

# **Hidrología del páramo**

## **Importancia, propiedades y vulnerabilidad**

### **CONOCER PARA CONSERVAR**

B. De Bièvre<sup>b,c</sup>, V. Iñiguez<sup>b</sup>, W. Buytaert<sup>a,b,\* 1</sup>

#### **Resumen**

El ecosistema páramo ha proporcionado una importante función socio-económica a la comunidad Andina como su principal fuente de agua. Debido a las circunstancias climáticas especiales, los suelos volcánicos poco profundos y porosos con alto contenido de materia orgánica, y su topografía formada por la acción de los glaciares, la hidrología superficial del páramo tiene características extraordinarias. Comparado con cuencas montañosas en otras regiones, los ríos que descienden desde los páramos tienen un flujo base sostenido como un resultado de la elevada capacidad de regulación del agua del páramo. Sin embargo, esta función está amenazada por un incremento de la actividad humana durante los últimos años. Cada vez más, el páramo es usado para pastoreo intensivo de ganado, cultivos de papas y fréjoles y plantaciones de pinos entre otros. Este artículo presenta el estado actual del conocimiento de la hidrología del páramo, sus propiedades y vulnerabilidades. En la primera parte de este artículo damos una visión del estado actual del conocimiento científico de los más importantes factores en la hidrología superficial, es decir: el clima y el suelo y su impacto sobre el comportamiento hidrológico del páramo. En la segunda parte revisamos el impacto de las actividades humanas sobre los diferentes aspectos del ecosistema del páramo, tanto los observados como los supuestos, relevantes para la hidrología. Toda la información

---

1

a. Laboratory for Soil and Water Management. Katholieke Universiteit Leuven. Vital Decosterstraat 102. 3000 Leuven. Belgium.

b. Programa para el manejo del agua y del suelo, Universidad de Cuenca, Ecuador

c. Laboratory for Experimental geomorphology. Katholieke Universiteit Leuven. Belgium

presentada resume el trabajo de investigaciones realizadas en monitoreo y seguimiento de cuatro microcuencas alrededor de Cuenca, en los páramos del Sur del Ecuador.

## **1. Introducción**

Muchas veces a las regiones montañosas se les describe como “las torres de agua del mundo” (Mountain Agenda, 1998). Esta frase está sujeta a debate, pero para los ecosistemas de humedales que se encuentran en las montañas de los Andes altos sobre los 3000 m de altitud, existe poca duda. Directa o indirectamente, proporcionan servicios ambientales a más de 100 millones de personas (IUCN, 2002). Sin duda, el más importante de estos servicios es suministrar agua confiable para uso urbano, para la agricultura y la industria.

El páramo consiste de planicies y valles accidentados de origen glacial con una gran variedad de lagunas, pantanos y praderas húmedas. Como resultado de la poca presencia humana, la calidad del agua es excelente, y los ríos que descienden desde el páramo tienen un alto y sostenido flujo base. Por lo tanto, y porque el agua subterránea es escasa y difícil de explotar, la mayoría de grandes ciudades en el norte de los Andes (p.e.: Bogotá, Quito) dependen del páramo para suministro de agua. A pesar de su importancia como un suministrador de agua, la hidrología del páramo es muy poco entendida. Datos meteorológicos e hidrológicos son casi inexistentes, y la literatura científica es extremadamente escasa. Hasta hoy, esto no ha causado problemas graves para el aprovechamiento del agua debido a la abundancia de páramos cercanos a estas ciudades y la alta producción de agua.

En el futuro, los problemas podrían surgir. Un incremento en la población, en el estándar de vida, y en las actividades agrícolas y económicas resultarán en una creciente demanda por agua.

## **2. Importancia**

El agua del páramo es importantísimo para el funcionar de las poblaciones que viven en los Andes a gran altura. Es consumida como agua de uso doméstico y uso agrícola y es usada para la generación de energía.

### **2.1. Uso urbano**

Una frase podría resumir todo lo referente a este tema : “*Ciudades de altura no serían posibles sin el flujo regulado del páramo* “. Ciudades como por ejemplo Bogotá, Quito y Cuenca consumen agua que es proveniente casi exclusivamente del páramo. Estas ciudades son solamente posibles por que los ríos de los que captan son bien regulados debido a las características específicas del páramo. Sin este flujo regulado no tendrían ninguna otra fuente de agua regulada disponible para su sobrevivencia. Grandes acuíferos de donde se podría tomar agua subterránea por ejemplo no existen.

### **2.2. Usos agrícolas**

El riego en las montañas del Ecuador es una práctica muy antigua. Ya en los tiempos precolombinos, la cultura Cañari, y otras fueron muy activas en la construcción de grandes esquemas de riego. Los Incas mejoraron estas infraestructuras aplicando el conocimiento de otras culturas conquistadas en lo que hoy es Perú y Bolivia. Casi la totalidad del riego en la sierra ecuatoriana se hace con agua del páramo.

### **2.3. Generación de energía hidroeléctrica**

El páramo tiene muy buena aptitud para generar energía hidroeléctrica. La topografía provee excelentes sitios para la construcción de presas pequeñas, y los constantes y confiables flujos base garantizan una generación permanente. Ejemplos de centrales hidroeléctricas dentro del páramo son Saucay y Saymirín con una capacidad de 14.4 MW y 24 MW respectivamente, cerca de la ciudad de Cuenca. Otra es la central Pisayambo al norte del país con una capacidad de 70 MW. Sin embargo, también otras

centrales como la central Paute con una capacidad de 1075 MW, una de las más grandes plantas hidroeléctricas de la región Andina, obtienen gran parte de sus aguas del páramo. Se estima que entre el 25 y el 40 % del agua que llega al embalse de Amaluza se origina en el páramo en al Cordillera Central y Occidental, pero en estiaje representa casi el 100 %.

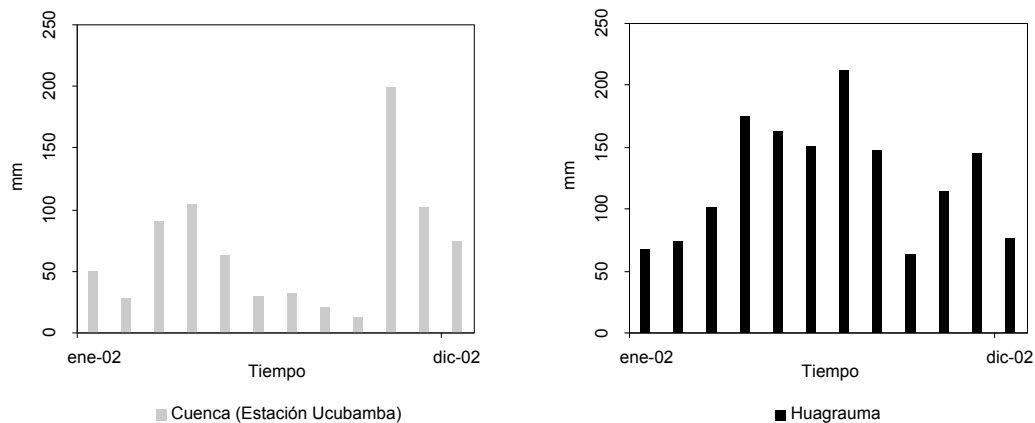
### **3. Propiedades hidrológicas**

#### **3.1. El clima**

Una característica común del páramo es la presencia de temperaturas muy frías. La temperatura media a 3500 m está alrededor de 7° C (Buytaert, 2004). Por otro lado, el consumo natural de agua en el páramo es muy bajo, debido a la predominancia de pajonales y de hierbas xerofíticas con características de baja evaporación, a pesar de la radiación alta a estas altitudes y latitudes. Estimaciones de la evapotranspiración en el páramo están entre 1 y 1.5 mm · día<sup>-1</sup> (Hofstede, 1995; Buytaert, 2004). Como consecuencia un gran excedente de agua está disponible para ser evacuado por los ríos que descienden del páramo.

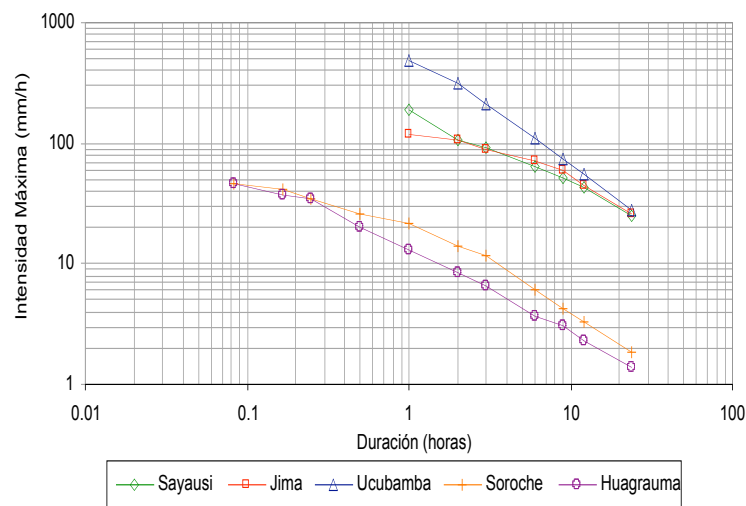
La precipitación anual es relativamente alta comparada con zonas más bajas aledañas, pero muy variable (700-3000 mm) (Luteyn, 1992). Por ejemplo, la precipitación registrada en Huagrauma (páramo de Chanlud) en el año 2002 es igual a 1488.2 mm en comparación con los 806.0 mm de la estación de Ucubamba en Cuenca que está a escasos 26 km .

Adicionalmente hay una variación estacional relativamente baja como se puede desprender de la figura 1, al comparar los registros del mismo año de las estaciones de Ucubamba y Huagrauma:



**Figura 1.** Precipitación del año 2002, estaciones pluviográficas instaladas a 2540 m s.n.m. (izq.) y 3810 m s.n.m. (der.) .

Los eventos de lluvia en el páramo son típicamente de frecuencia alta y de baja intensidad (Buytaert et al., 2004), esto se puede ver más claramente si se compara curvas de intensidad-duración-frecuencia para diferentes estaciones de lluvia localizadas a diferentes alturas, ver figura 2:



**Figura 2 .** Curva de intensidad duración y frecuencia para diferentes estaciones de lluvia. Las estaciones de Soroche y Huagrauma se encuentran sobre los 3500 m s.n.m., a diferencia de las otras que se localizan bajo este nivel (Timbe, 2004).

De la figura 2, se observa una extraordinaria diferencia en intensidad de la lluvia (hasta 10 veces menos intenso en el páramo) para una misma duración de tormenta en

estaciones ubicadas en el páramo en contraste con las otras estaciones que no se encuentran en el páramo.

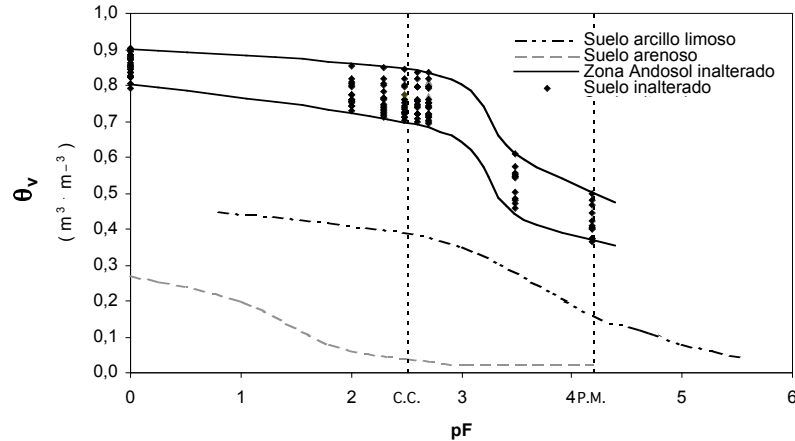
### **3.2. El suelo**

A pesar de la compleja geología y topografía, los suelos del páramo son relativamente homogéneos. El tipo de suelo y las propiedades son principalmente determinadas por dos factores: (1) el clima, y (2) la existencia de una capa homogénea de cenizas de erupciones volcánicas del cuaternario (Barberi et al., 1988; Sauer, 1957; Winckell et al., 1991; Buytaert et al., 2005b; Colmet-Daage et al., 1967). El clima frío y húmedo, y la baja presión atmosférica favorecen la acumulación de la materia orgánica en el suelo.

Los suelos son generalmente clasificados como Andosoles en la “World Reference Base for Soil Resources” (FAO/ISRIC/ISSS, 1998), o Andisoles en la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2003). En áreas más saturadas por agua o en zonas con menor influencia volcánica, se desarrollan Histosoles. (Buytaert, 2004). En zonas más empinadas o donde hay afloramientos de roca, son más los Regosoles (Dercon et al., 1998).

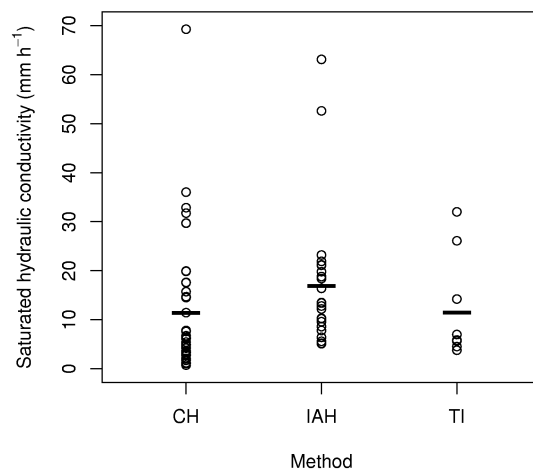
El carbón orgánico típicamente está alrededor del 10 % (Poulenard et al., 2003). En sitios húmedos ( $>900 \text{ mm año}^{-1}$ ), contenidos de C orgánico por encima del 40 % no son nada raros (Buytaert et al., 2005b; Podwojewski et al., 2002).

Como un resultado de la baja densidad aparente y de la estructura abierta y porosa, los suelos del páramo tienen una capacidad de retención de agua muy alta (80-90 % en saturación) (Buytaert, 2004; Iñiguez, 2003). Esto se puede entender mejor cuando se comparan las curvas de retención de humedad de los Andosoles con las correspondientes a los suelos “comunes”, éstos son todos aquellos suelos que están concentrados en el rango comprendido entre los suelos arenosos y los suelos arcillosos, ver figura 3:



**Figura 3.** Curvas de retención de agua para los suelos comunes y para el Andosol inalterado ( $pF = 0$  saturación, C.C. = capacidad de campo, P.M.= punto de marchitez) (Iñiguez, 2003).

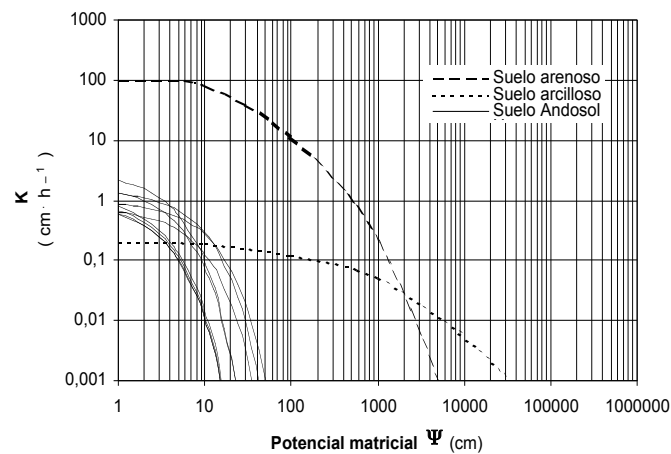
Aplicando varias técnicas *in situ* y laboratorio (permeámetro de carga constante, método del pozo invertido y tensio-infiltrómetro) para la determinación de la conductividad hidráulica de los suelos dan resultados similares en el valor promedio y el rango de variación (Buytaert, 2004), ver figura 4:



**Figura 4.** Comparación de diferentes métodos para la medición de la conductividad hidráulica saturada en la microcuenca de Huagrauma. CH = constant head (carga constante), IAH = inversed auger hole (pozo invertido), TI = tension infiltrometer (infiltrómetro de tensión). – = promedio, (Buytaert, 2004).

Adicionalmente, la conductividad hidráulica en este caso no saturada (K) cae abruptamente con la aplicación de succiones bajas. En experimentos de campo con el infiltrómetro de tensión, Buytaert et al. (2005a) observó una reducción de la conductividad hidráulica desde  $5.3 \text{ mm h}^{-1}$  a  $-3 \text{ cm}$  de succión hasta  $0.52 \text{ mm h}^{-1}$  a

-15 cm. Esta es una reducción mucho más brusca que en otros suelos, como se puede observar en la figura 5:



**Figura 5.** Comparación de diferentes curvas de conductividad hidráulica no saturada (Iñiguez, 2003)

Esta característica podría ser la responsable del “*lentamente soltar*” del agua desde el suelo del páramo.

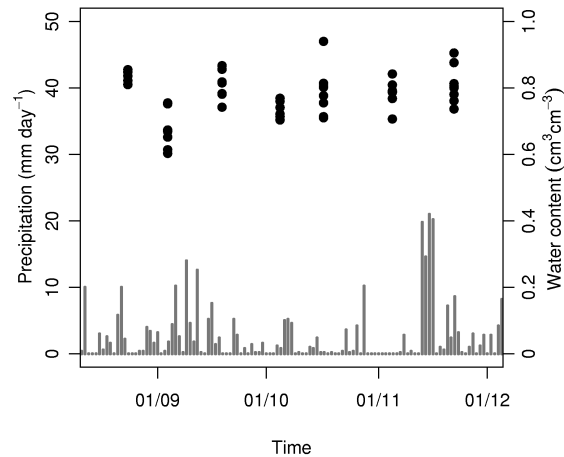
### 3.3. Producción de agua y regulación

Como resultado de la baja evapotranspiración, hay un gran excedente de agua, alimentando los ríos que descienden hacia las regiones costeras y a la cuenca Amazónica. Junto a una alta producción de agua, la capacidad de regulación de agua del páramo es casi legendaria entre agricultores y científicos (Hofstede, 1995; Medina y Vásquez, 2001; Poulenard et al., 2001; Harden, 2001; Sarmiento, 2000; Poulenard et al., 2003; Podwojewski et al., 2002; Luteyn, 1992). De hecho muchos ríos de páramo proveen un flujo base sostenido a través del año (Buytaert et al., 2004). Es improbable que la vegetación predominante, de pajonales y pequeños arbustos, tenga un mayor impacto en la regulación de agua. El flujo base sostenido es atribuido principalmente al clima, la topografía y los suelos.

En la literatura, se da el mayor crédito de la alta regulación de agua a los suelos del páramo (p.e. . Medina y Vásquez (2001); Poulenard et al. (2003); Luteyn (1992)). La



estructura del suelo muy ligera y porosa y la extraordinaria capacidad de almacenamiento de agua confirman la habilidad del suelo para una buena regulación de agua. En la figura 6, se puede observar como la humedad básicamente no varía a pesar de la variabilidad de la lluvia.



**Figura 6.** Contenido de agua actual de los suelos de la microcuenca de Huagrauma sobre el tiempo (\*), comparado con la precipitación (barras), (Buytaert, 2004).

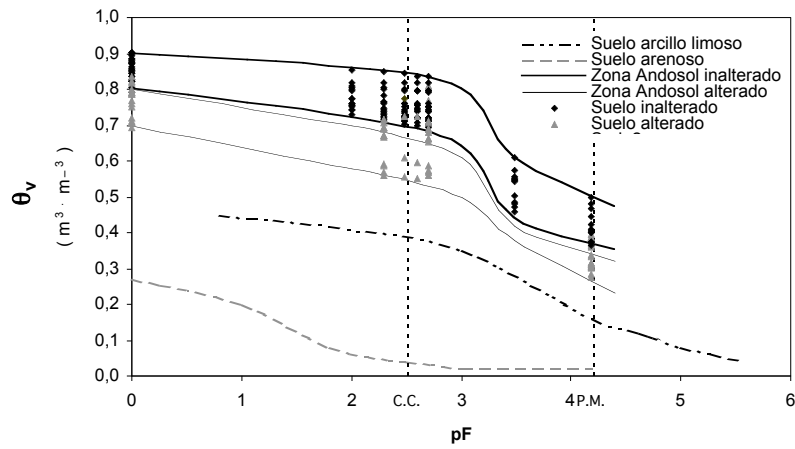
## 4. Impacto humano

Las actividades que se realizan en el páramo pueden poner serios limitantes para su conservación. Se pueden distinguir dos tipos principales de impactos humanos. Por un lado se observa el incremento de la presencia humana en el páramo. Esta presencia tiene un impacto directo en el ciclo del agua por medio de cambios en las propiedades del suelo y vegetación y la construcción de infraestructuras. Por otro lado hay un impacto indirecto en la hidrología del páramo debido a los cambios climatológicos.

### 4.1. Agricultura con labranza

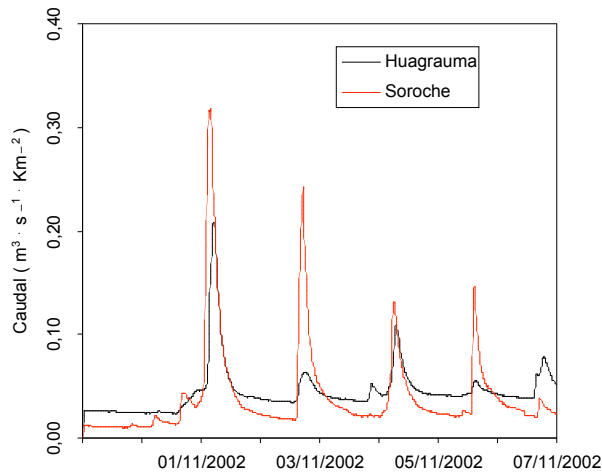
El principal efecto de la labranza en los suelos del páramo es la degradación irreversible de la estructura, principalmente en lo que respecta con el contenido de materia orgánica y de los minerales (alofano, imogolito, ...). Esto causa generalmente una disminución de

la retención de agua (ver figura 7), aumento de la hidrofobicidad y destrucción de la materia orgánica. El resultado es menos regulación de agua.



**Figura 7.** Comparación entre las curvas y puntos de retención de humedad del Andosol inalterado y alterado y de los suelos “comunes”. (Iñiguez, 2003)

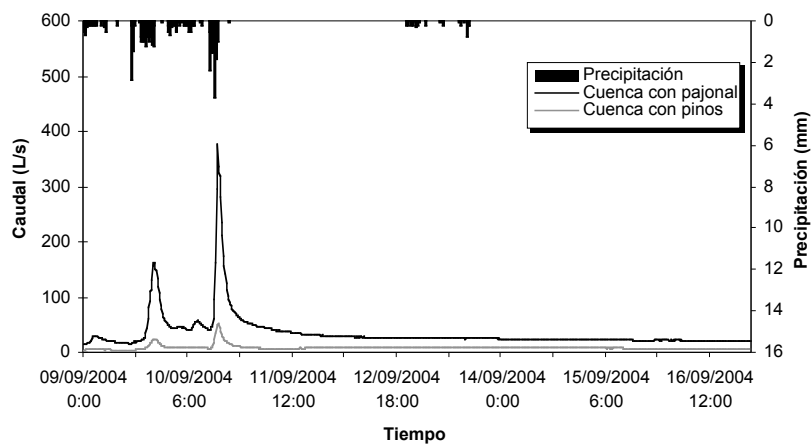
Buytaert (2004) analizó los volúmenes de descarga de microcuencas de páramo del Ecuador (cerca de 2 km<sup>2</sup>) y encontró una razón *flujo pico/flujo base* de 5.0 para cuencas naturales y 11.9 para cuencas cultivadas y drenadas, ver figura 8:



**Figura 8.** Comparación de la respuesta hidrológica (caudal) de la microcuenca natural Huagrauma y la microcuenca alterada Soroche para eventos extremos de lluvia que cubren ambas cuencas (Buytaert, 2004).

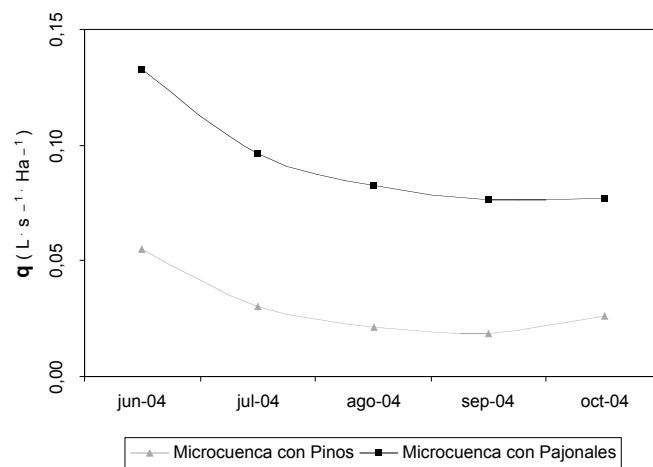
## 4.2. Forestación con pinos

El PROMAS-Universidad de Cuenca en una primera etapa de investigación monitoreó dos microcuencas, (cerca de 1.5 Km<sup>2</sup>) ubicadas al noroeste de la ciudad de Cuenca durante el transcurso del año 2004, que tienen diferente cobertura vegetal; pajonal y pino. La conclusión fue que la respuesta en tiempo a un determinado evento de lluvia es similar en las dos microcuencas, en otras palabras los mismos procesos hidrológicos son los que están presentes o la regulación del agua en el suelo no cambió, ver figura 9.



**Figura 9.** Comparación de la respuesta en caudal a eventos extremos de lluvia (De Bièvre, 2004)

Sin embargo, el caudal específico mínimo de la cuenca con pajonal es aproximadamente TRES veces más alto con respecto a la cuenca con pinos, debido al mayor consumo de agua por evapotranspiración de parte de los árboles, ver figura 10:



**Figura 10.** Caudales específicos mínimos (De Bièvre, 2004)

### **4.3. Forestación con bosque nativo**

La forestación con bosque nativo puede ser importante en la medida de que ayuda a proteger el suelo. Sin embargo, que la (re)forestación en el páramo con especies nativas ayudará a mantener los caudales en épocas de estiaje (como si resulta en cuencas de media y baja montaña), es una idea errónea; lo anterior sin duda producirá efectos desconocidos, probablemente reduciendo la producción hídrica (Hofstede, 2000, 2001) al igual que ha ocurrido en otros países con ecosistemas similares al páramo (Bosch y Hewlett, 1982; Duncan, 1995; Putuhena y Cordery, 2000). El pajonal es probablemente un protector de suelo igualmente bueno y de menos consumo de agua. Sin embargo evidencias contundentes no existen.

### **4.4. Quemadas**

Las quemadas pueden afectar severamente la estabilidad del suelo. Estas prácticas inducen a la formación de agregados del suelo hidrofóbicos y estables con alta repelencia al agua. (Wada, 1985; Valat et al., 1991; Golchin et al., 1997; Piccolo y Mbagwu, 1999). El grado de la repelencia de agua depende de la cantidad y del tipo de la materia orgánica (Poulenard et al., 2001). Sin embargo, esto serían los efectos de un incendio de alta intensidad que llegue realmente a la superficie del suelo. En la mayoría de incendios de pajonal esto no es el caso. Otra vez faltan evidencias en este punto.

### **4.5. Pastoreo**

La resistencia mecánica de los Andosoles e Histosoles es muy baja. Al ser pisados estos suelos se compactan y pierden así su extraordinaria capacidad de retención de agua.

La compactación es menor con los camélidos andinos que con ganado vacuno y bovino.

El sobrepastoreo le deja al suelo sin protección contra el sol. Se seca la parte superficial del suelo en forma irreversible y se vuelve extremadamente vulnerable a la erosión hídrica y eólica (típica situación en la provincia de Chimborazo).

#### **4.6. Cambios climáticos**

Es posible que existe un cambio de régimen de precipitación en los Andes ecuatorianos y por consecuente en los páramos. Debido a la inexistencia de registros históricos largos es imposible comprobarlo.

Aún si hubiera un cambio en precipitación en los páramos hay otro efecto del cambio global de clima que seguramente tendrá un impacto mucho más alto sobre la hidrología de los páramos, esto es la disminución del área de páramo mismo.

Los andosoles responsables de la regulación hídrica dependen de la temperatura fría para su existencia. Si la temperatura sube la descomposición de la materia orgánica aumenta y los suelos pierden su capacidad de regulación.

Un aumento de a penas  $0.6^{\circ}\text{C}$  producirá que los Andosoles que actualmente existen desde los 3300 m s.n.m., existirán desde los 3400 m s.n.m. reduciendo su superficie, por ejemplo en la cuenca del Paute en un 14 %. En el caso de un aumento de  $1.2^{\circ}\text{C}$  el límite sube a 3500 m s.n.m. y la reducción será del 26 %.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Barberi, F., Coltelli, M., Ferrara, G., Innocenti, F., Navarro, J. M. and Santacrose, R., 1988. Plio-quaternary volcanism in Ecuador. *Geological Magazine*, 125: 1–14.

Bosch, J. M. and Hewlett, J. D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55: 3–23.

Buytaert, W., 2004. The properties of the soils of the south Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology. Ph.D. thesis, Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, Katholieke Universiteit Leuven.

Buytaert, W., De Bièvre, B., Wyseure, G. and Deckers, J., 2004. The use of the linear reservoir concept to quantify the impact of land use changes on the hydrology of catchments in the Ecuadorian Andes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8: 108–114.

Buytaert, W., De Bièvre, B., Wyseure, G. and Deckers, J., 2005a. The effect of land use changes on the hydrological behaviour of Histic Andosols in south Ecuador. *Hydrological Processes*, In press.

Buytaert, W., Sevink, J., Leeuw, B. D. and Deckers, J., 2005b. Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian pramo region. *Geoderma*, In press.

Colmet-Daage, F., Cucalon, F., Delaune, M., Gautheyrou, J., Gautheyrou, M. and Moreau, B., 1967. Caractéristiques de quelques sols d'Equateur d'érivés de cendres volcaniques. II. Conditions de formation et d'évolution. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, 5: 353–392.

De Bièvre, B. 2004. Efectos de la cobertura vegetal en microcuencas de páramo. Departamento de Investigación de la Universidad de Cuenca.

Dercon, G., Bossuyt, B., Bièvre, B. D., Cisneros, F. and Deckers, J., 1998. Zonificación agroecológica del Austro Ecuatoriano. U Ediciones, Cuenca, Ecuador, 148 pp.

Duncan, M.J., 1995. Hydrological impacts of converting pasture and gorse to pine plantation and forest harvesting, New Zealand. *Journal of hydrology* 34(1):15-41.

FAO/ISRIC/ISSS, 1998. World Reference Base for Soil Resources. No. 84 in World Soil Resources Reports. FAO, Rome, 88 pp.

Golchin, A., Baldock, J. A., Clarke, P., Higashi, T. and Oades, J. M., 1997. The effects of vegetation and burning on the chemical composition of soil organic matter of a volcanic ash soil by C NMR spectroscopy. II. Density fractions. *Geoderma*, 76: 175–192.

Harden, C. P., 2001. Soil erosion and sustainable mountain development. *Mountain Research and Development*, 21: 77–83.

Hofstede, R. G. M., 1995. Effects of burning and grazing on a Colombian páramo ecosystem. Ph.D. thesis, Universiteit van Amsterdam.

Hofstede, R., 2000. Aspectos técnicos ambientales de la forestación en los páramos. En: Medina, G., C. Josse y P. Mena (Eds.). La forestación en los páramos. Serie Páramo 6. GTP/Abya Yala. Quito.

Hostede, R., 2001. El impacto de las actividades humanas sobre el páramo. En: Mena, P., G. Medina y R. Hofstede (Eds.). Los páramos del Ecuador. Particularidades, problemas y perspectivas. Abya Yala/Proyecto Páramo. Quito.

Iñiguez, V. 2003. Balance hídrico de microcuencas de páramo. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca.

IUCN, 2002. High Andean Wetlands. Tech. rep., IUCN, Gland, Switzerland. Keating, P. L., 1998. Effects of anthropogenic disturbances on páramo vegetation in Podocarpus National Park, Ecuador. *Physical Geography*, 19: 221–238.

Luteyn, J. L., 1992. Páramos: why study them? In: Balslev, H. and Luteyn, J. L. (eds.), *Páramo: an Andean ecosystem under human influence*. Academic Press London, pp. 1-14.

Medina, G. y Vásconez, P. M., 2001. Los páramos en el Ecuador. In: Vásconez, P. M., Medina, G. y Hofstede, R. (eds.), *Los páramos del Ecuador*. Proyecto Páramo, Quito, pp. 1–24.

Mountain Agenda, 1998. *Mountains of the world: water towers for the 21<sup>st</sup> century*. Paul Haupt AG, Bern, 32 pp.

Piccolo, A. and Mbagwu, J. S. C., 1999. Role of Hydrophobic Components of Soil Organic Matter in Soil Aggregate Stability. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 1801–1810.

Podwojewski, P., Poulénard, J., Zambrana, T. and Hofstede, R., 2002. Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). *Soil Use and Management*, 18: 45–55.

Poulénard, J., Podwojewski, P. and Herbillon, A. J., 2003. Characteristics of non-allophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma*, 117: 267–281.

Poulénard, J., Podwojewski, P., Janeau, J. L. and Collinet, J., 2001. Runoff and soil erosion under rainfall simulation of andisols from the Ecuadorian páramo: effect of tillage and burning. *Catena*, 45: 185–207.

Putuhena, W. e I. Cordery, 2000. Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to *Pinus radiata*. *Agricultural and Forest Meteorology* 100, 59-72.

Sarmiento, L., 2000. Water balance and soil loss under long fallow agriculture in the Venezuelan Andes. *Mountain Research and Development*, 20: 246–253.

Sauer, W., 1957. *El mapa geológico del Ecuador*. Editorial Universitaria, Quito.

Soil Survey Staff, 2003. *Keys to Soil Taxonomy, Ninth Edition*. United States Department of Agriculture, 332 pp.

Timbe E., 2004. *Agregación y disgregación temporal de datos de precipitación en microcuencas de páramo*. Tesis de Msc. Universidad de Cuenca, Cuenca – Ecuador.

Valat, B., Jouany, C. and Riviere, L. M., 1991. Characterization of the wetting properties of air-dried peats and composts. *Soil Science*, 152: 100–107.

Wada, K., 1985. The distinctive properties of Andosols. *Advances in Soil Science*, 2: 174–223.

Winckell, A., Zebrowski, C. and Delaune, M., 1991. 'Evolution de mod`ele quaternaire et des formations superficielles dans les Andes de l'Equateur. *G'eodynamique*, 6: 97–117.