frío. En los trópicos, las variaciones climáticas anuales y las estaciones de las latitudes medias, se pueden observar durante un mismo día: en la mañana la primavera templada y a medio día un caliente verano; en la tarde domina el otoño lluvioso y en la noche un frío invernal. Con el incremento de la altura, este comportamiento climático se acentúa. Sin embargo, en los Andes del Sur del Ecuador no existen alturas extremas, debido a que la cordillera alcanza una altura máxima de 3.800 m s.n.m. Así, en el lado oriental de la cordillera de los Andes, se registran temperaturas medias anuales de alrededor de 10 °C en las partes más altas, y de entre 15 y 21 °C en los valles de Loja, Vilcabamba y Zamora. A pesar de que la temperatura generalmente desciende a mayor altitud, en el área de investigación no se registran noches con heladas, típicas en las montañas andinas de mayor altitud.

La cordillera, que se extiende de Norte a Sur, presenta comportamientos climáticos muy diferentes entre los flancos occidentales y los flancos orientales. La diferencia radica, por sobre todo, en la intensidad y distribución de las precipitaciones durante el año, por lo que se puede hablar de la formación de estaciones hídricas o de precipitación. En ciertos lugares del flanco occidental llueve menos de 1.000 mm anuales y predominan condiciones áridas durante el período seco, entre mayo y octubre. En cambio, en las pendientes expuestas hacia la llanura amazónica, en el Oriente, existen cantidades extremas de precipitación durante todo el año, que sobrepasan los 2.000 mm anuales, e incluso los 5.000 mm en ciertas localidades. El corto período seco de septiembre a diciembre, que aparece en el flanco oriental durante ciertos años, es conocido como “veranillo” (pequeño verano).

Una de las razones para que existan condiciones siempre húmedas en el lado oriental, es la influencia de los vientos alisios\*, tanto nororientales (NE), como surorientales (SE). Las cadenas montañosas de los Andes son barreras para las masas de viento que se mueven de Oriente a Occidente. Al chocar contra las montañas, las masas de aire se ven obligadas a ascender, originando la condensación del vapor de agua y la lluvia orográfica sobre el lado oriental. Esta descarga de humedad determina que el lado occidental de la cordillera se encuentre en la “sombra de la lluvia” y bajo la influencia del efecto de Foehn\*, también llamado fenómeno de abrigo, que se traduce en un clima cálido y seco para los valles interandinos de Vilcabamba y Loja.

*10 Ubicación de la ECSF al norte del Parque Nacional Podocarpus. Los diagramas climáticos representan la temperatura y la precipitación en las ciudades de Loja y Zamora. La línea roja representa la curva de temperatura, mostrando claramente que la temperatura, en la ubicación interandina de Loja, es mucho más fría (alrededor de 15 °C) que en la posición amazónica de Zamora (alrededor de 21 °C). En Loja caen alrededor de 850 mm de precipitación al año, existiendo una característica estación seca, relativamente larga, entre mayo y septiembre. En el Oriente, donde se ubica Zamora, llueve alrededor de 1.900 mm anuales. La lluvia orográfica provocada por el relieve de montaña es muy notoria en esta localidad.*

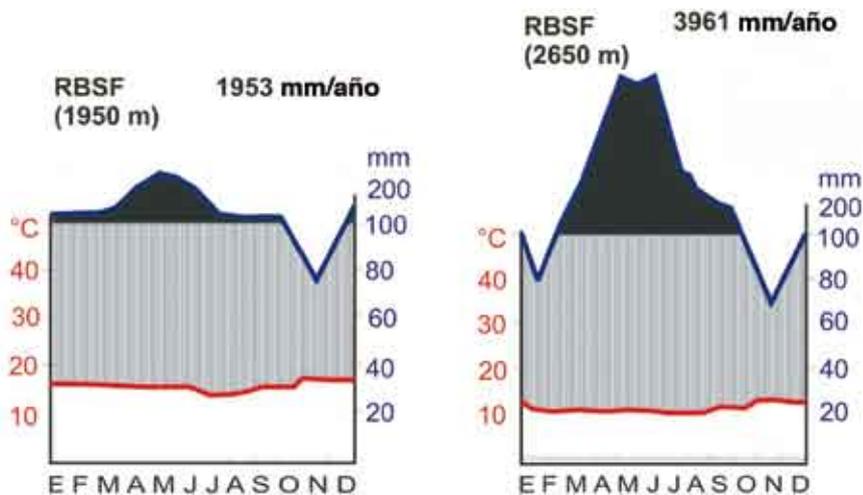
© R. Bussmann, modificado



## Glosario

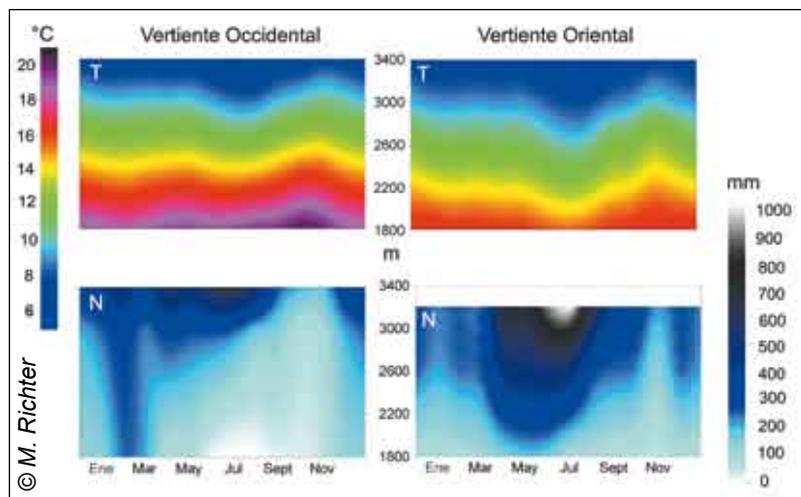
**Vientos alisios:** Vientos que nacen en las zonas de alta presión en el extremo de los Trópicos y corren en dirección a las bajas presiones ecuatoriales. Son desviados hacia el Oeste por la fuerza de Coriolis y así se forman los alisios nororientales (NE) en el hemisferio Norte y los alisios surorientales (SE) en el hemisferio Sur. Son parte de la constante compensación entre las masas estables de aire en la atmósfera.

En general, la precipitación se incrementa con el aumento de la altura, hasta alcanzar el nivel de la formación de las nubes en ambos lados de la Cordillera Real. Esto trae una constante hidratación de la vegetación con el agua de la lluvia, lo que ha permitido la aparición de una impresionante riqueza de epifitas.



11 En los diferentes niveles altitudinales de la Reserva Biológica San Francisco (RBSF) predominan distintas condiciones climáticas: a una altura de 1.950 m s.n.m. caen alrededor de 2.000 mm de precipitación y la temperatura se encuentra cerca de los 15 °C; a los 2.650 m de altura llueve durante casi todo el año, alcanzando los 4.000 mm, con una temperatura promedio de 10 °C.

12 Variación altitudinal de la temperatura del aire y de la precipitación durante un año. La pendiente occidental de la cordillera (lado de sotavento\*) recibe menor precipitación y tiene mayor temperatura, especialmente en las zonas más bajas. En la pendiente oriental (lado de barlovento\*), existe mucha precipitación principalmente entre abril y septiembre, debido a la condensación de la humedad del aire. A los 1.800 m s.n.m. la temperatura alcanza solo entre 16 y 17 °C.



**Glosario**

**Lado de barlovento:** flanco de la montaña donde choca el viento.

**Lado de sotavento:** flanco de la montaña aislado del viento.

**Efecto Foehn o fenómeno de abrigo:** es un viento descendente del lado de sotavento. En el ascenso del viento por el lado de barlovento, el vapor de agua de la masa de aire templada y húmeda se enfría, provocando un proceso de condensación y precipitación. Al descender este viento por el lado de sotavento, el aire se calienta y se seca; el Foehn es siempre caliente y seco.

**¿Cuánta precipitación cae en realidad?**

La cantidad de lluvia disponible es un factor clave para el crecimiento y la diversidad de las plantas. No solamente por el agua misma, sino porque los nutrientes que ésta contiene, y que son transportados con ella a través de la atmósfera, juegan un papel muy importante en el ecosistema del bosque húmedo de montaña. En algunos sectores de la zona de estudio se producen precipitaciones extremas a causa de la neblina y la nubosidad. Basados en las mediciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI, se estimaba una precipitación anual entre los 2.000 y 3.000 mm para la zona de la Estación Científica San Francisco. Sin embargo, aplicando complejas redes de medición de la precipitación, tanto en forma de lluvia como de neblina, el grupo de investigación determinó que la cantidad ha sido notoriamente subestimada. En realidad, en ciertas localidades caen hasta 8.000 mm anuales. Con el incremento de la altura sobre el nivel del mar, la precipitación proveniente de la neblina es más significativa.



13 Pared o muro de Foehn sobre la cordillera.

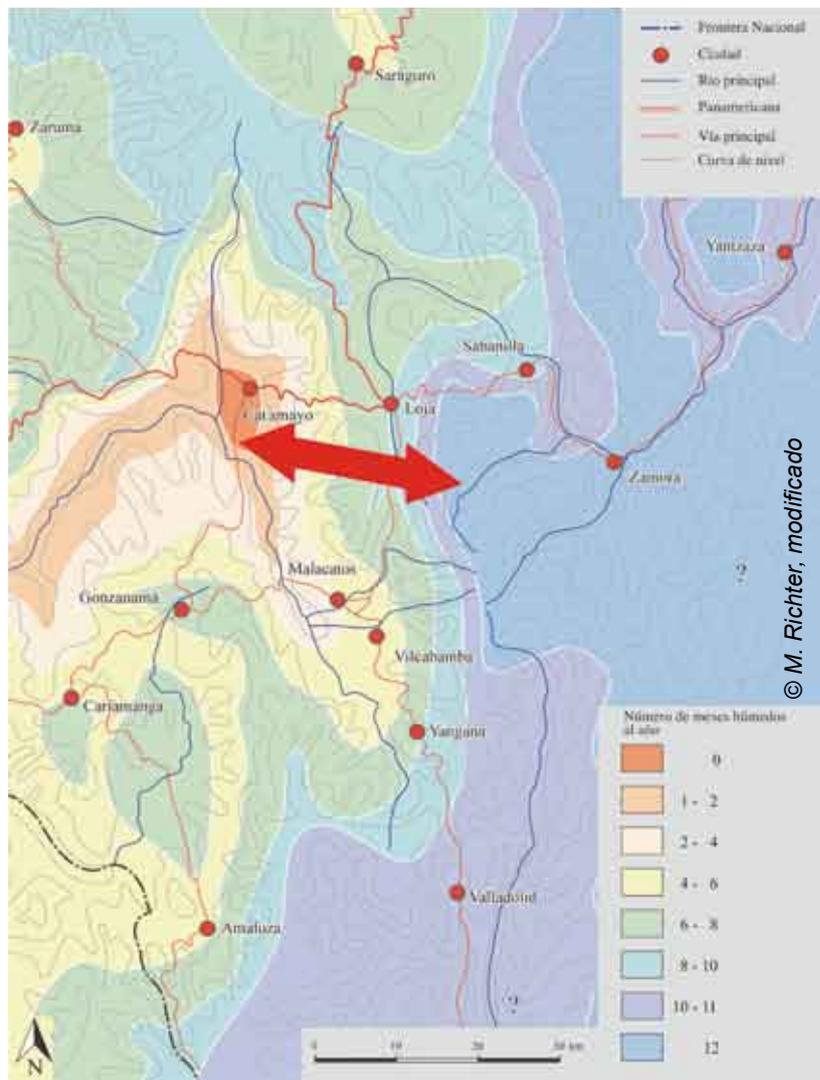
© P. Emck

14 En Catamayo se encuentra un clima cálido seco, sin un solo mes húmedo (con una precipitación anual promedio de 340 mm). A solo 30 km de distancia, en la parte alta y flanco oriental de la Cordillera Real, se presenta un clima frío con doce meses húmedos al año (8.000 mm de precipitación anual). Estos contrastes son extremos incluso para las áreas montañosas, donde típicamente existen enormes diferencias climáticas en distancias cortas.



15 Estación meteorológica.

© A.Bräuning



© M. Richter, modificado

## ¿Qué instrumentos utilizan los investigadores?

Para las mediciones climáticas en el bosque húmedo de montaña los investigadores instalaron algunos equipos de medición. Los datos de las estaciones climáticas estatales ubicados en los valles, complementados con las mediciones en áreas apartadas y más altas, han demostrado que las áreas de mayor elevación son mucho más húmedas que los valles. De esta forma se ha comprobado la sospecha de los climatólogos sobre la existencia de niveles de precipitación extrema en lugares puntuales.

Se instaló un radar meteorológico LAWR en una cumbre, a 3.180 m de altura, desde donde se registra la cantidad y distribución de la precipitación en un radio de 60 km; se distribuyó algunos receptores de lluvia y de neblina por toda el área de investigación, y se utilizó un sensor climático electro óptico para analizar las gotas de lluvia y de neblina.

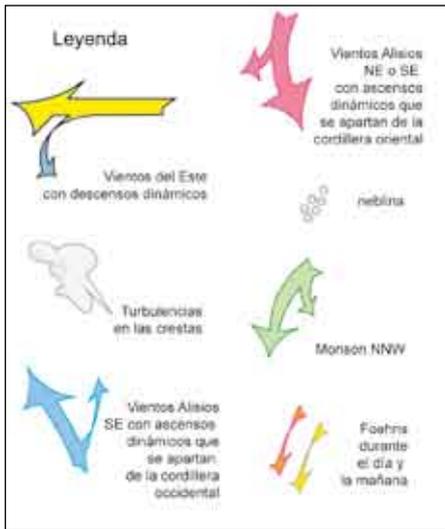
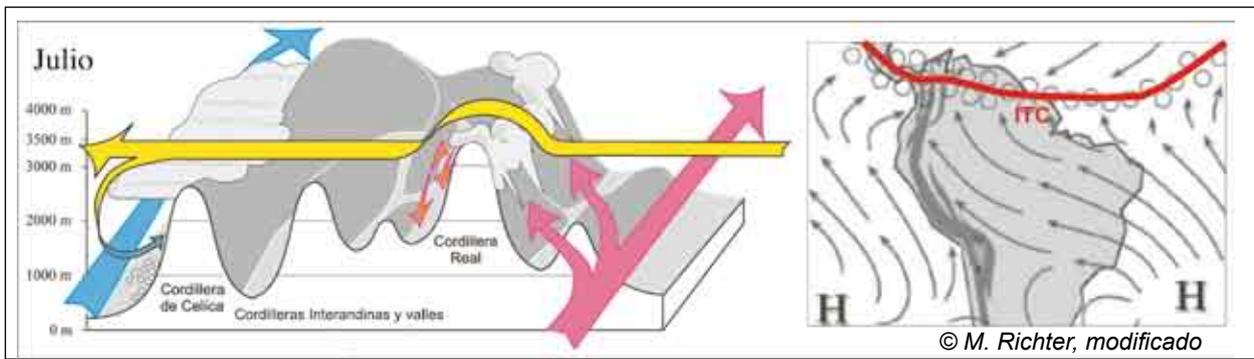
Igualmente, constituyen objeto de estudio los nutrientes que ingresan al bosque desde la atmósfera, a través de la precipitación, los mismos que son transportados desde largas distancias por las corrientes de viento y juegan un papel importante en el balance nutricional del bosque húmedo de montaña. Su cantidad es muy variable, porque está influida por erupciones volcánicas distantes, incendios en la zona baja amazónica y otros acontecimientos de diversa índole.

### **Sorprendente**

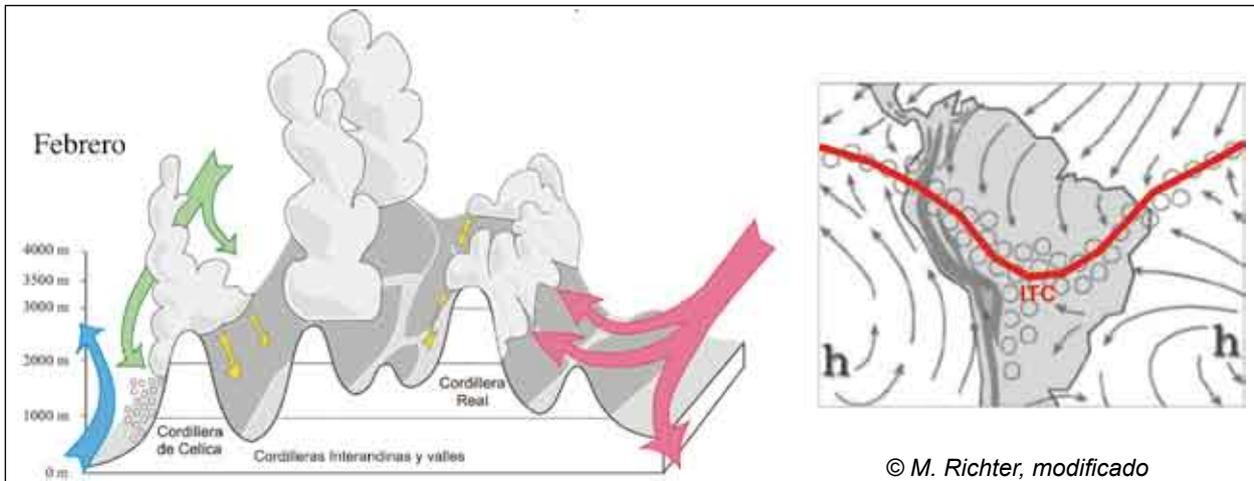
Según los últimos registros del radar meteorológico, en un punto apartado de la zona de estudio se identificaron valores record a los 3.400 m de altura: 15.000 mm de precipitación anual y una radiación solar global\* máxima de 2.135 W/ m<sup>2</sup>. Debido a esta alta radiación, se sospecha de la existencia de una alta tasa de mutaciones en las plantas locales, aspecto de fundamental importancia para la formación de mecanismos de adaptación genética a condiciones extremas.

### **Glosario**

**Radiación solar global:** es la energía total disponible en la radiación de ondas cortas. Se compone de la radiación solar directa y de la radiación solar difusa.



16 En base a las observaciones de las nubes, los investigadores determinan las corrientes de viento regionales. La circulación de los vientos durante el invierno del hemisferio Sur, ocurre de la siguiente manera: En julio, la zona de convergencia intertropical (ZCIT o ITC en Inglés), hasta la cual llegan los vientos alisios, se encuentra en el extremo norte de América del Sur. Para el Sur del Ecuador, esto significa que los vientos del Este y Sureste (alisios surorientales) que soplan de manera estable, traen una enorme precipitación para el lado oriental y partes altas de la Cordillera Real. El viento, después de pasar la cresta de la cordillera baja hacia el Occidente, se calienta rápidamente y se seca. En estas circunstancias, los valles interandinos de Loja y Vilcabamba se encuentran bajo el efecto de Foehn, que es observable en la pared de nubes que se produce sobre la cresta de la cordillera –el llamado muro de Foehn–. También en julio, en la costa del Pacífico, dominan los vientos que soplan de manera intensa, moviéndose paralelamente a la costa de Sur a Norte. El punto de origen de estas corrientes es la zona de presión alta del Pacífico suroriental, desde la cual fluyen las masas de aire hacia la zona de presión baja ecuatorial, es decir, hacia la ZCIT.



18 y 19 Estación meteorológica sobre el límite de altitudinal de distribución del bosque. © M. Richter.



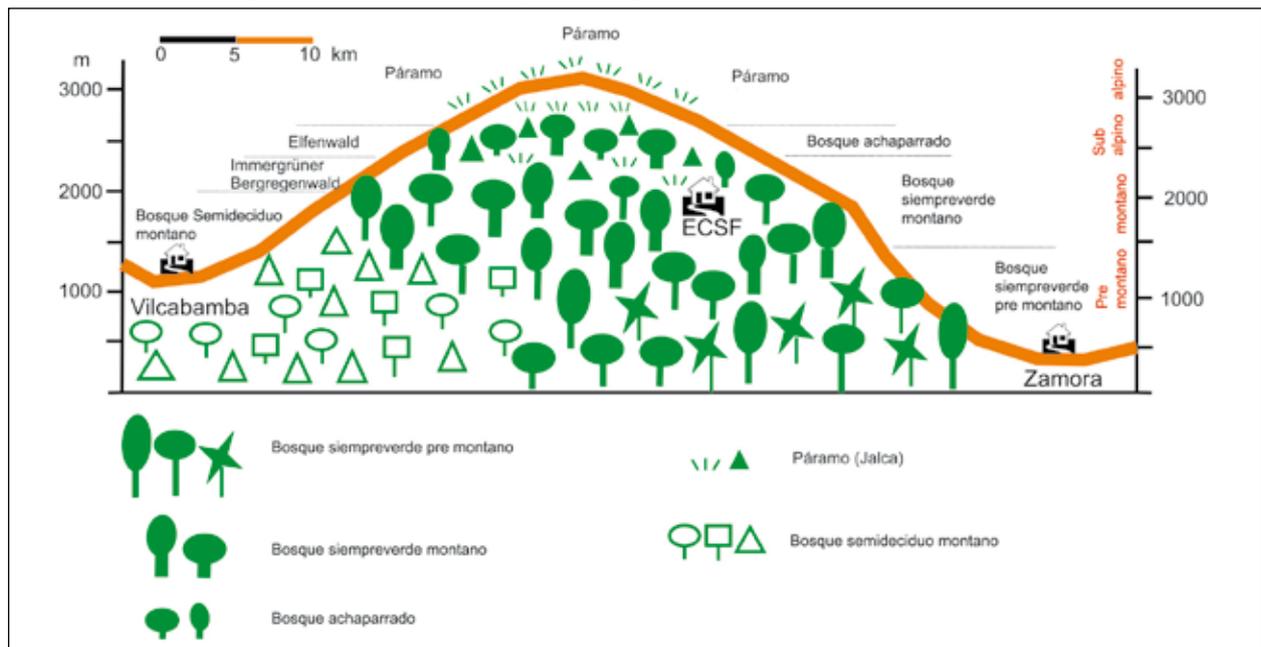
17 La circulación regional de los vientos en el verano del hemisferio Sur ocurre de la siguiente manera: la ZCIT se desplaza durante el verano del Sur (diciembre-marzo) hacia el Sur y pasa no muy lejos de la zona de investigación. De esta forma, dominan vientos que soplan desde el Norte y el Nororiente (alisios nororientales) que, al igual que en julio, provocan lluvias orográficas en el Oriente y un efecto de Foehn en las áreas interandinas. En la costa del Pacífico se reducen los vientos del Sur, ya que del mismo modo, la zona de presión alta del Pacífico suroriental se desplaza hacia el Sur. Una corriente tipo monsoon (prolongación de los alisios surorientales) puede soplar contrariamente desde el Norte, y así traer altas precipitaciones. En los valles interandinos, debido a la permanente posición del sol en el cenit, se desarrolla una borrasca térmica. Esto conlleva a la formación de nubes y chubascos, acentuados por la formación de vientos Foehn en ambas pendientes de los valles.

# Los pisos de vegetación en el bosque húmedo de montaña

Alexander von Humboldt notó los cambios en la vegetación que se producen en relación al incremento de la altitud. Muchos exploradores de los Andes utilizaron términos introducidos por los conquistadores españoles para referirse a los distintos pisos altitudinales: “tierra caliente”, “tierra templada”, “tierra fría”, “tierra helada”, “tierra nevada”. Una clasificación posterior, utilizada para los Alpes, habla de “pisos colliner”, “submontano”, “montano”, “subalpino” y “alpino”.

La secuencia de pisos altitudinales frecuentemente no es completa, si se la observa de forma global, pero en esta zona de los Andes está muy bien constituida y diferenciada. Las distintas formas de vegetación en la zona de estudio se distribuyen desde el nivel submontano hasta el alpino que, según la clasificación de Humboldt, corresponden a tierra templada y tierra fría, respectivamente. Entonces, de forma secuencial, luego de los bosques húmedos siempre verdes premontanos, siguen los bosques húmedos montanos de las estribaciones de los Andes, que incluyen al bosque enano o achaparrado en las partes más altas, y finalmente el piso del páramo.

En las estribaciones occidentales de la Cordillera Real y en sus valles interandinos, dominan formaciones de vegetación diferentes de las que se presentan en el lado oriental, debido a una menor humedad. Gran parte de los valles debería estar cubierto por matorral de montaña, mientras que en las partes altas se debería encontrar un bosque siempre verde. Actualmente, en el Sur del Ecuador, la vegetación natural se encuentra solamente en las partes más altas de la cordillera, puesto que las zonas bajas han sido pobladas por el hombre desde la antigüedad. Esa es la razón por la que, en gran medida, la ocupación agropecuaria ha sustituido a la vegetación natural en las partes bajas de las laderas interandinas.



20 Perfil altitudinal entre Vilcabamba y Zamora con los pisos de vegetación simplificados y algunas representaciones de las especies de árboles más importantes.

21 y 22 Bosque seco en Malacatos y árbol de ceibo con epifitas en forma de barba - Tillandsia usneoides. © A. Bräuning





23 Estadio temprano de la sucesión.



24 Bosque de montaña con la típica *Graffenrieda emarginata*.

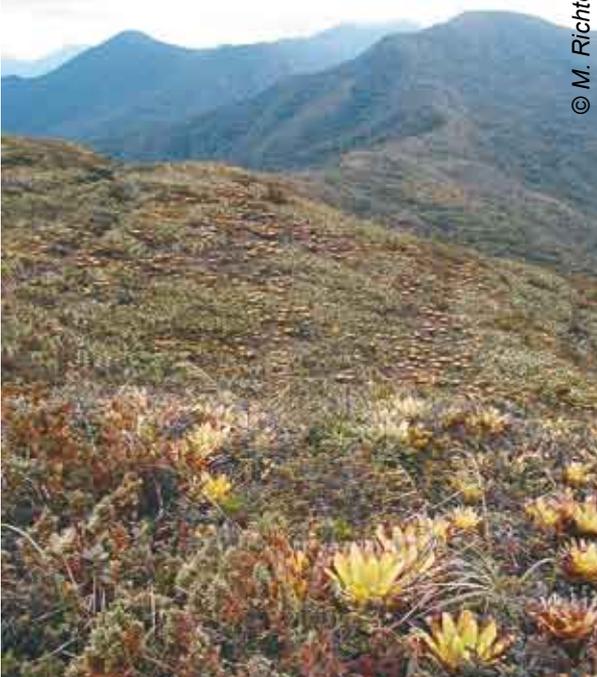


25 Ceja de montaña.



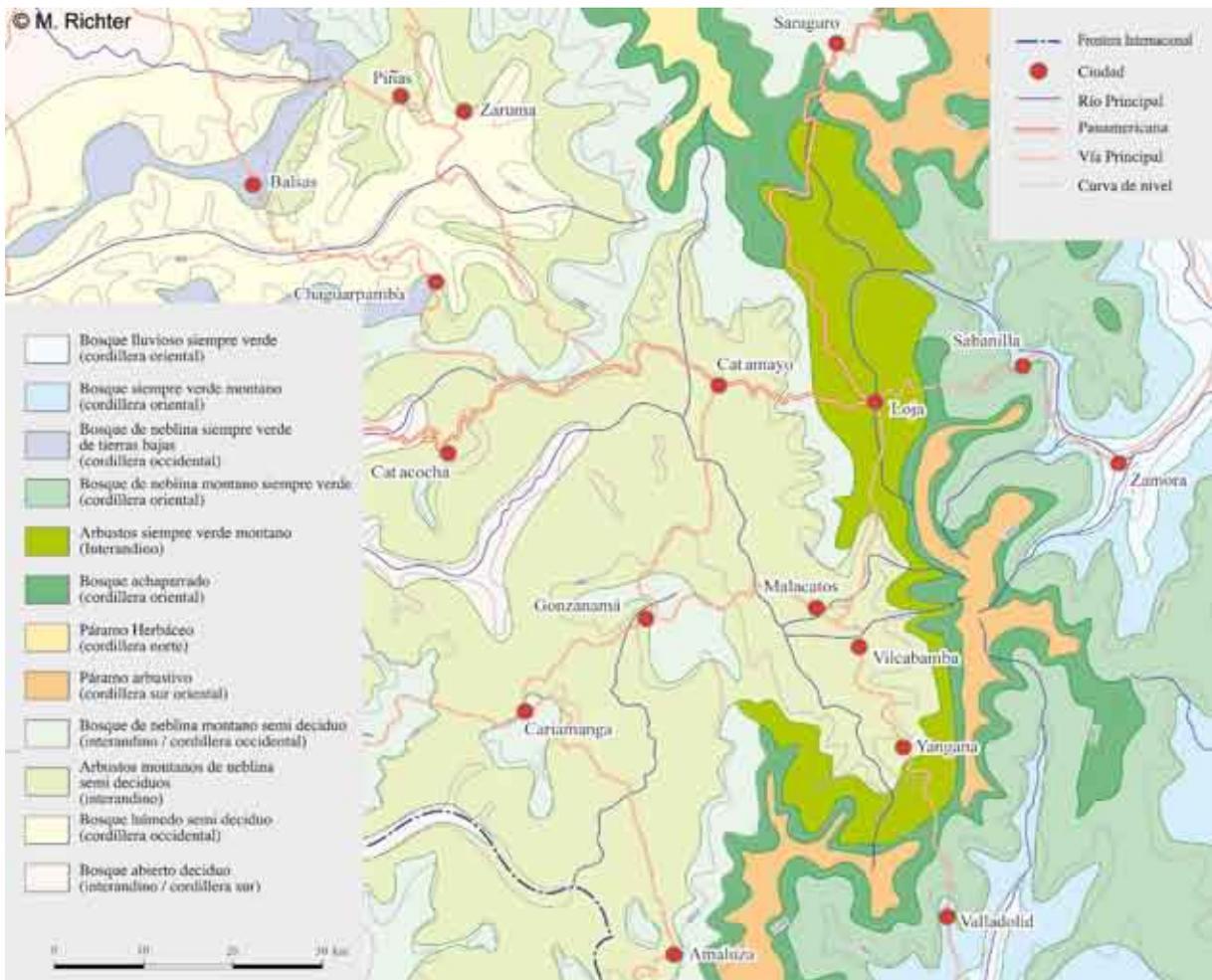
26 Ceja de montaña.

27 Páramo.



28 Páramo.





29 Vegetación potencial natural en el Sur del Ecuador. El mapa fue hecho por el grupo de investigación en base a los datos de temperatura y humedad. Muestra qué tan complejas son las formaciones de vegetación que, bajo las condiciones climáticas locales, se distribuirían de forma natural. Sin embargo, debido al uso agrícola, la vegetación natural actualmente sólo existe en las partes más altas de la cordillera.

## Dentro del bosque

Las condiciones climáticas al interior del bosque húmedo de montaña son diferentes de las que se dan fuera del bosque o sobre la copa de los árboles. Por un lado, es característica una alta humedad del aire, que puede alcanzar valores del 100 %, con poca variación. Del mismo modo, existe poca variabilidad en la temperatura del aire. El viento, que sopla muy fuerte sobre las copas de los árboles, aquí se debilita por la presencia de vegetación. La radiación y la luz solar influyen solamente en el dosel del bosque; más abajo juegan un papel menos importante. Debido a la cobertura del dosel, muy poca lluvia llega directamente hasta el suelo del bosque. Por estas condiciones especiales, muchas especies de plantas aparecen o en las partes altas como planta aéreas o en las zonas oscuras del interior del bosque, dependiendo de si se especializan en recibir mucha luz o en localizarse en sitios sombreados. A mayor altura sobre el nivel del mar, el dosel del bosque permite que llegue más luz hasta el suelo. Así, el sotobosque se vuelve cada vez más importante y diverso. Especialmente las bromelias prefieren estos lugares medio sombreados y medio asoleados.

La Reserva Biológica San Francisco está cubierta en una gran parte por bosque primario, lo que significa que el bosque hasta el momento no ha sido, o ha sido levemente influenciado por el hombre, y que se encuentra en su estado natural. Solamente en el llamado camino del canal, que conduce a una represa hidroeléctrica cercana, en el valle del río San Francisco, el bosque ha sido perturbado. En este bosque primario, de condiciones climáticas particulares, existe una alta biodiversidad y un gran número de especies de plantas endémicas\*. De las 17.000 especies de plantas registradas hasta ahora en el Ecuador, 4.000 son endémicas. En este contexto, el Parque Nacional Podocarpus es considerado como un importantísimo centro de población vegetal, con más de 200 especies endémicas y una diversidad extraordinaria de árboles, arbustos, hierbas y epifitas.

A nivel mundial, la mayoría de especies de árboles se localizan en los bosques húmedos de las tierras bajas, donde se han encontrado más de 300 especies (con diámetro superior a 10 cm) por hectárea. En comparación a esto, los bosques húmedos de montaña son menos ricos en especies arbóreas. En la totalidad del área de investigación, hasta ahora los científicos han registrado más de 280 especies arbóreas, lo que igualmente implica una alta diversidad. En una hectárea crecen entre 50 y 80 especies. En comparación, en latitudes medias, como en Alemania, un bosque con cinco especies arbóreas es considerado relativamente rico en especies.

**Sorprendente**

En una hectárea de bosque húmedo de montaña existen entre 50 y 80 especies de árboles, aunque generalmente cada especie está representada por pocos ejemplares. Por este motivo, los investigadores tienen que buscar mucho hasta encontrar otro árbol de la misma especie, ya que en una hectárea hay espacio para que crezcan entre 600 y 800 árboles.

**La diversidad de los árboles**

Los árboles constituyen la mayor parte de la biomasa\* del bosque húmedo de montaña; sin embargo, aquí no son tan grandes como los de las tierras bajas. En el bosque de la ECSF, su altura promedio alcanza unos 15 o 20 metros, pero en algunos valles protegidos llega hasta los 25 y 30 metros. Mientras más alto se asciende en la pendiente de la montaña, más pequeños son los árboles. Los científicos han investigado la población de los árboles y han encontrado que los más altos (hasta 35 m) se encuentran en los pequeños valles afluentes del río San Francisco. Con el incremento de la altura sobre el nivel del mar, no solo disminuye la altura de los árboles, sino también su diámetro y el número de especies arbóreas, es decir su diversidad.

La mayoría de especies de árboles en esta zona son de las familias: *Lauraceae*, *Melastomataceae*, *Rubiaceae* y *Euphorbiaceae*. La especie más frecuente es la *Graffenrieda emarginata*, perteneciente a la familia *Melastomataceae*, que crece incluso en suelos poco fértiles, debido a los muy bien formados hongos de raíz o micorrizas, que la aprovisionan de los nutrientes necesarios.

A mayor altitud aparece con bastante frecuencia la especie *Purdiaea nutans* (*Cyrtillaceae*), que en algunas áreas llega a dominar todo el dosel. Debido a la escasez de nutrientes, estos espacios no son preferidos por otras especies, por lo que la poco exigente *Purdiaea nutans* puede expandirse fácilmente. En las partes ventosas más altas y en las cimas, esta especie da forma al bosque enano, pequeño y retorcido por el viento.

También son típicos en las partes altas los *Podocarpaceae*, coníferas que debido a su frecuencia han otorgado el nombre al Parque Nacional Podocarpus. La presencia de helechos arbóreos que forman pseudotruncos (*Cyatheaceae*) es también muy notoria y abundante en el bosque de la Estación, especialmente en los barrancos muy húmedos, donde la vegetación se asemeja a la de los bosques húmedos de las tierras bajas.

30 y 31 Los *Podocarpaceae* estuvieron en el pasado muy diseminados, pero debido a la extracción de madera han disminuido considerablemente. En la zona de investigación, ejemplares altos y viejos de *Prumnopitys montana* (romerillo) se encuentran solo en casos aislados.



La diversidad de árboles es determinada por distintos factores, como el aumento de precipitación conforme se incrementa la altitud. En la mayoría de los casos, una mayor precipitación produce una diversidad más alta. Sin embargo, en las partes elevadas del bosque húmedo de montaña, esto es válido sólo parcialmente. Aquí los nutrientes son lavados del suelo por la alta cantidad de lluvia y así, a mayor altitud, existe menos disponibilidad de nutrientes. Los suelos muy ácidos y la poca cantidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio y manganeso, influyen en forma negativa en la diversidad de árboles.

Otro factor que influyente en la diversidad arbórea es la irregularidad del relieve. En la zona existen áreas planas, pendientes fuertes, aristas estrechas, valles de riachuelos y barrancos, cada uno con características distintas, lo que influye de manera positiva en la diversidad de los árboles. Incluso los frecuentes deslizamientos o derrumbes permiten una mayor diversificación de especies.

#### **Glosario**

**Planta endémica:** especie de planta cuya distribución se reduce a un área limitada.

**Biomasa:** cantidad de sustancia orgánica viviente.



© M. Richter



© A. Bräuning

*32 y 33 Numerosos deslizamientos en diferentes etapas de recuperación y un claro de bosque marcado y monitoreado por los investigadores.*

## **Biodiversidad en los claros del bosque**

Los deslizamientos o derrumbes naturales se acentúan por persistentes movimientos sísmicos causados por el levantamiento activo de la cordillera andina. En los lugares donde ocurren deslizamientos se forman claros en el bosque (gaps en inglés), los mismos que se encuentran en distintos estadios de regeneración (estadios de sucesión) según su edad. Además, la luz, la lluvia y el alimento llegan a las plantas de los distintos gaps en cantidades diferentes. Es por esto que, de acuerdo a su antigüedad, los gaps albergan a varias especies y, de esta forma, aportan notablemente a la biodiversidad. Se puede decir que los deslizamientos, y con ellos los gaps que se presentan en la zona, condicionan también a la alta diversidad de especies.

Sin embargo, por el momento se conoce poco sobre los biotopos-gap y su significado ecológico para el bosque. Hasta ahora solamente se ha determinado que el bosque muestra una gran dinámica propia, la cual se constituye en un proceso de rejuvenecimiento periódico. Los gaps son investigados de manera exhaustiva en los alrededores del bosque de la Estación, ya que los resultados pueden ser útiles para la aplicación de posibles medidas de reforestación de las áreas taladas. Por ejemplo, la reforestación podría ser realizada en forma de un mosaico, imitando a la naturaleza para alcanzar la riqueza original de especies, al menos de manera aproximada.



Ficus Nectandra Heliocarpus Tabebuia Purdiea Inga Podocarpus Iseria

33a: Estructura macroscópica de la madera de diferentes árboles. La cantidad y la distribución de los tipos de células para la transportación de agua (manchas blancas), almacenamiento de nutrientes (áreas más claras) y para la estabilidad (áreas más oscuras) son estructuradas de manera muy diferente.

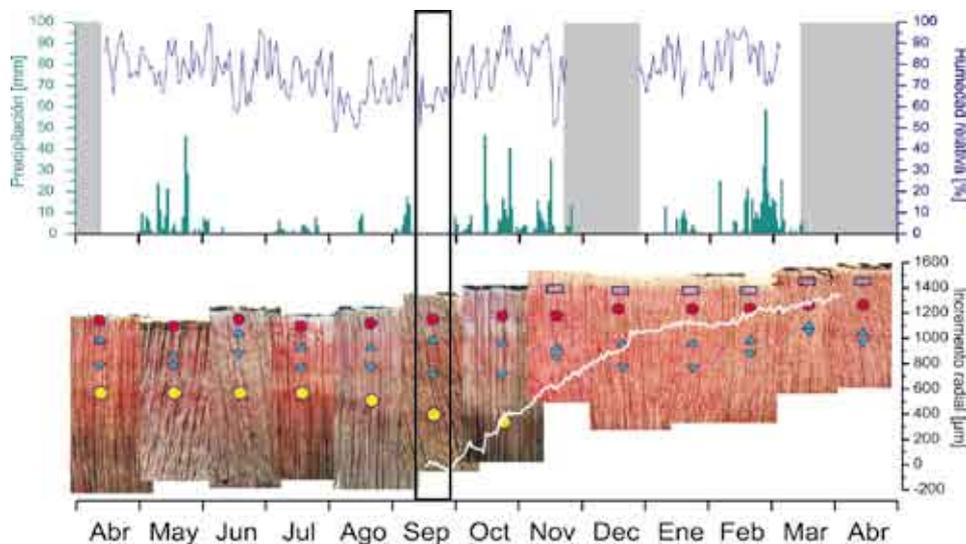
### Estructura de la madera y crecimiento de los árboles

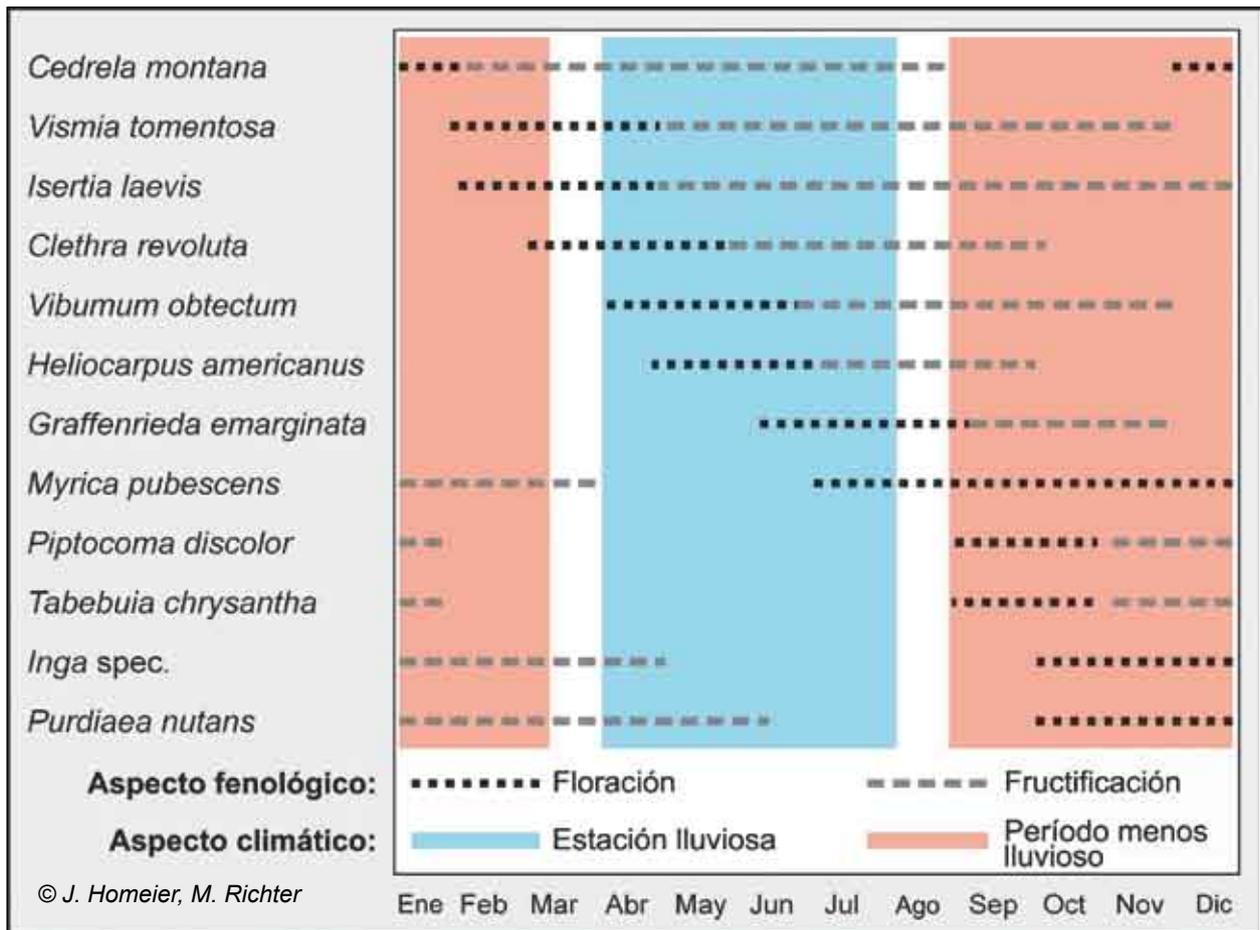
La biomasa\* de la madera constituye una buena parte del carbono acumulado en el ecosistema. Asimismo, la madera tiene la tarea de dotar de agua a la copa y de estabilizar al árbol, tarea un poco complicada, considerando el peso de las epifitas que viven en las ramas y que absorben grandes cantidades de agua del ambiente. Cada tipo de células en la madera de los árboles realiza distintas funciones: el xilema (células conductoras o traqueales y traqueidas) transporta agua y minerales, las células parenquimáticas almacenan nutrientes, mientras que el esclerénquima y las fibras brindan sostén y estabilidad. La disposición de estos tipos de células en la madera y su eficiencia, son diferentes en cada especie.

Con la ayuda de muestras anatómicas de madera tomadas mensualmente y con los datos de los dendrómetros, se puede determinar que los árboles del bosque húmedo de montaña no crecen de manera continua y sin interrupción, como podría sospecharse, debido a la alta precipitación. Durante los períodos secos, puede suceder que los árboles pierdan, a través de la transpiración, más agua de la que pueden tomar por las raíces. Así, el crecimiento radial del tronco puede detenerse temporalmente y el diámetro del árbol incluso disminuir, hasta que una nueva precipitación mejore el aprovisionamiento de agua.

También la fluctuación de la tasa de crecimiento de los árboles depende significativamente de la disponibilidad de agua. El conocimiento de este tema puede ser utilizado para reconstruir fluctuaciones de precipitación en el pasado y para realizar afirmaciones aproximadas sobre la tolerancia a la sequía de las distintas especies de árboles.

33 b: Serie de cortes anatómicos finos de la madera de *Prunmopitys montana* (Podocarpaceae) del año 2004. Una comparación con los datos climáticos (parte superior del diagrama) muestra que durante el período bastante seco de junio a septiembre (recuadro negro), no se formó madera. La curva dendrométrica de color blanco, indica que en el período seco al final de septiembre, incluso sucedió una reducción del tronco. Luego de la llegada de las precipitaciones en octubre, se observa una activa división de células y un incremento formidable del diámetro del tronco hasta finales de diciembre. Luego el crecimiento se hace más lento. El recuadro gris indica el período con ausencia de datos en los registros climáticos.





33c: Ritmos de las fases de florecencia y de fructificación de diferentes tipos de árboles del bosque húmedo de montaña, en un año.

## Fenología

En un clima sin descanso estacional, la diversidad de especies animales depende del abastecimiento permanente de frutos, flores y hojas. La figura 33c evidencia que durante todo el año existe disponibilidad de árboles de diferentes especies con flores o con frutos. Así se posibilita que los pájaros o murciélagos que buscan flores tengan una suficiente provisión de alimento.



33d: Visita a la flor de un murciélago *Glossophaga soricina*. El espolvoreo con el polen amarillo es claramente visible en el pecho del animal.

© C. Helversen

# Nutrientes y ciclo de la materia

El suelo es el elemento central de un ecosistema. Su formación depende de las características básicas de la roca del subsuelo y de las condiciones climáticas, que juegan un papel importante en la meteorización y otros procesos de formación del suelo. El suelo está lleno de vida, cuyas formas incluyen raíces de plantas, hongos y bacterias, y micro fauna compuesta de vertebrados e invertebrados. Se lo puede comprender como la interfaz entre las diferentes partes de la Tierra: litosfera, atmósfera, hidrosfera y biosfera.

La conformación geológica de los Andes del Sur del Ecuador se caracteriza por rocas metamórficas, aparecidas como consecuencia de las altas presiones y altas temperaturas durante la formación de los Andes. Posteriormente estas rocas fueron cubiertas por sedimentos, a partir de los cuales se han desarrollado los suelos actuales. Los sedimentos provinieron de material erosionado, antiguos deslizamientos y, en las partes altas, también de la soliflucción\* durante las épocas glaciales. Los frecuentes deslizamientos y la fuerte erosión rejuvenecen los suelos permanentemente. En esto radica la gran diferencia con los suelos del bosque húmedo tropical de tierras bajas, los cuales son más antiguos y más intensamente descompuestos.

Los suelos de las partes bajas y los de montaña tienen en común, que son mayoritariamente ácidos (valores de pH <7). Esto significa que los nutrientes de fácil disolución como el potasio, el calcio y el magnesio, no abundan en el suelo, porque ya fueron lavados por la lluvia. Esos suelos son, por lo tanto, pobres en nutrientes minerales básicos y, por ende, poco fértiles.

Otra característica del suelo del bosque en los Andes del Sur del Ecuador, es que está cubierto por una gruesa capa de materia orgánica, resultado de la lenta transformación de la materia orgánica en nutrientes inorgánicos, a cargo de la micro fauna, hongos y bacterias. En contraste, los suelos tropicales de las tierras bajas casi no poseen una capa orgánica, debido a una tasa elevada de descomposición. El ciclo de los nutrientes es claramente más lento en los suelos de montaña. La capa orgánica está compuesta de una cubierta superior de hojas y otros restos de plantas; debajo de ella sigue una gruesa capa en la que el material ya ha sido desmenuzado; más abajo se encuentra una capa de materia orgánica fina de color café oscuro, en un estadio más avanzado de descomposición.

Debajo de la capa orgánica sigue el substrato, conocido por la Edafología como suelo mineral, que es altamente rocoso y varía mucho en su composición entre lugares muy cercanos. El subsuelo es de color pardo, debido a la formación de óxidos de hierro, y arcilloso debido a la formación de minerales secundarios, es decir, silicatos con contenido de OH, de granulación muy fina (partículas menores a 0,002 mm). Así mismo, los suelos en la zona de estudio pueden tener características hidromórficas (sobresaturados de agua) que se intensifican al incrementarse la altitud. Esto significa que los suelos son frecuentemente influidos por aguas freáticas o estancadas, y por esta razón muestran "manchas de oxidación", es decir, un mosaico de áreas de color café y gris.



## Glosario

**Soliflucción:** desplazamiento masivo y lento de suelo, por efecto de la gravedad, durante la época glacial. El suelo superficial se descongela ocasionalmente y se desliza sobre suelo permanentemente congelado (el permafrost).

*34 Perfil del suelo de un cambisol en la Cordillera Real, a una altura aproximada de 2.000 m s.n.m.*

Debido a la existencia de una capa orgánica gruesa y no descompuesta, y de delgadas capas inferiores descompuestas y mineralizadas, el suelo del bosque húmedo de montaña dispone de pocos nutrientes. La necromasa (materia vegetal muerta) se encuentra en un estadio temprano de descomposición, y sirve más bien, como reserva o almacén y no como una verdadera fuente de nutrientes para las plantas, porque estas solo pueden utilizar nutrientes en forma mineralizada, una vez que la materia orgánica ha sido descompuesta. Se puede entonces hablar de un suelo más bien pobre en nutrientes e infértil. Por esto, las plantas han desarrollado mecanismos especiales para adaptarse a la escasez de nutrientes. Uno de tales mecanismos es la formación de simbiosis con hongos en las raíces o micorrizas, los cuales mejoran drásticamente la capacidad de las plantas para absorber nutrientes.

Los suelos de la Reserva Biológica San Francisco, a pesar del reducido espacio que ocupan, muestran una pronunciada heterogeneidad. Según la nomenclatura de la FAO (Mapa mundial de suelos 1997) se encuentran en el área de estudio, principalmente suelos de tipo Cambisol, Leptosol y Regosol. Los Cambisoles se caracterizan por un horizonte B bien desarrollado, arcilloso y de color café. Por el contrario, los Leptosoles y Regosoles no disponen de horizonte B. Los Leptosoles se originan de rocas sólidas y los Regosoles de sustratos sueltos, pero ambos tienen en común que son jóvenes y poco desarrollados porque, debido a la pendiente, son permanentemente afectados por la erosión o por deslizamientos. En la zona de estudio existen también los Gleysoles (suelos de las aguas subterráneas), Podzoles e Histosoles (suelos pantanosos). Estos últimos poseen una muy gruesa capa orgánica.

## El bosque como protección contra la erosión y las inundaciones.

La gruesa capa orgánica del suelo, en conjunto con el dosel denso del bosque, son fundamentales para regular la escorrentía del agua hacia los valles, es decir, para mantener el balance hídrico de la región. En su ausencia, no existe resistencia a la escorrentía superficial del agua de lluvia, lo que provoca una considerable erosión del suelo. Las investigaciones en la ECSF han podido comprobar esta hipótesis, sobre la interrelación entre la capa orgánica, el dosel del bosque y el balance hídrico.

En el bosque, una considerable cantidad de la precipitación se queda en las copas de los árboles y desde ahí vuelve a la atmósfera mediante la evaporación. Este proceso se denomina interceptación\* y resulta de la diferencia entre la precipitación total y la precipitación efectiva\*. Esta última se entiende cómo la cantidad de precipitación que alcanza al suelo; está compuesta por la precipitación efectiva directa\*, la escorrentía del tronco\* y el agua que cae de la copa de los árboles\*. Para medir estos componentes de la lluvia se han implementado instrumentos especiales en el bosque, y se ha determinado que una enorme parte de la lluvia no llega al suelo. La interceptación constituye entre el 30 y el 50 % de la precipitación total. Así, una parte significativa de la lluvia se queda en las copas de los árboles y se evapora, lo que puede ocasionar nuevas precipitaciones. De esta forma, la totalidad de precipitación que llega al suelo depende mucho de la interceptación.

35 Balance hídrico en un ecosistema de bosque representado en forma esquemática (Bruijnzeel & Hamilton 2000).

### Glosario

**Horizonte:** estructura mayormente horizontal de un mismo tipo de suelo que se puede observar en un perfil o corte vertical.

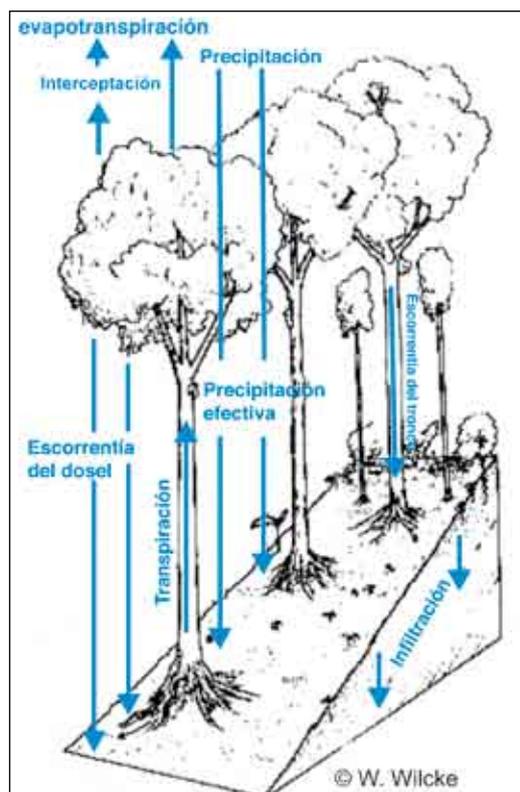
**Precipitación efectiva:** se compone de la precipitación efectiva directa, la escorrentía del tronco\* y el agua que cae desde las copas de los árboles\*.

**Escorrentía del tronco:** agua que fluye hacia el suelo a lo largo del tronco de los árboles.

**Agua de la copa de los árboles:** agua de lluvia que gotea desde las hojas de los árboles.

**Infiltración:** escurrimiento del agua en el suelo.

**Interceptación:** evaporación del agua de lluvia que se queda en la copa de los árboles y que regresa a la atmósfera.





36 La precipitación efectiva se recoge y se mide con la ayuda de instrumentos que se asemejan a una resbaladera.

Los resultados científicos demuestran que cuando existe sobre el suelo una capa orgánica, hay poca erosión a pesar de una rápida esorrentía. Por el contrario, en zonas aledañas donde ya no existe bosque, se puede observar un fuerte desgaste del suelo o erosión debido a la precipitación, y por lo tanto tampoco se conserva la capa orgánica, lo cual aumenta el peligro de inundaciones en los valles habitados.



37 y 38 Alta actividad de deslizamientos y fuerte erosión del suelo, son los resultados de la desaparición del bosque y de la capa orgánica.

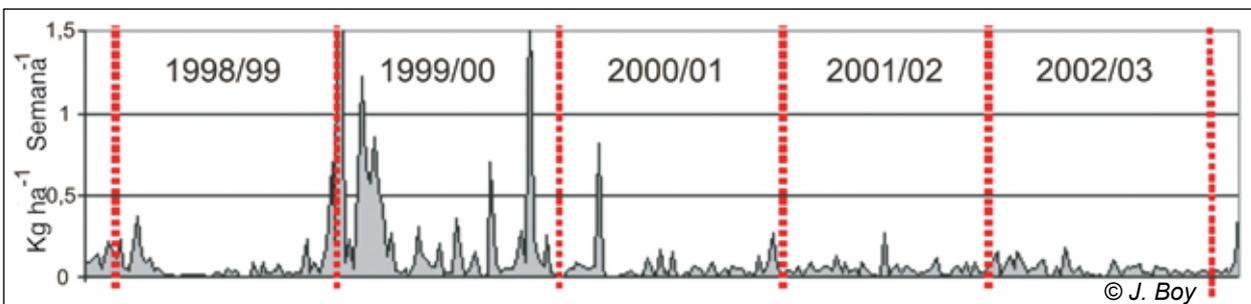
### Glosario

**Fenómeno de El Niño:** oscilación global del clima debido a una corriente marina cálida en el Pacífico ecuatorial.

**La Niña:** fase de una corriente excepcionalmente fría en el área del fenómeno de El Niño.

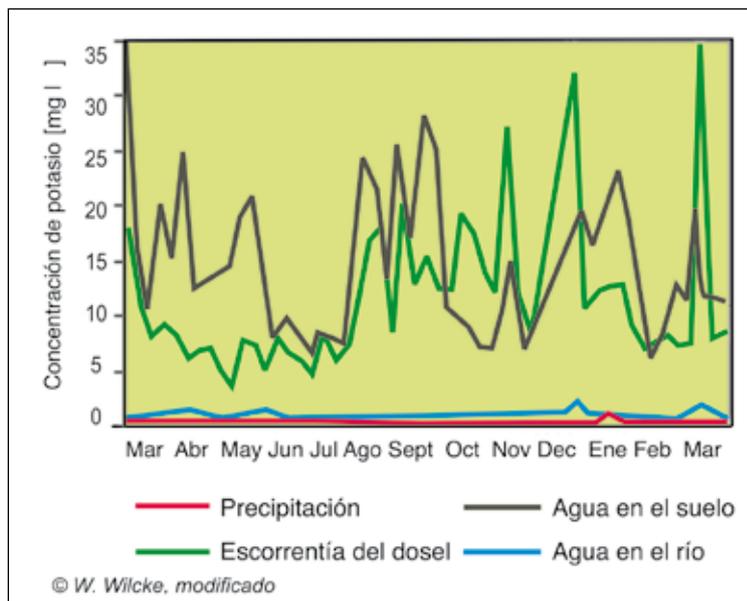
## Balance de agua y ciclo de nutrientes

Con el agua que circula en el ecosistema se transportan importantes nutrientes que provienen parcialmente de la atmósfera y son introducidos en el bosque a través de la lluvia, pero pueden ser también depositados en las hojas de los árboles en forma de polvo o elementos combinados, y desde allí ser lixiviados por la lluvia. Debido a que este ecosistema es naturalmente pobre en nutrientes, cualquier pérdida debe ser evitada. Los ecólogos del grupo de investigadores analizan el transporte de nutrientes dentro del ecosistema, midiendo las entradas desde la atmósfera y los flujos de nutrientes, determinando así el balance de los mismos. Por ejemplo, sobre el calcio se ha detectado una dependencia con el Fenómeno de El Niño: las entradas de este elemento al ecosistema a través de la precipitación aumentan durante la fase de La Niña, en la cual la temperatura del océano es más baja. Se puede decir en forma simple que La Niña abona al bosque húmedo de montaña.



39 Entradas de calcio a través de la precipitación entre los años 1998 y 2003: es evidente que no existe un ciclo anual. Los científicos presumen como posible la existencia de una variación a largo plazo en las entradas de nutrientes por eventos episódicos.

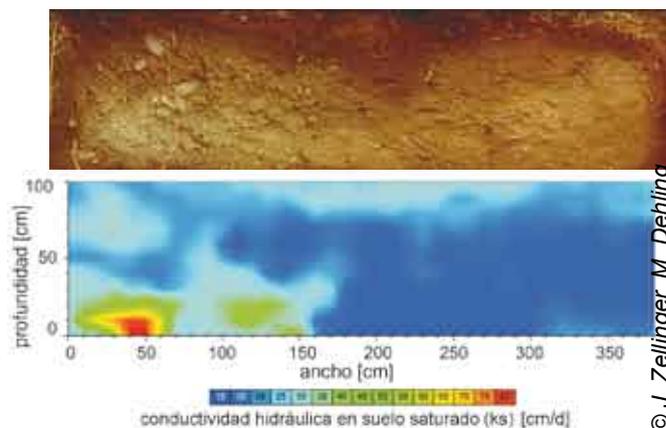
Los elementos químicos muestran concentraciones diferentes durante su circulación por las diversas partes del ecosistema. Por ejemplo, el ciclo del potasio, uno de los nutrientes más importantes para las plantas ocurre de la siguiente manera: por una parte, está fijado en la superficie de las células de las hojas y, por otra, se encuentra en el polvo depositado desde la atmósfera, es lavado por la lluvia y transportado hacia abajo. De este modo, la lluvia que en un inicio no contiene potasio, se enriquece de este elemento mediante la precipitación efectiva. Cuando el agua llega al suelo y fluye a través de la capa orgánica, absorbe aún más potasio. En la hojarasca, este elemento al igual que muchos otros, existe en grandes cantidades. Cuando se llega al suelo mineral, disminuye bruscamente su concentración, debido a que las raíces absorbieron una buena parte del elemento esencial para la vida. Parcialmente, el potasio es absorbido por otras asociaciones químicas, y por lo tanto, ya no se lo encuentra en los ríos de la zona de investigación. Debido a la inexistencia de potasio en los ríos y quebradas de la zona, se puede decir que dicho elemento no se fuga del ecosistema. Esto es válido para muchos otros nutrientes, comprobándose así la circulación de los elementos dentro del ecosistema.



40 Cambios en la concentración de potasio en el agua durante su recorrido a través del bosque. El agua de la precipitación, libre de potasio, se enriquece con este nutriente, primero en las copas de los árboles y luego en la capa orgánica del suelo. Debido a que las raíces de las plantas absorben una buena parte de este nutriente indispensable para la vida, ya casi no queda potasio en los ríos y quebradas.



41 El sistema de raíces y su absorción de nutrientes es estudiado por los investigadores. Por eso desenterran las raíces de los árboles, las marcan con colores, determinan su arquitectura y su capacidad de absorción de nutrientes.



43 El suelo muestra una marcada heterogeneidad en espacios reducidos. Incluso en este pequeño corte del suelo del bosque húmedo, son muy visibles las diferencias en el contenido de las piedras, en el tamaño de las partículas del suelo y en la conductividad hidráulica. Un alto valor de ks demuestra una alta conductividad hidráulica.



42 Trabajo en el laboratorio de la ECSF: los cilindros blancos se llenan con tierra y luego son ubicados en el suelo en el área de estudio. Sirven para medir la respiración del suelo y la concentración de distintos nutrientes en el agua que llega al suelo.

## Limitación del crecimiento debido a la escasez de nutrientes

Con el incremento de la altitud, las plantas muestran una disminución en su crecimiento. Este fenómeno es más evidente en los árboles. En el límite altitudinal de distribución del bosque, los árboles alcanzan de 1 a 2 metros de altura, mientras que en la parte baja del páramo, algunas especies de árboles solo se presentan como pequeños arbustos. ¿Cuál puede ser la razón para esta limitación en el crecimiento? ¿De qué depende la altura que alcanzan los árboles? Los expertos supusieron que el empobrecimiento de nutrientes en el suelo es la limitante para el crecimiento, aunque no se conoce con exactitud de qué nutriente se trata. Los edafólogos del grupo de investigación estudiaron las características del suelo a diferentes altitudes y las correlacionaron con los datos sobre el crecimiento de los árboles, obtenidos mediante dendrómetros que por varios años han monitoreado el diámetro de los troncos.

Se puede confirmar que el suelo, y en especial la capa orgánica, se vuelven más pobres en nutrientes con el aumento de la altura. Tanto la disponibilidad de nitrógeno, uno de los principales nutrientes de las plantas, como la concentración de fósforo, magnesio y manganeso, disminuyen notablemente con la altura. Existe una correlación entre la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del tronco de los árboles.

Se ha determinado por ejemplo, que con la disminución de la disponibilidad de fósforo, el crecimiento del tronco es menor. Una afirmación similar se puede hacer presumiblemente para otros nutrientes. Los científicos tienen la ambiciosa meta de descubrir un determinado nutriente que sea el responsable de la limitación en el crecimiento. Para esto se trabaja en la actualidad en el experimento “diagnóstico de abono”, mediante el cual se implementan parcelas de investigación en varios lugares, donde las plantas son expuestas a distintos tipos y cantidades de abono. Con esto se puede finalmente determinar qué efecto tiene cierto nutriente en el crecimiento de las plantas. Para obtener resultados confiables es importante que esta investigación se mantenga a largo plazo.



© A. Bräuning

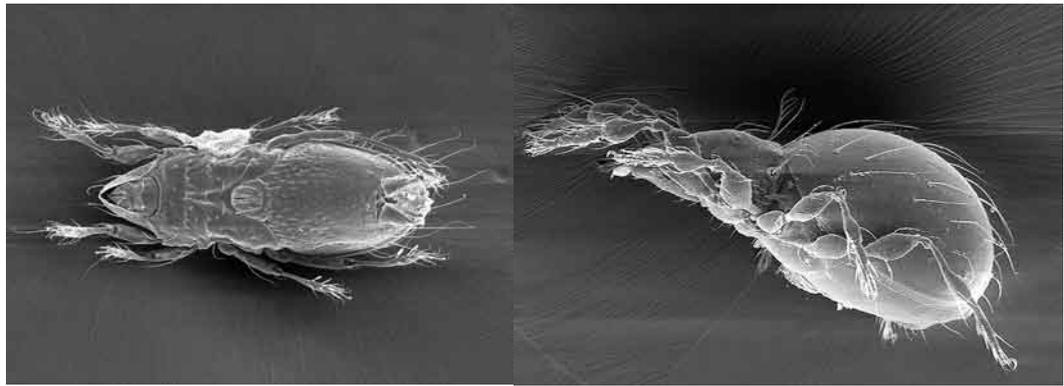
44 Dendrómetro instalado en el tronco de un árbol.

45 Los árboles son reemplazados en el límite altitudinal superior del bosque por pequeños arbustos. El cambio en las condiciones climáticas es, en menor medida, una razón de la limitación en el crecimiento de los árboles, pero un factor más determinante es la escasez de nutrientes disponibles.



© M. Richter

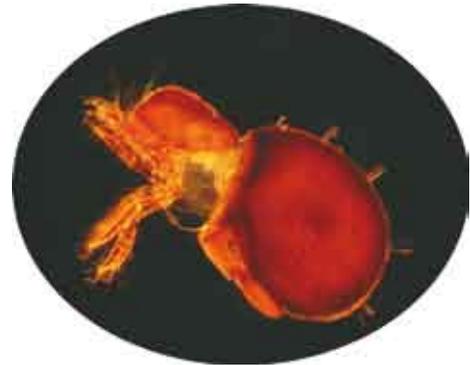
46 y 47  
*Dolicherimaeus  
 bolivianus* y  
*Brachiopiella sp.*  
 © J. Illig



## Animales pequeños, grandes impactos

El suelo está habitado por desintegradores (también llamados descomponedores) y mineralizadores, que son, en su mayoría, diminutos animales, hongos y bacterias. Los desintegradores desmenuzan y digieren la materia orgánica; los mineralizadores la transforman en elementos inorgánicos, los cuales otra vez pueden ser absorbidos por las plantas.

Primero, la hojarasca tiene que ser desmenuzada, pero en el bosque de la Estación este proceso es muy limitado, por lo que se llega a formar una gruesa capa orgánica descompuesta pero aún no mineralizada. El duro trabajo de la descomposición es realizado por la fauna del suelo, formada de la micro, meso y macro fauna. Los más importantes desintegradores entre la meso fauna (animales de tamaño entre 0,3-1 mm) son los microartrópodos; en el ámbito de la micro fauna (menos de 0,2 mm) están los gusanos redondos (nematodos) y animales unicelulares como amebas (protozoo). En el bosque tropical de montaña no existe un desintegrador que tenga un rol protagónico, como en el caso de las lombrices en latitudes medias.



48 *Notophtiracarus ephylus*, © J. Illig

Entre los artrópodos se ha tomado en cuenta especialmente a los oribátidos (Oribatida). Estos pertenecen dentro de los arácnidos (Arachnida), a los caros (Acari). Su diversidad es muy alta, pues a nivel mundial, actualmente, se conocen 10.000 especies, y esto es solo una pequeña parte, ya que los expertos suponen que en todo el planeta existirían alrededor de 100.000 especies.

Los resultados de las investigaciones sobre los oribátidos, son otra prueba de que con la altura la diversidad de especies disminuye, ya que a mayor elevación, menor diversidad de oribátidos, fenómeno que no solo se observa en el suelo, sino también en la cantidad de especies que se encuentran en los árboles. En general, se halla una densidad baja en el bosque húmedo de montaña, lo que se explica por la pobreza de nutrientes. A la altura de 1.000 m s.n.m., en cada metro cuadrado se puede encontrar alrededor de 40.000 individuos, pero a 3.000 m s.n.m., solamente 8.000. En la zona de investigación se ha determinado la existencia de 150 especies, muchas de ellas hasta ahora desconocidas. Este número es comparable con el de especies que se encuentra en un bosque de latitudes medias. En comparación, en el bosque húmedo de tierras bajas de la Amazonía, se pueden encontrar hasta 260 especies.



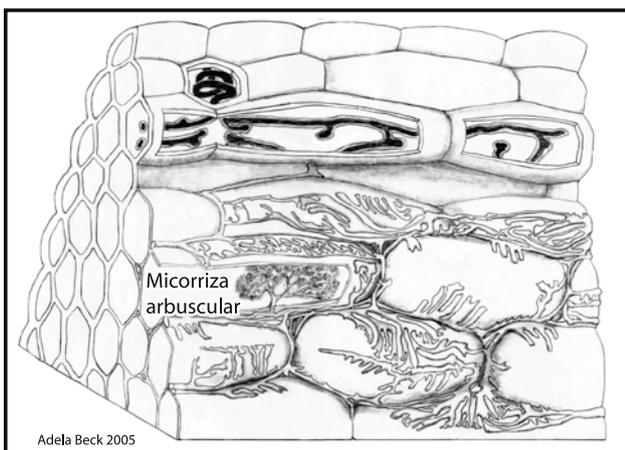
Los oribátidos juegan un papel importante en la descomposición de la materia orgánica, ya que su actividad facilita la descomposición por parte de los microorganismos, que son los que hacen el trabajo principal. Esta cadena alimenticia de varios niveles es característica en el ámbito de la fauna del suelo, y en el bosque de la Estación se organiza hasta en cuatro niveles. Sorprende la escasa cantidad de desintegradores primarios, los cuales se alimentan exclusivamente de material vegetal muerto. La mayoría de desintegradores estudiados se alimentan también de hongos y de otros animales del suelo, en lugar de hojarasca. Esta es la explicación para la existencia de la gruesa capa orgánica no descompuesta.

49 Muestreo en una corteza © M. Maraun

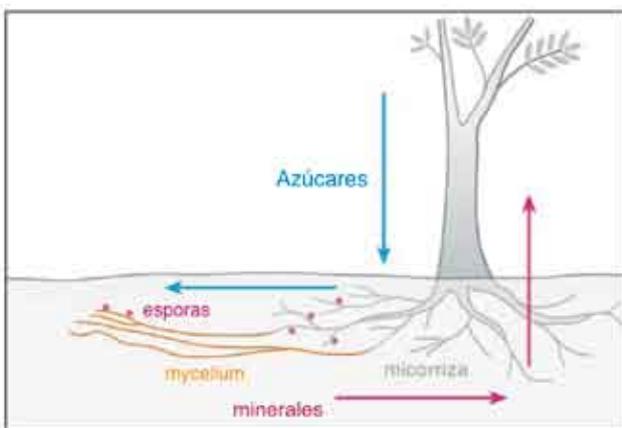
## El trueque subterráneo

Después de la descomposición de la materia orgánica por la fauna del suelo, sigue una posterior mineralización a través de hongos y bacterias. La mayoría de plantas verdes no pueden absorber suficiente cantidad de nutrientes minerales solamente con sus raíces. Los hongos micorriza, que colonizan las raíces más finas de los árboles y de otras plantas, ayudan notablemente. Hay redes de filamentos microscópicos (hifas) que viven en simbiosis o asociación con las plantas. La simbiosis se caracteriza por la coexistencia cercana de dos organismos que se complementan, aportándose mutuamente sustancias esenciales para vivir. En el caso de las micorrizas, ellas reciben azúcar a cambio de aportar nitrógeno y fosfato a las raíces de los árboles. Los hongos toman estos minerales de la hojarasca o de otra biomasa previamente descompuesta. Solamente los hongos tienen la capacidad de reintroducir al ciclo de nutrientes los minerales que están fijados en la abundante masa orgánica. Incluso el agua es facilitada por los hongos, ya que éstos pueden absorberla desde poros más estrechos que las raíces de plantas. Para la comprensión de los ecosistemas terrestres, es importante el conocimiento de las micorrizas, porque el 90 % de las plantas terrestres viven en esta simbiosis.

Según los resultados de las investigaciones, estos pequeños “socios” de las plantas verdes existen en todos los árboles y en la mayoría de otras plantas del bosque húmedo de montaña. Las ericáceas, orquídeas y hepáticas son las más intensamente estudiadas, ya que no pueden vivir sin sus micorrizas. Debido a que existen distintas formas de simbiosis entre plantas y hongos, es importante saber qué plantas verdes cooperan, con cuáles hongos, y de qué manera. Considerando que el estudio de las posibilidades de una reforestación con árboles nativos, es también un tema del grupo de investigación, es importante saber bajo qué condiciones pueden crecer los árboles más rápida y saludablemente. Los hongos micorrizas son imprescindibles para una reforestación exitosa. También la reproducción de muchas plantas tropicales sería más exitosa si se inocula los hongos apropiados a la raíz.



50 Micorrizas arbusculares con hifas intracelulares e intercelulares y con arbusculos, que sirven para el intercambio de nutrientes. © A. Beck (2005)



51 Esquema de una simbiosis hongo-planta ©R. Rößler

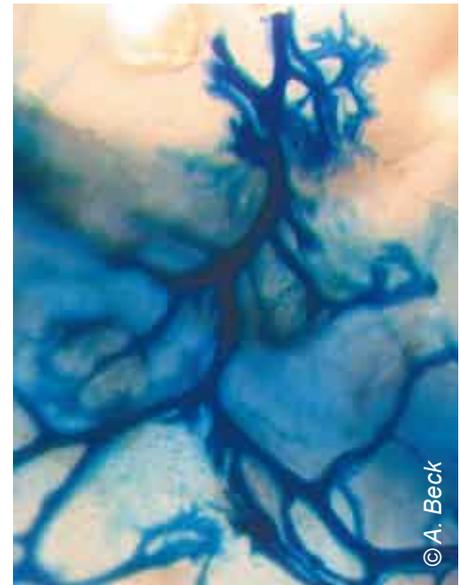
Las formas de convivencia entre hongo y planta (tipo micorrizas) son muy variadas en el bosque húmedo de montaña. En la mayoría de los casos, las hifas de los hongos crecen en las células de las raíces de las plantas y se ramifican como árboles dentro de ellas, por lo que se las conoce como micorrizas arbusculares\*, que pertenecen al grupo de las endomicorrizas. Otro tipo de micorrizas es la ectomicorriza, cuyas hifas crean un abrigo sobre las partes finales de la raíz (abrigo de hifas) y además se introducen entre las células del tejido de las raíces. Esta forma de simbiosis aparece en el bosque húmedo de montaña solo en tres especies de nictagináceas. También se encuentran en el bosque húmedo de montaña tropical las micorrizas de orquídeas y micorrizas de ericáceas, como tipos propios de micorrizas. Un gran número de especies de micorrizas forman simbiosis con las plantas. El grupo de los Glomeromycota (hongos glomales) que se compone de micorrizas arbusculares, muestra una gran diversidad de especies en el bosque húmedo de montaña. Ascomicetes y basidiomicetes (ascomicetos y setas) forman ectomicorrizas con las ericáceas, mientras que los basidiomicetos forman micorrizas con las orquídeas.

### Glosario

**Arbúsculo:** (lat.) árbol pequeño.



52, 53 y 54 Árboles-Neea forman con el hongo *Russula puigarii* una ectomicorriza. Las hifas finas envuelven las raíces como un abrigo de piel. © I. Kottke



55 Hifas de la micorriza arbuscular en una raíz de árbol: la mayoría de hongos micorrizas solamente son visibles en el microscopio óptico luego de ser teñidos. © A. Beck

**Sorprendente**  
Solo aproximadamente el 10 % de todas las plantas verdes pueden vivir sin hongos micorrizas; el resto necesita el apoyo de un hongo asociado para absorber los nutrientes necesarios para la vida.



56 *Dumortiera hirsuta* (hepática): planta femenina portadora de células sexuales (figuras en formas de sol). Esta hepática aparece en localidades muy húmedas en el bosque húmedo de montaña.

## Hepáticas con micorrizas

Las hepáticas, que prefieren la humedad, son las plantas terrestres más antiguas. Alrededor de 460 millones de años atrás, estas plantas fueron las primeras en conquistar tierra firme y dominaron así los ecosistemas terrestres más jóvenes. Muy probablemente esto sucedió gracias a la ayuda de hongos micorrizas. Hasta ahora, la mayoría de hepáticas que viven el suelo cuentan con un talo\* colonizado por hongos.

Los investigadores del bosque húmedo de montaña tratan de responder a la pregunta: ¿cuál ha sido el rol de la antigua cooperación entre hepáticas y hongos en el ecosistema bosque húmedo de montaña? Se han descubierto nuevas especies tanto entre las hepáticas como entre los hongos micorrizas. La mayoría de las aproximadamente 5.100 especies de hepáticas registradas en el mundo, viven en los trópicos húmedos. En la zona de investigación se han clasificado 499 especies de musgos, de los cuales 313 son musgos hepáticos. En la zona de la Estación, estos últimos disponen de una micorriza muy específica, lo que significa que cierta especie de musgo hepático solo puede vivir en simbiosis con una determinada especie de hongo. A pesar de ello, se han encontrado en una especie de musgo hepático hasta 9 especies de hongos. En comparación, en Europa se encuentran máximo cuatro especies de hongos en una especie de musgo hepático. Esta diversidad de simbiosis hongo-planta en el bosque húmedo de montaña, indica una larga evolución conjunta entre musgos hepáticos y hongos, en cuyo transcurso se han acoplado mutuamente a su compañero. La mayoría de musgos hepáticos disponen de uno o varios hongos asociados y sólo se hallan en compañía de estos.

La actual riqueza de especies se desarrolló en el transcurso de la evolución, partiendo inicialmente de muy pocas especies. Los primeros musgos hepáticos que migraron desde el agua a la tierra, fueron los pertenecientes a la familia de las Marchantiaceae. Se los puede todavía designar como las plantas terrestres más simples. No disponen de órganos reales, ni siquiera de una raíz con la cual puedan absorber nutrientes. El rizoide, que parece ser la raíz, sirve exclusivamente como anclaje al suelo. Por lo tanto, estos musgos hepáticos necesitan forzosamente de otros organismos para sobrevivir, y no hubiesen logrado la colonización de la tierra sin la ayuda de los hongos.

Con la difusión de las angiospermas (plantas con flor) sobre la Tierra, muchos musgos hepáticos colonizaron la superficie de los árboles, a través de lo cual se desarrollaron nuevas especies. Su fisiología se diferenció, y a los musgos hepáticos talosos\* se añadieron los musgos hepáticos foliosos\*, los mismos que se estructuran en ramillas y hojas pequeñas. Los primeros son llamados Metzgeriales y se los encuentra en el suelo con hongos micorrizas, o como plantas aéreas en las ramas de los árboles. Es interesante que en las ramas de los árboles, éstos no tengan micorrizas, presumiblemente porque la simbiosis con algas azules les garantiza el abastecimiento necesario de nitrógeno en la altura.

La aparición de nuevas formas de vida, como los musgos hepáticos epifitos, es observada por los investigadores como un punto de inflexión en el desarrollo del ecosistema del bosque húmedo de montaña. En el transcurso del tiempo han aparecido más especies de musgos entre los *Metzgeriales*, los cuales viven como epifitas en las alturas, o en simbiosis con hongos en el suelo.

57 *Marchantia chenopoda*: planta femenina portadora de células sexuales. Se observan muchas raíces peludas en la parte inferior y una cobertura café rojiza. Este musgo hepático crece en el empinado talud del camino.



58, 59 y 60 La hepática *Aneura pinguis* crece sobre madera en el bosque húmedo de montaña. Las plantas masculinas poseen a los lados los llamados anteridios, que contienen las células sexuales masculinas. En la sección transversal de la hepática (derecha) se observa la epidermis superior e inferior despoblada, y en la parte posterior, las células azuladas llenas de hifas en forma de lazos. En la pared exterior se asienta una diversidad de hongos, algas azules y bacterias, también coloreadas con azul. © M. Nebel

**Glosario**

**Talo:** cuerpo vegetativo multicelular, sin diferenciación morfológica.

**Folios:** cuerpos de plantas organizados en el tronco y las hojas.

## Ericáceas y orquídeas con micorrizas

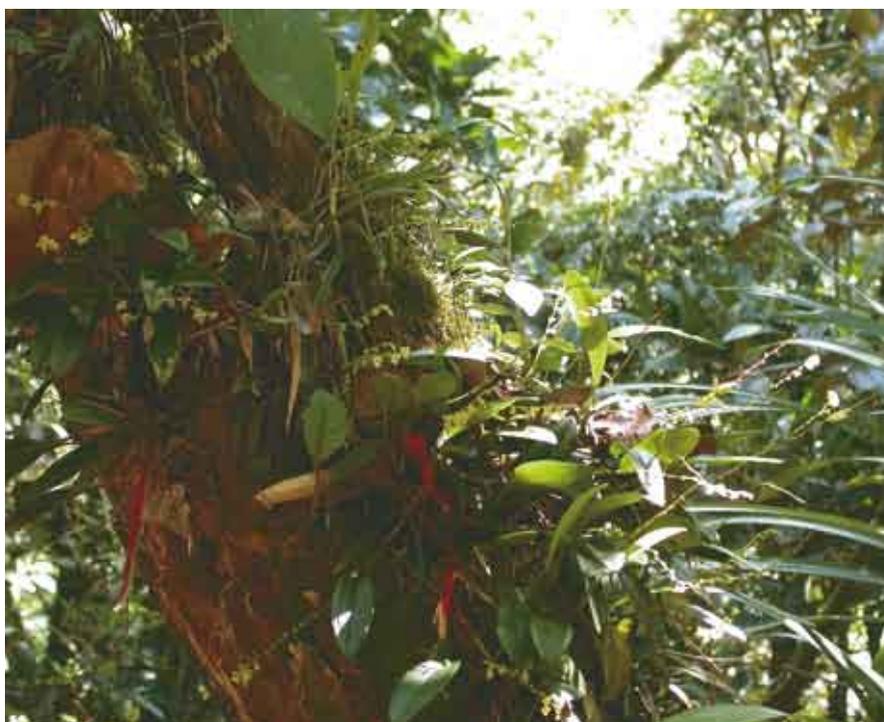
Las orquídeas y las ericáceas son plantas con flores (angiospermas), que pueden colonizar el suelo o vivir como epífitas. En sus raíces disponen de hongos que les abastecen de los nutrientes necesarios, incluso en suelos muy pobres en minerales. Al contrario de las hepáticas, las epífitas de este grupo no pueden sobrevivir sin un hongo asociado; incluso en los árboles, sobre sustratos de humus colonizados por musgos, las orquídeas cuentan con micorrizas bien desarrolladas. Todavía se conoce poco sobre esta simbiosis y tampoco se sabe sobre su papel en el ecosistema. En el Sur del Ecuador se puede encontrar muchas especies de estas dos familias características de los Neotrópicos\*, y las condiciones para su investigación en la zona de estudio son muy favorables.

Las orquídeas tienen una particularidad: sus semillas no contienen tejido alimenticio y sus brotes, al inicio, no pueden realizar fotosíntesis, debiendo ser provistas de azúcar por los hongos micorriza, que la producen a partir del material orgánico existente. Las orquídeas epífitas, especialmente ricas en especies, tienen como hongos asociados aquellos del grupo de los basidiomicetos.

El 73 % de las ericáceas neotropicales habitan en los Andes y hasta el 95 % de ellas son endémicas. Las ericáceas pueden mostrar distintas formas de micorrizas; sin embargo, existe una forma típica para las especies terrestres: la micorriza ericoide, con los ascomicetos y basidiomicetos como hongos asociados. Las hifas de estos hongos se incrustan en las células de las raíces. En el área de la Estación, los resultados de las investigaciones demuestran una alta diversidad de hongos asociados. Además, entre las ericáceas se ha encontrado un tipo de micorriza hasta ahora desconocido: forma un abrigo de hifas en la parte exterior, e internamente se encuentran hifas dentro y entre las células. Estas, llamadas ectendomycorrizas, han sido denominadas micorrizas "cavendishioide" por los investigadores, para diferenciarlas de las anteriores, ya que fueron primero encontradas en la especie *Cavendishia nobilis*. Su presencia se

### Glosario

**Neotrópicos:** Región biogeográfica de la Tierra que incluye América del Sur, Centro América y las Antillas, y que está determinada por la distribución de plantas y animales característicos.



61, 62 y 63 Orquídeas del género *Stelis* y su hábitat: en el bosque de la Estación estas orquídeas son muy comunes. Las micorrizas se encuentran solo en las partes de las raíces que están cubiertas con sustrato de humus.  
© M. Preußing





© M. Richter

64 *Ceratostema reginaldii*

restringe, interesantemente, a las especies de ericáceas andinas que crecen generalmente de forma epífita o hemiepífita. Dentro del área de investigación dominan los basidiomicetes como hongos asociados a las ericáceas, aunque los ascomicetes, también son encontrados.

Una misma especie de hongo puede formar simbiosis con diferentes especies de *ericáceas*, favoreciendo así, la conservación de la diversidad de especies emparentadas.

Además, debe existir una larga coevolución entre hongos y plantas, para que esta formidable adaptación sea posible. Entre los futuros objetivos de los científicos, aparte de la investigación de estas relaciones ecosistémicas, está la investigación del uso de hongos micorrizas en la reproducción de ericáceas y orquídeas. Con esto, los lugareños podrían obtener mejores ingresos. En la actualidad, solo pocas especies de orquídeas y de ericáceas pueden ser reproducidas con éxito, pues falta el conocimiento necesario sobre los hongos simbióticos.



© M. Richter

65 *Gaultheria reticulata*



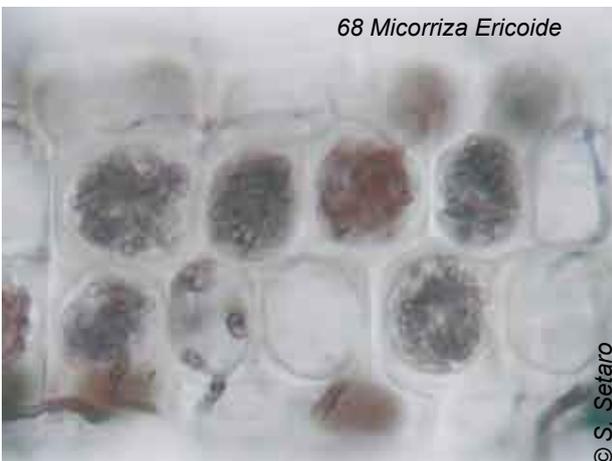
© M. Preuszling

66 *Bejaria aestuans*



67 *Micorriza Cavendishioide*

© S. Setaro



68 *Micorriza Ericoide*

© S. Setaro



© M. Richter

69 *Macleania salapa*

# Jardines colgantes – El mundo de las epifitas

No solo en el suelo, sino también a la altura de la copa de los árboles, existe una enorme riqueza de especies. Se trata de las epifitas o plantas aéreas que pueblan las copas de los árboles en los bosques tropicales, en especial en los bosques húmedos de montaña. Debido a que necesitan de mucha luz solar para su crecimiento, la cual no llega al suelo del bosque húmedo de montaña, las epifitas crecen en las ramas o en los troncos de los árboles, donde alcanzan el ambiente iluminado que necesitan. Desde el punto de vista ecológico, su forma de vida es muy interesante, porque la mayoría de epifitas, además de la luz solar, requieren también de mucha agua de lluvia y humedad del aire; por lo tanto la diversidad de especies en climas de aire húmedo es particularmente alta.

Las epifitas típicas del bosque húmedo montano en el Sur del Ecuador pertenecen a los grupos botánicos de las orquídeas, ericáceas, bromelias, helechos, líquenes y musgos. Las orquídeas son particularmente ricas en especies. Existen, sin embargo, distintos grupos ecológicos de epifitas en la zona de investigación. Un grupo se compone de plantas “especialistas” en sombra, las cuales viven en las partes bajas de los troncos de los árboles, pues prefieren localidades con climas estables y siempre húmedos. A este grupo pertenecen, entre otras, muchas representantes de la familia Araceae, begonias y helechos. Por el contrario, las especialistas en luz solar, se exponen en las copas de los árboles a condiciones extremas: altas cantidades de precipitación que se alternan rápidamente con radiación intensa o sequedad. En este grupo están muchas especies de bromelias (especialmente tillandsias), algunas de las cuales también se encuentran en los valles interandinos secos. Varias especies de epifitas crecen en lugares rocosos, donde al igual que en los árboles, tienen que sobrevivir sin suelo. La falta de un suelo firme significa, tanto para las epifitas como para otras plantas que viven en zonas rocosas, un gran reto ecológico, debido a que en estas localidades el agua y los nutrientes son escasos.

La enorme riqueza de especies de epifitas se incrementa con la altitud. En la zona de investigación, el número de especies alcanza su máximo alrededor de los 2.000 m s.n.m., mientras que la frecuencia más alta de epifitas se encuentra en el bosque enano, alrededor de los 3.000 m de altura. La lluvia y la niebla persistentes favorecen su existencia. Una alta humedad del aire no es suficiente para muchas epifitas, ya que necesitan una hidratación lo más regular posible con agua de lluvia o neblina. Algunas, incluso toman el agua directamente del aire. En el bosque enano se pueden encontrar epifitas formando múltiples niveles sobre las ramas de los árboles. Son características las cortinas de musgos que cuelgan en forma de guirnaldas y conforman, junto a los pequeños y retorcidos árboles, las formas fabulosas del bosque enano.



© A. Bräuning

70 Bosque de ceja de montaña



71 Abundancia de epifitas.

Las epifitas han desarrollado formas especiales de adaptación para ajustarse a las condiciones desfavorables de las copas de los árboles, como sequedad, alta radiación y escasez de nutrientes. Una interacción directa entre los árboles y las plantas aéreas que crecen sobre ellos, no ha sido comprobada hasta ahora. Aparentemente, las epifitas no afectan directamente a los árboles que las sostienen; sin embargo, una alta cantidad de epifitas puede llegar a ser una pesada carga para el árbol. Muchas bromelias epifitas disponen de órganos de succión para adherirse a los árboles. Otras epifitas (algunos helechos, anturios y peperomias) se enraízan en los montones de humus acumulados en las ramas.



72 *Anthurium harlingii* (Araceae) crea en la altura un “jardín colgante”. Esta planta es llamada “epifita basurero” (Trash-Basket-Epiphyt), porque forma con sus hojas un recipiente, en el cual se recoge hojarasca, que se convierte lentamente en humus.

Entre sus hojas, dispuestas en forma de roseta, las bromelias pueden coleccionar sustancias orgánicas, como la hojarasca caída y algunos nutrientes de la atmósfera, así como agua. Las raíces de otras epifitas penetran en este humus y toman los nutrientes que necesitan. Las ramas de los árboles pueden incluso estar cubiertas por una capa de humus capaz de pesar hasta cientos de toneladas por hectárea. Muchas plantas aéreas enraizadas en estos sustratos ricos en nutrientes y agua, forman los llamados “jardines colgantes” de los bosques húmedos tropicales.

La epifita basurero o “trash-basket-epiphyt” tiene una adaptación similar a las rosetas de las bromelias. Sus hojas en forma de pala, se ubican formando un cesto donde se colecciona gran cantidad de hojarasca, la misma que lentamente se transforma en humus, conservando tanto los nutrientes como el agua. Este cesto, a su vez, brinda un espacio de vida a muchos animales y microorganismos. Una sola planta puede acoger a miles de animales artrópodos. En el bosque de la Estación, varias aráceas y helechos crean este tipo de micro hábitats; por ejemplo, *Elaphoglossum nidiforme* y *Anthurium harlingii*.

La falta de un suelo que pueda acumular humedad no solamente genera escasez de nutrientes, sino que afecta también al regular abastecimiento de agua. En la zona de investigación, la frecuencia de días secos, e incluso meses pobres en lluvia, varía según la altitud. Las estrategias de adaptación a la sequía son varias. Algunas orquídeas y ericáceas desarrollan órganos especiales, como bulbos, para el almacenamiento de agua. Muchas epifitas, especialmente las orquídeas, ericáceas y las peperomias tienen hojas suculentas, mientras que algunas orquídeas y plantas del género *Arum* disponen de una estructura llamada velamen. Este es una gruesa cobertura de la raíz tipo esponja, que está hecha de tejidos muertos y sirve para una rápida absorción, almacenamiento y transferencia de agua en toda la planta. Muchas especies de epifitas superan ilesas las fases secas, ya que durante la sequía detienen su metabolismo y solo lo vuelven a activar después de una nueva hidratación. A este grupo de plantas resistentes a la desecación (poiquilohidrias), pertenecen por ejemplo, los helechos reviviscentes y los musgos. Este truco refinado, les ayuda a sobrevivir en las ocasionales fases de sequía, ya que la mayoría de estas plantas dependen de una humedad intensa y regular. Por eso se las encuentra exclusivamente en los lugares siempre húmedos de la zona de investigación.



© A. Bräuning

En el bosque de la Estación, sin embargo, la amenaza de sequía es baja, debido a la permanente lluvia orográfica. Especialmente en el área del bosque enano, un constante humedecimiento está garantizado. En general, con el aumento de la altura sobre el nivel del mar, aparecen más helechos, porque son menos sensibles al frío. Son las típicas plantas aéreas de las partes altas. Al contrario, en las partes más bajas aparecen en forma abundante plantas que necesitan calor, como las aráceas.

*73 Bromelias: es típico entre las bromelias que sus hojas, dispuestas en roseta, formen un recipiente donde se almacena agua. Aquí el agua está permanentemente disponible en la base de las hojas para la absorción a través de finas escamas y tricomas. Muchas bromelias disponen de un metabolismo especial para el ahorro de agua, el mecanismo CAM. Sus hojas suculentas fijan CO2 en la noche, para disponer de esta reserva durante el día y no tener que abrir sus estomas. Así pierden mucha menos cantidad de agua por la transpiración, al igual que los cactus. Estas estrategias son especialmente útiles en localidades periódicamente secas.*

Las epifitas pueden representar la cuarta parte o más de la flora total, en un bosque húmedo de montaña. En comparación, en los valles secos representan escasamente el 2 %.

El dosel no solamente es exuberante con respecto a la flora. Con sus hojas, flores y frutos, las plantas ofrecen una amplia gama de alimentos para muchas especies de animales, en especial para insectos y otros invertebrados. En el dosel poco accesible, existen muchas especies interesantes aún no descubiertas, como por ejemplo el sapo del género *Gastrotheca*, que habita en las bromelias al igual que otros sapos venenosos de las tierras bajas.



© A. Bräuning

*74 Gastrotheca cf. testudinea*



© J. Homeier

*75 Incluso algunas hojas pueden estar cubiertas de plantas aéreas (musgos, líquenes y algas). Se las llama Epiphyllum (epífilios).*

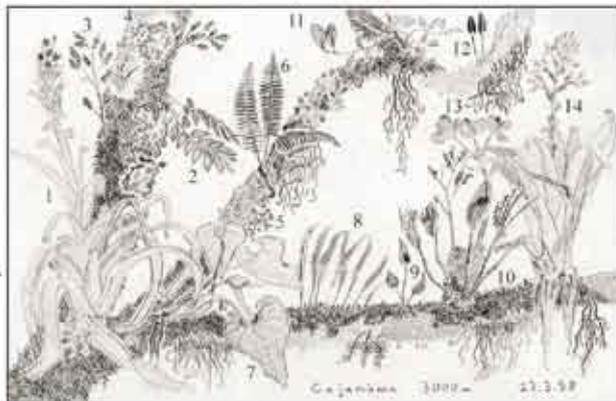
Especies:

- 1 = Tillandsia ionochroma (Bromeliac.)
- 2 = Bomarea distichifolia (Amaryllidac.)
- 3 = Pernettya prostrata (Ericacac.)
- 4 = Oxalis subintegra (Oxalidac.)
- 5 = Hymenophyllum fuscoides (Hymenophyllac.)
- 6 = Polypodium curvibasus (Polypodiac.)
- 7 = Anthurium brevicaupum (Arac.)
- 8 = Niphidium crassaifolium (Polypodiac.)
- 9 = Picumthallis spec. 5 (Orchidac.)
- 10 = Picumthallis emuliflora (Orchidac.)
- 11 = Macleania rupestris (Ericacac.)
- 12 = Elaphoglossum latifolium (Lomariopsidac.)
- 13 = Clusia elliptica (Clusiac.)
- 14 = Tillandsia stenoura (Bromeliac.)

Formas de crecimiento en todos los 5 sitios para la clasificación CA

Musgos	95%
Líquenes de corteza	5%
Helechos pinnados	3%
Helechos no pinnados	10%
Hymenophylaceae	3%
Orquídea (con bulbo)	1%
Orquídea (sin bulbo)	5%
Bromeliad (cisterna)	2%
Araceae	1%
Ericaceae	8%
otras	2%

Cobertura total = 135%



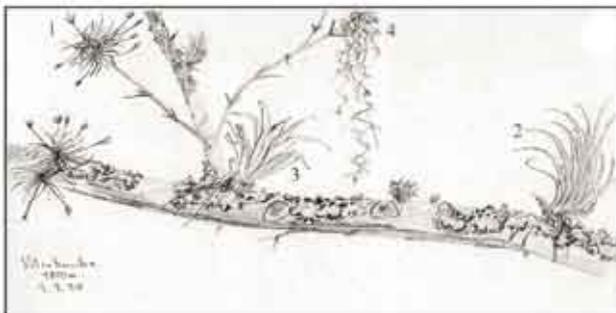
Especies:

- 1 = Tillandsia recurvata (Bromeliac.)
- 2 = Tillandsia purpurea (Bromeliac.)
- 3 = Tillandsia multiflora (Bromeliac.)
- 4 = Tillandsia usneoides (Bromeliac.)

Formas de crecimiento en todos los 5 sitios para la clasificación CA

Musgos	1%
Líquenes de corteza	60%
shrub lichens	15%
Bromeliad (cisterna)	2%
Bromeliad (hierba)	1%
Bromeliad (estrella)	3%
Bromeliad (barba)	1%

Cobertura total = 85%



© M. Richter

76 Comunidades de epifitas de dos localidades muy diversas: Cajanuma (3.000 m s.n.m., perhúmedo) y Vilcabamba (1.800 m s.n.m., semiárido). Se muestran las especies más importantes, su forma característica de crecimiento a esta altura y su grado de cobertura de las ramas. Debido a la existencia de líquenes y musgos, que son superpuestos por plantas vasculares, las epifitas aparecen en el grado de cobertura, incluso con valores mayores al 100 %. En la perhúmeda Cajanuma, llama la atención la alta cobertura de musgos así como la existencia de muchos helechos, ericáceas y orquídeas. Por el contrario, para la más seca, "semiárida" Vilcabamba, la existencia de líquenes y tillandsias es típica. Las tillandsias son especies de bromelias que procuran la luz solar; en su mayoría tienen hojas grises y tiesas, en forma de estrella. En comparación a estas, las bromelias de lugares más húmedos tienen forma de cisterna, con hojas más suaves y verdes.

77 La Tillandsia usneoides también pertenece a la familia de las bromelias y crece, incluso en los cables de electricidad y techos. No dispone de raíces y se nutre exclusivamente de la lluvia, la humedad del aire y el polvo, en los valles más templados.

78 Helecho que prefiere la humedad (Blechnum) en un tronco de árbol, emplazado sobre una capa de musgo.



© A. Bräuning



© M. Richter

79 Riqueza de epifitas. La coloración roja de las bromelias se debe a los antocianos y sirve de protección ante la alta radiación UV.



© A. Bräuning



© A. Bräuning



© M. Richter

## Diversidad de epifitas

En la actualidad son conocidas 4.000 especies de plantas vasculares epifitas en el Ecuador. Representan por lo menos el 26 % de todas las plantas vasculares del país. Este número de especies tan alto se debe en gran medida a la incontable variedad de orquídeas que aquí se encuentran. Permanentemente se descubren nuevas especies en el bosque de la Estación; solo entre las orquídeas se descubrieron 12 nuevas especies en los últimos nueve años. El número de epifitas endémicas, es decir las que habitan solamente en Ecuador, también es extraordinariamente alto, alcanzando el 36 % del total de las epifitas registradas.

No solamente las plantas vasculares, sino también los líquenes y los musgos enriquecen el mundo de las epifitas y contribuyen a la increíble diversidad del Sur del Ecuador. En una muestra de vegetación se contabilizaron, en un solo árbol, 37 especies de musgo, 78 de líquenes y 98 especies de plantas vasculares. En total, en la zona de investigación, se cuentan cerca de 500 especies de plantas vasculares epifitas, 271 líquenes y 302 musgos que viven en troncos y ramas de los árboles. Si bien la diversidad de árboles en los bosques de tierras bajas de la Amazonía alcanza los valores más altos, la diversidad de epifitas en el bosque húmedo de montaña en los Andes, es la más elevada. Esto es válido, sin embargo, solo para los bosques primarios\* no intervenidos, como la zona del Parque Nacional Podocarpus y gran parte del bosque de la Estación.

También las zonas con intervención humana han sido investigadas en el área de la Estación. En el bosque secundario\* y en los árboles aislados es característica una rápida reducción de la diversidad de epifitas, ya que no cuentan con las condiciones indispensables para su crecimiento. La excepción son los líquenes, los cuales prosperan en el bosque intervenido, e incluso en los árboles aislados. Esto se explica porque muchas especies de líquenes (también en el área del bosque primario) se especializan en ubicarse en lugares ricos en luz, y por eso están adaptadas a una intensa radiación solar. La tasa de supervivencia y reproducción de los líquenes en sitios perturbados, alcanza el 70 %; mientras que, entre los musgos, la supervivencia es de 40 %. Aparentemente la mayoría de epifitas, en especial las plantas más jóvenes, mueren tarde o temprano cuando se exponen directamente a la radiación solar y a la sequedad. Por otro lado, las múltiples estrategias que han desarrollado las epifitas para sobrevivir las fases de sequía, no pueden ayudar a la mayoría de especies fuera del bosque primario. Debido a la alta susceptibilidad ante la sequía, no solamente el avance de la deforestación, sino también el cambio climático representan una dramática amenaza para las epifitas.

80 y 81 Las orquídeas epifitas disponen de raíces aéreas con velámenes\* y de bulbos con hojas, que sirven para almacenar agua. Derecha: tillandsia en forma de estrella en una localidad semiárida.



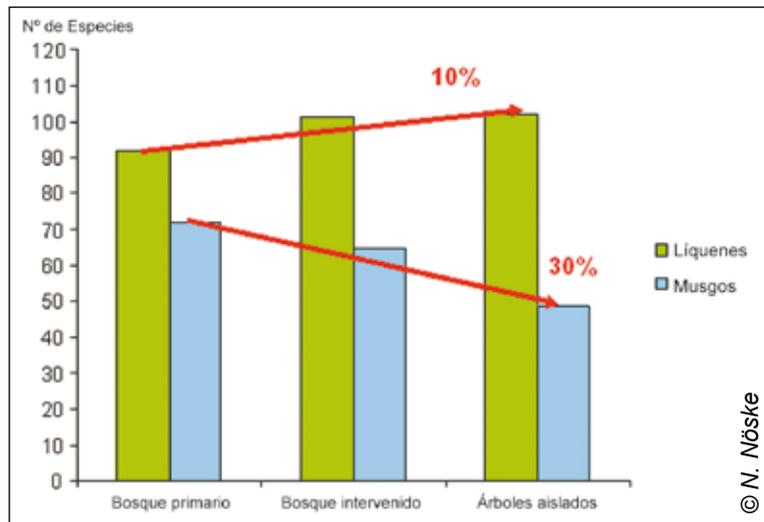
82 y 83  
Líquenes en árboles © A. Bräuning





84 Recolección de musgos y líquenes para su identificación.

© F. Werner



© N. Nöske

85 Variación del número de especies de líquenes y musgos en una gradiente de intensidad de intervención, desde un bosque primario, pasando por un bosque intervenido, hasta árboles aislados en un pastizal abandonado. La existencia de líquenes aumenta en un 10 %; por el contrario, el 30 % de las especies de musgo mueren.

**Glosario**

**Bosque primario:** bosque natural en el cual el hombre no ha intervenido.

**Bosque secundario:** bosque que crece después de una intervención en el bosque primario. Es menos denso y más pobre en especies que el bosque primario.

**Velamen radicum:** capa esponjosa de células muertas en las raíces aéreas de las orquídeas.

**Sorprendente**

La capacidad de las epifitas para almacenar agua es enorme. Algunos musgos pueden hacerlo hasta por el equivalente a 20 veces de su propio peso seco. En una hectárea de bosque húmedo de montaña, las epifitas pueden absorber hasta 200.000 litros de agua.

**Esponjas gigantes en el bosque húmedo de montaña**

La abundancia de musgos, así como la presencia de una gruesa capa de humus en la copa de los árboles y en muchas de sus ramas, juega un papel fundamental en el bosque húmedo de montaña. Grandes cantidades de agua de lluvia son absorbidas y almacenadas por estas esponjas gigantes y, como consecuencia, una gran porción de las precipitaciones permanece en la copa o se evapora desde allí hacia la atmósfera. Se estima que unos 200.000 litros de agua son almacenados en cada hectárea del bosque de la Estación. La mayoría de esta agua es absorbida por musgos epifitos, los que pueden retener hasta 20 veces su peso seco. Esta altísima capacidad de almacenamiento de agua, impide el rápido flujo de la lluvia hacia los valles y disminuye notablemente la escorrentía superficial. El peligro de inundaciones después de lluvias intensas, se reduce de igual manera, así como la erosión masiva que, de lo contrario, sería mayor en la zona.

No solamente los musgos, sino también sus hongos asociados, juegan un rol importante en la protección contra la erosión. El 90 % de los hongos micorrizas de las plantas verdes, y entre éstas también de las hepáticas, pertenecen a los glomales (Zygomycota, hongos con micorrizas arbusculares), los cuales secretan una sustancia llamada glomalina. Este material pegajoso mantiene a las partículas del suelo unidas a los órganos vegetales, produciendo un efecto reductor de la erosión. El conocimiento sobre la glomalina y sus efectos, es una medida promisoría de protección contra la erosión. Taludes desprotegidos y amenazados por la erosión, podrían ser sembrados con musgos que hayan sido inoculados con hongos micorrizas, mejorando así su estabilidad.

Con el agua, las epifitas del bosque húmedo de montaña también almacenan grandes cantidades de nutrientes. Se acumulan en las mismas plantas y en el humus de las copas, y desde allí pasan al suelo a través de la escorrentía del tronco y la caída ocasional. Esto demuestra que las plantas aéreas no solamente influyen de manera positiva en el balance hídrico de las estribaciones de los Andes, sino que además son útiles como “despensas” de nutrientes dentro del sistema.

Debido a que las epifitas son muy sensibles a los cambios de la estructura del bosque y del clima, su existencia está altamente amenazada, y su desaparición podría tener consecuencias muy negativas en toda la región.



© A. Bräuning



© Estera Herrera



© U. Soltau



© F. Werner



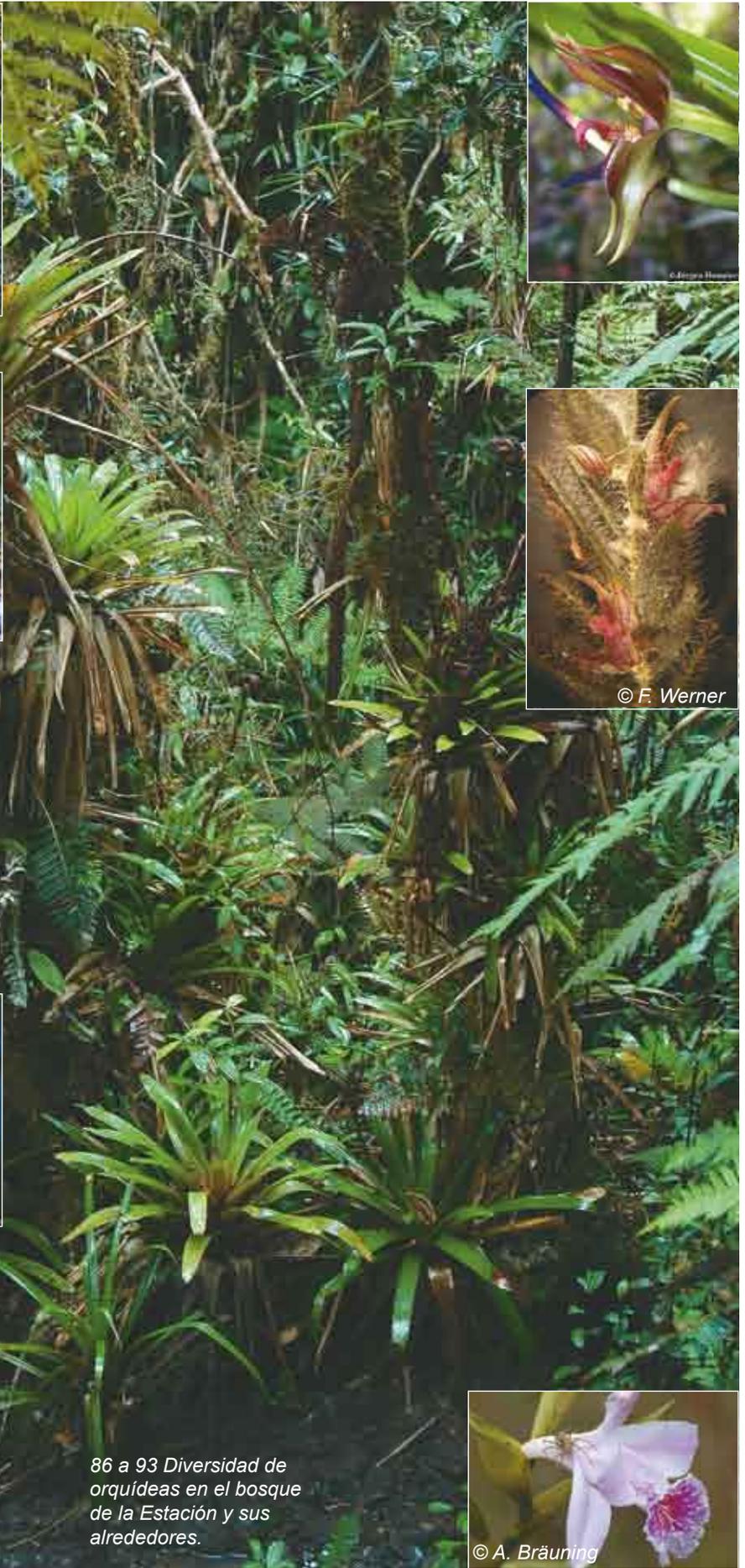
© A. Bräuning



© H. Schmal



© A. Bräuning



86 a 93 Diversidad de orquídeas en el bosque de la Estación y sus alrededores.



© A. Bräuning



94 y 95 Los saltamontes son abundantes en especies y muchos de ellos disponen de mimetismo. © J. Homeier



96 Colibrí y planta alimentadora: en esta interacción el colibrí obtiene el néctar en el fondo del largo tubo de la flor, y al mismo tiempo, ayuda a la planta a su reproducción a través de la polinización.

### Glosario

**Mimetismo:** camuflaje de los animales que les permite esconderse de los predadores, imitando las formas y colores de su ambiente.

## Reproducción de plantas y animales

Los Andes del Sur del Ecuador también mantienen una alta diversidad en algunos grupos de animales. Esto no es una sorpresa, considerando la variada oferta de alimento que existe para la fauna en el bosque húmedo de montaña. Esta oferta alimenticia se compone de hojas, frutos, flores, néctar, polen y raíces de plantas. Los investigadores han centrado su atención especialmente en los insectos, pájaros y murciélagos.

Los resultados confirman la altísima diversidad de ciertos grupos de animales. Por ejemplo, solamente en el área de investigación, entre los 1.000 y 3.400 m s.n.m. se encuentran 100 especies de saltamontes de la familia Tettigoniidae (long-horned grasshoppers). De ellas, aproximadamente la mitad, fueron identificadas como nuevas especies para la ciencia. Algunos de estos insectos tienen atributos especiales de camuflaje, imitando distintos tipos de hojas, ramas e incluso líquenes, con formas hasta ahora desconocidas. Este mimetismo\* hace muy difícil encontrar a estos saltamontes, por lo que se sospecha que aún hay muchas especies por conocer.

La riqueza de especies de fauna, sin embargo, no es un fenómeno general en el bosque húmedo de montaña. En algunos grupos de animales como las mariposas y los saltamontes la diversidad impone un record mundial, pero en otros grupos, sucede todo lo contrario. Por ejemplo, los investigadores han observado que el número de especies de hormigas del bosque húmedo montano es muy pobre, a diferencia de lo que ocurre en el bosque húmedo tropical de tierras bajas.

Entre las numerosas especies de animales y plantas, existen por lo general adaptaciones que son el producto de una larga evolución conjunta o coevolución. Mediante estas adaptaciones mutuas se produce un sinnúmero de interdependencias. Por ejemplo, han aparecido algunos animales especializados en cierto tipo de alimentos, los que en compensación ayudan a sus plantas proveedoras en la reproducción y dispersión. Una exitosa propagación es un prerequisite para la reproducción de las plantas y, con ello, el mantenimiento de la vegetación natural del bosque. Las interacciones entre animales y plantas son, por lo tanto, uno de los puntos principales en la investigación del ecosistema del bosque húmedo de montaña.

Existen diversas formas de propagación. Muchas plantas se dispersan a través de sus semillas. Primero, estas son consumidas por los animales, luego expulsadas a través del excremento, y así ampliamente propagadas. Otras semillas provistas de cuerpos volátiles son dispersadas por el viento.

La mayoría de las plantas son polinizadas por animales, debido a que los insectos, murciélagos o pájaros transportan el polen de una planta a otra. En este tipo de interacciones entre plantas y animales, se conocen co-adaptaciones extremadamente especializadas. En el sotobosque de este ecosistema, en el Sur del Ecuador, se determinó que entre el 50 y 60 % de todas las especies de plantas son polinizadas por insectos, del 10 al 30 % por pájaros, y solamente una o dos especies por el viento.

Varias flores llaman la atención por su coloración radiante, su forma extraña o su fuerte olor. Estas características les sirven como atractivo para los animales que polinizan sus flores. Los colibríes, por ejemplo, ven solamente flores rojas, amarillas y azules. Por eso, todas las plantas que son polinizadas por colibríes florecen solamente con estos colores. Además, estas plantas especialistas en colibríes disponen de largas flores tubulares. El néctar que se encuentra en el fondo de la flor, solamente puede ser succionado por aquellos con ayuda de su largo pico; otros pájaros no pueden alcanzar esta valiosa comida exclusiva para los colibríes.

De forma similar, las mariposas absorben el néctar de flores tubulares, también usando su larga probóscide. Las mariposas nocturnas se especializan en flores que se abren durante la noche y que disponen de un color claro y un aroma intenso. Con estas atractivas señales, las mariposas encuentran su alimento, mientras el polen, que queda espolvoreado en su cuerpo, es transportado de una flor a la siguiente.



*97 Ditassa andersonii es la representante más frecuente de la familia de las Apocynaceae en el bosque de la Estación. Esta planta trepadora, relativamente robusta, con pequeñas flores, es visitada por una serie de moscas y pequeñas abejas. Lo interesante es que durante la polinización no se transportan granos de polen individuales, sino paquetes de polen de una flor a otra. Esta peculiar acción funciona mediante un mecanismo muy complejo, y el número de especies de insectos que espolvorean el polen es relativamente bajo (cuatro especies), por lo que una fecundación exitosa ocurre raramente. Sin embargo, esto es suficiente para una excepcional y efectiva reproducción, debido a que un paquete de polen puede contener varios cientos de granos.*

*98 Seminamisia speciosa (Ericaceae) es polinizada por colibríes.*



#### **Sorprendente**

Más de 1.200 especies de mariposas nocturnas han sido identificadas en el bosque de la Estación. En comparación, en toda Europa hay solamente 900 especies conocidas.

## **Incontables especies de mariposas**

Solamente en el bosque de la Estación se han registrado 1.200 especies de mariposas nocturnas, también llamadas polillas, de la familia Geometridae. Esto equivale a por lo menos 300 especies más que en toda Europa y casi tres veces más que las que se encuentran en Alemania. Se trata de un récord de diversidad, que hasta ahora no ha sido superado en ningún otro lugar del mundo. Muchas de estas mariposas no tienen un nombre todavía, debido a que eran desconocidas para la ciencia. Alrededor de un tercio de las mariposas encontradas pertenece a nuevas especies descubiertas por los investigadores de la Estación.

Las mariposas nocturnas son atrapadas en la noche con la ayuda de trampas de luz. Son atraídas por la luz ultravioleta y después recogidas con la mano. La identificación de su especie y varias otras preguntas, han sido investigadas por los científicos: ¿Cuál es la causa de esta excepcional diversidad de especies? ¿Varía con la altitud? ¿Cuántas especies endémicas se encuentran en el Sur del Ecuador?. Sin embargo, incluso los expertos aún no han podido contestar muchas de estas interrogantes.

Los resultados obtenidos hasta ahora demuestran que, generalmente, las mariposas menos coloreadas y pequeñas de la familia Geometridae, presentan mayor densidad poblacional en el bosque húmedo de montaña que en las tierras bajas. La razón de esto es presumiblemente porque en lugares más altos existen menos depredadores. Adicionalmente, la existencia de diversos hábitats en espacios relativamente reducidos, promueve el desarrollo de nuevas especies de Geometridae. En las partes bajas de las estribaciones de los Andes del Sur del Ecuador existen, aparte del bosque natural, muchas superficies intervenidas, como matorrales o bosques secundarios jóvenes. A las mariposas de la familia Arctiidae, también nocturnas, les gusta habitar en estas zonas intervenidas, siempre y cuando estén cercanas a bosques primarios. La diversidad de estas mariposas nocturnas, tolerantes a intervenciones, es más alta en áreas perturbadas que en el bosque primario.



© G. Brehm

99 La luz ultravioleta de las trampas de luz atrae a los insectos nocturnos y estos quedan atrapados. Los insectos son colectados a mano para su estudio posterior.



© G. Brehm

Antes los científicos asumían que las epífitas eran una fuente de alimento para muchos insectos y polillas nocturnas. También se creía que estos animales estaban altamente especializados en cierto tipo de alimento. Estas hipótesis no se han confirmado para las polillas Geometridae del Sur del Ecuador. En lugar de las epífitas, estas polillas prefieren las plantas leñosas. Tampoco se ha podido comprobar un alto grado de especialización, ya que sus orugas se alimentan de diferentes especies leñosas y no solamente de un árbol en particular.

El número de especies de muchos grupos de animales en general, decrece con la altura; esta regla sin embargo, no ha podido verificarse entre las polillas nocturnas en el Sur del Ecuador. Entre 1.000 y 2.700 m s.n.m. no se ha comprobado una disminución en la diversidad de las polillas nocturnas, en el área de investigación. La disminución de la diversidad de plantas, y con esto, de la diversidad de alimentos, así como las complicadas condiciones del ambiente de altura, aparentemente no tienen influencia en la diversidad de polillas nocturnas. Lo que si se ha comprobado, es un cambio en las especies existentes. Esto significa que en diferentes alturas, habitan diferentes especies de mariposas nocturnas.

Es interesante observar que el número de mariposas nocturnas endémicas se incrementa con la altitud, por lo que es fundamental conservar estas especies de polillas para proteger la biodiversidad en su conjunto, ya que si estas especies desaparecen de este lugar, se extinguen de toda la Tierra.

100 Mimetismo en una mariposa Arctiidae.

101 Diez polillas nocturnas del Sur del Ecuador: *Herbita zarina* (Dognin), *Eupithecia* sp. (*penicilla* Dognin), *Bryoptera basisignata* (Warren), *Ischnopteris brehmi* (Pitkin), *Pantherodes conglomerata* (Warren), *Callipia parrhasiata* (Guenée), *Rhodochlora roseipalpis* (Felder & Rogenhofer), *Melanolophia reducta meridiana* (Rindge), *Eois* sp. (*dorisaria* Schaus), *Pityeja histrionaria* (Herrich-Schäffer).



© G. Brehm

## Los útiles murciélagos

En todo el planeta se conocen aproximadamente 1.000 especies de murciélagos; en Ecuador, alrededor de 130. Estos conforman el segundo grupo más grande de mamíferos después de los roedores y son los únicos mamíferos voladores. Su actividad nocturna los hace especialmente interesantes. Usan la ecolocalización\* para su orientación, pero no son ciegos.

Los murciélagos juegan un papel muy importante en el ecosistema del bosque húmedo tropical de montaña. Los investigadores han puesto especial atención en ellos, debido a que frecuentemente, son exterminados por el hombre. Existe el prejuicio de que los murciélagos solo ocasionan daños, pero en realidad la mayoría de especies cumplen un papel muy importante: al igual que los pájaros polinizan flores y diseminan semillas. Muchas especies de murciélagos se especializan en comer cierta clase de alimento, como los comedores de insectos, los de frutas, de néctar, de carne y los chupadores de sangre. Sólo estos últimos significan un peligro potencial para el ser humano y para el ganado. En el Sur del Ecuador sin embargo, todas las especies de murciélagos son llamadas “vampiros”, un término que sólo debería referirse a los chupadores de sangre, ya que únicamente éstos se alimentan de esta forma.

Al contrario de los vampiros, los murciélagos que interactúan con las plantas son muy útiles. Los bebedores de néctar polinizan las flores que los alimentan, y a largo plazo, mantienen con estas plantas una evolución conjunta, adaptándose mutuamente. La polinización y reproducción de estas plantas no es posible sin los altamente especializados murciélagos. En este caso, la planta y el animal se encuentran en una relación “llave-candado”, es decir, interdependientes el uno del otro. Así de intensa es también la dependencia entre plantas y murciélagos que comen frutos. Si los frutos no fuesen comidos por estos murciélagos especializados, las semillas no podrían ser excretadas, ni tampoco ser diseminadas. No habría reproducción de las plantas y estas no podrían repoblar las áreas abiertas o los claros del bosque.

### **Glosario:**

**Mimetismo:** imitación de un patrón de formas o colores que aparecen en la naturaleza, como un mecanismo de defensa de los animales y de las plantas.

**Ecolocación:** cálculo de la distancia de un objeto, a partir del tiempo que tarda en devolver una onda acústica reflejada en él.

## Mimetismo entre las plantas

Las plantas están en peligro permanente de ser comidas por los animales, y en algunos casos sin ningún beneficio a cambio. Para protegerse de esto, muchas plantas han adoptado un mecanismo de defensa llamado mimetismo. Este concepto se refiere a la imitación de un patrón de formas o colores que se encuentran en su ambiente, adoptado para no llamar la atención y esconderse de los predadores. Esta estrategia se observa tanto en plantas como en animales.



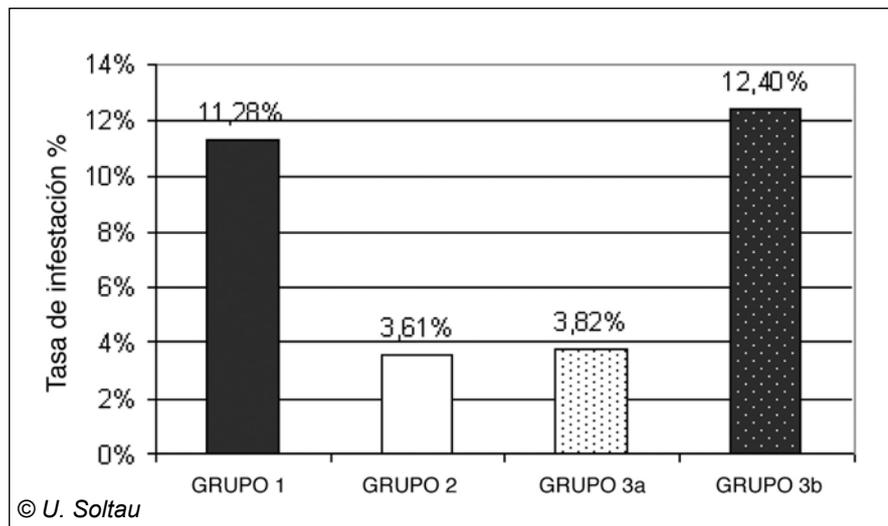
102-104 Especies de murciélagos en el bosque de la Estación: *Artibeus phaeotis* (comedor de frutos), *Histiotus montanus* (comedor de insectos), *Anoura geoffroyi* (bebedor de néctar) © F. Matt

Los investigadores se dieron cuenta de que la *Calladium steudneriifolium*, una planta del sotobosque de la familia de las *Araceae*, extrañamente tiene dos tipos de hojas: por un lado, hojas verdes sin un patrón definido, y por otro, hojas dotadas de manchas blancas (variegación). No se ha podido establecer que la disponibilidad de luz esté relacionada con la aparición de este patrón. Más bien, se ha observado que ambos tipos de hojas, en especial las hojas verdes, son afectadas regularmente por una polilla. Sus larvas comen las venas claramente visibles en las hojas, dejando manchas que se asemejan a la variegación.

Después de un análisis exhaustivo de varios cientos de hojas, se pudo determinar que las hojas verdes sin manchas, son más frecuentemente comidas por las larvas de las polillas, que aquellas con patrón de manchas. Así, se supuso que la variegación es un mecanismo de defensa eficiente de la planta, y que debido a esto, las polillas no atacan a ese tipo de hojas. Mediante esta variegación, las hojas fingen una infestación existente, y de esta manera, las polillas son disuadidas de afectar una hoja ya "ocupada". Los investigadores han podido confirmar esta sospecha con experimentos y han descubierto con ello, una forma de mimetismo poco conocida entre las plantas.



105-107 Primera hoja: hoja completamente verde de *Calladium steudneriifolium*; hoja del centro: hoja con variegación natural, es decir, dotada de mimetismo; tercera hoja: hoja afectada por la polilla. © U. Soltau

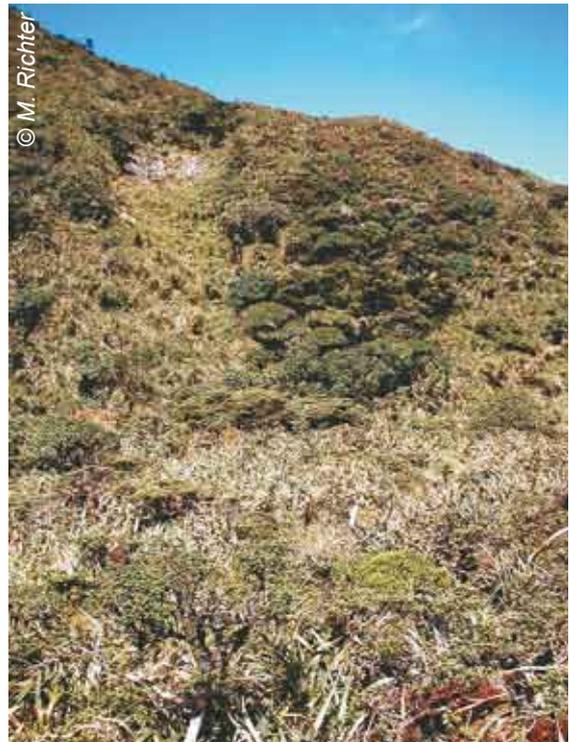


108 Tasas de infestación de las larvas de la polilla en cuatro grupos de hojas: 1. hoja verde; 2. hoja con variegación; 3a. hoja verde pintada con líquido corrector blanco, variegación artificial; 3b. hoja verde con líquido corrector transparente (para el control, para conocer si el olor u otras características del químico influyen en la infestación de la polilla). Los valores indican una alta infestación de las hojas verdes y una baja infestación de las hojas con variegación natural. Las hojas con variegación artificial muestran infestación poco frecuente, comparable con las variegadas naturalmente. Las hojas tratadas con el líquido transparente tienen una tasa de infestación similar a la de las hojas verdes, lo que indica que este líquido corrector es apropiado para la investigación porque no tiene efectos secundarios. Los resultados resaltan que la variegación es efectivamente la responsable de una tasa de infestación menor. Con este mimetismo se protegen las hojas exitosamente del ataque de larvas de polillas.

# En las alturas del páramo

## El límite del bosque y la abundancia de especies

En los andes del Norte, aproximadamente entre los 3.200 y los 3.400 m s.n.m. se encuentra el límite del bosque y con él, la transición entre el bosque húmedo de montaña y el páramo. En comparación con el resto de los Andes, el límite altitudinal para la distribución de los árboles en el Sur del Ecuador, es relativamente más bajo. ¿Cuál es la causa de esto? ¿Por qué no crecen los árboles en las partes altas de los Andes del Sur del Ecuador?. En otras áreas de los Andes son los árboles de *Polylepis* aquellos que se localizan y distribuyen a mayor altura; sin embargo, en la zona de investigación no sucede esto, con excepción de pequeños manchones aislados de *Polylepis weberbaueri* y *Polylepis incana*, que se encuentran en lugares más secos y protegidos. Los investigadores sospechan que esta distribución obedece al clima extremo de la zona. La alta precipitación pluvial permite únicamente el crecimiento de especies que requieren de mucha humedad. En otras partes altas de los Andes, al sur y al norte, no se encuentran tales cantidades extremas de lluvia, y por ello, allí es posible la difusión de especies arbóreas resistentes al frío como el *Polylepis*.

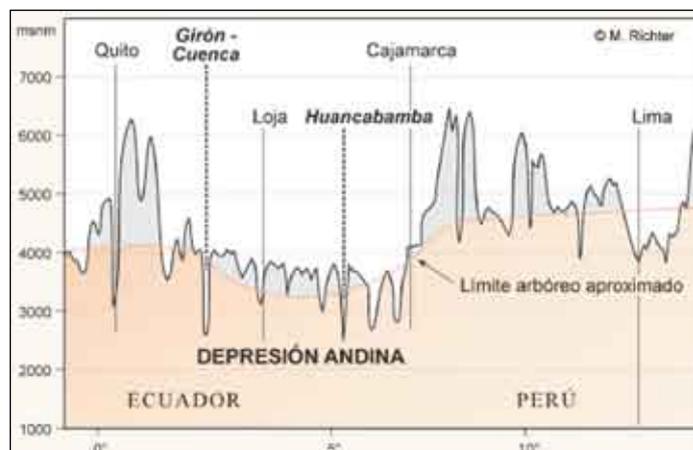


109 Límite del bosque en la Cordillera Real, en el Sur del Ecuador.

A pesar de que aquí solamente crecen pocos árboles, existen muy diversos hábitats en estas altitudes inhóspitas, desde la perspectiva humana. Una mezcla de bosque achaparrado cubierto de musgo, bosques enanos impenetrables, áreas de bambúes, así como arbustos y herbazales del páramo, originan una impresionante abundancia de especies, ante la cual se fascinan incluso, los investigadores más experimentados. Hay que considerar que aquí dominan vientos de tormenta, con velocidades de 50 a 80 km/h y una precipitación entre 4.000 hasta 8.000 mm anuales, factores que no son especialmente amigables para el crecimiento de las plantas.

Precisamente, estas condiciones climáticas adversas fomentan la diversidad de las plantas, provocando que ninguna especie pueda dominar a la competencia. Las plantas también son influenciadas en estas alturas por perturbaciones naturales, como deslizamientos, y esporádicamente, por incendios. Esto provoca un mosaico de diferentes estadios de sucesión en la cobertura vegetal. Por otro lado, la alta complejidad climática fomenta la diversidad de especies, ya que en las partes altas existen variaciones extremas en cortas distancias. Adicionalmente, en esta área se encuentra la frontera entre los flancos oriental y occidental de la Cordillera, y con ello, dos regímenes climáticos totalmente diferentes.

110 La depresión andina: no solamente el límite arbóreo es más bajo en el Sur del Ecuador, sino también la cordillera alcanza alturas menores. Los picos más altos en esta zona llegan a los 3.800 m s.n.m. y el límite arbóreo se encuentra alrededor de los 3.200 m s.n.m..





111-113 Formaciones de vegetación típicas en el límite altitudinal del bosque, en el área del subpáramo. © M. Richter

## El Páramo

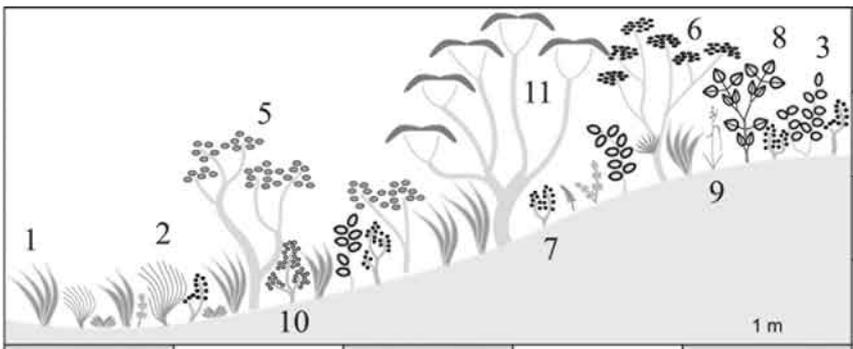
Por sobre el límite del bosque en el área de investigación, crece una variada mezcla de herbazales, almohadillas, helechos, rosetas y arbustos, y en sitios protegidos, pequeñas agrupaciones boscosas. Esta es la transición a la vegetación típica de alta montaña en los trópicos, conocida como Páramo en la parte norte de América del Sur. Los páramos son áreas abiertas en las altas montañas tropicales, dominadas por paisajes de herbazales llamados pajonales, que



están compuestos principalmente por hierbas en penachos. Debido a que el Sur del Ecuador se encuentra justo en la zona de transición entre el Páramo del Norte y la Puna más seca y fría en Perú, aparecen aquí elementos de ambas formaciones. En el Norte peruano, a este tipo de vegetación se lo denomina con el término regional de "Jalca".

Tradicionalmente el Páramo se divide en tres secciones: el nivel más bajo es conocido como subpáramo y consiste en una mezcla entre matorrales y herbazales; es en realidad la transición entre el bosque húmedo de montaña y el piso herbáceo. Después aparece el páramo de pajonales, el páramo propiamente dicho, donde domina una cobertura herbácea cerrada, en la cual también se observan rosetas, almohadillas y helechos. Después siguen las áreas más altas del superpáramo; aquí se encuentran núcleos de vegetación compuestos por hierbas, hierbas en penacho, pequeños arbustos y líquenes.

Debido a la poca altura que alcanzan las cimas en el Sur del Ecuador, aquí no se encuentra la típica división del páramo, en tres pisos. En las partes más altas del Parque Nacional Podocarpus, por sobre el límite del bosque en la Cordillera Real, se encuentra el nivel más bajo del páramo. Se trata del subpáramo, en el cual, aparte de los herbazales, aparecen arbustos y árboles de bajo tamaño. Se dice que es característico del Sur del Ecuador. Debido a su localización aislada y a las fuertes pendientes rocosas, es de difícil acceso para las personas, por lo que no ha sido utilizado. Hoy pertenece al Parque Nacional y se encuentra protegido.



- 114 Vegetación de páramo:
- 1 *Neurolepis elata*;
  - 2 *Calamagrostis macroyhylla*;
  - 3 *Macleania rupestris*;
  - 5 *Gynoxis cf. Wicochensis*;
  - 6 *Hedyosmum cumbalense*;
  - 7 *Pernettya prostrata*;
  - 8 *Graffenrieda harlingii*;
  - 9 *Rhynchospora vulcani*;
  - 10 *Gaultheria strigosa*;
  - 11 *Hesperomeles obtusifolia*.



115 Subpáramo.



116 Valeriana y Puya (Bromeliaceae).

Al Norte del Parque Nacional Podocarpus se extiende una zona de páramo de pajonal, en las partes altas de la Cordillera de Saraguro. La vegetación aquí, consiste casi exclusivamente de hierbas en penacho, presumiblemente debido a los frecuentes incendios. Esta es un área de asentamiento importante para el pueblo indígena Saraguro, que practica la ganadería, y que, a través de incendios, mantiene y amplía sus áreas de pastoreo. El fuego y el pastoreo impulsan la expansión de las hierbas en penacho, así como de las rosetas y de los helechos. Esta puede ser la explicación de la aparición repentina de vegetación de páramo de pajonal, por sobre el límite del bosque, sin una zona de transición.

Desde el punto de vista ecológico, en el páramo es característica la poca disponibilidad de nutrientes. Esto no es sorprendente, si se considera el frío de las partes altas y el consiguiente retardo en la actividad biológica. También debido al frío en la parte alta de la Cordillera Real, son características muchas plantas de raíces epigeas. Las raíces de estas plantas se expanden a poca profundidad, de manera horizontal sobre el suelo, así, aprovechan el calor de suelo superficial que durante el día proporciona el sol.

Las plantas del piso del páramo en la Cordillera Real del Sur del Ecuador, demuestran una serie de adaptaciones a las condiciones climáticas extremas, especialmente al frío y a la alta radiación ultravioleta. Las *Espeletia* (familia *Asteraceae*), helechos y especies de Puya (familia *Bromeliaceae*) forman, en algunos casos, unos troncos altos que facilitan un mayor calentamiento de la superficie del suelo, al permitir el acceso de los rayos de sol a la superficie que cubre las raíces. Sin embargo, la mayoría de plantas del páramo en el área de investigación no tiene troncos. Las rosetas herbáceas están especialmente diseminadas; con su alta capacidad de retención de calor y su aislamiento térmico, están adaptadas a las condiciones extremas. Debido a que su capacidad de retención de agua es cohibida por las bajas temperaturas, estas plantas se caracterizan por tener hojas duras y suculentas. Como medio de protección frente a posibles depredadores, las plantas de Puya tienen espinos. Muchas especies de plantas disponen de hojas e inflorescencias lanudas para protegerse, tanto del frío como de la alta radiación y de la evaporación.

La mayoría de estas plantas se han adaptado a las poco amigables condiciones climáticas, y también a los impactos de las actividades humanas como las quemadas. El crecimiento de las plantas es incluso incentivado por el fuego, por lo que después de un incendio, éstas renacen rápidamente en las praderas. Se trata generalmente de áreas ganaderas, las cuales son invadidas por helechos y bromelias que se encuentran tanto en las alturas del páramo, como en las partes bajas de la Cordillera, causando problemas a los agricultores en la mantención de sus pastizales.



117 Bromelias.



118 Helecho arbóreo (fam. Blechnaceae).

© A. Bräuning



*Puya* (Bromeliaceae)



*Ranunculus* sp.



*Weinmannia* sp.



Melastomataceae



*Brachyotum* (Melastomataceae)



*Centropogon* (Campanulaceae)



*Pachyphyllum* sp.  
(Orchidaceae)



Valeriana



*Nertera depressa* (Rubiaceae)



Hypericum

# Génesis del paisaje y de la vegetación - Una larga historia

El ecosistema y el paisaje de la actualidad, no son solo el resultado de las condiciones climáticas actuales, sino también de los cambios climáticos de larga trayectoria. Se trata de un desarrollo de miles de años que ha dejado varias huellas. Estas huellas, como por ejemplo las obvias formas glaciales de la era del hielo (Pleistoceno), son testigos de una antigua glaciación en las alturas. En el hemisferio Norte se produjo hace aproximadamente 2,6 millones de años, un cambio climático que también afectó al clima en el Sur del Ecuador, haciéndolo relativamente más frío y seco. Durante los últimos dos millones de años ocurrieron repetidamente cambios entre las fases frías y templadas. La última fase de glaciación terminó hace aproximadamente 15.000 años. En algunos períodos fríos, la superficie cubierta por glaciares en la parte Norte de los Andes aumentó notablemente, pero siempre se limitó a las partes más altas. Por sobre los 2.800 m s.n.m. aproximadamente, se formaron glaciares durante la era del hielo, y debajo de estos, se extendieron los demás pisos de vegetación en altitudes un poco más bajas que las actuales.

## Testigos de glaciaciones

*129 Las lagunas del Compadre son lagunas en circos glaciares\*. Se formaron luego del derretimiento de los glaciares de la era del hielo. El valle en forma de hondonada en la foto, estaba cubierto por un glaciar durante la era del hielo. Al fondo, se eleva la pared del circo glaciar (la parte posterior del antiguo glaciar). No en todos los circos glaciares se formaron lagos; en la actualidad, en algunas hondonadas se encuentran solo suelos pantanosos muy húmedos, que han quedado como testigos de los antiguos glaciares.*



*130 Los valles glaciares en forma de U, también llamados artesas glaciales\*, fueron formados por el desplazamiento de glaciares.*



*131 La delgada arista y los valles fluviales\* (en forma de V) de ambos lados en la parte anterior, da cuenta de que a esta altura (alrededor de los 3.000 m s.n.m.) no existió glaciación alguna. Los glaciares se expandieron en partes más altas. Los valles fluviales se formaron a través de la erosión fluvial. Por el contrario los glaciares han formado artesas o valles en forma de U.*



### **Glosario**

**Circo glaciar:** pared redondeada, como una bandeja, en una empinada pendiente. Punto de origen de un glaciar.

**Pantano:** Suelo lodoso con ancha capa orgánica que es influenciado constantemente por agua freática.

**Artesa o valle glaciar:** valle en forma de U originado por el deslizamiento de un glaciar.

**Valle fluvial:** valle en forma de V originado por la erosión profunda causada por un río.



132 y 133 Pirámides de tierra al norte de Yangana: el material de origen son derrubios, fácilmente confundibles con material de morrenas (sedimentos transportados y acumulados por los glaciares), pero las morrenas no son estratificadas. Aquí sin embargo, se reconocen estratos por lo que no puede tratarse de una morrena. Estas formas bizarras aparecieron a través del modelado de bloques rocosos más grandes, por la lluvia y el viento. Cuando las llamadas rocas protectoras caen, la denudación del material suelto se hace rápidamente. © M. Richter

## Historia del clima y del paisaje

La vegetación del páramo primigenio se formó durante el surgimiento de la cordillera, y fue en un principio, muy pobre en especies. En ese entonces no había ninguna adaptación específica de las plantas a las condiciones de altura. Durante las eras del hielo del Pleistoceno, de los últimos 2,6 millones de años, las oscilaciones de temperatura entre fases frías y templadas, originaron un repetido desplazamiento de la distribución altitudinal de las zonas de vegetación. Durante las épocas frías, las plantas sensibles al frío se desplazaban hacia alturas menores, expandiéndose sobre los grandes valles y crestas bajas. Con el aumento de la temperatura y la llegada de un período más caliente, las plantas se trasladaban otra vez desde los sitios secos más bajos, hacia lugares más altos de los flancos de la cordillera. Así, se establecieron pequeñas y aisladas extensiones de plantas que buscan el frío. De esta alternancia entre el intercambio genético de las poblaciones de plantas y el aislamiento, se produjo la diversificación de especies. Después de la formación del puente terrestre centroamericano, alrededor de 1,1 millones de años atrás, se facilitó una emigración adicional de plantas desde el hemisferio Norte hacia América del Sur. De este modo, las plantas resistentes al frío del Norte, pudieron llegar a los Andes tropicales, y después de una evolución conjunta con las plantas locales, enriquecieron la diversidad de especies en esta zona.

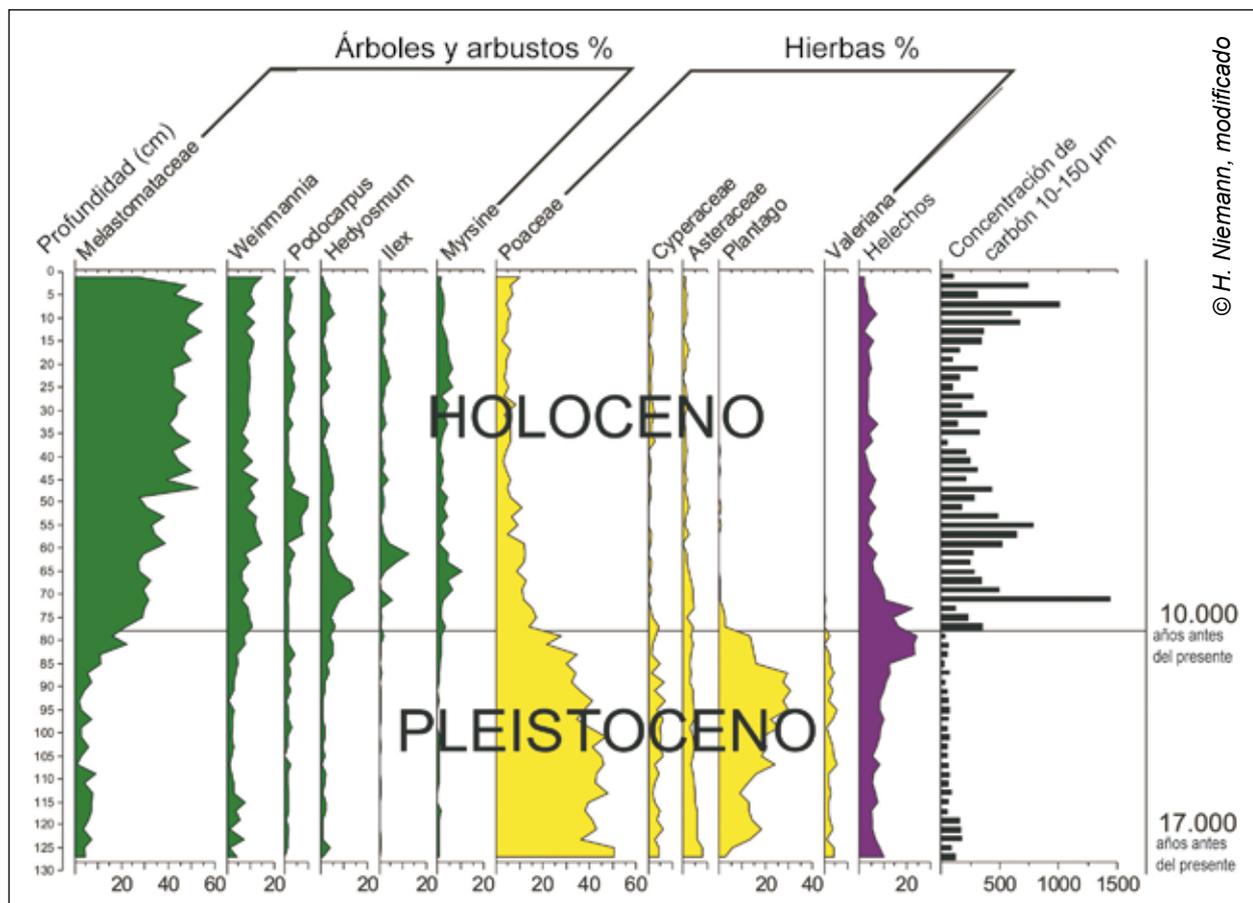
La formación de un bosque húmedo de montaña comparable al actual, empezó hace cerca de 7.000 años, cuando existía ya una alta diversidad de especies, sólo que distribuida de otra forma. Una clara influencia del hombre sobre el bosque ha sido ya comprobada, desde hace aproximadamente 7.000 años. Los científicos incluso han descubierto que la agricultura ya se había difundido, y que desde entonces, ha ido siempre incrementándose.

El ascenso de los pisos de vegetación empezó durante el período glacial tardío. Debido a que los glaciares alto andinos se siguen derritiendo rápidamente, se puede incluso hablar de un ascenso actual de los pisos de vegetación en el Ecuador. De esto también resulta el reciente desplazamiento del límite de la agricultura hacia las partes más altas.

Iniciando hace	Período Geológico	
11.500	Holoceno	
ca. 15.000	Glacial tardío	Pleistoceno/ Era del Hielo (Alternancia de etapas frías y cálidas)
2,6 Millones	Glacial	
65 Millones	Terciario	
250 Millones	Mesozoico	
570 Millones	Paleozoico	

134 Tabla de tiempo

Un grupo de científicos investiga la historia de la vegetación, del clima y de las quemas en el Sur del Ecuador. Su trabajo se desarrolla de la siguiente manera: con barras de perforación toman muestras de suelo en lugares escogidos, incluso en los lagos y pantanos. Luego analizan en un laboratorio el material recolectado. Los granos de polen, partículas de carbón vegetal y sedimentos que se encuentran en estas muestras son analizados de manera exhaustiva. Finalmente, los científicos expresan los resultados en el llamado diagrama de polen. En estos diagramas especializados se puede leer información importante sobre el desarrollo de la historia de la vegetación y del paisaje, tal como lo indica el siguiente diagrama de la localidad de El Tiro (2.811 m s.n.m.).



© H. Niemann, modificado

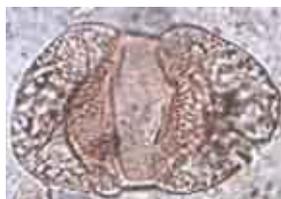
135 Diagrama de polen en El Tiro (2.811 m s.n.m.): se representa el Pleistoceno tardío entre 17.000-10.000 años antes del presente (AP) y el Holoceno desde los 10.000 AP hasta la actualidad. Del diagrama se puede desprender que en el Pleistoceno tardío, el páramo de pajonal dominaba, debido a que se puede encontrar altos porcentajes de polen de hierbas. De este tipo de vegetación se puede deducir un clima frío y seco. En el Holoceno temprano (10.000 AP), con el aumento del calor y de la humedad, se fue desarrollando la vegetación actual del subpáramo en El Tiro; esto se comprueba por los altos porcentajes de polen de arbustos y de árboles. Con estos resultados se puede comprobar que, en el Pleistoceno, los pisos de vegetación se localizaron unos cientos de metros más abajo y que más tarde se desplazaron hacia arriba.

Del diagrama se puede deducir la existencia de poca actividad del fuego en el Pleistoceno tardío. En el Holoceno, en cambio, la concentración de partículas de carbón vegetal es relativamente alta. Aquí se puede concluir que hubo una actividad humana más intensa durante los climas más templados y húmedos. Basados en los datos disponibles sobre la distribución de la población humana, los científicos dedujeron si el aumento de los incendios se debió a sequías ocasionales, o si fueron inducidos por fuego provocado por el hombre. El Holoceno tardío demuestra una alta actividad del fuego, que sin embargo, se redujo en los últimos 800 años. Esto demuestra las oscilaciones en las actividades humanas en el último milenio, debidas a las guerras de conquista Inka y Española, así como a la introducción de varias enfermedades que diezmaron la población.

Investigaciones de esta índole posibilitan nuevas presunciones sobre la estabilidad y dinámica del ecosistema de montaña, durante la época glacial y postglacial. Además, se han descubierto los efectos de las actividades humanas en el ecosistema, y en sus componentes como el agua, los nutrientes y la circulación de la energía. El conocimiento sobre los cambios climáticos pasados, en los Neotrópicos, permite deducir las consecuencias, tanto regionales como suprarregionales, de un posible desplazamiento de la vegetación debido a cambios climáticos en el futuro. Esto ofrece una importante justificación para promover el uso sostenible del bosque en los alrededores del Parque Nacional Podocarpus, así como en general, en los bosques húmedos tropicales de América del Sur.



136-141 Fotos de distintos tipos de polen de plantas superiores en la zona de investigación. © H. Niemann



142 y 143 Muestra del fondo de la Laguna Zurita tomada con un taladro y análisis del material del suelo.



© A. Bräuning



144 y 145 Helecho arbóreo y licopodios: estos poblaron la Tierra desde el Devónico, hace cerca de 400 millones de años. © A. Bräuning



# El hábitat humano

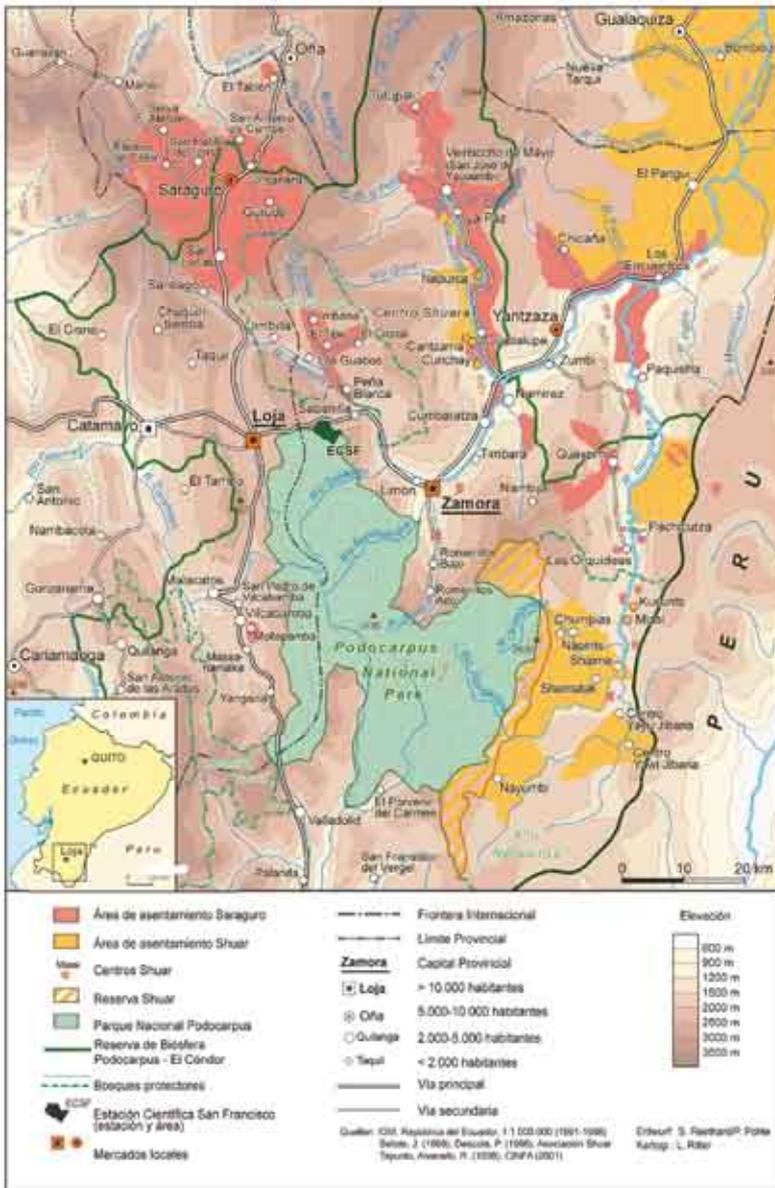
En la investigación del ecosistema, es indispensable considerar al ser humano cómo parte del mismo. Por consiguiente, los etnoecólogos del grupo de investigación se preocupan por contestar una serie de preguntas: ¿Cuáles son las estrategias tradicionales de uso del suelo de cada uno de los distintos grupos humanos asentados en el área de investigación? ¿En qué medida es cambiado el ecosistema natural bosque húmedo de montaña a través de su uso? ¿Es sostenible el uso del bosque o tiene efectos negativos en el ecosistema? ¿Cómo pueden ser protegidas de forma paralela, tanto la diversidad biológica cómo cultural de la región? ¿Qué posibilidades de uso de suelo ofrece la zona? ¿Cómo se puede rescatar el conocimiento ambiental indígena del olvido, y a la vez, integrarlo en las futuras estrategias de uso del suelo? Una importante tarea de los etnoecólogos es observar los intereses y necesidades de uso del ecosistema por parte de la población local, que, al final, es la que deberá beneficiarse de los resultados de las investigaciones.

El valle seco interandino, al igual que las partes bajas del bosque húmedo montano, son espacios históricamente poblados por diferentes grupos étnicos del Sur del Ecuador. Los grupos indígenas Shuar y Saraguro poblaron desde hace varios siglos esta zona, posteriormente llegaron colonos inmigrantes de origen mestizo. Estos tres distintos grupos étnicos cuentan con diferentes tradiciones y enfoques de uso del suelo. Al igual que en la diversidad biológica, estos usos representan una diversidad cultural muy marcada en los alrededores de la Reserva Biológica San Francisco.

*146 Debido a los múltiples usos de los recursos naturales, se ha formado un paisaje agrario combinado con poblaciones, el cual es estéticamente atractivo y ecológicamente bastante estable. Se compone de remanentes del bosque húmedo de montaña en las crestas y en las partes profundas y empinadas de las quebradas, así como de superficies quemadas, zonas de pastoreo, pastizales cubiertos de helechos (áreas cafés), campos cultivados, huertas y poblados dispersos.*



**Reserva de Biósfera Podocarpus - El Cóndor, Parque Nacional Podocarpus y área de asentamiento de grupos indígenas**



147 Reserva de Biósfera Podocarpus – El Cóndor, Parque Nacional Podocarpus, bosques protectores y asentamientos de grupos indígenas en el Sur del Ecuador. © P. Pohle, S. Reinhardt, L. Ritter.

**La población indígena**

En los bosques húmedos de montaña del Sur del Ecuador viven indígenas de los pueblos Shuar y Saraguro. Tradicionalmente los Shuar son habitantes del bosque, su espacio de vida se extiende desde las partes inferiores del bosque húmedo de montaña (1.800 m s.n.m.) hasta las zonas bajas de la llanura amazónica. Su idioma pertenece al grupo idiomático Jívaro de los indígenas amazónicos. Luego de un largo tiempo de aislamiento, entraron en contacto con misioneros y colonos a inicios del siglo XX. Desde esta época, se han construido carreteras por sus territorios, lo que ha influido en el cambio de la forma tradicional de vida de muchas familias Shuar.

Los Saraguro (indígenas de la Sierra) son posiblemente originarios de una lejana región, alrededor del Lago Titicaca en Bolivia; estos fueron llevados por los Inkas hasta el Sur del Ecuador entre los años 1463 y 1531. Hablan Kichwua, una variante del idioma Kechwua que en la actualidad, paulatinamente es sustituido por el Español. Su espacio de vida se extiende en alturas entre los 1.800 y 2.800 m s.n.m., es decir, en el piso del bosque húmedo de montaña.

itinerante, mediante el rozo de la vegetación; esto significa que las huertas son abandonadas luego de un período intensivo de uso, para trasladar los cultivos a nuevas parcelas, recientemente desbrozadas. Las quemadas entre los Shuar se hacen siguiendo reglas determinadas. Se mantienen largos períodos de descanso, lo que permite una recuperación de los suelos, luego del uso agrícola. Además, los Shuar practican una técnica especial de generación de humus, a través de mulch\*, que aporta a una sostenida fertilidad del suelo.

En las huertas existe gran diversidad de plantas naturales y cultivadas (185 especies de plantas en las huertas Shuar), las cuales son usadas como alimento, medicina y ornamentación. Tubérculos ricos en almidón (yuca, taro) y plátanos verdes son los productos agrícolas más importantes de los Shuar, los cuales se cultivan en muchas variedades. Las huertas Saraguro se identifican por su especial riqueza en cultivos de arbustos y árboles. En sus chacras, los Saraguro cultivan maíz, fréjol, papas y otros tubérculos. Las huertas y chacras con su alta diversidad, son importantes para la conservación de los recursos genéticos en el Sur del Ecuador.

148 Huerta de una familia Shuar en Napints.

149 Asentamiento Saraguro disperso en El Tibio, con un paisaje agrario diferenciado: sitios de pastoreo, implementados a través de quemas y plantados con pastos, restos de bosque húmedo de montaña en las crestas y quebradas, chacras y huertas a lo largo del camino.

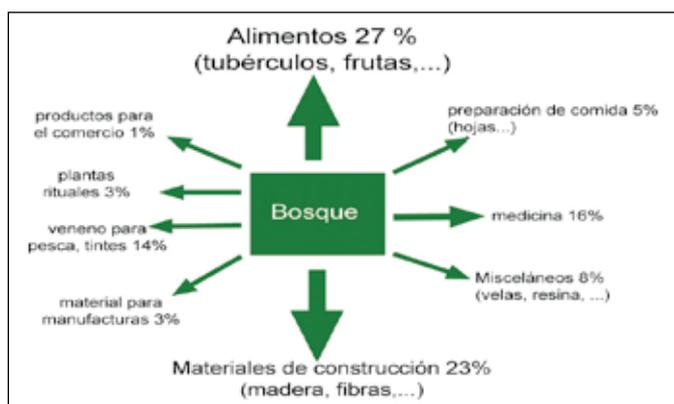


© P. Pohle



© P. Pohle

**Glosario**  
**Mulch:** cubrimiento del suelo con material orgánico.  
**Rotación de potreros:** traslado en forma rotativa del pastoreo sobre superficies pequeñas.  
**Economía de subsistencia:** producción principalmente para el auto consumo, sin excedentes para el mercado.



150 Uso de productos del bosque por los Shuar. © P. Pohle, S. Reinhardt

Los Shuar también usan el bosque para cazar, pescar y recolectar. Disponen de relaciones culturales y espirituales muy particulares con el bosque, las cascadas y las plantas, y por lo tanto, tienen un amplio conocimiento sobre su medio ambiente. Su idioma posee una extensa terminología para las plantas. Los Shuar usan las plantas nativas de varias formas: alimento, material de construcción, medicina.

Por otra parte, la principal actividad económica de los Saraguro es la ganadería; desde el siglo XIX, criaban animales para su comercio. A través del cultivo de distintas especies de pastos y de la rotación de potreros, las zonas de pastizales se mantienen útiles y estables

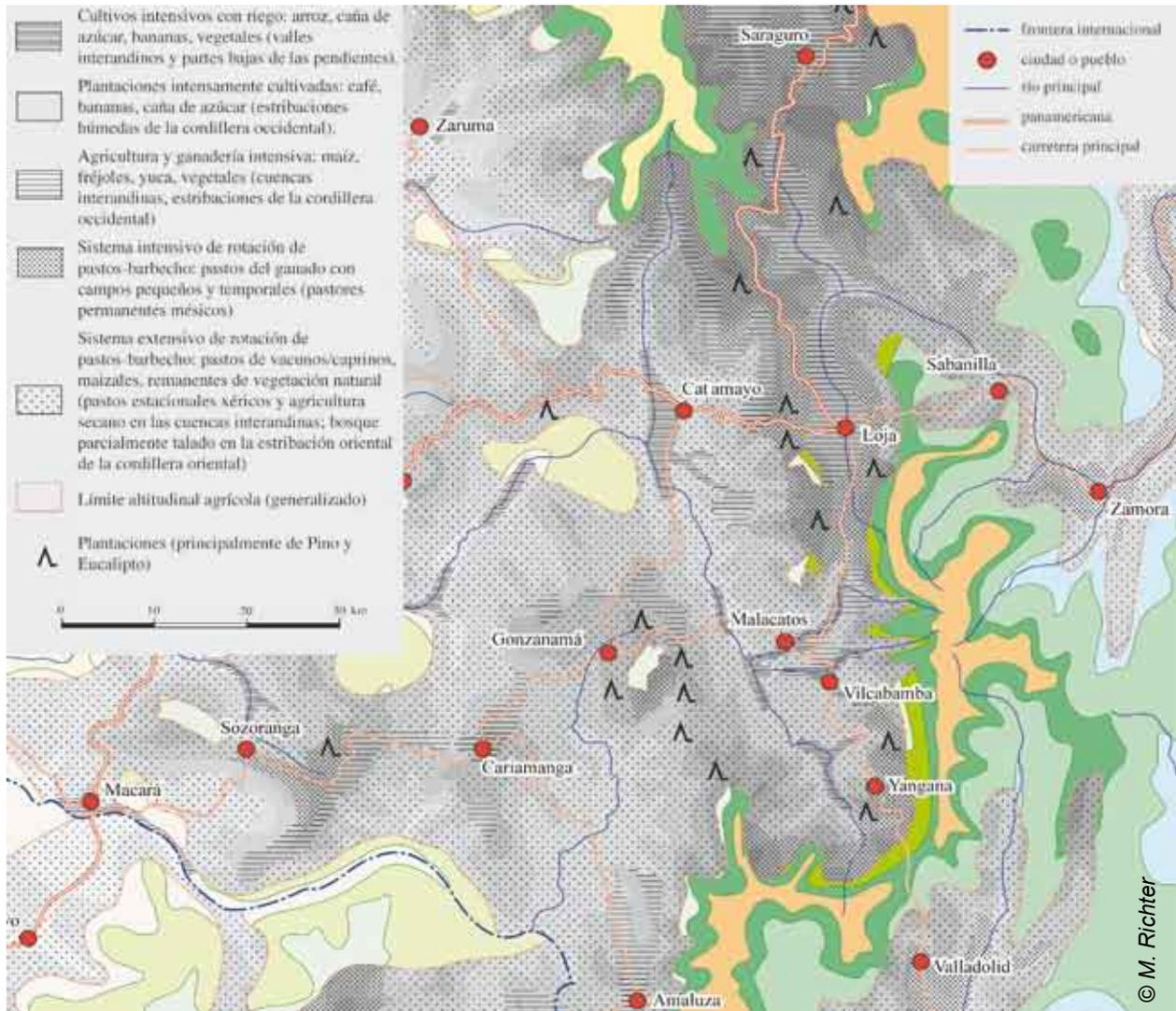
durante temporadas más largas. Debido a la escasez de terrenos disponibles para la implementación de nuevos potreros, alrededor de su lugar de residencia tradicional (ciudad de Saraguro), han creado nuevas zonas de pastizales en las partes altas del bosque húmedo de montaña y en el piso del páramo, así como en las partes bajas del Oriente en Zamora Chinchipe.

También entre los Shuar se ha agregado la ganadería a las actividades productivas tradicionales, con el fin de la producción de alimentos. Sin embargo, esta sirve solo para cubrir las necesidades domésticas y no es comercializada. Los Shuar realizan también otras actividades, cómo el cultivo de productos agrícolas y usan productos del bosque, como parte de su economía de subsistencia. Por el contrario, la ganadería entre los Saraguro está orientada al mercado, y solamente los cultivos de las huertas y de las parcelas son para la subsistencia familiar.

Tanto los Saraguro como los Shuar, han podido mantener hasta hoy ciertos componentes esenciales de su forma tradicional de vida, de su economía y de su cultura. Especialmente los Shuar, disponen de un vasto conocimiento sobre su medio ambiente natural y mantienen una estrecha relación cultural, espiritual y económica con el bosque.

# Uso del suelo y deforestación

La vegetación natural del bosque húmedo de montaña en el Sur del Ecuador, está confinada a las áreas poco favorecidas de la alta y muy húmeda Cordillera, así como al Parque Nacional Podocarpus. A través de las migraciones recientes y del crecimiento natural de la población, la presión sobre el bosque húmedo de montaña aumenta de manera constante, porque se necesita una mayor superficie para la producción agrícola y ganadera. La intervención del hombre en la naturaleza se realiza también a través de la extracción de madera, la construcción de carreteras, las actividades mineras y la obtención de agua potable y de riego. Actualmente, en todos los Andes, se considera alterada el 90% de la cobertura boscosa original. Ecuador es en la actualidad, uno de los países andinos con la tasa más alta de deforestación.



151 Uso del suelo y vegetación en el Sur del Ecuador. La vegetación natural ha sido reducida a pequeños remanentes, como por ejemplo, en las partes altas de la Cordillera. La magnitud de la deforestación se evidencia comparando con la figura 29 (vegetación natural potencial).

## Colonización interna

En los últimos 50 años, las estribaciones de la cordillera en los Andes del Sur del Ecuador, han sido zonas donde se han asentado grupos de emigrantes pobres. Los colonos vienen mayoritariamente de las zonas secas de la provincia de Loja, en donde los campos agrícolas que sirven de base para su subsistencia han sido muy degradados\*.

152, 153, 154  
 Zonas de pastizales  
 sobreutilizadas. Fueron  
 creadas a través de  
 quemas, por medio de  
 las cuales el bosque  
 húmedo de montaña fue  
 notablemente reducido.  
 Este proceso sigue  
 hasta ahora e implica  
 una exterminación de la  
 biodiversidad.



### **Glosario**

**Degradación:** destrucción de las funciones ecológicas y de la fertilidad del suelo.

**Economía ganadera extensiva:** actividad ganadera con poca inversión y alta necesidad de superficie de pastoreo natural.

**Economía ganadera intensiva:** actividad ganadera con alta inversión en pastizales artificiales y abonados.

**Uso silvopastoril:** uso de áreas de bosque como zonas de pastoreo.



En el proceso de colonización, el bosque húmedo de montaña es talado y quemado para crear espacios para la ganadería o la agricultura. Por el acelerado crecimiento de la maleza, estos espacios se vuelven rápidamente inutilizables y nuevas superficies de bosque deben ser desmontadas. Generalmente no existe un vínculo tradicional entre los colonos mestizos y el bosque.

La forma de uso de suelo más importante en el Sur del Ecuador es la ganadería. Especialmente los Saraguro, pero también los colonos mestizos, tienen como fuente de ingreso principal la ganadería, la que es practicada de forma distinta por los diferentes grupos étnicos. La ganadería extensiva\* es la más difundida entre los colonos; esta actividad promueve el desmonte de amplias áreas de bosque debido a la necesidad de una gran superficie. La ganadería de los Saraguro, en contraste, es una ganadería intensiva\* y se la considera comparativamente menos dañina para los recursos naturales. La tercera forma de ganadería son las silvopasturas\*, aplicadas por la población Shuar. Esta práctica de pastoreo dentro del bosque, no implica una completa desaparición de la cobertura forestal natural, y por lo tanto, se la considera como una forma de uso especialmente apropiada para el bosque húmedo montano.

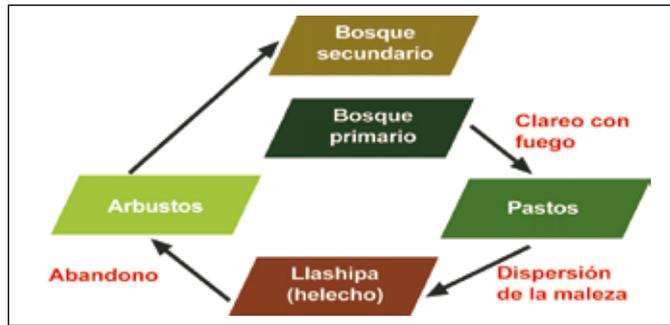
No solamente el tipo de explotación de los pastizales es diferente, sino que también se usan diferentes clases de pastos con distintas especies forrajeras. El forraje preferido por los campesinos es la *Setaria sphacelata* (mequerón). En algunos lugares, como por ejemplo en las pendientes empinadas, además se encuentra la *Melinis minutiflora* (yaragua). Estos dos tipos de pastos tropicales son plantados por los Saraguro de forma específica, según el sitio. Un típico y muy difundido forraje es el pasto azul, combinado con distintas especies de hierbas. El cuarto tipo de pastizal es el dominado por el helecho *Pteridium arachnoideum*, localmente conocido como llashipa, abundante antes de una nueva quema o luego del abandono de un potrero.

La rápida expansión de la maleza sobre los pastizales genera un enorme problema en el Sur del Ecuador. Solamente después de unos pocos años de uso, los pastizales deben ser abandonados o renovados, porque la maleza los invade con rapidez, en especial la llashipa. Las quemas repetidas son contraproducentes, porque después del fuego, la maleza puede propagarse con mayor rapidez. Los investigadores han comprobado que la llashipa se recupera velozmente después de una quema, porque el calor fomenta su crecimiento. El rizoma subterráneo, el cual une la raíz con las hojas, no es afectado por el fuego y las frondas del helecho crecen con mayor fuerza. Así se produce una rápida expansión de la maleza después de una quema. Posteriormente, se incrementan los helechos arbóreos del género *Cyathea*, los cuales conjuntamente con diversos tipos de arbustos crean el siguiente estadio de sucesión\*. Solamente después de muchos años, puede quizá generarse un bosque secundario en las áreas de pastizales abandonados.



156, 157 y 158 Pastizales sembrados con tipos de pastos exóticos © M. Richter

159 Opciones de uso del suelo en el Sur del Ecuador: el incremento de la intensidad de uso va de la mano con la reducción de las condiciones naturales.

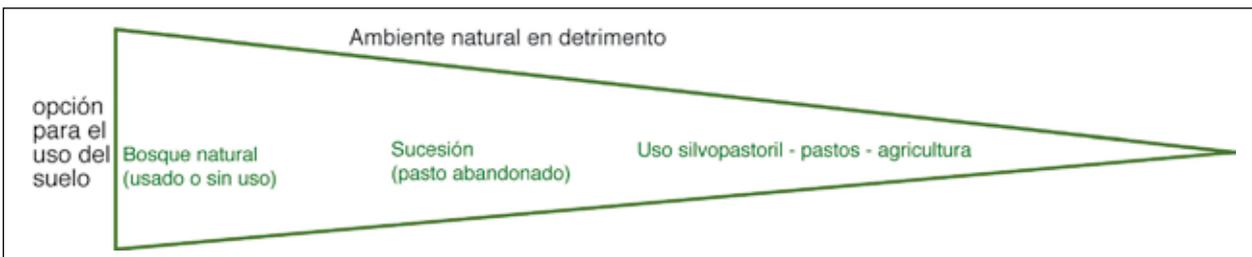


155 Estadios de sucesión de un bosque talado (bosque primario) en el Sur del Ecuador: únicamente después de mucho tiempo (algunos cientos de años) aparece un bosque secundario relativamente natural. Mediante la forestación con especies de árboles nativos, podría acelerarse el proceso de sucesión, y acortarse los estadios correspondientes a la llashipa y a los arbustos.

Debido a la rápida expansión de la maleza, nuevas áreas de bosque deben ser desmontadas constantemente y plantadas con pastos. La reforestación casi exclusivamente se hace con especies de árboles exóticos, como eucaliptos y pinos. Con la tala y quema del bosque primario, que por hectárea alberga más de 100 especies de árboles y otros cientos de especies de plantas y animales, la biodiversidad también es destruida.

El desmonte progresivo del bosque, origina graves problemas, tanto para las zonas directamente afectadas, como para el piedemonte de la llanura Amazónica. El incremento de la fragmentación\* de los remanentes del bosque, dificulta el flujo genético en las especies, trayendo como consecuencia la pérdida de flora y fauna. El desmonte del bosque lleva también a una intensificación de la erosión del suelo, el aumento de la escorrentía y de los derrumbos en las empinadas pendientes, así como inundaciones en los valles. El cambio significativo del comportamiento hidrológico, y la disminución de la transpiración vegetal que humedece el aire, llevan finalmente a modificaciones climáticas regionales, ocasionadas por el hombre.

**Glosario**  
**Sucesión:** concepto utilizado en Ecología; secuencia de apareamiento de comunidades de plantas y animales.  
**Fragmentación:** Reemplazo de un ecosistema continuo e íntegro por pequeños fragmentos de ecosistema espacialmente aislados.



# Perspectivas: Potencialidad de uso del ecosistema bosque húmedo de montaña

El grupo de investigadores, conjuntamente con representantes de universidades y de la población local, tratan de establecer las posibilidades para un uso agrícola, ganadero y forestal sostenible. Por un lado, se deben elaborar estrategias para la protección de la diversidad tanto biológica como cultural. Por otro, se deben desarrollar nuevas prácticas en el campo forestal y agropecuario, amigables con los recursos naturales. Además, los investigadores presentan un ambicioso plan: regenerar por lo menos una parte del bosque húmedo de montaña que ha sido deforestado, poniendo en marcha algunos experimentos de reforestación.

## Reforestación

Una condición para la reforestación, es la exitosa multiplicación de especies forestales nativas a través de semillas o de estacas. Se investigan las mejores técnicas de propagación de diez especies de árboles, característicos de los estadios de sucesión tardía (bosque secundario). Para esto se ha establecido un vivero forestal, en donde también se cuenta con semillas para posteriores reforestaciones. Los resultados, hasta ahora, muestran que la mayoría de árboles se multiplican bien a través de semillas, pero no por estacas. Entre las especies investigadas se destacan árboles latifoliados: *Piptocoma* (Tunash o pigüe), *Heliocarpus* (Balsa), *Isertia*, *Cedrela* (Cedro) y *Tabebuia* (Guayacán); estas se complementan con dos coníferas importantes para la zona de estudio, *Podocarpus oleifolius* (Romerillo azuceno) y *Prumnopitys montana* (Romerillo fino). En los ensayos de reforestación se controla regularmente el crecimiento y desarrollo de los árboles jóvenes plantados.

## Erradicación de la llashipa

Debido a que se planea la reforestación de áreas que generalmente están cubiertas por llashipa, se realizan experimentos para combatirla; el fuego, como método tradicional utilizado por la población local contra la llashipa, es inadecuado. Según los resultados obtenidos por el grupo de investigadores, el calor impulsa significativamente el crecimiento de este helecho. Entre los métodos que los científicos experimentan, están la infección con hongos dañinos y el posible uso de herbicidas\*. El herbicida retarda el crecimiento del rizoma de la llashipa y protege al mismo tiempo las hierbas forrajeras. ¿Por qué se debe combatir la llashipa? Esta impide el desarrollo de otras plantas jóvenes, debido a la sombra que genera sobre el suelo, y por consiguiente, es difícil reforestar un área cubierta por este helecho. Con la eliminación de la llashipa, los científicos pueden facilitar la reforestación y también prolongar el uso de los pastizales. Así, no sería necesario quemar, talar y quemar más bosque luego de pocos años de uso de los pastizales, para crear nuevas áreas ganaderas.



© E. Beck

160 Invernadero de la Estación Científica San Francisco con plantas jóvenes para la forestación.



© A. Bräuning

161 Un pastizal fuertemente cubierto con helechos que deberá ser reforestado.



© A. Bräuning

162 Forestación preexistente con pinos.

### Glosario

**Herbicida:** agente para combatir la maleza, mata la maleza sin afectar las plantas cultivadas.

### Alternativas a la ganadería

Hay otras alternativas productivas que podrían limitar la expansión de la ganadería, y por lo tanto, disminuir la pérdida del bosque en el Sur del Ecuador. Por ejemplo, la producción de madera orientada al mercado, la horticultura comercial, el cultivo y reproducción de plantas medicinales, actividades económicas distintas a la agricultura y ganadería. Sin embargo, también se podrían implementar otras formas de desmonte que influyan positivamente en la regeneración del bosque. Las investigaciones indican que el bosque secundario se regenera más rápidamente, cuando no hay quema de la vegetación talada. Así, en la parte baja de la Estación, se estableció un bosque secundario relativamente natural, en el corto lapso de 50 años.

### La preservación a través del uso

La población indígena dispone de un amplio conocimiento tradicional de las plantas silvestres y cultivadas. Muchas de estas especies de plantas pueden ser utilizadas, por ejemplo, como medicina para molestias estomacales e intestinales, resfríos, enfermedades de la piel y también como medida contra la mordedura de serpientes. Mediante entrevistas a miembros de diferentes generaciones, los investigadores determinaron que este conocimiento actualmente no es utilizado, en la medida en que lo fue en el pasado. También la alimentación de las familias se ha modificado mucho, debido a la introducción de alimentos “modernos” disponibles en el mercado, como arroz, pan y fideos. Con la disminución de la diversidad del uso de las plantas, existe el peligro de que el conocimiento tradicional quede olvidado. El conocimiento ambiental indígena, que aún existe, debe ser utilizado y difundido para el desarrollo de conceptos de uso sostenible del suelo. Para esto, no solo se necesita el entendimiento sobre las plantas, sino también el conocimiento de las varias prácticas tradicionales de manejo de huertas y campos de cultivo, de los Shuar y Saraguro.

Familia	Nombre Científico	Nombre Shuar	Nombre en Español	Forma de crecimiento	Uso	Partes utilizadas	Forma de uso
Bromeliaceae	Guzmania sp.	Kuish	Guicundo	Epífita	Dolor de oído, fonsilitis, amigdalitis	Hojas	Gárgaras o gotas
Cyclanthaceae	Asplundia sp.	Tinnuka, Tingui		Terofita *	Contra mordedura de serpientes	Meristema	Crudo
Lamiaceae	Hyptis pectinata	Wishu	Corta sangre	Terofita	Cicatrizante	Tallo	Pintura
Malvaceae	Siparuna aff. halingii	Stuna		Arbusto	Reumatismo	Hojas	Frotamiento
Piperaceae	Piper stieferum	Nampich		Arbusto	Enfermedades intestinales y parásitos	Raíz	Extracción

163 Plantas medicinales de los Shuar: cinco ejemplos de una variedad de plantas medicinales, que son utilizadas por los Shuar, para el tratamiento de diferentes enfermedades. Los investigadores realizaron un inventario intenso para estudiar sus usos. © P. Pohle, A. Gerique, S. Reinhardt, M. Park

164 Mujer Shuar con Tsem-Tsem (*Peperomia* sp.), una planta silvestre para el tratamiento de dolores estomacales.



165 Huerta de una familia Shuar en el límite del bosque húmedo de montaña.

#### Glosario

**Terófitas:** plantas que sobreviven en época seca o en el invierno como semillas dentro de la tierra.

## Concepto de manejo territorial de la UNESCO- Reserva de Biosfera

Para conservar los ecosistemas naturales de la Región Sur, en las últimas décadas se ha optado por el establecimiento de áreas protegidas. El Parque Nacional Podocarpus (de 146.000 hectáreas) fue creado en 1982. Así mismo se han declarado legalmente otras áreas de protección de bosque, cubriendo en total una extensión de aproximadamente 250.000 hectáreas, que sirven como corredores biológicos entre el Parque Nacional Podocarpus y áreas protegidas en el Norte peruano. Se pueden destacar también iniciativas de los pueblos indígenas por proteger los ecosistemas y sus formas ancestrales de manejo, por ejemplo el Bosque de Huashapamba, en territorio Saraguro y el Área Natural Comunitaria Mura Nunka en territorio Shuar (cantón Nangaritza). A pesar de la importancia de las áreas protegidas, deben ponerse en práctica modelos innovadores de gestión integral del territorio, pues merecen también atención prioritaria, las demandas económicas de la población local. Una prohibición absoluta del uso del bosque podría ocasionar enormes problemas económicos a muchas familias.

La meta de los investigadores es lograr una combinación entre la protección de la naturaleza y de las culturas locales. Solamente así se podrá mantener, junto a la diversidad biológica, también la diversidad cultural en el Sur del Ecuador. Basada en experiencias internacionales, la UNESCO ha desarrollado un concepto de mayor alcance que las tradicionales áreas protegidas. Las Reservas de Biosfera son ecosistemas terrestres reconocidos internacionalmente por la UNESCO, a petición de los Estados solicitantes, que cumplen con tres funciones: la conservación de la diversidad biológica, el desarrollo humano sostenible de las poblaciones locales y el apoyo logístico a proyectos de demostración, difusión y educación sobre la conservación y el desarrollo social y ambientalmente responsable.

Las zonas escogidas para las reservas de biosfera de la UNESCO deben cumplir con varios requisitos, entre los cuales destacan el estar compuestas de una zona núcleo, una zona de amortiguamiento y una zona de desarrollo. La zona núcleo debe constituirse por un ecosistema natural sin intervención, cómo es el caso del Parque Nacional Podocarpus. La zona de amortiguamiento la constituyen ecosistemas naturales o semi naturales alrededor del área núcleo, y la zona de desarrollo, está dominada por actividades humanas donde se desarrollan formas de uso sostenible. Se debe tener como objetivo, a largo plazo, la conservación de los recursos naturales y el establecimiento de un espacio con un uso económico sostenible y socialmente estable. En este aspecto, el grupo de investigadores ha demostrado la importancia ambiental de la Región Sur, la relevancia de las culturas locales y sus prácticas tradicionales y ha facilitado la información necesaria para constituir una reserva de biosfera que incorpore al Parque Nacional Podocarpus las áreas naturales de protección comunitaria, el paisaje cultural históricamente desarrollado en el valle interandino y las zonas de colonización agraria.



© A. Brätuning

El 18 de Septiembre de 2007, luego del esfuerzo conjunto de varias instituciones y organizaciones locales, la UNESCO aprobó el expediente de la declaratoria de la Reserva de Biosfera Podocarpus-El Cóndor, área que incluye 10 cantones de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, con una superficie de 1'140.000 hectáreas.

166 Vilcabamba

## El hombre cómo parte del ecosistema

Aparte de las extensas zonas donde el bosque fue desmontado completamente, en el Sur del Ecuador las actividades humanas han creado un paisaje cultural estéticamente encantador, con un mosaico de diferentes formas de uso. Sin embargo, las condiciones para la agricultura son en esta zona poco ventajosas, debido a las fuertes pendientes, los valles fluviales, los suelos ácidos y la alta precipitación.

Este paisaje cultural se estableció a costa del bosque húmedo de montaña. La eliminación de este complejo y muy sensible ecosistema tiene muchas consecuencias, tanto regionales como globales. Con la desaparición del bosque mueren también un sin número de especies endémicas, perdiéndose así una gran parte de la biodiversidad. Los investigadores de la Estación Científica San Francisco estudian los usos potenciales para el bosque húmedo de montaña, desde una perspectiva realista. Crean modelos del ecosistema, hacen pronósticos sobre su desarrollo y trabajan sobre recomendaciones para su manejo. El trabajo de investigación ecológica, busca ser, además, un elemento para establecer políticas para el desarrollo sostenible.

El período del proyecto de la Unidad de Investigación 402 financiado por la Fundación Alemana para la Investigación Científica (DFG), terminó en Enero de 2007. Sin embargo, las investigaciones continúan. En Febrero de 2007 se creó la Unidad de Investigación 816, la cual sigue las investigaciones iniciadas por el primer grupo de trabajo, complementándolo con tópicos adicionales. Este nuevo grupo de investigación se proyecta hasta Enero de 2013. Además de la investigación misma, la colaboración con científicos locales, el entrenamiento de estudiantes y el fortalecimiento de las capacidades en las universidades ecuatorianas, son aspectos que aseguran la continuidad de estas investigaciones, incluso si algún día la Unidad de Investigación concluye su trabajo, en este fascinante ecosistema del bosque húmedo de montaña del sur del Ecuador.



*167 y 168 Contraste entre las zonas de pastizales (con pradera recientemente quemada) y el bosque húmedo de montaña. © A. Bräuning*



## Bibliografía

### Información en Internet:

Página de la Unidad de Investigación 402. [www.bergregenwald.de](http://www.bergregenwald.de)

Página de la Unidad de Investigación 816. [www.tropicalmountainforest.org](http://www.tropicalmountainforest.org)

Base de Datos de Plantas desarrollada por la Unidad de Investigación. [www.visualplants.de](http://www.visualplants.de)

### Publicaciones selectas con los resultados de la Unidad de Investigación 402

#### 2008

- Beck, E., Bendix, J., Kottke, I., Makeschin, F., Mosandl, R. (eds) (2008): Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador. *Ecological Studies* 198, 525 p.
- Gradstein, S. R., Homeier J., Gansert, D. (eds) (2008): The Tropical Mountain Forest. Patterns and Processes in a Biodiversity hotspot. Göttingen Centre for Biodiversity and Ecology, Biodiversity and Ecology Series Vol. 2, 217 p.

#### 2006

- Aguirre, N.; Günter, S.; Weber, M. & Stimm, B. (2006): Enrichment of *Pinus patula* plantations with native species in southern Ecuador. *Lyonia* 10: 33-45. <http://www.lyonia.org/viewArticle.php?articleID=400>.
- Bussmann, R. W. & Sharon, D (2006): Traditional medicinal plant use in Loja province, Southern Ecuador. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2: 44. doi:10.1186/1746-4269-2-44. <http://www.ethnobiomed.com/content/2/1/44>.
- Cisneros, O. C., Günter, S. & Mosandl, R. (2006): Dinámica de un bosque montano lluvioso natural y selectivamente intervenido en el sur del Ecuador (Dynamics in natural and selectively logged tropical mountain rain forest of South Ecuador). *Lyonia* 10 (1). <http://www.lyonia.org/viewArticle.php?articleID=466>
- Cueva Ortiz, E., Homeier, J., Breckle, S.-W., Bendix, J., Emck, P., Richter, M. & Beck, E. (2006) Seasonality in an evergreen tropical mountain rain forest of South Ecuador. *ECOTROPICA*, in press.
- Fleischbein, K., W. Wilcke, C. Valarezo, W. Zech und K. Knoblich (2006): Water budget of three small catchments under montane forest in Ecuador. *Hydrological Processes* 20, 2491-2507.
- Goller, R., W. Wilcke, K. Fleischbein, C. Valarezo und W. Zech (2006): Dissolved inorganic nitrogen, phosphorus, and sulfur in the nutrient cycle of a mountain forest in Ecuador. *Biogeochemistry* 77, 57-89.
- Günter, S.; Weber, M.; Erreis, R. & Aguirre, N. (2006): Influence of forest edges on the regeneration of abandoned pastures in the tropical mountain rain forest of Southern Ecuador *European Journal of Forestry Research*, accepted.
- Hilt, N., Brehm, G. & Fiedler, K. (2006): Diversity and ensemble composition of geometrid moths along a successional gradient in the Ecuadorian Andes. *J. Trop. Ecol.* 22: 155 - 166.
- Lehnert, M., M. Kessler, L. I. Salazar, H. Navarrete, F. A. Werner, & S. R. Gradstein (2006): Checklist to the Pteridophytes of the Reserva Biológica San Francisco (Prov. Zamora-Chinchipec, Ecuador). *Ecotropica*, accepted.
- Rollenbeck R. (2006): Variability of precipitation in the Reserva Biológica San Francisco / Southern Ecuador. *Lyonia* 9 (1): <http://www.lyonia.org/viewArticle.php?articleID=407>
- Salzer, J., Matezki, S. & Kazda, M. (2006): Nutritional differences and leaf acclimation of climbing plants and the associated vegetation in different types of an Andean mountain rainforest. *Oecologia* 147: 417- 425.
- Soethe, N., Lehmann, J. & Engels, C. (2006): The vertical pattern of rooting and nutrient uptake at different altitudes of a south Ecuadorian mountain forest. *Plant Soil*: DOI 10.1007/s11104-006-9044-0.

#### 2005

- Beiderwieden, E., Wrzesinsky, T. & O. Klemm (2005): Chemical characterization of fog and rain water collected at the eastern Andes cordillera. *Hydrology and Earth System Sciences* 9: 185191.
- Bräuning, A. & Burchardt, I. (2005): Detection of growth dynamics in tree species of a tropical mountain rain forest in southern Ecuador. *TRACE: Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology* 4: 127-131.
- Breckle, S.-W., Breckle, U. Homeier, J., & Scheffer, A. (2005): Mineral deficiencies in a pine plantation in southern Ecuador. *Ecotropica* 11: 79-85.
- Brehm, G., Pitkin, L.M., Hilt, N. & Fiedler, K. (2005): Mountain Andean rain forests are a global diversity hotspot of geometrid moths. *Journal of Biogeography* 32: 16211627.
- Bussmann, R. W. (2005): Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Revista Peruana de Biología* 12: 203-216. <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/biologia/v12n2/Pdf/v12n2a06.pdf>
- Fabian, P., Kohlpaintner, M. & Rollenbeck, R. (2005): Biomass Burning in the Amazon - Fertilizer for the Mountain Rain Forest in Ecuador. *ESPR online first*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/espr2005.07.272>
- Fleischbein, K., W. Wilcke, R. Goller, C. Valarezo, W. Zech und K. Knoblich (2005): Rainfall interception in a lower mountain forest in Ecuador: effects of canopy properties. *Hydrological Processes* 19, 1355-1371
- Illig, J., Langel, R., Norton, R. A., Scheu, S. & Maraun, M. (2005): Where are the decomposers? Uncovering the soil food web of a tropical mountain rain forest in southern Ecuador using stable isotopes (<sup>15</sup>N). *Journal of Tropical Ecology* 21: 589593.

- Krömer, T., Kessler, M.; R., G. & Acebey, A. (2005): Diversity patterns of vascular epiphytes along an elevational gradient in the Andes Journal of Biogeography 32: 1799-1809
- Lozano, P., & Bussmann, R. W. (2005): Importancia de los deslizamientos en el Parque Nacional Podocarpus, Loja, Ecuador. Revista Peruana de Biología 12: 195-202. <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/biologia/v12n2/Pdf/v12n2a05.pdf>
- Motzer, T., Munz, N, Küppers, M, Schmitt, D & Anhof, D. (2005): Stomatal conductance, transpiration and sap flow of tropical montane rain forest trees in the southern Ecuadorian Andes. Tree Physiology 25: 1283-1293.
- Richter M. & Moreira-Muñoz A. (2005): Heterogeneidad climática y diversidad de vegetación en el sur de Ecuador: un método de fitoindicación. Revista Peruana de Biología 12: 217-238. <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/biologia/v12n2/Pdf/v12n2a07.pdf>
- Röderstein, M.; Hertel, D. & Leuschner, C. (2005): Above- and below-ground litter production in three tropical mountain forests in southern Ecuador. Journal of Tropical Ecology 21: 483-492
- Rollenbeck R., Fabian P. & Bendix J. (2005): Precipitation dynamics and chemical properties in tropical mountain forests of Ecuador. Advances in Geosciences 6: 1-4.
- Schlather, M. & B. Huwe (2005): A stochastic model for 3-dimensional flow patterns in infiltration experiments. Journal of Hydrology 310: 17-27.
- Werner, F. A., Homeier, J. & Gradstein, S. R. (2005): Diversity of Vascular Epiphytes on isolated remnant trees in the mountain forest belt of Southern Ecuador. Ecotropica 11: 21-40.
- Wilcke, W., T. Hess, C. Bengel, J. Homeier, C. Valarezo und W. Zech (2005): Coarse woody debris in a mountain forest in Ecuador: mass, C and nutrient stock, and turnover. For. Ecol. Manage. 205, 139-147

## 2004

- Bendix, J., Rollenbeck, R. & Palacios, W. E. (2004): Cloud detection in the Tropics - a suitable tool for climate-ecological studies in the high mountains of Ecuador. Int. J. Remote Sensing 25 (21): 4521-4540.
- Brehm, G & Fiedler, K. (2004): Bergmann's rule does not apply to geometrid moths along an elevational gradient in an Andean mountain rain forest. Global Ecol. Biogeogr. 13: 7-14. Kottke, I., Beck, A., Oberwinkler, F., Homeier, J. & Neill, D. (2004): Arbuscular endomycorrhizas are dominant in the organic soil of a neotropical mountain cloud forest. J. Trop. Ecol. 20: 125-129.
- Dalitz, H. & Homeier, J. (2004): Visual Plants - Image based tool for plant diversity research. Lyonia 6(1): 49-62.
- Günter, S., Stimm, B. & Weber, M. (2004) Silvicultural contributions towards sustainable management and conservation of forest genetic resources in Southern Ecuador. Lyonia. [Http://www.lyonia.org/viewArticle.php?articleID=308](http://www.lyonia.org/viewArticle.php?articleID=308)
- Kottke, I. & Haug, I. (2004): The significance of mycorrhizal diversity of trees in the tropical mountain forest of southern Ecuador. Lyonia 7: 50-56, <http://www.lyonia.org/downloadPDF.php?pdfID=2.325.1>
- Nebel, M., H.-P. Kreier, M. Preußing, M. Weiß & I. Kottke (2004): Symbiotic fungal associations of liverworts are the possible ancestors of mycorrhizae. Agerer, R., Piepenbring, X., Blanz, P. (eds) Frontiers in Basidiomycote Mycology. IHW-Verlag. Eching. p. 339-360.
- Nöske, N. M. & Sipman, H. J. M. (2004): Cryptogams of the Reserva Biológica San Francisco (Province Zamora-Chinchipe, Southern Ecuador). II. Lichens. Cryptogamie, Mycologie 25: 91-100.
- Pohle, P. & Reinhardt, S. (2004): Indigenous knowledge of plants and their utilization among the Shuar of the lower tropical mountain forest in southern Ecuador. Lyonia - A Journal of Ecology and Application, vol. 7(2):133-150. <http://www.lyonia.org/downloadPDF.php?pdfID=2.321.1>
- Uday Patiño, M. V. & Bussmann, R. W. (2004): Floristic distribution of the mountain cloud forest at the Tapichalaca reserve, Cantón Palanda, Zamora province. Lyonia 7(1): <http://www.lyonia.org/downloadPDF.php?pdfID=2.339.1>

## 2003

- Brehm, G., Süßenbach, D. & Fiedler, K. (2003): Unique elevational diversity patterns of geometrid moths in an Andean mountain forest. Ecography 26: 456-466.
- Bussmann, R. W. (2003): Los bosques montanos de la Reserva Biológica San Francisco (Zamora-Chinchipe, Ecuador) zonación de la vegetación y regeneración natural. Lyonia: 3 (1): 57-72.
- Dengel S., Rollenbeck R. (2003): Methods of fog quantification in a tropical mountain forest of southern Ecuador. FogQuestNews, June 2003, Issue 10: 2-3.
- Hartig, K. & Beck, E. (2003): The bracken fern (*Pteridium aquilinum*) dilemma in the Andes of South Ecuador. Ecotropica 9: 3-13.
- Kottke, I., Beiter, A. Weiss, M., Haug, I., Oberwinkler, F & Nebel, M. (2003): Heterobasidiomycetes form symbiotic associations with hepatics: Jungermanniales have sebacinoid mycobionts while *Aneura pinguis* (Metzgeriales) is associated with a *Tulasnella* species. Mycol. Res. 107 (8): 957-968.
- Leischner, B. & Bussmann, R. W. (2003): Mercado y uso de madera en el Sur de Ecuador - Timber market and timber use in Southern Ecuador. Lyonia 5 (1): 51-60.
- Nöske, N. M., Gradstein, S. R., Kürschner, H., Parolly, G. & Torracchi, S. (2003): Cryptogams of the Reserva Biológica San Francisco (Province Zamora-Chinchipe, Southern Ecuador). I. Bryophytes. Cryptogamie, Bryologie 24: 15-32.
- Pohle, P. & Reinhardt, S. (2003): Indigenous knowledge of plants and their utilization among the Shuar of the lower tropical mountain forest in southern Ecuador. In: II. Congreso de conservación de la biodiversidad en los Andes y la Amazonía. Libro de Resúmenes: 233. Loja (Ecuador).

- **Richter M.** (2003): Using epiphytes and soil temperatures for eco-climatic interpretations in southern Ecuador. *Erdkunde* 57 / 3: 161-181.
- **Wolff, D., Braun, M. & S. Liede** (2003): Nocturnal versus diurnal pollination success in *Iserfia laevis* (Rubiaceae): a sphingophilous plant visited by hummingbirds. *Pl. biol.* 5: 71-78.
- **Zeilinger, J. & B. Huwe** (2003): Simulation of water flow in stone rich soils a case study in Southern Ecuador. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 102 (1): 155-156.

## 2002

- **Bejár, E., Bussmann, R.W., Roa, C., Sharon, D.** (2002): *Hierbas Medicinales del Sur Ecuatoriano*, 340p. San Diego, Latino Herbal Press.
- **Bussmann, R.W.** (2002): Estudio fitosociológico de la vegetación en la Reserva Biológica San Francisco (ECSF), Zamora-Chinchiipe. *Herbario Loja* 8: 1-106.
- **Bussmann, R.W.** (2002): Epiphyte Diversity in a Tropical Andean Forest - Reserva biológica San Francisco, Zamora-Chinchiipe, Ecuador. *Ecotropica* 7: 43-59.
- **Sipman, H.J.M.** (2002) The Significance of the Northern Andes for Lichens. *The Botanical Review* 68 (1): 88-99.
- **Wilcke, W., H. Valladarez, R. Stoyan, S. Yasin, C. Valarezo & W. Zech** (2002): Soil properties on a chronosequence of landslides in mountain rain forest, Ecuador. *Catena* 53: 79-95.
- **Wilcke, W., S. Yasin, U. Abramowski, C. Valarezo und W. Zech** (2002): Nutrient storage and turnover in organic layers under tropical mountain rain forest in Ecuador. *Eur. J. Soil Sci.* 53: 15-27.

## 2001

- **Beck, E. & Müller-Hohenstein, K.** (2001) Analysis of undisturbed and disturbed tropical mountain forest ecosystems in Southern Ecuador. *DIE ERDE* 132: 1-8.
- **Paulsch, A., Schneider, R. & Hartig, K.** (2001) Land-use induced vegetation structure in a mountain region of Southern Ecuador. *DIE ERDE*: 132: 93-102.
- **Schrumpf, M. G. Guggenberger, Ch. Schubert, C. Valarezo & W. Zech** (2001): Tropical mountain rain forest soils - development and nutrient status along an altitudinal gradient in the south Ecuadorian Andes. *Die Erde* 132, 43-59.
- **Wilcke, W., S. Yasin, C. Valarezo & W. Zech** (2001): Change in water quality during the passage through a tropical mountain rain forest in Ecuador. *Biogeochem.* 55: 45-72.

## Agradecimientos

Este documento brinda una descripción científica en lenguaje popular del proyecto de investigación: “Funcionalidad de un bosque húmedo tropical de montaña del Sur del Ecuador: diversidad, procesos dinámicos y uso potencial desde una visión ecosistémica”, apoyado por la Fundación Alemana para la Investigación Científica – DFG. Presenta los principales resultados de las investigaciones del grupo científico interdisciplinario, conformado por 28 grupos de trabajo de múltiples universidades alemanas y ecuatorianas, además de otras instituciones científicas.

Agradecemos a los siguientes miembros del equipo, quienes estuvieron siempre dispuestos a proveernos con los resultados de su trabajo científico, fotografías y a responder nuestras preguntas:

- Botanischer Garten & Botanisches Museum Berlin-Dahlem: H. J. Maria Sipman.
- Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Botanisches Institut: Prof. Dr. I. Kottke, Prof. Dr. F. Oberwinkler, A. Beck, I. Haug, S. Setaro.
- Freie Universität Berlin, Institut für Systematische Botanik und Pflanzengeographie: H. Kürschner.
- Georg-August-Universität Göttingen, Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften: Prof. Dr. H. Behling, Prof. Dr. S. R. Gradstein, Prof. Dr. Ch. Leuschner, B. Hell, J. Homeier, V. Horna, H. Niemann, N. Nöske, F. A. Werner.
- Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften: Prof. Dr. Ch. Engels, N. Soethe.
- Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Geographisches Institut: Prof. Dr. W. Wilcke, J. Boy.
- Justus-Liebig-Universität Giessen, Institut für Geographie: A. Gerique, M. Park, P. Pohle, S. Reinhardt, L. Ritter, A. Tuttillo Vallejo.
- Philipps-Universität Marburg, Fachbereich Geographie: Prof. Dr. J. Bendix, D. Göttlicher, R. T. Rollenbeck.
- Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart, Abteilung Botanik: M. Nebel, M. Preußing.
- Technische Universität Darmstadt, Institut für Zoologie: Prof. Dr. S. Scheu, J. Illig, M. Maraun.
- Technische Universität Dresden, Institut für Bodenkunde und Standortslehre: Prof. Dr. Dr. F. Makeschin, S. Iost, M. Abiy.
- Technische Universität München, Fachgebiet Forstgenetik: Prof. Dr. G. Müller-Starck; Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung: Prof. Dr. R. Mosandl, N. Aguirre, O. Cabrera, S. Günter, B. Leischner, B. Stimm, M. Weber; Wissenschaftszentrum Weißenstephan: Prof. Dr. P. Fabian.
- Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), Lab. Biología Celular y Molecular: J. P. Suarez.
- Universidad Nacional de Loja (UNL), Ing. Carlos Valarezo M..
- Universität Bayreuth, Abteilung Bodenphysik: Prof. Dr. B. Huwe; Lehrstuhl für Biogeographie: Prof. Dr. K. Müller-Hohenstein; Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie: M. Schrumpf, Ch. Schubert; Lehrstuhl für Pflanzenphysiologie: Prof. Dr. E. Beck, E. Cueva-Ortiz, M. Dehling, J. Zeilinger; Lehrstuhl für Pflanzensystematik: Prof. Dr. S. Liederschumann, U. Meve, U. Soltau, D. Wolf; Lehrstuhl für Tierökologie I: Gunnar Brehm, Dirk Süßenbach.
- Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie, Abteilung Ökologie: Prof. Dr. S.-W. Breckle.
- Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Geographie: Prof. Dr. A. Bräuning, Prof. Dr. M. Richter, P. Emck, A. Hagedorn, A. A. Rozsypal; Institut für Zoologie II: F. Matt.
- University of Hawai'i Manoa, Hawai: R. Bussmann.
- Universität Hohenheim, Institut für Botanik: Prof. Dr. M. Küppers, H. Dalitz, M. Oesker.
- Universität Potsdam, Institut für Geoökologie: Prof. habil. Ph.D. H. Elsenbeer, B. Zimmermann.
- Universität Wien, Fakultät Ökologie, Abteilung für Populationsökologie: Prof. Dr. Konrad Fiedler.

A Iván C. Gayler, Presidente del Directorio de Naturaleza y Cultura Internacional (NCI) por su generoso financiamiento para la traducción e impresión de esta obra. A Renzo Paladines, Director Ejecutivo de NCI, Fabián Rodas, Bruno Paladines, Felipe Serrano, Helmut Sonnert, Joerg Zellinger, Mario Jaramillo y Numa Maldonado por sus valiosos comentarios y edición final de los textos.

Cita recomendada:

Kiss, K. y A. Bräuning (2008): El bosque húmedo de montaña. Investigaciones sobre la diversidad de un ecosistema de montaña en el Sur del Ecuador. Proyecto de la Fundación Alemana para la Investigación Científica. Unidad de investigación FOR 402. DFG, TMF y Naturaleza y Cultura Internacional. Loja - Ecuador. 64p.



# Investigación para la conservación y el desarrollo sustentable

Contrapartes Nacionales



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE LOJA



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
PARTICULAR DE LOJA



Ministerio  
del Ambiente