USAID DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Canadá

Infraestructura natural para la gestión de riesgos de erosión e inundaciones en los Andes: ¿Qué sabemos?

Armando Molina [1,2], Veerle Vanacker [1], Miluska Rosas Barturen [1,3], Vivien Bonnesoeur [4, 5], Francisco Román [4], Boris F. Ochoa-Tocachi [5, 6, 7], Wouter Buytaert [5, 7]

FOREST TRENDS · CONDESAN · SPDA · EcoDecisión · Imperial College London

Foto: Marie Guns.

AUTORES:

Armando Molina (1, 2), Veerle Vanacker (1), Miluska Rosas Barturen (1, 3), Vivien Bonnesoeur (4, 5), Francisco Román (4), Boris F. Ochoa-Tocachi (5, 6, 7), Wouter Buytaert (5, 7)

1. Universidad Católica de Lovaina-la-Nueva, Lovaina, Bélgica.
2. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
3. Pontifica Universidad Católica de Perú, Lima, Perú.
4. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Lima, Perú.
5. Iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (iMHEA), Quito, Ecuador.
6. ATUK Consultoría Estratégica, Cuenca, Ecuador.
7. Imperial College London, Londres, Reino Unido.

MENSAJES CLAVE

1 **Lluvias intensas o largas provocan peligros tales como inundaciones, movimientos en masa y erosión hídrica.** La erosión hídrica (es decir, por acción del agua) no solamente provoca la pérdida de suelo en las laderas, sino también la sedimentación en el sistema fluvial. Las inundaciones y los movimientos en masa son responsables de daños aún más fuertes a las poblaciones y las infraestructuras. **En los Andes, la compleja topografía y variabilidad climática potencian naturalmente estos peligros, que son acentuados por los cambios de uso del suelo.**

2 En las décadas pasadas, la gestión de estos riesgos se ha enfocado en la construcción de obras de infraestructura gris (grandes diques, embalses, etc.). **El manejo de la infraestructura natural ofrece una opción complementaria a la infraestructura gris para reducir los riesgos.** La infraestructura natural consiste en una diversidad de sistemas recuperados, naturales y semi naturales que pueden ser manejados e intervenidos para responder a los varios desafíos que implica la gestión de riesgo de desastres. Por ejemplo, en Perú, el programa de Reconstrucción Con Cambios en cuencas de la vertiente pacífica de los Andes afectadas por el fenómeno el Niño de 2017 contempla intervenciones sobre la infraestructura natural para reducir riesgos futuros.

3 Esta revisión sistemática sintetiza las evidencias existentes acerca de la efectividad de las intervenciones sobre la infraestructura natural para la gestión de riesgos de inundación, movimientos en masa y erosión de suelo en la región andina. Se ha analizado el impacto de:

(1) la conservación y recuperación de los ecosistemas andinos y la cobertura vegetal, que envuelve espacios o áreas de vegetación protectora incluyendo bosques nativos, plantaciones, y pastos naturales como en la puna y bofedales; y,
(2) prácticas de conservación de suelos que agrupan elementos lineales como diques para control de cárcavas, zanjas de infiltración, terrazas de formación lenta y fajas marginales en los cursos de agua.

4 Para esta publicación, se analizaron 137 estudios de casos en la región andina. La mayoría (72%) de los estudios cuantitativos analizaban el impacto que las intervenciones sobre la infraestructura natural tienen sobre la erosión hídrica. Solamente el 13% de los estudios analizaron el efecto sobre las inundaciones, y el 15% sobre los movimientos en masa.

5 **Más del 84% de estudios de caso reportan tasas de erosión que están por encima de 70 t/km²/año. Esta tasa es superior al valor promedio de la tasa de formación de la mayoría de los suelos.** El arrastre de los materiales erosionados puede aumentar la carga de sedimentos en los ríos: más de 65% de los estudios reportan una producción de sedimentos especifica por encima de 250 t/km²/año.

6 La aceleración de las tasas de erosión por encima de las tasas naturales se debe a actividades humanas como la deforestación, el sobrepastoreo, la construcción de senderos y el abandono de tierras agrícolas. El análisis de 125 estudios de caso demuestra que **la conservación de la cobertura vegetal en los Andes (páramos, punas y bosques) es muy efectiva para controlar la erosión. Se observa que las tasas de erosión** en áreas de conservación son, en promedio, 12 veces más bajas en comparación con campos de cultivo y 9 veces más bajas en comparación con pastos.

7 Para mitigar la erosión del suelo, **las prácticas ancestrales y comunitarias de conservación de suelo son muy eficaces cuando se implementan en campos de cultivo y áreas degradadas.** En base a 46 estudios de caso analizados, principalmente en cuencas y valles interandinos, se observa que las intervenciones reducen la erosión del suelo a la mitad. Sin embargo, existe una brecha de conocimiento sobre la eficacia de las intervenciones en pastizales altoandinos.

8 Existe mucha menos evidencia acerca de impactos de la infraestructura natural sobre inundaciones y movimientos en masa en los Andes. Sin embargo, el estudio resalta hallazgos importantes sobre dos casos en particular: el impacto de la conservación y recuperación de bosque, y las estrategias de manejo de riesgo de las culturas peruanas pasadas. **La conservación y recuperación de los bosques nativos puede reducir sustancialmente la ocurrencia de inundaciones leves o moderados y los movimientos en masa superficiales.**

9 **Existe una necesidad crítica de generar información en las cuencas peruanas de la vertiente pacífica.** Existen muy pocos estudios en este ámbito particular a pesar de ser uno de los más vulnerables a los eventos de El Niño o La Niña. Un monitoreo continuo de los peligros o de ciertos de sus procesos combinado con simulaciones permitirá generar información para apoyar a programas importantes actuales como el de la Autoridad para la Reconstrucción Con Cambios.

Foto: Veerle Vanacker.

I. Contexto y objetivo

La cordillera de los Andes es altamente susceptible a inundaciones, movimientos en masa y erosión del suelo debido a su topografía escarpada, a la alta variabilidad espacial y temporal de la precipitación (p.ej., eventos El Niño o La Niña) [1], y a la heterogeneidad de la composición litológica [2]. **(Cuadro 1).** Estos peligros, provocados por lluvias intensas o largas, tienen múltiples consecuencias. La erosión por acción del agua no solamente provoca la pérdida del suelo en las laderas, sino también la sedimentación en el sistema fluvial y daños a la infraestructura civil [3]. Las inundaciones y los movimientos en masa son aún más destructores por las muertes que provocan. Los eventos del Niño 82-83, 97-98 y 2017 en Perú han afectado, cada uno, entre 500 000 y 1.3 millones de habitantes y generado pérdidas de entre USD 3 mil y 9 mil millones [4]. A futuro, los daños que provocan podrían ser aún mayores con el cambio climático, ya que las proyecciones actuales muestran cierta tendencia en un incremento de la frecuencia de los eventos El Niño más fuertes [5, 6].

Las actividades humanas aumentan el riesgo natural desencadenado por las lluvias intensas o largas, sea mediante un incremento de la probabilidad de un evento de desastre o de la exposición y vulnerabilidad humana. Los cambios rápidos de cobertura vegetal, como la deforestación o la construcción de carreteras, aumentan la probabilidad de erosión y movimientos en masa [7, 8, 9]. El asentamiento de poblaciones en zonas expuestas, como las fajas marginales de los ríos, aumenta drásticamente el riesgo ante un evento de inundación.

La gestión preventiva de los riesgos de inundación y erosión ha sido manejada principalmente por obras de infraestructura hidráulica gris, tales como diques o embalses, pero muestra ciertos límites en cuanto a su efectividad [10, 11]. Soluciones alternativas a la infraestructura hidráulica gris, como aquellas basadas en la naturaleza o infraestructura natural, son complementarias y están ganando interés a nivel global y, particularmente, en los Andes. Un caso emblemático de este creciente interés es el programa de prevención de riesgos debido al fenómeno el Niño en cuencas de la costa peruana, que contempla soluciones gris-natural para prevenir riesgos futuros. **(Cuadro 2)**.

La infraestructura natural corresponde a las áreas o sistemas naturales o naturalizados, y que son manejados intencionalmente para proveer múltiples beneficios para el ambiente y el bienestar humano [12]. Actualmente, se reconoce que intervenciones sobre la infraestructura natural pueden reducir los riesgos, sea mediante una reducción de la probabilidad de ocurrencia de un peligro o también mediante una reducción de la exposición de la población o la infraestructura frente al peligro.

Sin embargo, la efectividad de estas intervenciones para la región andina aún no está bien establecida. Algunas intervenciones como la conservación y restauración de llanuras de inundación, incluyendo humedales, han demostrado ser muy eficientes en ciertos ámbitos del mundo para reducir riesgos de inundación al disminuir el caudal aguas abajo [10, 13]. En ámbitos con un nivel más elevado de riesgo como los Andes, no necesariamente estas intervenciones tendrían la misma efectividad. Además, otras prácticas ancestrales y específicas a las regiones andinas pueden mostrar mayor efectividad, por ejemplo, los sistemas de amunas o de andenes.

Durante las últimas décadas en la región andina, instituciones públicas, privadas y organizaciones no gubernamentales han promovido proyectos de conservación de áreas naturales y de implementación de programas de conservación de suelo y agua con el propósito de mitigar la erosión de los suelos. Estas intervenciones han podido impactar también sobre el peligro de inundaciones. Importantes programas fueron ejecutados en este contexto, por ejemplo, el PRONAMACHCS en el Perú [14], el IIDE y USAID en Bolivia [15], y el PRONAREG-MAG-ORSTOM y USAID en Ecuador [16]. Otra importante iniciativa en Ecuador es el programa Socio Bosque (Ministerio del Ambiente y Agua de Ecuador, MAAE) el cual promueve la conservación y protección de la vegetación natural a cambio de incentivos económicos [17].

Surge entonces la pregunta: ¿Cuáles son los impactos de la implementación de estas soluciones para la gestión de riesgos en los Andes? Para poder evaluar el estado del conocimiento respecto al impacto de las intervenciones sobre la infraestructura natural en la erosión hídrica, los movimientos en masa de origen hídrico y las inundaciones en la región andina, se realizó una revisión sistemática de la literatura científica que incluye más de 137 estudios de casos locales. En esta revisión se incluyen solamente estudios que cuantificaron el efecto de la implementación de uno o más elementos de infraestructura natural con el propósito de mitigar la erosión del suelo o moderar los peligros de movimientos en masa o de inundaciones.

Cuadro 1: Peligros desencadenados por lluvias intensas: erosión hídrica, movimientos en masa e inundaciones

Las lluvias intensas o las de larga duración son el origen de inundaciones, erosión hídrica excesiva y de la mayoría de los movimientos en masa. Si bien estos tres peligros suelen ocurrir al mismo tiempo, sus mecanismos de formación y sus impactos son diferentes. Sin embargo, estos peligros pueden interactuar entre ellos, por ejemplo, la erosión hídrica puede aumentar los movimientos en masa y viceversa (Figura 1). Revisemos los conceptos.

Definición de procesos de erosión

La erosión es un proceso en la superficie de la tierra mediante el cual las partículas de suelo o roca se desprenden por acción del agua, viento o gravedad, y luego el material removido es transportado y depositado en otro lugar. En función del agente erosivo, se puede distinguir respectivamente la erosión hídrica (producto de la acción del agua), erosión eólica (producto de la acción del viento) y erosión por movimientos en masa (producto de la acción de la gravedad) [18].

Erosión hídrica:

La erosión hídrica es el proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo debido a la acción de la lluvia y el escurrimiento superficial [18]. Se distingue tres tipos de erosión hídrica con una intensidad de erosión creciente: laminar, por surcos y por cárcavas. La erosión laminar es la desintegración de los agregados y partículas de suelo debido al impacto de las gotas de lluvia y el flujo superficial. El flujo escurre en múltiples láminas sinuosas de agua, entrelazadas, cambiantes, que remueven más o menos uniformemente las partículas más finas del suelo. Cuando el escurrimiento superficial se concentra, forma surcos o canales de baja profundidad (~30 cm). Cuando el agua de escorrentía superficial se concentra en los surcos, ocasiona su profundización y ensanchamiento. Se define la erosión por cárcavas cuando las formas de erosión tienen secciones transversales mayores a 1 m². Inicialmente están localizadas en las partes inferiores de las laderas y luego se extienden hacia las partes superiores por erosión regresiva.

Erosión laminar

Foto: Armando Molina, Jadán, Ecuador.

Erosión por surcos

Foto: Armando Molina, Jadán, Ecuador.

Erosión por cárcavas

Foto: Armando Molina, Déleg, Ecuador.

Movimientos en masa

Erosión por movimientos en masa:

En un movimiento en masa, un bloque de suelo o roca se mueve pendiente abajo como una sola unidad por efecto de la fuerza de la gravedad [19]. Factores naturales, como las lluvias intensas o largas y la actividad sísmica, desencadenan los movimientos en masa. Los principales movimientos en masa incluyen los derrumbes, desprendimiento de rocas y flujos de lodo (llamados huaicos o huaycos en Perú). Las regiones montañosas como los Andes tropicales son muy susceptibles a los movimientos en masa, debido principalmente al clima y la topografía.

Foto: Marie Guns, Mazar, Ecuador.

Transporte de sedimentos en ríos y corrientes

Los movimientos en masa y procesos erosivos son las mayores fuentes de sedimento. Tierra, lodo y sedimento producidos durante eventos catastróficos son transportados por el escurrimiento de agua hacia los ríos. El transporte de materiales sólidos se puede hacer por diferentes formas: en suspensión o por arrastre.

Foto: Veerle Vanacker, Jadán, Ecuador.

Sedimentación de material en reservorios, lagos y llanuras aluviales

Cuando existe un desequilibrio entre la cantidad total de sedimentos del río y su capacidad de transporte, los sedimentos se depositan cambiando la morfología de los ríos. Los procesos de sedimentación no son continuos en el tiempo y espacio: periodos de transporte o arrastre de sedimentos se intercalan con intervalos de sedimentación o almacenamiento temporal. Actividades antropogénicas como la construcción de canales, diques y reservorios suelen modificar los procesos de sedimentación.

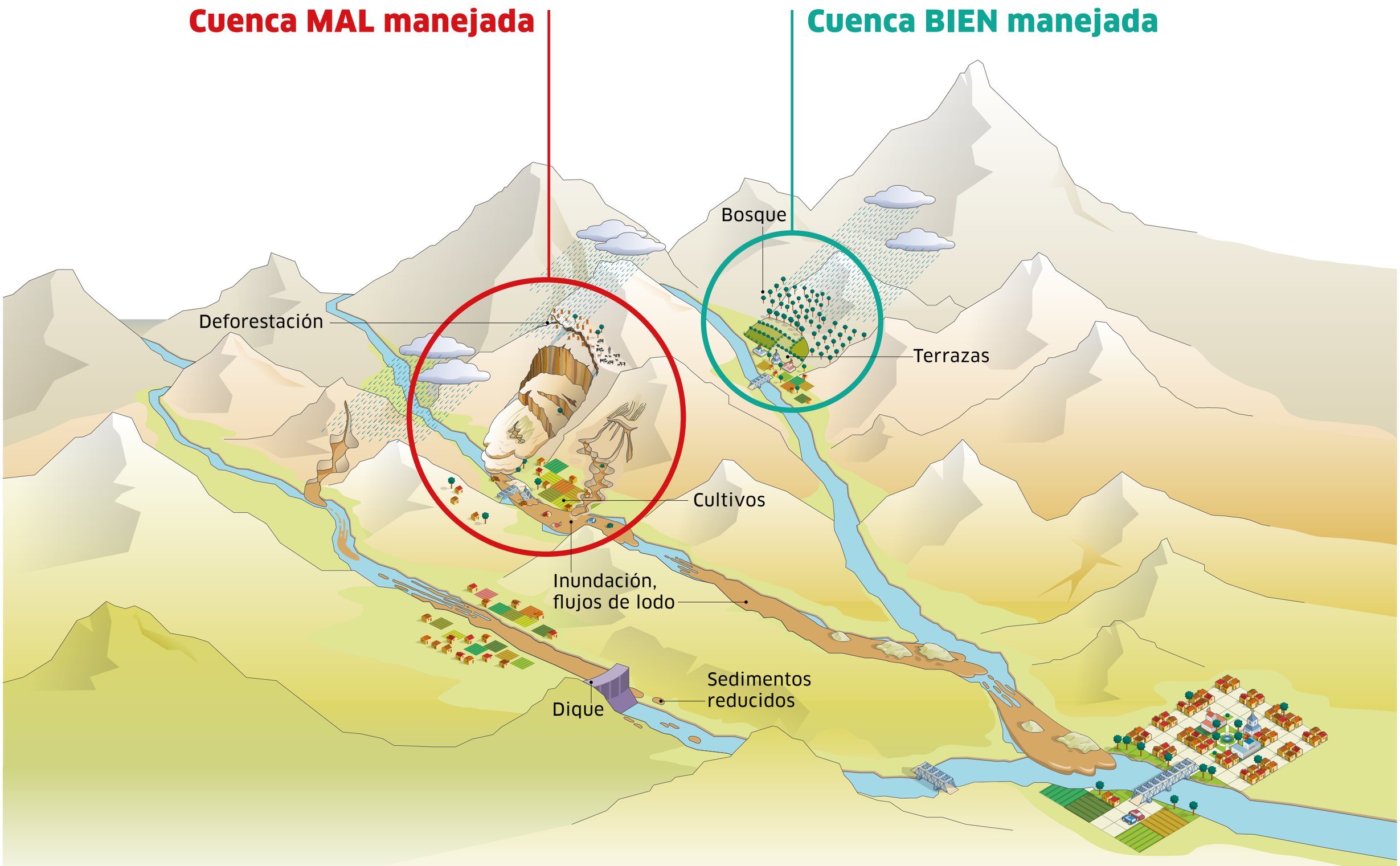
Foto: Veerle Vanacker, Región de BioBio, Chile.

Inundaciones de llanuras aluviales

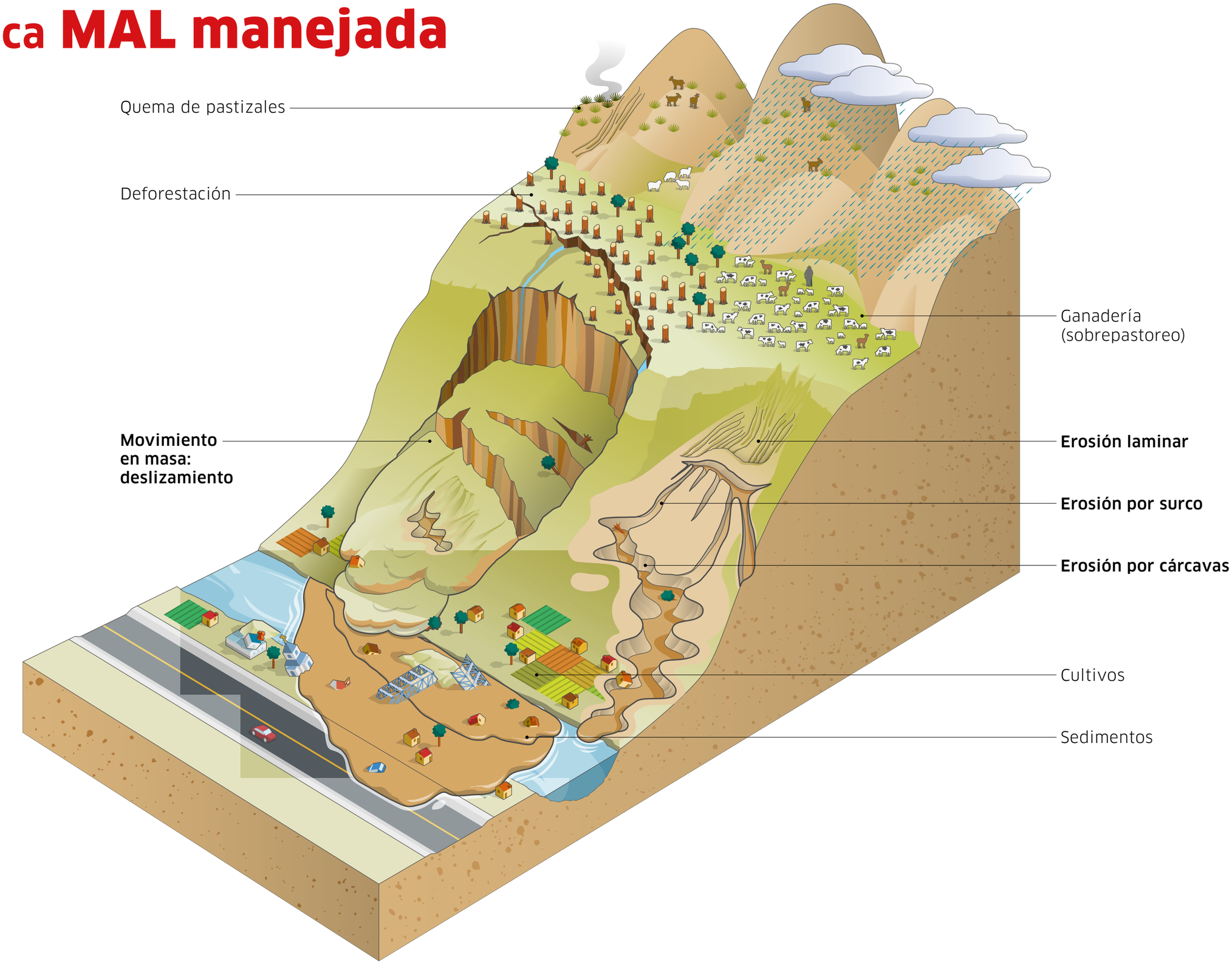
Durante eventos de lluvias intensas o de larga duración, se pueden producir inundaciones de las llanuras aluviales. Las inundaciones son un evento natural y recurrente para un río. A menudo, el resultado de lluvias intensas o continuas sobrepasa la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos y llanuras aluviales. Las inundaciones pueden producirse por desbordamiento del río, por cambios en la posición del canal principal o por ascenso del nivel freático del agua subterránea. Geomorfológicamente, los valles y las llanuras son muy susceptibles a las inundaciones. Las actividades humanas pueden alterar, de manera positiva o negativa, la magnitud y frecuencia de inundaciones por medio de cambios en la infiltración de suelos y el escurrimiento de agua. También, las prácticas de manejo del suelo pueden modificar la descarga de agua a las llanuras aluviales por medio de desviaciones en acequias de drenaje y de riego, qochas y presas.

Foto: Miluska Rosas. Cuenca de Cañete, Perú.

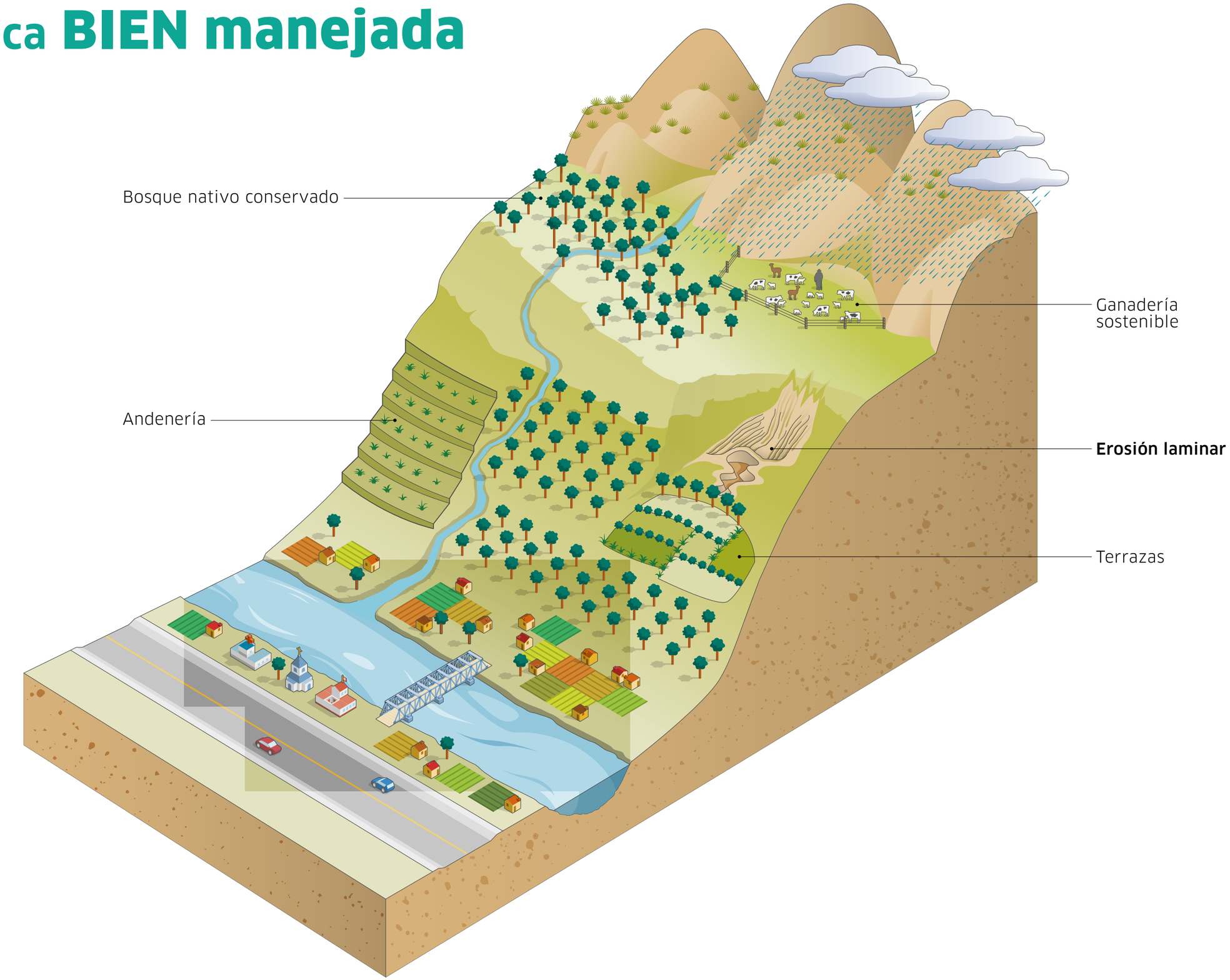
Figura 1. **Peligros desencadenados por lluvias intensas.**



Cuenca **MAL manejada**



Cuenca **BIEN manejada**



Cuadro 2: Infraestructura natural en la Reconstruccion con Cambios en Perú

Foto: ARCC

Después del evento del Niño costero de 2016-2017, el Perú, a través de la Autoridad para la Reconstrucción Con Cambios (ARCC), impulsa la ejecución de soluciones integrales con el objetivo de reducir el peligro de inundaciones y movimientos en masa en los ríos y quebradas más vulnerables. Dichas soluciones integrales buscan involucrar intervenciones sobre la infraestructura natural para recuperar ecosistemas degradados donde se encuentran los factores condicionantes y desencadenantes de los peligros de inundaciones y movimientos en masa en las 17 cuencas priorizadas por la ARCC.

Es la primera vez en Perú que el gobierno nacional se enfrenta el problema de riesgos de desastres y fenómenos naturales incorporando de manera técnica y sistemática los conceptos y datos relacionados a infraestructura natural en complemento con obras de prevención de inundaciones tradicionales. La infraestructura natural se posiciona como una de las variables asociadas a la gestión integral de riesgos de desastres, considerándose intervenciones que reducirán los impactos y las causas de estos problemas.

Las intervenciones sobre la infraestructura natural en las soluciones integrales de la ARCC están todavía en un proceso de diseño y formulación en la mayoría de las cuencas. Contemplan principalmente intervenciones en las partes medias y altas de las cuencas tal como forestación y recuperación de ecosistemas como pajonales altoandinos y bofedales, recuperación de andenes, construcción de qochas o muros para control de cárcavas.

El marco conceptual de estas intervenciones se basa en la identificación de los ecosistemas degradados asociados a la erosión del suelo y pérdida de cobertura vegetal, para reducir su exposición a los peligros relacionados a desastres. El fin es la recuperación de los servicios ecosistémicos y la reducción de la vulnerabilidad de las poblaciones y sus medios de vida frente a los desastres.

Foto: Veerle Vanacker.

2. Métodos

2.1. Revisión sistemática

Este reporte está basado en una revisión sistemática de evidencias de estudios académicos convencionales y no convencionales (también llamados literatura gris). Para la literatura convencional revisada por pares, se realizó la búsqueda sistemática en las bases de datos de referencias bibliográficas de *Scopus* y *Google Scholar*. Para la literatura no convencional, se buscaron en 35 diferentes bases de datos de organizaciones especializadas, instituciones públicas y repositorios locales de universidades públicas y privadas de la región andina.

La revisión sistemática tenía como objetivo recopilar información cuantitativa sobre los potenciales impactos de intervenciones sobre la infraestructura natural para la gestión de riesgos en la región andina. Se consideraron tres grupos de intervenciones:

(1) la preservación y restauración de ecosistemas nativos y forestales;

(2) la implementación de prácticas y medidas de conservación de suelo y agua, y

(3) la implementación de medidas de adaptación que regulen el flujo y transporte de agua.

Se identificaron 813 documentos potencialmente relevantes en un primer filtro, de los cuales más de 65% analizan el efecto de la infraestructura natural en los procesos de erosión hídrica de suelos. Alrededor de 20% de los documentos bibliográficos analizan el efecto sobre las inundaciones y los aluviones. Una minoría, solamente 12% de los estudios, analiza la moderación de movimientos en masa por efectos de la infraestructura natural. Estos resultados resaltan la necesidad de generar más estudios que cubran los efectos de la infraestructura natural sobre la regulación de los servicios ecosistémicos antes descritos, particularmente los que se refieren a los movimientos en masa e inundaciones.

De los 557 documentos sobre los procesos erosivos, más de 85% corresponde con estudios de erosión hídrica de suelo, principalmente la erosión laminar o por surcos, y una minoría estudia la erosión por cárcavas. Aproximadamente el 90% de los estudios analiza el efecto de vegetación protectora y de prácticas de conservación de suelo. Alrededor de 10% de los estudios cuantifica el efecto de los elementos de la infraestructura natural, como los elementos de regulación hídrica (canales, diques, camellones) sobre los procesos erosivos.

Después de una lectura a detalle de los documentos para analizar estudios con datos cuantitativos, el conjunto de estudios se redujo a 137 documentos que cumplían con los criterios de elegibilidad (Figura 2a y 2b).

Figura 2a. **Distribución espacial de los estudios de caso en la región andina.**

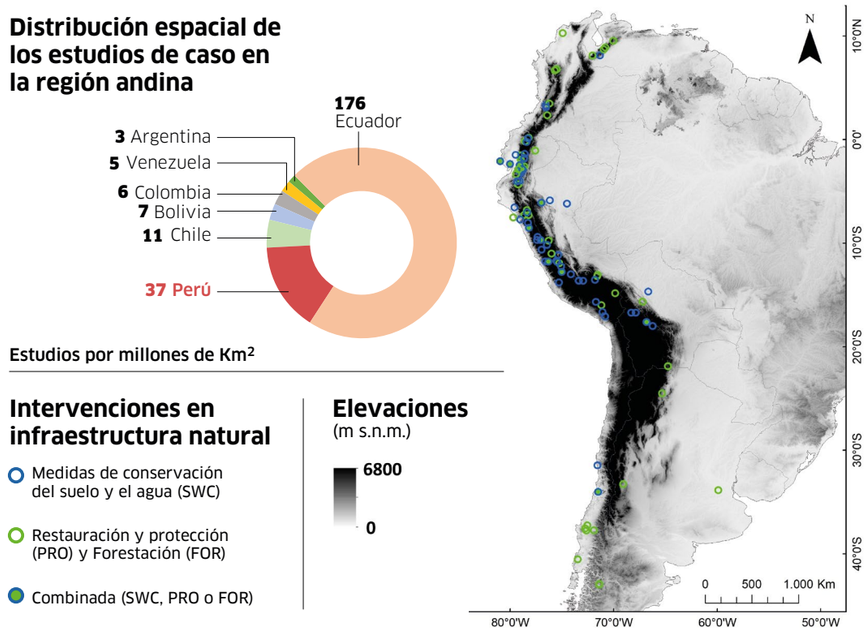
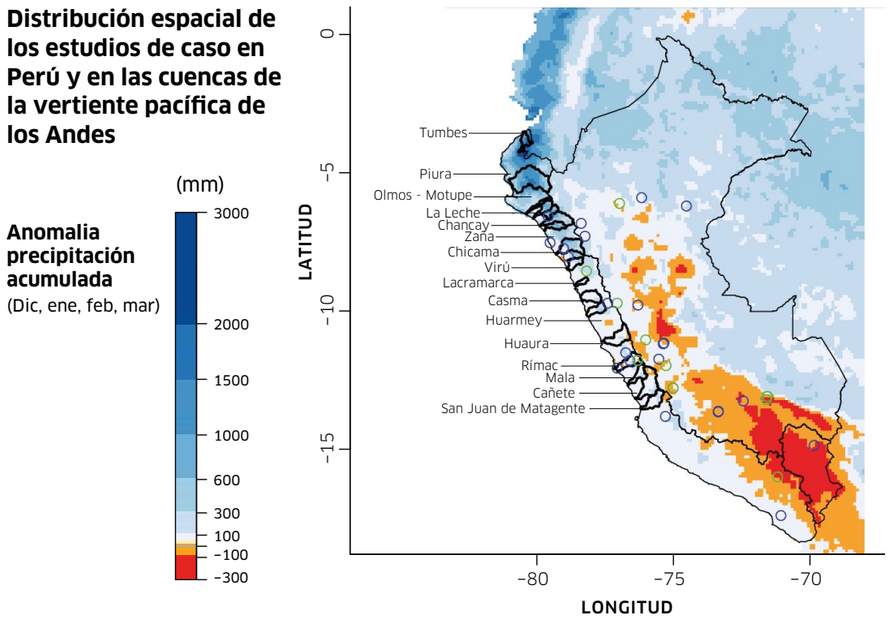


Figura 2b. Distribución espacial de los estudios de caso en Perú y en las cuencas de la vertiente pacífica de los Andes. El 36% de los sitios de estudio fueron ubicados en las cuencas de la vertiente pacífica, mayormente confrontadas a los eventos El Niño o La Niña y donde se encuentran las 17 cuencas priorizadas por la autoridad para la Reconstrucción Con Cambios. La anomalía de precipitación representada* corresponde a los eventos El Niño de los años 1982-83, 1997-98 y 2016-17 y son considerados como los tres eventos más fuerte de los últimos cuarenta años en Perú.



* Son tiempos de retorno promedio, no significa que ocurren puntualmente cada cien años.

2.2. Análisis

En base de la revisión de la literatura, se presentan hallazgos cualitativos sobre: 1) conservación de bosque y forestación como una de las intervenciones más promovidas para la gestión de movimiento masa y las inundaciones y 2) sobre los impactos de la infraestructura ancestral para la gestión de riesgos. Por la escasez de información cuantitativa sobre el efecto de la infraestructura natural sobre inundaciones y movimientos en masa, la síntesis cuantitativa se desarrolló principalmente sobre los impactos de la infraestructura natural en la mitigación de la erosión hídrica.

En el análisis cuantitativo se analizó el efecto de tres intervenciones sobre la infraestructura natural: (1) conservación de la vegetación natural (bosque, páramo, puna), (2) forestación de áreas degradadas con especies nativas y exóticas (eucalipto y pino), e (3) implementación de medidas de conservación de suelo y agua sobre la erosión y mitigación del suelo (Figura 3). Se comparó la efectividad de estas intervenciones con el manejo tradicional de campos de cultivo y pastizales. Además, se hizo una comparación con tierras abandonadas o degradadas (<10% de cobertura vegetal).

Se cuantificaron las tasas de pérdida de suelo y el coeficiente de escorrentía obtenidas de parcelas. Mientras que a escala de cuenca hidrográfica se cuantificaron la producción específica de sedimento (determinado como la producción de sedimento de toda la cuenca por área de superficie). Además, se incluyeron en el análisis dos indicadores de calidad del suelo que impactan la erosión hídrica, el carbono orgánico total en el suelo y la densidad aparente como indicador de la porosidad del suelo.

Los resultados de la revisión son clasificados según el número de estudios y nivel de coincidencia [2,1]. En este análisis consideramos que existe una brecha de conocimiento, cuando existen menos que tres estudios de caso.

Figura 3. **Descripción esquemática del diseño del estudio.**

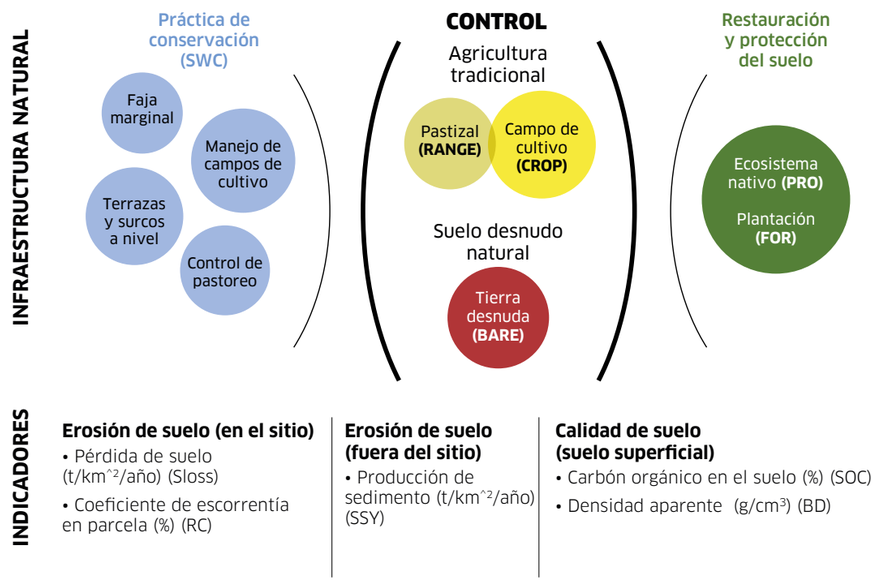


Foto: Ministerio de Defensa.

3. Resultados

3.1. La conservación de bosque y, en menor medida, la forestación, pueden tener un impacto sustancial sobre los movimientos en masa superficiales y la mitigación de inundaciones moderadas

La conservación, restauración y plantación de bosques se encuentran entre las intervenciones más promovidas para reducir los peligros debido a lluvias intensas o largas, y a su vez son de las intervenciones sobre la infraestructura natural sobre las cuales existen algunas evaluaciones de su efectividad [21, 22].

Consenso	Evitar la deforestación en los Andes permite reducir la ocurrencia de deslizamientos superficiales (menor a 1 o 2 metros de profundidad). La cobertura vegetal juega un papel importante en la estabilización de pendientes y taludes. La densidad de deslizamientos superficiales es más baja en bosques nativos que en áreas con pastizales con las mismas características de topografía y geología [23]. Un inventario en Colombia mostró que áreas con bosque (sea nativo o forestado) tenía casi seis veces menos probabilidad de ocurrencia de deslizamiento que áreas sin bosque. [24]
Probable	La conservación de bosque a lo largo de las carreteras de montaña (incluyendo retribución a agricultores o ganaderos) es más costo-efectiva que pagar las reparaciones de los deslizamientos [24].
Brecha de conocimiento	El efecto de la forestación en la estabilización de las pendientes ha sido poco estudiado y es más incierto.
Brecha de conocimiento	El efecto de la conservación y restauración de bosques sobre la ocurrencia o magnitud de flujos de lodo (huaicos) ha sido poco estudiado.
Brecha de conocimiento	El efecto de la vegetación sobre la ocurrencia de deslizamientos disminuye para fenómenos profundos de gran magnitud [2]. Aún no se sabe a partir de qué umbral de profundidad o magnitud la infraestructura natural no tiene influencia sobre los deslizamientos.
Consenso	Los bosques (incluyendo las forestaciones) en las laderas pueden disminuir la escorrentía superficial, incrementar la infiltración y por ende disminuir hasta por la mitad los caudales máximos de eventos de lluvia intensas, pero no extremos.
Consenso	Eventos extremos de lluvia (en intensidad o duración), por ejemplo, que en promedio ocurren una vez cada cien años*, sobrepasan las capacidades de infiltración o almacenaje de los bosques. En este caso, la capacidad de los bosques para mitigar las inundaciones no es importante [25, 26].
Probable	La capacidad de los bosques para mitigar las inundaciones de menor intensidad, pero de mayor frecuencia (p.ej., que ocurren una vez cada cinco años) depende de las características específicas de las cuencas (clima, suelos, topografía, etc).
Brecha de conocimiento	En el caso de las cuencas andinas más vulnerables a eventos climáticos extremos, no se sabe si los bosques (incluyendo las forestaciones) pueden o no reducir sustancialmente los caudales máximos generados por los eventos El Niño moderados a fuertes.
Brecha de conocimiento	No se han encontrado estudios sobre el impacto de la recuperación o conservación de ecosistemas ribereños en las llanuras aluviales, que son bosques en su gran mayoría. Esta intervención podría actuar de manera diferente sobre los riesgos de inundación, incluyendo una reducción de la exposición de la población o de las infraestructuras.

* Son tiempos de retorno promedio, no significa que ocurren puntualmente cada cien años.

3.2. Prácticas e infraestructuras ancestrales en Perú sobrevivieron a eventos extremos de los 3000 años pasados

Foto: Asociación Andina Cusichaca.

Los eventos de lluvia muy fuertes en intensidad o de duración larga son poco frecuentes. Por ejemplo, en Perú el tiempo promedio de retorno de los eventos muy fuertes de El Niño son entre 60 a 80 años [27]. Por esta razón, es difícil evaluar la efectividad de intervenciones de los últimos cuarenta años sobre los eventos extremos. Existen, sin embargo, prácticas que se han mantenido por siglos y fueron mejoradas y seleccionadas. Este es el caso de los andenes, de las amunas o las prácticas agrícolas de riego y desviación de agua con canales en valles. Estas prácticas pasaron eventos El Niño más fuertes que el Niño costero de 2016-2017. Estudios arqueológicos en las cuencas de la vertiente pacífica de los Andes del Perú revelan el fruto de siglos de adaptación y una perspectiva diferente de la gestión de estos riesgos.

Probable

La práctica de las amunas o mamanteo en las zonas altas de las cuencas de Lima, cuyo objetivo principal es prolongar la provisión de agua en época de estiaje, disminuyen también los caudales máximos mediante su desviación en canales durante la época de lluvia. La generalización de esta práctica en la cuenca Rímac podría disminuir potencialmente el caudal en la época de lluvia de un 35% [28, 29].

Consenso

Una gran diversidad de estrategias existieron en las culturas Chimú, Moche y Wari por ejemplo, para vivir con los riesgos, incluyendo una agricultura flexible de riego resiliente permitiendo la reconstrucción rápida de su infraestructura, construcción de red de canales incorporando redundancias de canales, prácticas de agricultura en laderas (andenes) y no en llanuras de inundación, la localización de las viviendas en zonas no inundables o la construcción de defensas ribereñas [30, 34].

Consenso

En las zonas bajas de las cuencas, la desviación del agua mediante canales durante la época de lluvias, inclusive por eventos El Niño, ha permitido de aprovechar del agua y de los sedimentos transportados para expandir la agricultura en un contexto árido [33, 34].

3.3. Impacto de intervenciones en la infraestructura natural para la mitigación de la erosión hídrica

Tabla 1. Resumen de los potenciales impactos de la infraestructura natural en la erosión hídrica a nivel de parcela y cuenca hidrográfica. Resultados del análisis comparativo con

campos de cultivos y tierra de pastizales	conservación de vegetación natural (bosques, páramos, punas)	forestación; implementación de medidas de conservación de suelo y agua	tierras degradadas o abandonadas.

	Indicador de susceptibilidad a erosión		Mitigación de erosión por medio de una reducción en		
	Carbono orgánico del suelo	Densidad aparente	Pérdida de suelo	Coeficiente de escorrentía a nivel de sitio	Producción de sedimento
Cultivos o pastizales (control)					
Conservación de la vegetación natural	+++	+/-	+++	¿	+++
Forestación	+/-	+/-	+/-	¿	+
Implementación de medidas de conservación de suelo	+++	+/-	+++ (comparado a cultivos) (comparado a pastizales)	+++	¿
Tierras degradadas	+/-	+/-	---	---	---

+++	Efecto muy positivo	---	Efecto muy negativo	+/-	No hay efecto
+	Efecto positivo	-	Efecto negativo	¿	Brecha de conocimiento

Cuando una intervención tiene un efecto positivo, resulta en una mejora de la calidad de suelo (carbono orgánico en el suelo y porosidad del suelo), y una reducción de pérdida de suelo, coeficiente de escorrentía y producción de sedimento.

Foto: Julio Reaño.

Foto: Marie Guns.

3.3.1. Efecto de la conservación de la vegetación natural sobre la mitigación de erosión hídrica

Conservación de la vegetación natural (bosques, páramos, punas):

La cobertura vegetal superficial controla la erosión del suelo [35] por medio de su follaje, raíces, y la hojarasca. Una densa vegetación superficial protege el suelo del impacto de las gotas de lluvia, aumenta las tasas de infiltración, reduce la escorrentía superficial, proporciona rugosidad a la superficie, y adiciona sustancias orgánicas al suelo. El efecto de la cobertura vegetal en disminuir el riesgo de la erosión del suelo también depende de la composición y estructura de la comunidad de las plantas, y de los patrones de crecimiento.

Foto: Armando Molina, Cajas, Ecuador.

Consenso — Estudios que fueron realizados bajo una vegetación natural mostraron, en promedio 2.5 veces mayores contenidos de carbono orgánico, y tasas de pérdida de suelo 10 veces menores que en tierras de cultivo y pastos.

Consenso — Áreas cubiertas con vegetación natural muestran tasas de pérdida del suelo en promedio 19 veces menores que tierras degradadas y abandonadas, mientras que el carbono orgánico del suelo muestra 4.6 veces mayores contenidos en áreas naturales comparadas con tierras degradadas.

3.3.2. Efecto de la forestación de áreas degradadas en la mitigación de la erosión hídrica

Forestación* de áreas degradadas:

Las tierras degradadas se caracterizan por una escasa cobertura vegetal y están afectadas por una rápida generación de escorrentía superficial y severa erosión hídrica, incluyendo cárcavas. La instalación de árboles pioneros de rápido crecimiento favorece una rápida estabilización del suelo y contrarrestan las cárcavas activas mediante la producción de sistemas radiculares profundos y extensos que se anclan en el regolito o material parental ligeramente alterado. Además, la forestación con especies pioneras estimula la colonización de hierbas y arbustos que a su vez mejoran y anclan la deposición de sedimentos en los lechos de las cárcavas [36].

Foto: Veerle Vanacker, Jadán, Ecuador.

Consenso — En estudios realizados a escala de cuenca hidrográfica se muestra que las cuencas que han sido forestadas muestran bajas tasas de producción de sedimentos cuyos valores son similares a cuencas dominadas por vegetación natural. En promedio, las cuencas donde las áreas degradadas han sido forestadas tienen una tasa de erosión que son 4.4 veces menores que las cuencas cubiertas por tierras degradadas.

Consenso — Los resultados muestran una importante reducción en las tasas de pérdida de suelo en áreas forestadas comparadas con áreas de cultivo y áreas degradadas, en promedio se reducen 1.7 y 2.8 veces, respectivamente.

Probable — Estudios conducidos en áreas forestadas indican que el suelo contiene en promedio 1.3 y 1.7 veces mayor carbono orgánico que los suelos en áreas de cultivo y en áreas degradadas, respectivamente.

Brecha de conocimiento — La falta de un patrón en la respuesta de los coeficientes de escorrentía en los estudios revisados a nivel de parcela se debe en gran medida a la escala de los experimentos que varían desde pocos cm² hasta cientos de m² y a la variabilidad que existe en el uso de la tierra.

* Establecimiento de cobertura forestal en forma de plantaciones o mediante la regeneración natural en zonas que en el pasado tuvieron, o no, bosques. Si en un pasado reciente, existía bosques que fueron deforestados, hablamos de "reforestación", sea con las mismas especies de árboles o de otras especies.

3.3.3. Efecto de las prácticas de conservación de suelos en la mitigación de la erosión hídrica

Principales prácticas de conservación de suelos

Terrazas de formación lenta:

Son estructuras formadas por taludes a manera de gradas o bancos debido a la presencia de barreras de piedras o barreras de tierra con vegetación (pasto) en la parte baja de la parcela. Debido a la erosión por labranza en la parte alta de la parcela, el material se mueve y se va acumulando lentamente en la parte baja. La ventaja de las terrazas es que conservan la humedad y fertilidad del suelo reduciendo la erosión hídrica y aumentando la infiltración de agua de las lluvias. Asimismo, las terrazas disminuyen la pendiente, lo que facilita la labranza y reduce la velocidad de la escorrentía.

Terrazas
Foto: Marco Ramírez, Gima, Ecuador.

Sistemas agroforestales:

Práctica que consisten de la siembra de cultivos y árboles forestales o frutales. En este sistema generalmente se encuentra dos tipos de configuraciones: (i) árboles dentro de los cultivos y (ii) árboles alrededor de los cultivos, huertos familiares o como cercas vivas. La presencia de los árboles reduce la erosión hídrica en la parcela, debido a la cobertura vegetal permanente, la incorporación de material orgánico en el suelo y la presencia de una red densa de raíces, los cuales ofrecen buena resistencia a cualquier proceso erosivo.

Árboles dentro de los cultivos
Foto: Veerle Vanacker, Gualaceo, Ecuador.

Cercas vivas
Foto: Marco Ramírez, Gima, Ecuador.

Muros de gaviones para control de cárcavas

El control de cárcavas o torrentes consiste en interceptar el escurrimiento superficial en el cauce de una cárcava, a través de la construcción de "diques" a lo largo de la pendiente de la cárcava. Estos diques sirven como pequeñas presas temporales o permanentes, las cuales disminuyen la velocidad del agua de escorrentía y retienen sedimentos aguas arriba de los diques. Esto facilita la estabilización de la cárcava, permitiendo el establecimiento de una capa vegetal en el cauce y en las laderas de la cárcava.

Muros de gaviones
Foto: Veerle Vanacker, Gualaceo, Ecuador.

Barreras de piedras o de tierra:

Esta práctica consiste de una barrera de piedras o de tierra perpendicular a la pendiente del terreno, emplazada generalmente en la parte inferior de la parcela agrícola. Las dimensiones en altura y longitud de las barreras son muy variables. La construcción de las barreras de piedra o de tierra mejora el control de la escorrentía superficial de agua, lo cual induce a (i) la acumulación de sedimentos detrás de las paredes de las barreras con la formación de terrazas y (ii) la disminución del grado de la erosión hídrica en las parcelas protegidas.

Barreras de piedra y tierra
Foto: Veerle Vanacker, Gualaceo, Ecuador.

Consenso	Estudios en áreas donde se han implementado prácticas de conservación de suelo y agua muestran una disminución de las tasas de pérdida del suelo de 1.9 y 3.1 veces en comparación con áreas cultivadas y degradadas, respectivamente.
Consenso	Cuencas hidrográficas donde se implementaron prácticas de conservación de suelo y agua reducen la producción de sedimento en 1.2 y 2.5 veces con respecto a cuencas dominadas con cultivos y áreas degradadas, respectivamente.
Probable	Los resultados del contenido de carbono orgánico en el suelo en áreas implementadas con prácticas de conservación muestran valores de 1.2 y 1.6 veces mayores que áreas de cultivo y áreas degradadas, respectivamente.
Controversia	A escala de parcela, los resultados de coeficientes de escorrentía muestran resultados contradictorios, los cuales pueden deberse a varios factores como el uso del suelo (sobrepastoreo), experimentos realizados en suelos desarrollados sobre diferente litología, duración e intensidad de las simulaciones de lluvia.
Brecha de conocimiento	Mas de 50% de los estudios revisados corresponden a experimentos a nivel de parcela o microcuenca, en las cuales se evalúa la combinación de varias prácticas de conservación (cercas vivas, terrazas y muros de retención) sobre la erosión de suelo. Por lo tanto, la efectividad de alguna intervención en particular no se pudo sistematizar por la dificultad de aislar los factores.

CONCLUSIONES

En resumen, podríamos concluir que la implementación de intervenciones sobre la infraestructura natural en ecosistemas agrícolas y naturales son estrategias importantes para disminuir el riesgo de la erosión hídrica y para mantener o mejorar ciertas propiedades clave del suelo, como la cantidad de carbono orgánico.

Las principales conclusiones acerca de los efectos de las intervenciones sobre la infraestructura natural para la mitigación de la erosión de suelos en la región andina son:

Consenso

La **conservación de la vegetación natural** tal como la vegetación nativa de páramo, puna y bosque nativo ocasiona que la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica sea muy baja con tasas de pérdida de suelo y producción de sedimento insignificantes a escala de parcela y cuencas pequeñas, respectivamente. El efecto de la preservación de áreas naturales se ve reflejado en los niveles altos de carbono orgánico del suelo asociados con valores bajos de densidad aparente, estas propiedades del suelo son indicadores de la buena calidad del mismo.

Por otra parte, la conservación de bosque puede tener un impacto sustancial de mitigación de inundaciones y movimientos en masa leves o moderados.

Consenso

La **forestación*** **de áreas degradadas** con especies de rápido crecimiento disminuye considerablemente las tasas de pérdida de suelo y producción de sedimento, además de contribuir con incrementos importantes de los niveles de carbono orgánico del suelo.

Consenso

Una de las principales estrategias de intervención sobre la infraestructura natural para la mitigación de la erosión hídrica es la implementación de **prácticas de conservación de suelos** en sistemas agrícolas con manejo tradicional. Generalmente, la agricultura convencional es manejada con técnicas inapropiadas que aceleran los procesos de erosión. Nuestros resultados muestran un fuerte efecto de las intervenciones naturales con prácticas de conservación de suelos que se traducen en tasas bajas de pérdida de suelo (parcela) y producción de sedimento (cuencas). La combinación de obras físicas y biológicas en las parcelas de cultivo han mejorado la calidad del suelo que se refleja con incrementos importantes en los niveles del contenido del carbono orgánico.

Brecha de conocimiento

La mayoría de los estudios fueron a nivel de sitio o de parcela. La generalización de resultados a escalas de microcuenca o cuenca es riesgosa y se requiere más investigaciones a nivel de cuencas hidrográficas para robustecer los hallazgos encontrados.

Brecha de conocimiento

Aunque es probable que el efecto de la infraestructura natural sobre la mitigación de erosión depende de la relación entre la erosividad del suelo y el clima, aun no se cuenta con suficientes estudios para verificar esta hipótesis. Se recomienda promover la colección sistemática de información cuantitativa sobre los procesos erosivos en ecosistemas lluviosos versus áridos, por ejemplo, que carecen de información.

Finalmente, en este estudio se han agrupado diferentes tipos de intervenciones sobre la infraestructura natural por falta de evidencias o estudios de caso con datos cuantitativos de cada uno. Un monitoreo de programas de intervención sobre la infraestructura natural por medio de estudios de caso es relevante para aumentar la base científica existente en los Andes.

Brecha de conocimiento

De la totalidad de los documentos bibliográficos recopilados, solamente el 15% evalúa el efecto de las intervenciones sobre la infraestructura natural durante los eventos extremos de lluvia, como los eventos asociados con eventos de El Niño o La Niña mientras que la mayoría de los estudios consideran eventos de lluvias leves y frecuentes. En nuestra compilación, el 5% de los artículos hace referencia al efecto sobre los movimientos en masa e inundaciones. No existe un análisis integral sobre el rol de la infraestructura natural frente a los eventos extremos de lluvia. Esta brecha es muy importante considerando la tendencia del aumento de la frecuencia de eventos El Niño más fuertes.

* Establecimiento de cobertura forestal en forma de plantaciones o mediante la regeneración natural en zonas que en el pasado tuvieron, o no, bosques. Si en un pasado reciente, existía bosques que fueron deforestados, hablamos de "reforestación", sea con las mismas especies de arboles u de otras especies.

RECOMENDACIONES

Conservar la cobertura vegetal natural y evitar la deforestación deben ser prioridades. La conservación de la cobertura natural es la manera más efectiva de reducir la erosión hídrica. En el caso de los bosques, existe además evidencia que evitar la deforestación reduce la ocurrencia y magnitud de movimientos en masas superficiales e inundaciones leves. En el estado actual de conocimiento, existe más incertidumbre sobre la efectividad de la recuperación de la cobertura natural para reducir movimientos en masas o inundaciones.

Promover la reforestación en tierras deforestadas, la forestación en áreas degradas para reducir la erosión hídrica. Esta síntesis demuestra la efectividad de estas prácticas promovidas durante las últimas décadas para reducir la erosión hídrica en los Andes. Estas prácticas deben ser consideradas en el portafolio de intervenciones de los programas andinos de gestión de riesgo desencadenados por lluvias intensas.

Monitorear y modelar los peligros y sus consecuencias: El monitoreo de erosión por movimientos en masa, turbiedad o concentración en sedimentos serán muy importantes. Sin embargo, los eventos más intensos no ocurren frecuentemente, por lo cual es importante vincular el monitoreo de los peligros con simulaciones por modelos robustos de la probabilidad de ocurrencia de la erosión, movimiento en masa o inundaciones antes que se produzcan.

Tener un portafolio de herramientas de gestión e inversión para anticipar riesgos y también mejorar la resiliencia ante un evento dañino. Las civilizaciones pasadas utilizaron diferentes estrategias para vivir con los eventos lluviosos más extremos, sea mediante una planificación a detalle o mediante la capacidad de reconstruir rápidamente infraestructura (sobre todo infraestructura agrícola y de riego). En este sentido, la aplicación en Perú de las Inversiones Optimización, Ampliación marginal, Reposición y Rehabilitación (IOARR) a la infraestructura natural es una herramienta de gran relevancia para acelerar la reparación de la infraestructura natural dañada por eventos extremos, por ejemplo, canales ancestrales de infiltración o andenes, y así aumentar la capacidad de aprovechar oportunamente de eventos lluviosos sin temer de perder la infraestructura.

Foto: Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica.

REFERENCIAS

1 Montgomery, D. R., Balco, G. & Willett, S. D. Climate, tectonics, and the morphology of the Andes. *Geology* **29**, 579–582 (2001).

2 Molina, *A. et al.* Runoff generation in a degraded Andean ecosystem: Interaction of vegetation cover and land use. *Catena* **71**, 357–370 (2007).

3 Pimentel, D. *et al*. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* **267**, 1117–1123 (1995).

4 French, A. & Mechler, R. Managing El Niño Risks Under Uncertainty in Peru: Learning from the past for a more disaster-resilient future. *Int. Inst. Appl. Syst. Anal.* (2017).

5 Cai, *W. et al.* Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming. *Nature* **564**, 201–206 (2018).

6 Cai, W. *et al*. Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. Nat. *Rev. Earth Environ.* **1**, 215–231 (2020).

7 Brenning, A., Schwinn, M., Ruiz-Páez, A. P. & Muenchow, J. Landslide susceptibility near highways is increased by 1 order of magnitude in the Andes of southern Ecuador, Loja province. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **15**, 45–57 (2015).

8 Glade, T. Landslide occurrence as a response to land use change: a review of evidence from New Zealand. *CATENA* **51**, 297–314 (2003).

9 Guns, M. & Vanacker, V. Shifts in landslide frequency–area distribution after forest conversion in the tropical Andes. *Anthropocene* **6**, 75–85 (2014).

10 European Environment Agency. *Green infrastructure and flood management: promoting cost efficient flood risk reduction via green infrastructure solutions.* (Publications Office, 2017).

11 Keesstra, S. *et al.* The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. *Sci. Total Environ.* **610–611,** 997–1009 (2018).

12 IISD. The Multiple Benefits of Natural Infrastructure. International Institute for Sustainable Development (IISD) https://www.iisd.org/articles/multiple-benefits-natural-infrastructure (2018).

13 Acreman, M. & Holden, J. How Wetlands Affect Floods. *Wetlands* **33**, 773–786 (2013).

14 Torero Zegarra, E., Pender, J. ,. Maruyama, E. ,. Keefe, M. and Stoorvogel, J, M. Socioeconomic and technical considerations to mitigate land and water degradation in the Peruvian Andes. *CPWF Proj. Rep. Ser. PN70* (2010).

15 Zimmerer, K. S. Soil erosion and social (dis)courses in Cochabamba, Bolivia: perceiving the nature of environmental degradation. *Econ. Geogr.* **69**, 312–327 (1993).

16 De Noni, G. & Trujillo, G. Degradación del suelo en el Ecuador. *Cultura* **24**, 383–394 (1986).

17 De Koning, *F. et al.* Bridging the gap between forest conservation and poverty alleviation: the Ecuadorian Socio Bosque program. *Environ. Sci. Policy* **14**, 531–542 (2011).

18 Morgan, R. P. C. *Soil erosion and conservation.* (John Wiley & Sons, 2009).

19 Holden, J. *An introduction to physical geography and the environment.* (Pearson Education, 2005).

20 Aybar, *C. et al.* Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrol. Sci. J.* **65**, 770–785 (2020).

21 Bonnesoeur, V., Locatelli, B. & Ochoa-tocachi, B. F. *Impactos de la Forestacion en el Agua y los Suelos de los Andes : ¿Qué Sabemos?* 12–12 (2019).

22 Bonnesoeur, *V. et al.* Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. *For. Ecol. Manag.* **433**, 569–584 (2019).

23 Guns, M. & Vanacker, V. Forest cover change trajectories and their impact on landslide occurrence in the tropical Andes. *Environ. Earth Sci.* **70**, 2941–2952 (2013).

24 Grima, N., Edwards, D., Edwards, F., Petley, D. & Fisher, B. Landslides in the Andes: Forests can provide cost-effective landslide regulation services. *Sci. Total Environ*. **745**, 141128 (2020).

25 Bathurst, J. C. *et al*. Forests and floods in Latin America: Science, management, policy and the EPIC FORCE project. *Water Int*. **35**, 114–131 (2010).

26 Bathurst, J. C., Fahey, B., Iroumé, A. & Jones, J. Forests and floods: Using field evidence to reconcile analysis methods. *Hydrol. Process*. **34**, 3295–3310 (2020).

27 Rein, B. *et al*. El Niño variability off Peru during the last 20,000 years: EL NIÑO VARIABILITY OFF PERU, 0-20 KYR. *Paleoceanography* **20**, n/a-n/a (2005).

28 Cárdenas Panduro, A. *Impacto de las amunas en la seguridad hidrica de Lima*. (2020).

29 Ochoa-Tocachi, B. F. *et al. Potential contributions of pre-Inca infiltration infrastructure to Andean water security.* Nature Sustainability 2, 584–593 (2019).

30 Dillehay, T. D. & Kolata, A. L. Long-term human response to uncertain environmental conditions in the Andes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **101**, 4325–4330 (2004).

31 Farrington, I. S. The archaeology of irrigation canals, with special reference to Peru. *World Archaeol.* **11**, 287–305 (1980).

32 Goldstein, P. S. & Magilligan, F. J. Hazard, risk and agrarian adaptations in a hyperarid watershed: El Niño floods, streambank erosion, and the cultural bounds of vulnerability in the Andean Middle Horizon. *Catena* **85**, 155–167 (2011).

33 Goodbred, S. L., Dillehay, T. D., Galvéz Mora, C. & Sawakuchi, A. O. Transformation of maritime desert to an agricultural center: Holocene environmental change and landscape engineering in Chicama River valley, northern Peru coast. *Quat. Sci. Rev.* **227**, 1–13 (2020).

34 Caramanica, A. *et al.* El Niño resilience farming on the north coast of Peru. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **117**, 24127–24137 (2020).

35 Vanacker, V. *et al.* Restoring dense vegetation can slow mountain erosion to near natural benchmark levels. *Geology* **35**, 303–306 (2007).

36 Molina, A., Govers, G., Cisneros, F. & Vanacker, V. Vegetation and topographic controls on sediment deposition and storage on gully beds in a degraded mountain area. *Earth Surf. Process. Landf.* **34**, 755–767 (2009).

Foto: Liz Tasa.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Emerson Salinas y Alberto Marquina de la Autoridad para la Reconstrucción con Cambios (ARCC) por su valiosa revisión. Asimismo, a Gena Gammie, Fernando Momiy, Abel Aucasime, Yessica Armas y Claudia Lebel de Forest Trends.

Foto de portada: Julio Reaño.

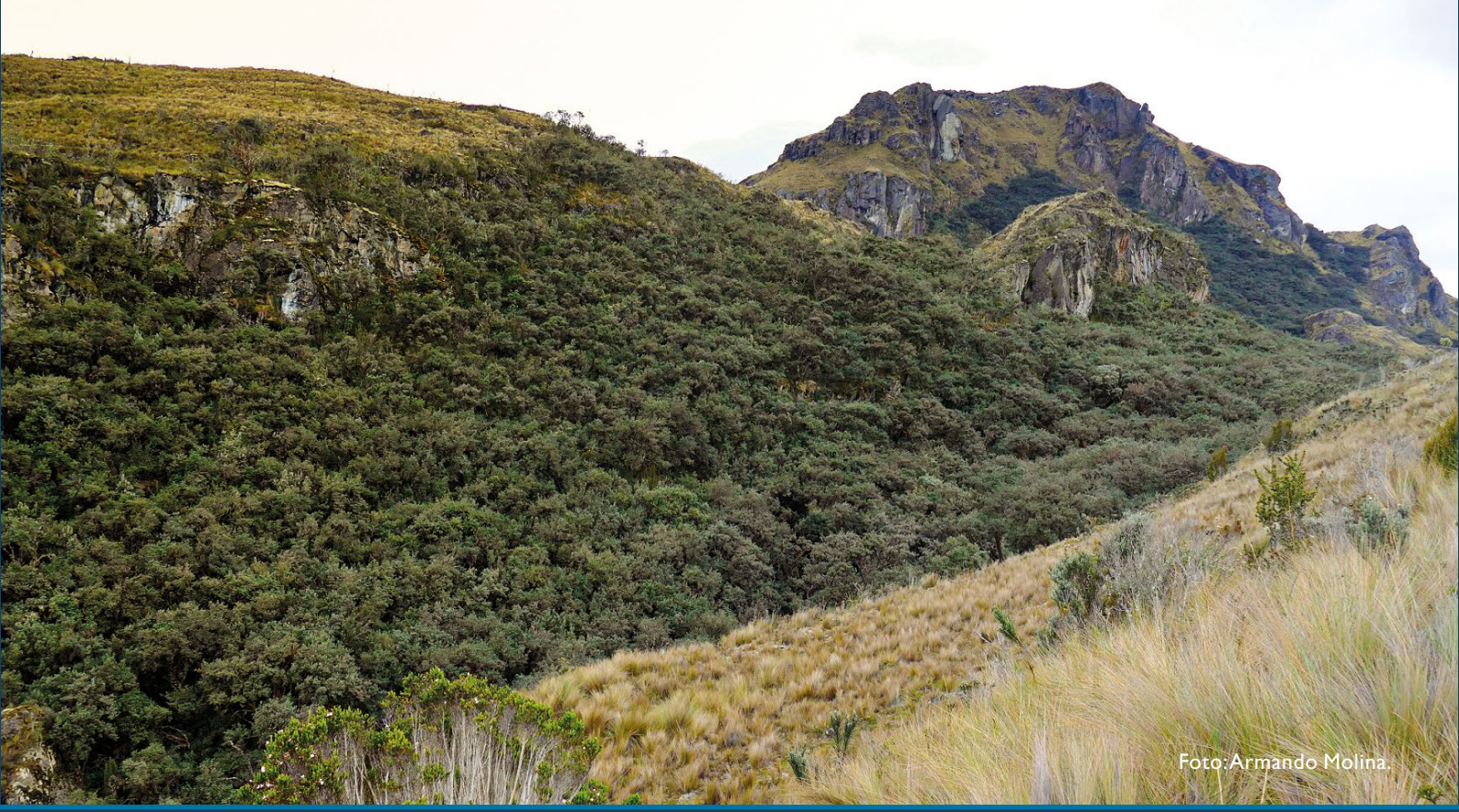


Foto: Armando Molina.

Infraestructura natural para la gestión de riesgos de erosión e inundaciones en los Andes:
¿Qué sabemos?

El proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica promueve la conservación, restauración y recuperación de los ecosistemas a nivel nacional, formando alianzas con organizaciones públicas y privadas para reducir los riesgos hídricos como sequías, inundaciones y contaminación del agua.

El proyecto es promovido y financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Gobierno de Canadá y ejecutado por Forest Trends, CONDESAN, la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SDPA), EcoDecisión e investigadores del Imperial College London.

¿Cómo citar esta investigación?

Molina A., Vanacker V., Rosas Barturen M., Bonnesoeur V., Román F., Ochoa-Tocachi B.F., Buytaert W, 2021. Infraestructura natural para la gestión de riesgos de erosión e inundaciones en los Andes: ¿Qué sabemos? Resumen de políticas, Proyecto "Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica", Forest Trends, Lima, Perú.

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 documento son las del autor y no reflejan necesariamente las opiniones de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional ni del Gobierno de Canadá.