

# Impactos del uso del suelo sobre la respuesta hidrológica de cuencas andinas

## Resumen de Investigación



**Boris F. Ochoa-Tocachi, Dimas Olaya, Javier Antiporta, y Bert De Bièvre<sup>1</sup>**



### Introducción

Los Andes tropicales ofrecen una amplia cartera de servicios ecosistémicos, entre ellos, una fuente abundante y sostenida de agua dulce limpia. Estas fuentes deben sostener un incremento constante en la demanda de agua para diversos usos, mientras sufren un proceso acelerado de cambios en el uso del suelo. Estos cambios, impulsados por el crecimiento poblacional, incluyen un aumento de las áreas de cultivo, pastoreo y forestación, que con frecuencia introduce especies exóticas para estimular una mayor rentabilidad de los ecosistemas.

Sin embargo, los impactos hidrológicos de los cambios en el uso del suelo en la región no han sido evaluados de manera apropiada. La mayoría de los estudios existentes se habían focalizado en los ecosistemas de páramos húmedos del norte de Sudamérica, mientras que otros ecosistemas como el páramo seco, la jalca, y la puna no estaban debidamente

representados. La extrema variedad de condiciones climáticas, tipos de vegetación, suelos, geología, y topografía, dan origen a procesos de aparición, circulación y distribución del agua muy diversos, lo cual complica esta evaluación.

Es por esto que varias instituciones académicas y no gubernamentales se han aliado en una *Iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos* (conocida como iMHEA) para generar y actualizar el conocimiento sobre la hidrología de los ecosistemas andinos con el fin de mejorar la gestión de los recursos hídricos y la toma de decisiones en la región. Contar con más información acerca de los procesos hidrológicos y los impactos sobre ellos se vuelve muy útil para optimizar el manejo de los recursos hídricos, reducir la degradación de los ecosistemas, y mejorar la eficacia de las intervenciones sobre la infraestructura natural de las cuencas.



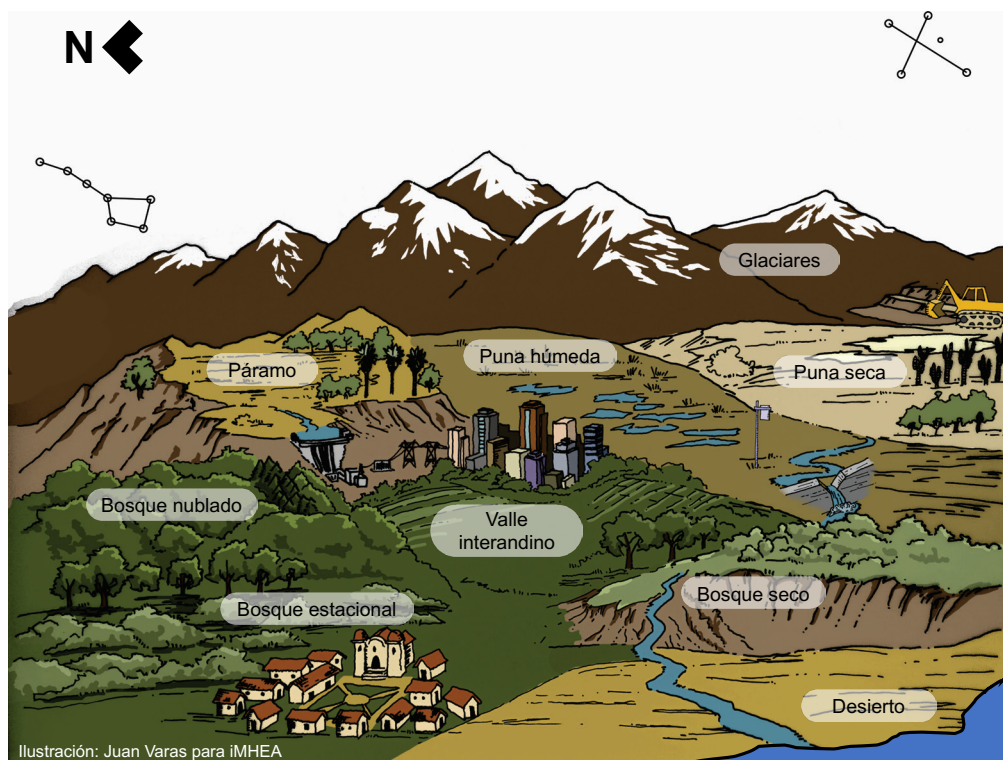
### Los paisajes de los Andes tropicales

Los Andes tropicales se pueden dividir, en general, en cinco principales unidades de paisaje: páramo, puna, bosques andinos, valles interandinos y desiertos montañosos o salares. El páramo, la jalca y la puna son las áreas de montaña que se extienden desde los 3000 a 3500 m sobre el nivel del mar (s.n.m.) hasta por debajo de la línea de nieve perpetua (4500 a 5000 m s.n.m.). El paisaje de páramo cubre la región andina

superior del oeste de Venezuela, Colombia, Ecuador y el norte de Perú, donde la transición a la puna origina los ecosistemas conocidos como jalca. La puna húmeda se extiende desde la parte oriental de Perú hasta el noreste de la Cordillera de Bolivia, mientras que la puna seca se ubica desde la zona occidental de Perú hasta el suroeste de Bolivia y el norte de Argentina y Chile (Figura 1).

<sup>1</sup> El presente resumen ejecutivo ha sido desarrollado por Alfonso Carrasco Valencia para el Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica en base al artículo científico elaborado por: Ochoa-Tocachi B, Buytaert W, De Bièvre B, Célleri R, Crespo P, Villacís M, Llerena C, Acosta L, Villazón M, Gualpa M, Gil-Rios J, Fuentes P, Olaya R, Viñas P, Rojas G, Arias S. Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments. *Hydrological Processes*, vol. 30, pp. 4074–4089, 2016.

La investigación fue realizada desde la Iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (iMHEA) por investigadores del Imperial College London, CONDESAN, FONAG, Universidad de Cuenca, Escuela Politécnica Nacional de Quito, Universidad Nacional Agraria La Molina, SUNASS, Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Mayor de San Simón, ETAPA EP, Instituto de Montaña, Naturaleza y Cultura Internacional, APECO, y SENAMHI.



**Figura 1.** Ilustración de los paisajes andinos y la presencia humana. Esta ilustración muestra los paisajes dominantes de norte (izquierda) a sur (derecha) y de este (arriba) a oeste (abajo), así como asentamientos y actividades humanas típicas (por ejemplo, presas, minería, agricultura). Ilustración: Juan Varas.

Para contrarrestar la falta de conocimiento regional sobre los impactos hidrológicos producidos por los cambios en el uso del suelo, el principal objetivo de este estudio es incluir ecosistemas anteriormente subrepresentados (jalca y puna) en un análisis a nivel regional de dichos impactos sobre la respuesta hidrológica de cuencas andinas. *La respuesta hidrológica* se define como la forma en que una cuenca responde a fenómenos meteorológicos como la precipitación y la temperatura y se evidencia en dos servicios ecosistémicos principales: la regulación hidrológica y el rendimiento hídrico. *La regulación hidrológica* –la esponja– es la capacidad de un ecosistema de almacenar los ingresos de agua (lluvia, nieve, neblina, etc.) durante las estaciones húmedas y hacerlos disponibles durante las estaciones secas. *El rendimiento hídrico* –la fábrica– se define como la capacidad de producción de agua (caudal) de dicho ecosistema durante un tiempo dado. Ambos servicios ecosistémicos son particularmente sensibles a los cambios en el uso del suelo y de la vegetación. Por ejemplo, en ausencia de buena cobertura vegetal e inmediatamente después de una lluvia, los caudales superficiales pueden aumentar y generar grandes flujos de agua, ocasionando erosión del suelo, turbidez del agua, e incluso inundaciones.

Este estudio se basa en información obtenida de 25 microcuencas distribuidas desde Ecuador hasta Bolivia que son parte de la iniciativa iMHEA (Figura 2). Estas cuencas están localizadas a lo largo de los Andes tropicales y cubren un rango de altitud desde 2682 hasta 4840 m s.n.m. Los sitios de estudio son rurales, sin urbanizar y no han sido afectados por abstracciones de agua o alteraciones de los cauces. La mayor parte de las microcuencas presentan una cobertura de suelo natural de herbazales y pastizales altoandinos, intercalados con humedales, matorrales y parches de bosque nativo. Los principales usos del suelo son para conservación, pastoreo, forestación, y cultivo, los cuales se abordan en este estudio.

Para identificar y evaluar los impactos de las actividades de cultivo, forestación, y pastoreo sobre la regulación hidrológica y el rendimiento hídrico, se contrastaron un conjunto de indicadores hidrológicos entre cuencas de referencia y cuencas alteradas (intervenidas). Los indicadores empleados para el análisis de las cuencas se refieren a sus características meteorológicas (precipitación, evapotranspiración, estacionalidad) y a sus características hidrológicas (caudales).



## La respuesta hidrológica natural

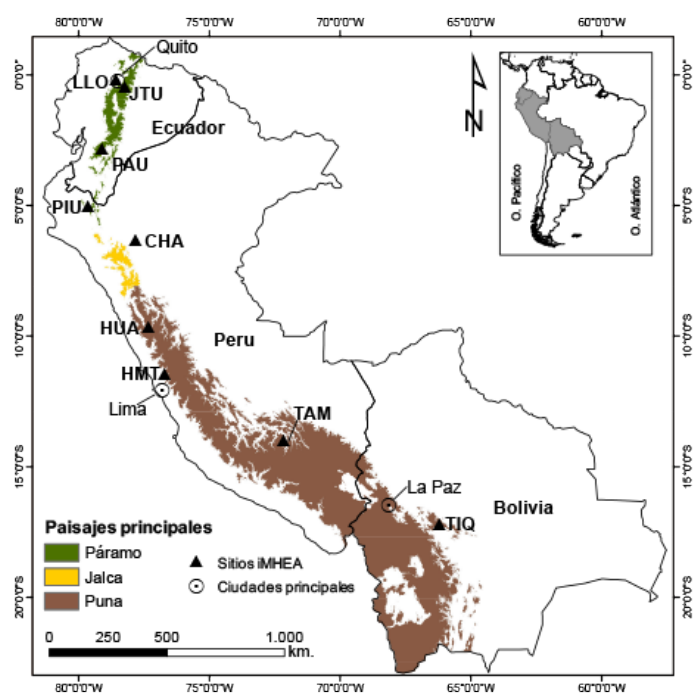
Los resultados del monitoreo evidencian que, en todas las microcuencas, las intensidades de lluvia son bajas, características de regiones altoandinas. En contraste, la

estacionalidad de la lluvia difiere entre las cuencas y es un factor clave que controla la respuesta hidrológica. El ecosistema de puna es más estacional con caudales más

variables, en claro contraste con los páramos que se mantienen permanentemente húmedos y sostienen caudales importantes durante periodos en ausencia de lluvia. Aún así, los resultados generales contrastan con la idea de que las punas son naturalmente menos eficientes que las cuencas de páramo en su rendimiento hídrico. Los resultados de la investigación muestran que la menor producción de caudal percibida en las punas es, en su mayor parte, resultado de un aporte de precipitación también menor y de una estacionalidad más marcada de la lluvia.

Con base en nuestros resultados, es claro que, además del régimen estacional de la lluvia, diversos factores, tales como los tipos de vegetación, los suelos, la geología y la topografía, incrementan la heterogeneidad entre las respuestas hidrológicas de las cuencas. Adicionalmente, las intervenciones humanas que introducen cambios en el uso del suelo generan también impactos significativos sobre estas respuestas hidrológicas.

La Figura 2 muestra la ubicación de los sitios de monitoreo iMHEA para los tres principales biomas de los Andes de Ecuador, Perú y Bolivia: páramo, jalca y puna.



**Figura 2.** Mapa de sitios de la Iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (iMHEA).



## Los impactos de los cambios en el uso del suelo

El principal impacto de los **cultivos** en las microcuencas se manifiesta en una menor capacidad de regulación hidrológica. A mayor capacidad de regulación, mayor será el tiempo que el cauce se mantiene con agua antes de llegar a secarse. En el caso del uso del suelo para cultivos, la disminución de la regulación hidrológica es atribuible principalmente a la introducción de canales de drenaje artificiales y mecanismos que buscan drenar el suelo para permitir su labranza. La labranza por sí misma destruye la estructura del suelo y lo vuelve susceptible a efectos de fenómenos ambientales como la radiación solar, la erosión del viento, y la escorrentía. Estos efectos se pueden intensificar cuando las tierras cultivadas son abandonadas después de algunos ciclos de cultivo y se tornan susceptibles a procesos de degradación y erosión en el tiempo. El descanso del suelo entre ciclos de cultivo es fundamental, y la restauración del paisaje debe ser considerada para evitar la degradación y la erosión. Los cultivos también afectan la calidad del agua mediante el incremento de nutrientes producto de la fertilización del suelo.

En el caso de las **plantaciones** forestales usando especies exóticas, tales como el pino y el eucalipto, se afecta considerablemente tanto el almacenamiento de agua en el suelo en cuanto al rendimiento hídrico. Una cuenca sometida a forestación con pinos evidencia una reducción severa del caudal a comparación de los pastizales andinos naturales. Este efecto se atribuye al mayor consumo de agua (evapotranspiración)

por parte de los árboles en comparación la vegetación nativa, y a la intercepción de lluvia en sus hojas y ramas superiores que evitan que esta llegue al suelo. A pesar de que los eucaliptos, otra especie exótica, son muy extendidos en los Andes, faltan estudios específicos acerca de los efectos de estas plantaciones sobre la hidrología andina pero se pueden esperar efectos similares a los de los pinos. Adicionalmente, si bien es común atribuir a las plantaciones de árboles una capacidad en la prevención de la erosión del suelo, esta capacidad es menor en comparación al que ofrecen otras intervenciones como las terrazas andinas. Si bien los impactos de la forestación en ecosistemas naturales son, en su mayoría, negativos, existen algunos impactos positivos. Las raíces de los árboles pueden mejorar la infiltración de agua en el suelo, lo cual podría adaptarse extensamente y aprovecharse para recuperar tierras degradadas mediante la identificación de zonas con posibilidad de controlar y evitar procesos erosivos intensos. Adicionalmente, existen investigaciones que han encontrado que las plantaciones que incluyen especies nativas o mosaicos de especies pueden ayudar a estabilizar los caudales en contraste con aquellas plantaciones dominadas por especies exóticas.

En lo referido a los impactos del **pastoreo**, éstos dependen de la densidad de animales, de la fisiografía de la cuenca, y de las características del suelo. Las cuencas sometidas a pastoreo intenso reaccionan rápidamente a los eventos de lluvia,

generando caudales pico altos que caen drásticamente luego de las lluvias a caudales base casi completamente secos. Esta rapidez de respuesta hidrológica debida al pastoreo se atribuye principalmente a una compactación agresiva del suelo producto del pisoteo de los animales. Encima de esto, las lluvias más escasas y altamente estacionales en la puna, los perfiles de suelo más superficiales, y la topografía más accidentada intensifican

los impactos del pastoreo, aún cuando la densidad de animales sea baja. Esto conduce a una pérdida de la cobertura vegetal y consecuentemente a una pérdida de suelo orgánico, lo cual da como resultado una reducción sustancial de la regulación hidrológica. El pastoreo también afecta la calidad del agua mediante el incremento de sedimentos suspendidos y concentraciones de coliformes por las heces animales.

### **Conclusiones**

En síntesis, se encuentra que las intervenciones humanas generan un incremento de la variabilidad del caudal y reducciones considerables de la capacidad de regulación hidrológica de las cuencas y de su rendimiento hídrico (Tabla I). En general, el sobrepastoreo, especialmente en la puna, se puede considerar como el uso del suelo de mayor impacto sobre la hidrología de las cuencas andinas. Los impactos sobre la calidad del agua son también importantes, particularmente cuando el agua se usa aguas abajo, por ejemplo, para el consumo humano con tratamiento mínimo. Los impactos de los cambios en el uso del suelo son consistentes en todos los ecosistemas andinos analizados,

independientemente de sus propiedades hidrológicas originales. Es decir, se pueden esperar impactos negativos similares de una intervención humana tanto en el páramo como en la puna o en la jalca. Asimismo, las medidas de conservación, restauración, y adaptación sobre la infraestructura natural de los ecosistemas andinos, tendrían beneficios similares en los diferentes paisajes. La **conservación** de los ecosistemas naturales debe ser la prioridad fundamental para garantizar servicios ecosistémicos hídricos que son muy valiosos, los cuales se pueden perder fácilmente debido a las actividades humanas, y que no se pueden recuperar tan fácilmente aún con actividades de restauración.

**Tabla I: Impactos del uso del suelo**



Factores Hidrológicos	Natural	Cultivos	Pastoreo	Forestación
<b>RENDIMIENTO HÍDRICO</b>				
Alto volumen de precipitación (lluvia, neblina, etc)	↑			
Vegetación que captura la neblina	↑	↓		↑
Baja evapotranspiración (consumo de agua)	↑	↓		↓ ↓
<b>REGULACIÓN HÍDRICA</b>				
Alta capacidad de infiltración de los suelos	↑	↓	↓ ↓	↑
Baja intensidad de la lluvia que alcanza el suelo				↑
Alta capacidad de almacenamiento en los suelos	↑	↓	↓ ↓	↑ ↓
<b>CALIDAD DE AGUA</b>				
Baja carga de compuestos químicos y biológicos	↑	↓	↓	
Estado de cobertura vegetal protectora	↑	↓	↓	↑
Topografía (fuerte pendiente en los suelos)		↑		

Leyenda:      ↓ Impactos negativos      ↑ Impactos positivos

Esta publicación fue posible gracias al apoyo de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional y el Gobierno de Canadá. Las opiniones expresadas en este documentos son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional ni del Gobierno de Canadá.