

# Impactos de las zanjas de infiltración en el agua y los suelos: ¿Qué sabemos?



Bruno Locatelli<sup>(1, 2)</sup>, Jan-Markus Homberger<sup>(2, 3)</sup>,  
Boris F. Ochoa-Tocachi<sup>(4, 5)</sup>, Vivien Bonnesoeur<sup>(5, 6)</sup>,  
Francisco Román<sup>(5, 6)</sup>, Fabián Drenkhan<sup>(4, 5)</sup> y  
Wouter Buytaert<sup>(4, 5)</sup>

## AUTORES

- (1) Cirad, Forests and Societies, Univ. Montpellier, Francia.
- (2) Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR, por sus siglas en inglés), Lima, Perú.
- (3) Technische Universität Dresden, Alemania.
- (4) Imperial College London, Londres, Reino Unido.
- (5) Iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (iMHEA), Quito, Ecuador.
- (6) Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Lima, Perú.

## MENSAJES CLAVE



**1** La construcción de zanjas de infiltración en las laderas es una práctica en varias regiones de montaña que apunta a la recarga de acuíferos y a la conservación del suelo y el agua.



**5** En el conjunto de estudios revisados, las zanjas de infiltración reducen significativamente la escorrentía y las pérdidas de suelo por erosión y degradación.



**2** Este documento sintetiza los hallazgos de 57 estudios existentes en doce países del mundo sobre los impactos de las zanjas de infiltración en el agua y los suelos.



**6** Es probable que las zanjas de infiltración beneficien a la vegetación cercana (como el crecimiento de pasto), pero el nivel de incertidumbre es alto.



**3** A pesar que estos estudios incluyen ochenta sitios diferentes, los autores reconocen que las condiciones y las prácticas consideradas en los estudios analizados no reflejan toda la diversidad de casos específicos.



**7** El establecimiento de zanjas de infiltración causa una alteración inicial en el suelo que puede tener impactos negativos, como un aumento de la erosión. Por lo tanto, se deben comparar en un balance crítico las zanjas con otras intervenciones menos agresivas del ecosistema.



**4** No hay suficiente evidencia en los estudios existentes para concluir si las zanjas de infiltración aumentan o no la infiltración del agua en los suelos.



**8** Restaurar o conservar la vegetación natural puede tener impactos más positivos que las zanjas para la protección de suelos, el aumento de la infiltración de agua y la reducción de la escorrentía, con menos perturbación al ecosistema y con costos menores de mantenimiento a largo plazo.



## I. Introducción

Las intervenciones de manejo de la infraestructura natural para la seguridad hídrica gozan de un interés creciente a nivel nacional e internacional para enfrentar problemas relacionados al agua o al cambio climático<sup>1</sup>.

En muchas partes del mundo, se han implementado tecnologías de conservación de agua y suelos, como andenes, cercos vivos, control de cárcavas, zanjas de infiltración, terrazas de formación lenta, reforestación<sup>2</sup>, entre otras. En este contexto, es importante evaluar las experiencias pasadas y actuales para entender mejor cómo las intervenciones en la infraestructura natural pueden contribuir a aumentar la seguridad hídrica y mejorar las condiciones de vida y las actividades productivas de las comunidades.

Construir zanjas de infiltración en las laderas es una de las prácticas consideradas que apuntan a la recolección de agua de lluvia, la recarga de acuíferos y la conservación del suelo y el agua<sup>3</sup>. Usadas en muchos países, las zanjas de infiltración son pequeñas trincheras de tierra construidas siguiendo curvas de nivel y generalmente acompañadas con una acumulación de tierra en la parte

superior o inferior<sup>4</sup>. En muchos sitios montañosos se han construido zanjas de infiltración, pero a veces sin disponer de la información necesaria para una evaluación de los impactos esperados y sin implementar mecanismos de monitoreo para aprender de la experiencia<sup>5</sup> (ver Cuadro I).

Para el correcto funcionamiento y mantenimiento de las zanjas de infiltración, es importante considerar la evidencia existente sobre buenas prácticas que posibiliten maximizar los beneficios y minimizar los impactos negativos en los servicios ecosistémicos, aquellos apuntados por las zanjas (regulación del agua y protección de suelos) y otros servicios posiblemente afectados (como la belleza escénica o la producción de biomasa). Sin embargo, no existe hasta la fecha un análisis sistemático del conocimiento sobre zanjas de infiltración, como existen para la reforestación<sup>9</sup>. Para llenar dicho vacío de información, este estudio busca evaluar el conocimiento científico existente a nivel mundial en cuanto a los impactos de las zanjas de infiltración sobre los servicios ecosistémicos hídricos, particularmente sobre el agua y los suelos en zonas de montaña.

### Cuadro I. Las zanjas de infiltración en Perú

En la sierra peruana, la construcción de zanjas de infiltración ha sido promovida por proyectos de desarrollo rural y de manejo de cuencas. El ejemplo más emblemático es el programa PRONAMACHS, que ha establecido zanjas en muchas cuencas andinas desde la década de 1980<sup>6</sup>. Hoy en día, esta práctica sigue siendo frecuentemente usada en proyectos de inversión pública verdes con fines hídricos, a pesar de la falta de información y de las controversias sobre su efectividad en términos hídricos y de control de erosión. De los 57 estudios analizados aquí, solamente tres han evaluado la efectividad de las zanjas en Perú, más de tres décadas después de la promoción de esta práctica. Por ejemplo, el Ministerio de Agricultura y Riego señaló que, en la experiencia de Shullcas (Junín), el manejo de praderas fue más efectivo que las zanjas de infiltración para la recarga hídrica subsuperficial<sup>7</sup>. Un artículo analizado sobre este caso concluyó que las zanjas tienen poco efecto sobre el aumento del caudal base, mientras que las características hidrogeológicas son clave para explicar el impacto de las zanjas<sup>4</sup>. Otro artículo demostró que las zanjas disminuyen la erosión laminar en áreas de suelos degradados de doce regiones altoandinas<sup>8</sup>.



Foto: Bruno Locatelli

**Zanjas de infiltración en Can Can, de la cuenca de Piuray-Ccorimarca, en la región Cusco, Perú.**



## 2. Métodos

### 2.1. Revisión sistemática

Las revisiones sistemáticas de la literatura son un tipo de revisión del conocimiento publicado que utiliza métodos sistemáticos, rigurosos y transparentes para recopilar datos secundarios con criterios de elegibilidad predefinidos, evaluar críticamente los estudios existentes y sintetizar los resultados cualitativa o cuantitativamente<sup>10</sup>.

Una revisión sistemática tiene como objetivo proporcionar un resumen lo más completo y exhaustivo posible de la literatura actual relevante para una pregunta de investigación. El primer paso para realizar una revisión sistemática es determinar una pregunta específica y estructurada para guiar la revisión. El segundo paso es realizar una búsqueda exhaustiva de artículos publicados relevantes, en algunos casos incluyendo literatura “gris”, como informes técnicos o tesis no publicadas.

### 2.2. Búsqueda de publicaciones

Para encontrar publicaciones científicas relevantes sobre zanjas de infiltración, se realizó una búsqueda en las bases de datos Web of Science y Scopus en base a los títulos, resúmenes y palabras clave.

Se realizaron múltiples búsquedas para refinar los términos de búsqueda iterativamente. Una primera búsqueda de estudios existentes en Sudamérica brindó pocos resultados, entonces se extendió la búsqueda a zonas de montaña y colinas del mundo y se incluyeron técnicas parecidas a las zanjas de infiltración con diferentes nombres.

El tercer paso es analizar críticamente los artículos: sus preguntas, casos de estudio, métodos y hallazgos. Para el tercer paso, se pueden aplicar métodos de metaanálisis<sup>11</sup>. Estos métodos son a menudo, aunque no siempre, componentes importantes de una revisión sistemática. El metaanálisis es un análisis estadístico que combina los resultados de múltiples estudios científicos; es considerado como el método más robusto para síntesis cuantitativas.

Se puede realizar cuando hay varios estudios científicos que abordan la misma pregunta, si cada estudio individual reporta mediciones incluyendo un grado de error. Entonces, el objetivo es utilizar métodos estadísticos para derivar una estimación de un efecto (por ejemplo, el efecto de un tratamiento médico) y el error asociado a la estimación con base al conjunto de estudios existentes.

Por ejemplo, en África, las medidas de zanjas incluyen técnicas llamadas *fanya juu* y *fanya chini* (o *soil bunds*). En el *fanya juu*, las zanjas construidas en contornos tienen una acumulación de tierra en la parte superior de las zanjas. Al contrario, los *fanya chini* tienen tierra en la parte inferior (ver Ilustración 1).

Para las búsquedas, se utilizaron los siguientes grupos de palabras clave: “intervención”, “contexto” y “resultado” (ver Ilustración 1). “Intervención” incluyó términos relacionados con zanjas de infiltración, “contexto” con montañas o colinas y “resultado” con variables de interés relacionadas con el agua y el suelo. Las búsquedas se realizaron en inglés y español.



Después de realizar las búsquedas, se eliminaron los artículos que no fueron relevantes. De esta manera se seleccionaron un total de 57 artículos científicos en doce países (ver Ilustración 2). Estos incluyeron 36 publicaciones sobre zanjas y 21 sobre las prácticas de fanya juu y fanya chini de África, cubriendo un total de 80 sitios diferentes.



**Ilustración 2. Países de estudios en las publicaciones analizadas sobre zanjas de infiltración**

### 2.3. Análisis

Para analizar el contenido de los 57 artículos seleccionados, se emplearon tanto técnicas de metaanálisis (cuando lo permitía el número suficiente de estudios con datos cuantitativos detallados) como una síntesis de datos más cualitativos. Para presentar los resultados, se usó una clasificación con un código de color dependiendo del número de estudios disponibles y de la coincidencia entre las conclusiones de los estudios (ver Ilustración 3).



**Ilustración 3. La clasificación del nivel de evidencia depende de la cantidad de estudios y la coincidencia de resultados entre estudios<sup>12</sup> (los estudios fueron considerados “pocos” en nuestro análisis cuando eran cuatro o menos).**

Los resultados se presentan con énfasis en los servicios ecosistémicos modificados por las zanjas de infiltración. Estos cambios en los servicios ecosistémicos corresponden a los impactos esperados de las zanjas, por ejemplo, la conservación del caudal de base en una cuenca debido al aumento de la infiltración de agua en el suelo por las zanjas (ver Tabla I).

**Tabla I. Relación entre servicios ecosistémicos importantes, beneficiarios y funciones del ecosistema**





Símbolo y nombre corto del servicio ecosistémico	Detalles del servicio ecosistémico	¿Para quién es importante el servicio?	¿Qué funciones del ecosistema produce el servicio?
 <b>Conservación del caudal base</b>	La conservación del caudal de agua en ríos, quebradas, manantes o pozos durante la temporada seca o durante las sequías (llamado caudal base).	La preservación del caudal base es clave para que todos los usuarios hagan frente a la escasez de agua como resultado de la estacionalidad, la variabilidad del clima, y el cambio climático. Esto es especialmente importante en el caso de aquellos que carecen de capacidad de almacenamiento artificial.	Los caudales durante la temporada seca provienen principalmente del agua subterránea que se libera lentamente en las quebradas. La infiltración de agua en los suelos incrementa este servicio, mientras que la transpiración de las plantas lo reduce.
 <b>Reducción de la escorrentía e inundaciones</b>	La reducción del agua de escorrentía durante la temporada de lluvias y el rápido incremento posterior en el caudal (llamado también caudal pico).	El control de los caudales pico es importante para reducir los riesgos de inundaciones para las personas y actividades que se ubican en áreas propensas a inundaciones.	Varias funciones del ecosistema que contribuyen a las pérdidas y al almacenamiento de agua convergen para reducir el caudal pico: interceptación y evaporación, transpiración e infiltración.
 <b>Control de la erosión</b>	La reducción de la erosión de los suelos, ya sea difusa (erosión laminar) o por movimiento en masa (deslizamiento de tierra o huaico) y la reducción del transporte de sedimentos.	Reducir la erosión es importante para preservar los suelos y sus capas fértiles que sostienen muchos servicios (por ejemplo, la producción de alimentos), para reducir los efectos potenciales en las poblaciones y actividades aguas abajo (por ejemplo, deposición de sedimentos en embalses) y para reducir el riesgo de desastres (por ejemplo, huaycos y deslizamientos de tierra).	La erosión de los suelos y los deslizamientos de tierra o huaicos son influenciados por la cobertura vegetal y las propiedades del suelo. La erosión generalmente es menor con menor escorrentía, más estabilidad de los suelos (función de propiedades como textura o materia orgánica), más cobertura vegetal (para retener el suelo) o sistemas de raíces más densos (mayor resistencia de los suelos).
 <b>Fertilidad de suelo, producción vegetal</b>	Las propiedades de los suelos que afectan la provisión de otros servicios ecosistémicos, como la producción vegetal (forraje, cultivos, etc.).	Suelos en buen estado benefician a múltiples sectores directamente; por ejemplo, el sector agrícola, que aprovecha los cultivos o el pasto. Otros sectores se benefician indirectamente; por ejemplo, todos los que se benefician de una erosión reducida.	Muchas propiedades y funciones ecosistémicas influyen sobre la fertilidad y la producción vegetal. Por ejemplo, árboles en cultivos (agroforestería) pueden reducir la erosión (y la pérdida de nutrientes asociada) o conservar la humedad del suelo y proteger contra variaciones climáticas, lo que beneficia a la producción vegetal.



Foto: Agro Rural

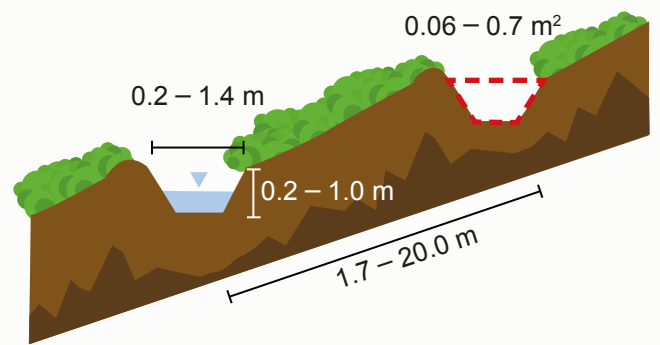


### 3. Resultados

Las publicaciones incluyeron estudios con modelación y con mediciones de escorrentía y pérdida de suelo en intervenciones con zanjas de infiltración. Los estudios se realizaron a múltiples escalas, desde cuencas hasta parcelas, en áreas que van desde 44 m<sup>2</sup> hasta 1040 ha.

Algunos estudios también evaluaron los impactos de las zanjas de infiltración en las propiedades del suelo o el crecimiento de las plantas en un conjunto de puntos en lugar de un espacio como una parcela o una cuenca. Se encontraron diversos usos del suelo y cobertura vegetal en los estudios, incluyendo tierras cultivadas (30% de las observaciones), pastizales (30%), matorrales (20%) y plantaciones forestales (20%).

Las zanjas de infiltración también variaron en características espaciales como anchura, profundidad, distancia entre zanjas y área de sección transversal (ver Ilustración 4).



**Ilustración 4. Rango de dimensiones de las zanjas en los estudios analizados**



#### 3.1. Los efectos de las zanjas de infiltración sobre la infiltración son inciertos

Brecha de conocimiento

No se pudo encontrar un efecto significativo de las zanjas de infiltración sobre las tasas de infiltración de agua en los suelos, porque solo hubo dos estudios con datos detallados<sup>3,4</sup>. Es sorprendente que hubo muy pocos estudios sobre los efectos de las zanjas de infiltración, precisamente, sobre la infiltración.

Probable

La reducción de escorrentía encontrada en muchos estudios podría interpretarse como un aumento de infiltración. Según la teoría hidrológica, se supone que una parte del agua de escorrentía retenida en las zanjas termina infiltrándose, pero no se sabe con certeza, debido a que una parte de esta agua retenida puede también evaporarse.

Probable

El diseño de zanjas debe ajustarse a la capacidad de infiltración de agua en el suelo<sup>4</sup>. Si la infiltración del suelo es alta, la zanja apenas se llenará y pequeñas zanjas serán suficientes. Si la infiltración del suelo es baja, habrá demasiado desbordamiento a menos que las zanjas sean grandes. Además, una capacidad de infiltración demasiado baja podría conducir a la permanencia del agua durante mucho tiempo, lo que puede dañar las zanjas, aumentar las tasas de evaporación o afectar la vegetación circundante.



Foto: Agro Rural



### 3.2. Las zanjas de infiltración reducen la escorrentía

#### Consenso

Entre los once estudios que midieron la escorrentía en 52 parcelas, todos mostraron una reducción en la escorrentía como resultado de las zanjas de infiltración. El análisis estadístico mostró que las zanjas de infiltración reducen significativamente la escorrentía. En promedio en los estudios analizados, las zanjas de infiltración redujeron la escorrentía en un 46.4%. En valores relativos esta reducción representa el 5.7% de la lluvia en promedio.

#### Consenso

El efecto sobre la reducción de escorrentía fue más fuerte en tierras con vegetación natural (15% en promedio) que en tierras de cultivo (3.5%).

#### Probable

Todos los estudios analizados estadísticamente se realizaron a nivel de parcela, pero los estudios a nivel de cuenca (no incluidos en un metaanálisis porque eran muy pocos) también reportaron reducciones en la escorrentía.





Foto: Bruno Locatelli



### 3.3. Las zanjas de infiltración reducen la erosión laminar

#### Consenso

Entre los once estudios que midieron la pérdida de suelo en cincuenta parcelas, todos menos uno reportaron una reducción en la pérdida de suelo como resultado de las zanjas de infiltración. El análisis estadístico mostró que las zanjas de infiltración redujeron significativa y considerablemente la pérdida de suelo. En promedio, las zanjas de infiltración redujeron la pérdida de suelo en un 73.0%. En valores absolutos, esto representa una reducción de 4.8 toneladas por hectárea por año en promedio.

#### Probable

Dos mecanismos complementarios pueden explicar la fuerte reducción de pérdida de suelo. Primero, la disminución de la escorrentía reduce la erosión entre las zanjas y más abajo. Segundo, una parte de los sedimentos producidos se queda atrapada en las zanjas. No se conoce bien la contribución de cada uno de estos mecanismos.

#### Probable

El establecimiento de zanjas puede aumentar la erosión si se degrada la cobertura del suelo. En el único estudio que reportó aumentos en la pérdida de suelo se utilizaron zanjas de infiltración junto con plantaciones de pinos y se compararon con pastizales naturales. Esto podría mostrar que los pastizales naturales son más efectivos para reducir los procesos erosivos que las plantaciones de pino, o que la mayor pérdida de suelo en las parcelas con zanjas de infiltración fue causada por la alteración del suelo al plantar los árboles.

#### Brecha de conocimiento

Otro efecto de las zanjas en la pérdida de suelo puede ocurrir lejos de las zanjas, en lugar de en el sitio de la zanja. De hecho, debido a la reducción de la escorrentía, los procesos erosivos ladera abajo y aguas abajo pueden ser menos severos o frecuentes, pero faltan datos sobre este efecto. También falta información en cuanto a los impactos sobre erosión lineal, como cárcavas, o movimientos en masa, como deslizamientos, porque los estudios revisados tratan sobre la erosión laminar (también llamada “difusa”).



### 3.4. Los efectos de las zanjas de infiltración sobre la humedad del suelo y la vegetación son inciertos

Brecha de conocimiento

No se encontró un efecto significativo de las zanjas de infiltración sobre la humedad del suelo (cantidad de agua almacenada en los suelos), porque solo cuatro estudios proporcionaron datos estadísticos suficientes para llevar a cabo un metaanálisis.

Controversia

Algunos estudios encontraron que el uso de zanjas junto con el manejo de la vegetación aumentó la humedad del suelo<sup>p.ej.13</sup>, pero otros estudios no encontraron un efecto significativo.

Probable

Esas diferencias podrían explicarse por un efecto de las zanjas limitado en el espacio. Un estudio mostró que el almacenamiento de humedad del suelo aumenta solo en la vecindad directa de la zanja de infiltración<sup>14</sup>. Entender cómo la humedad del suelo varía espacialmente es importante para evaluar los impactos locales de las zanjas de infiltración.

Controversia

El efecto de las zanjas en el crecimiento de la vegetación no es claro. Ocho estudios reportaron impactos positivos en el rendimiento de cultivos, pastos y plantaciones de pino en algunas parcelas, pero también se registraron impactos negativos en otras parcelas.

Probable

El efecto de las zanjas de infiltración en la vegetación podría ser beneficioso bajo ciertas condiciones, ya que los efectos positivos son más frecuentes en los estudios que los efectos negativos. Sin embargo, es difícil sacar conclusiones claras porque los estudios investigaron diferentes tipos de vegetación y no hubo suficientes estudios para llevar a cabo un metaanálisis.

Brecha de conocimiento

Los efectos de las zanjas sobre los nutrientes y la fertilidad del suelo no están claros. Ocho estudios discutieron el impacto de las zanjas de infiltración en las propiedades del suelo y la disponibilidad de nutrientes. En dos estudios en los cuales se combinaron zanjas con vegetación se encontró un aumento en los nutrientes del suelo, tales como potasio, fósforo, nitrógeno y carbono orgánico del suelo<sup>13, 15</sup>. Otros estudios, en México<sup>3,16</sup>, mostraron que el contenido de nitrógeno y carbono en realidad disminuyó con las zanjas, mientras que la densidad aparente aumentó y la porosidad permaneció igual.

Probable

Los resultados sugieren que el impacto analizado de las zanjas de infiltración podría depender de dónde se toman las muestras, particularmente debido al efecto de la presencia de la planta y la variabilidad en las propiedades del suelo. Como ya se discutió, es posible que el impacto directo de las zanjas esté restringido espacialmente.

Probable

Los nutrientes del suelo fértil pueden acumularse dentro de la zanja y en los alrededores directos. Si se toman muestras dentro de la zanja o muy cerca de ella, pueden tener más nutrientes<sup>17</sup>.



Foto: Agro Rural



### 3.5. Evolución del efecto en el tiempo

Probable

Los estudios que han analizado cómo las zanjas de infiltración evolucionan en el tiempo muestran impactos a corto plazo: a medida que las zanjas de infiltración se llenan gradualmente de sedimentos, su rendimiento disminuye. Por ejemplo, en un estudio en Etiopía<sup>18</sup>, las zanjas fueron efectivas para reducir la escorrentía y la erosión solo durante dos o tres años. Otro estudio en México mostró que 16 de 24 zanjas se llenaron al 50% de su volumen después de menos de cuatro años y que todas las zanjas establecidas se llenarían por completo después de once años<sup>19</sup>.

Probable

Algunos estudios encontraron impactos negativos justo después del establecimiento de las zanjas. Por ejemplo, un estudio identificó un aumento en la concentración de sedimentos en una cuenca durante los primeros dos años después de que se establecieron las zanjas, antes de que la pérdida de suelo se redujera durante tres años y finalmente regresara a una tasa normal<sup>20</sup>, lo que cuestiona el balance de las zanjas.



### 3.6. Efecto a nivel de cuenca

Brecha de conocimiento

Un efecto significativo confirmado a nivel de parcela no corresponde necesariamente al mismo efecto a nivel de cuenca. Desafortunadamente, faltan estudios sobre los efectos de las zanjas a nivel de cuenca.

Probable

Unos pocos estudios han observado cambios a nivel de cuenca, por ejemplo, la reducción de la escorrentía rápida o el aumento de la recarga del acuífero<sup>20,21</sup>. Son cambios plausibles, pero que no se pueden generalizar.

Probable

Se ha sugerido que los impactos de las zanjas aumentan con la cantidad de zanjas y la superficie que cubren en una cuenca<sup>21,22</sup>. Por restricciones biofísicas o económicas, es poco probable que una cuenca completa pueda ser cubierta de zanjas tan densamente como lo sería una parcela, por lo tanto, los efectos probablemente serán menos visibles a nivel de cuenca que a nivel de parcela.



Foto: Arlene Villanueva

## BRECHAS DE CONOCIMIENTO



**Regulación hídrica a nivel de cuenca.** El análisis mostró que hay muy pocos estudios a nivel de cuenca, los cuales serían útiles de realizar para complementar los estudios a nivel de parcelas. También faltan estudios que consideren cómo las zanjás afectan la infiltración de agua y los flujos de agua bajo la tierra, y que resultan en cambios en la regulación hídrica a nivel de cuenca.



**Efectos microlocales.** Se necesitan más estudios sobre el crecimiento de especies agrícolas o de pastos en parcelas con o sin zanjás para concluir si el impacto de las zanjás de infiltración es positivo.



**Impactos adversos y fragilidad.** Si bien varios estudios sugieren posibles impactos negativos de las zanjás, como la formación de los eventos extremos de lluvia en las estructuras de zanjás solo fue discutido en un estudio.



**Mantenimiento de las zanjás.** Aunque varios estudios recomendaron el mantenimiento regular de las zanjás, ningún estudio comparó cuantitativamente la diferencia entre zanjás mantenidas y abandonadas. Por lo tanto, no hay evidencia sobre cómo el mantenimiento de las zanjás deba realizarse para evitar su colmatación.

## RECOMENDACIONES SOBRE ZANJAS



**Estudiar el contexto local antes de construir nuevas zanjas.** Se recomienda guiar la implementación de nuevos sistemas de zanjas con estudios de suelos y de geología, y, en el mejor de los casos, experimentos con trazadores y modelamiento de agua subterránea. Se puede también evaluar los efectos posibles sobre otros servicios ecosistémicos como la producción agropecuaria, la biodiversidad, el secuestro de carbono o la belleza escénica.



**Asociar siempre las zanjas a un manejo adecuado de la cobertura vegetal.** El efecto de la cobertura vegetal sobre la efectividad de las zanjas confirma la importancia de incluir el manejo de la vegetación junto con las zanjas para proporcionar una mayor reducción de la escorrentía en comparación con el uso de zanjas solamente. Se recomienda mejorar o recuperar la cobertura vegetal para reducir la erosión entre las zanjas y evitar que estas se colmaten.



**Reducir los posibles efectos adversos.** Un desafío es minimizar las perturbaciones a los suelos o la vegetación al momento de construir las zanjas para evitar que aumente la erosión, como lo muestran muchos estudios. Además de estos efectos negativos en el mismo sitio de las zanjas, se debe pensar en reducir efectos negativos en el territorio como consecuencia de las zanjas. Por ejemplo, un camino construido para facilitar el acceso a las zanjas puede aumentar la erosión y revertir los beneficios de las zanjas.



**Monitorear.** Se recomienda implementar sistemas de monitoreo sistemático continuo (por ejemplo, hidrológico<sup>20</sup>) en sitios de implementación, y compartir sus datos para ampliar la base de conocimiento sobre los impactos de las zanjas. Es necesario que los proyectos de intervención en cuencas integren sistemas de monitoreo para cuantificar, documentar y reportar su efectividad real.



**Asegurar el mantenimiento de las zanjas.** Cuando estén demostrados los impactos positivos de las zanjas de infiltración sobre agua y suelos en un contexto específico de implementación, se recomienda realizar mantenimiento regular de las zanjas para que funcionen de manera permanente. A medida que las zanjas de infiltración se llenen con el tiempo, sus efectos positivos disminuyen, como lo reportan varios estudios.



**No pensar solo en zanjas, sino considerar otras intervenciones, como la restauración de pastos.** Bajo ciertas condiciones, restaurar la vegetación nativa o mantener ecosistemas naturales podría tener un impacto similar o incluso mayor en la pérdida de suelo y la reducción de la escorrentía<sup>23</sup>. Por lo tanto, el uso de zanjas de infiltración debe evaluarse cuidadosamente. Para asumir los altos costos de construcción y mantenimiento de zanjas, vale la pena estimar, primero, si restaurar la cobertura vegetal (como las especies nativas de pasto) tendría un efecto similar en la escorrentía o en la reducción de la pérdida de suelo. Restaurar y proteger la cobertura vegetal es más sostenible y menos perturbador para el ecosistema que la construcción de zanjas.

## REFERENCIAS

---

1. Manale, A., A. Sharpley, C. DeLong, D. Speidel, C. Gantzer, J. Peterson et al., Principles and policies for soil and water conservation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018. 73(4): p. 96A-99A.
2. Herweg, K. and E. Ludi, The performance of selected soil and water conservation measures—case studies from Ethiopia and Eritrea. *CATENA*, 1999. 36(1): p. 99-114.
3. Cotler, H., S. Cram, S.M. Trinidad and V. Bunge, Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2015. 2015(88): p. 6-18.
4. Somers, L.D., J.M. McKenzie, S.C. Zipper, B.G. Mark, P. Lagos and M. Baraer, Does hillslope trenching enhance groundwater recharge and baseflow in the Peruvian Andes? *Hydrological processes*, 2018. 32(3): p. 318-331.
5. Pizarro Tapia, R., J. P. Flores Villanelo, C. Sangüesa Pool, E. Martínez Araya and L. León Gutiérrez, Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 2008. 29(2): p. 136-145.
6. MINAGRI, Memorias 2006, 2007, 2009, 2012 de PRONAMACHCS o de AGRO RURAL. 2012, Ministerio de Agricultura y Riego: Lima, Perú.
7. MINAGRI, Rumbo a un Programa Nacional de Siembra y Cosecha de Agua: Aportes y reflexiones desde la práctica. 2016, Ministerio de Agricultura y Riego: Lima, Perú.
8. Vásquez, A. and M. Tapia, Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana. *Revista Ingeniería UC*, 2011. 18(3): p. 42-50.
9. Bonnesoeur, V., B. Locatelli, M.R. Guariguata, B.F. Ochoa-Tocachi, V. Vanacker, Z. Mao et al., Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: a systematic review. *Forest Ecology and Management*, 2019. 433: p. 569-584.
10. Centre for Evidence-Based Conservation, Guidelines for systematic reviews in environmental management, version 4.0. 2010, Compiled on behalf of CEE (Collaboration for Environmental Evidence) by Centre for Evidence-Based Conservation <http://www.environmentalevidence.org/Documents/Guidelines.pdf>: Bangor, UK. p. 78.
11. Cooper, H., L.V. Hedges and J.C. Valentine, The handbook of research synthesis and meta-analysis 2nd edition, in *The Hand. of Res. Synthesis and Meta-Analysis*, 2nd Ed. 2009, Russell Sage Foundation. p. 1-615.
12. Bonnesoeur, V., B. Locatelli and B. Ochoa-Tocachi, Impactos de la forestación en el agua y los suelos de los Andes: ¿Qué sabemos? Resumen de políticas. 2019: Resumen de políticas, Proyecto INSH (Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica), Forest Trends, Lima, Perú. <https://www.cifor.org/library/7147/>.
13. Singh, G., Soil water dynamics, growth of *Dendrocalamus strictus* and herbage productivity influenced by rainwater harvesting in Aravalli hills of Rajasthan. *Forest Ecology and Management*, 2009. 258(11): p. 2519-2528.
14. Verbist, K., W. Cornelis, D. Gabriëls, K. Alaerts and G. Soto, Using an inverse modelling approach to evaluate the water retention in a simple water harvesting technique. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2009. 13(10): p. 1979-1992.
15. Adhikary, P.P., H. Hombegowda, D. Barman, P. Jakhar and M. Madhu, Soil erosion control and

- carbon sequestration in shifting cultivated degraded highlands of eastern India: performance of two contour hedgerow systems. *Agroforestry Systems*, 2017. 91(4): p. 757-771.
16. Cotler, H., S. Cram, S. Martínez-Trinidad and E. Quintanar, Forest soil conservation in central Mexico: An interdisciplinary assessment. *Catena*, 2013. 104: p. 280-287.
  17. Saiz, G., F.M. Wandera, D.E. Pelster, W. Ngetich, J.R. Okalebo, M.C. Rufino et al., Long-term assessment of soil and water conservation measures (Fanya-juu terraces) on soil organic matter in South Eastern Kenya. *Geoderma*, 2016. 274: p. 1-9.
  18. Taye, G., J. Poesen, M. Vanmaercke, B. Van Wesemael, L. Martens, D. Teka et al., Evolution of the effectiveness of stone bunds and trenches in reducing runoff and soil loss in the semi-arid Ethiopian highlands. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 2015. 59(4): p. 477-493.
  19. LaFavor, M., Restoration of degraded agricultural terraces: Rebuilding landscape structure and process. *Journal of environmental management*, 2014. 138: p. 32-42.
  20. Guzman, C.D., F.A. Zimale, T.Y. Tebebu, H.K. Bayabil, S.A. Tilahun, B. Yitaferu et al., Modeling discharge and sediment concentrations after landscape interventions in a humid monsoon climate: The Anjeni watershed in the highlands of Ethiopia. *Hydrological processes*, 2017. 31(6): p. 1239-1257.
  21. Sultan, D., A. Tsunekawa, N. Haregeweyn, E. Adgo, M. Tsubo, D.T. Meshesha et al., Impact of soil and water conservation interventions on watershed runoff response in a tropical humid highland of Ethiopia. *Environmental management*, 2018. 61(5): p. 860-874.
  22. Ali, S., B. Sethy, R. Singh, A. Parandiyal and A. Kumar, Quantification of Hydrologic Response of Staggered Contour Trenching for Horti-pastoral Land Use System in Small Ravine Watersheds: A Paired Watershed Approach. *Land Degradation & Development*, 2017. 28(4): P.1237-1252.
  23. Mekonnen, M., S.D. Keesstra, J.E. Baartman, L. Stroosnijder and J. Maroulis, Reducing sediment connectivity through man-made and natural sediment sinks in the Minizr catchment, Northwest Ethiopia. *Land degradation & development*, 2017. 28(2): p. 708-717.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo financiero de la Unión Europea (H2020, proyecto SINCERE) y del Programa de Investigación del CGIAR sobre Bosques, Árboles y Agroforestería (FTA) para el desarrollo y publicación de esta investigación.



Foto: Bruno Locatelli

## Impactos de las zanjas de infiltración en el agua y los suelos ¿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 este documento?

Locatelli B., Homberger JM, Ochoa-Tocachi BF, Bonnesoeur V., Román F., Drenkhan F., Buytaert W., 2020. Impactos de las zanjas de infiltración en el Agua y los Suelos de los Andes: ¿Qué sabemos? Resumen de políticas, Proyecto "Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica", ForestTrends, Lima, Perú.

[www.infraestructuranatural.pe](http://www.infraestructuranatural.pe)



Canada



Imperial College  
London

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 el Gobierno de Canadá.