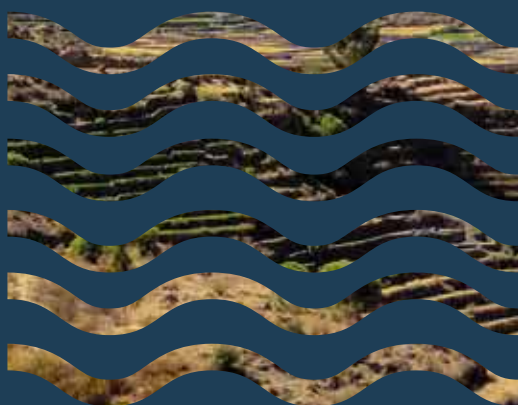


Impactos de andenes y terrazas en el agua y los suelos: ¿Qué sabemos?



Bram Willems ^(1,2), Walter-Martín Leyva-Molina ^(1,2),
Rossi Taboada-Hermoza ^(1,2), Vivien Bonnesoeur ^(3,4),
Francisco Román ^(3,4), Boris F. Ochoa-Tocachi ^(4,5),
Wouter Buytaert ^(4,5), Douglas Walsh ⁽⁶⁾





Foto: Asociación Andina Cusichaca

AUTORES:

Bram Willems (1,2), Walter-Martín Leyva-Molina (1, 2), Rossi Taboada-Hermoza (1, 2), Vivien Bonnesoeur (3, 4), Francisco Román (3, 4), Boris F. Ochoa-Tocachi (4, 5), Wouter Buytaert (4, 5), Douglas Walsh (6)

- 1. Centro de Competencias del Agua, Lima, Perú.
- 2. Aqua Andes Innovations, Lima, Perú.
- 3. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Lima, Perú.
- 4. Iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (iMHEA), Quito, Ecuador.
- 5. Imperial College London, Londres, Reino Unido.
- 6. Asociación Andina Cusichaca, Ayacucho, Perú.

MENSAJES CLAVE



1 Las terrazas son infraestructuras que promueven la conservación de agua y suelos, y brindan una amplia variedad de servicios ecosistémicos, tales como la provisión de alimentos y pastos, la regulación hídrica, el control de erosión de suelos, el reforzamiento de taludes, valores culturales, entre otros.



4 Persiste una importante brecha de conocimiento en cuanto al impacto de las terrazas sobre la regulación hídrica y el rendimiento hídrico a escala de paisaje o cuenca.



2 En el Perú, a pesar de contar con amplias extensiones de sistemas de andenes y terrazas agrícolas (> 250 000 ha), solamente se encontraron ocho estudios técnicos que cuantifican el impacto sobre los servicios hidrológicos.



5 Las terrazas en mal estado o abandonadas pueden tener un efecto más bien negativo sobre la regulación hídrica, incrementándose los procesos de degradación de suelos. En casos extremos, pueden resultar en el colapso de las paredes, con subsecuentes deslizamientos de tierras. Si bien los costos de recuperación son altos, las inversiones se compensan largamente por la durabilidad que tienen a lo largo de los siglos.



3 Investigaciones realizadas en diferentes contextos de montaña a nivel global confirman que la principal funcionalidad hidrológica de las terrazas es el control de la escorrentía superficial y de la erosión difusa, en vista de que promueven los procesos de infiltración de agua en los suelos. Por su parte, los sistemas de terrazas, en combinación con canales y reservorios, permiten un riego más eficiente.



6 Inversiones en la preservación, recuperación y construcción de terrazas tienen el potencial de articular proyectos ambientales, productivos, de preservación de patrimonio histórico y de gestión de riesgos de desastres.



I. Contexto y objetivo

Las zonas de montaña son altamente vulnerables al cambio climático, con serios riesgos hídricos que repercuten en los indicadores de desarrollo de las comunidades locales y poblaciones aguas abajo (1, 2). En la región andina, los patrones de precipitación se han visto alterados y la temperatura ha ido incrementándose con la altura, siendo una de las consecuencias más visibles, el retroceso acelerado de los glaciares tropicales (1, 2 3).

Para enfrentar los desafíos de escasez de agua, históricamente los gobiernos recurrieron a implementar intervenciones de "infraestructura gris", como reservorios de gran tamaño, muros de contención o defensas ribereñas. Por su parte, las soluciones basadas en la naturaleza, combinadas con la ciencia e ingeniería tradicional andina, están siendo cada vez más reconocidas y son complementarias o alternativas a dicha infraestructura gris.

En el Perú, las experiencias comunitarias que apuntan a aumentar la seguridad hídrica abarcan desde la conservación de humedales y bosques, hasta la restauración de canales de infiltración preincaicos y la mejora de las prácticas de pastoreo, incorporando este tema como un pilar de la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos. Sin embargo, es necesario compilar y analizar críticamente la limitada evidencia científica existente acerca de los impactos que dichas

intervenciones tienen sobre los servicios ecosistémicos en general.

Aunque los andenes —y, en menor proporción las terrazas de formación lenta— son resultado de un trabajo humano importante y constante, pueden ser considerados como soluciones seminaturales dado que aprovechan elementos del paisaje como la topografía, el suelo y la geología de las laderas, eventualmente articulados con otros ecosistemas y canales. En el Perú, el Ministerio del Ambiente (MINAM) reconoce la instalación de terrazas de formación lenta como una medida de "infraestructura natural"^a. Por otro lado, a nivel global, las terrazas han demostrado proveer una amplia gama de servicios ecosistémicos (4, 5, 6).

El presente estudio sistematiza los hallazgos que se reportan en la literatura científica acerca de los impactos de las terrazas como prácticas ancestrales y comunitarias de conservación de agua y suelos sobre los **servicios ecosistémicos hidrológicos**, con un enfoque particular en el Perú. La revisión estuvo centrada en artículos científicos que presentan y discuten resultados relevantes a **la medición y análisis de parámetros cuantitativos** como, por ejemplo, infiltración, escorrentía superficial, conservación de la humedad del suelo, caudal base, control de caudales pico y rendimiento hídrico.



II. Las terrazas como proveedores de servicios ecosistémicos

En el contexto de montañas, la combinación de exceso de agua y pendiente en terrenos escarpados promueve la escorrentía superficial, desencadenando una serie de impactos que conducen a procesos de pérdida de suelos, agua, fertilizantes y semillas, con la consecuente reducción de la productividad agrícola (7). Las terrazas constituyen una de las prácticas más antiguas de conservación de agua y suelos, cuyo uso es aún vigente en diferentes partes del mundo (4, 5).

Si bien su principal fin está asociado con la agricultura, la combinación de factores tales como el diseño (ancho, altura), material de

construcción (p. ej., tierra, piedras y rocas), antigüedad, tipo de vegetación, pendiente, clima local y distribución geográfica, confieren a las terrazas la capacidad de proveer un amplio abanico de servicios ecosistémicos. Entre estos, podemos mencionar los de provisión (p. ej., alimentos y forraje), regulación (p. ej., control de erosión, reducción de escorrentía superficial, estabilización de taludes y secuestro de carbono), soporte (p. ej., foco de biodiversidad, retención de nutrientes, incremento de biomasa y fertilidad de suelos) y servicios culturales (p. ej., fiestas costumbristas como el Pata Raymi o zonas paisajísticas y arqueológicas para turismo) (4, 5, 6).

^a Decreto Supremo N° 017-2018-MINAM.

TERRAZAS EN EL PERÚ

Si bien los términos “terrazas” y “andenes” suelen usarse indistintamente, el primero se refiere a estructuras más rústicas, llamadas también terrazas de formación lenta, terrazas de labranza o “pata-pata”^b. Por su parte, los andenes (también llamados “bancales”) se caracterizan por tener muros de piedra y estar articulados entre sí a través de un

sistema de canales. Una clasificación más completa ha sido la elaborada por la arqueóloga Ann Kendall y es, actualmente, la tipología de referencia en el Perú (Tabla I). Para efectos del presente documento, adoptaremos “terrazza” como el término general y, cuando sea necesario, haremos la distinción entre andenes y terrazas de labranza.

Sistemas de andenes frente a terrazas de labranza

Desde el punto de vista hidrológico, hay significativas diferencias entre andenes y terrazas de labranza. Los andenes conforman sistemas sofisticados que combinan plataformas agrícolas con una red de riego integrado en cascadas: 1) en la parte alta, el agua es captada y direccionada (empleando canales de infiltración o amunas); para luego ser 2) almacenada en qochas (microreservorios) y reservorios subterráneos; y finalmente, 3) distribuida a través de canales (superficiales y subterráneos) hacia los andenes, mientras que el excedente es derivado hacia valles y campos de cultivos aguas abajo. Los andenes suelen tener una capa de arcilla en la base que los impermeabiliza del subsuelo, una plataforma ligeramente inclinada que favorece el flujo del agua por gravedad y paredes de piedra que dan estabilidad y, a su vez, contribuyen a la retención de la humedad del suelo.

Por su parte, las terrazas de labranza son plataformas más simples para una agricultura de secano y no están integradas dentro de sistemas de riego. Son producto de la construcción de zanjas de contorno, eventualmente estabilizadas con vegetación arbustiva o árboles, lo que permite la acumulación progresiva de material erosionado en la parte baja, con la subsecuente reducción de la pendiente ^(7, 8).



Foto: Asociación Andina Cusichaca



Foto: Asociación Andina Cusichaca

Tabla I. Tipología de Andenes y Terrazas. Fuente: tomado de Kendall y Rodríguez ⁽⁹⁾.

Tipo	Perfil de la plataforma	Muro de contención	Sistema de riego	Factores distintivos
Andén “Tipo 1”	Horizontal	Inclinado	Sí	Rellenos estratigráficos de piedras y suelos
Andén “Tipo 2”	Horizontal	Vertical	Sí y no	Rellenos de algunas piedras detrás de la cimentación o base
Andén “Tipo 3”	Inclinado	Rústico	Generalmente no	Pocas piedras de relleno detrás de un muro de contención
Terraza de labranza “Tipo 4”	Sin perfil de la plataforma	Sin muro de contención	No	Formada por erosión y apisonamiento en alto declive

En cuanto a sus orígenes, investigaciones sugieren que las primeras terrazas destinadas a la agricultura de secano fueron construidas entre 800 a 200 a. C. ⁽⁹⁾. Por su parte, entre 200 a. C. y 1532 d. C. el uso de andenes fue diseminándose a lo largo del territorio, impulsado, en gran medida, por la cultura Wari en el siglo VI ^(2, 10). La extensión de andenes y terrazas se estima entre 500 000 a 1 000 000 de hectáreas (ha), localizadas principalmente en los valles interandinos peruanos.

A la par de la expansión del uso de las terrazas, se lograron avances extraordinarios en el campo de la ingeniería, construyéndose sistemas complejos de andenes e infraestructuras de riego a gran escala, que combinan lagunas modificadas y qochas con amunas y canales superficiales y subterráneos. Todo ello permitió garantizar la seguridad alimentaria de las poblaciones locales a través de una producción adecuada de cultivos (principalmente, el maíz) y uso eficiente de los recursos de agua y suelos.

Posterior a la Conquista (siglo XVI) y durante el Virreinato (siglos XVII a XVIII), el uso de los andenes fue reduciéndose

paulatinamente, tendencia que prosiguió durante la República (siglos XIX y XX). En la actualidad, se estima que unas 250 000 ha aún siguen siendo cultivadas, mientras que una cantidad similar estaría en semiabandono, aunque con posibilidades de ser rehabilitadas ⁽¹¹⁾. Experiencias de comunidades en el Valle Sondondo en Ayacucho, Cotahuasi y Colca en Arequipa y Cuyo Cuyo y Sandia en Puno, por mencionar algunas, demuestran que un uso adecuado de los andenes permite un buen manejo de los cultivos ⁽²⁾. Una de las ventajas más notables de estos sistemas es la durabilidad: muchos fueron construidos en la época Wari, hace por lo menos mil años, y desde entonces han sido mantenidos y cultivados generación tras generación, hasta la actualidad.

A pesar de ser un importante legado histórico y aún de amplio uso en muchas regiones del país, no se cuenta con un inventario completo de andenes y terrazas. Censos y estudios de las últimas décadas arrojan valores distintos en cuanto a su extensión, estado y tipo de uso, lo que podría deberse a las metodologías empleadas (p. ej., encuestas, sistemas de información geográfica o SIG) y disponibilidad de recursos para completar la información.

^b Los andenes son conocidos como “pata pata” en quechua o “takuana” en aymara.
Fuente FAO: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/reclnat/pdf/capta/siste5.pdf

Figura 1. Vistas de andenes del Perú.



Andenes del tipo I (Moray, Cusco) | Foto: Asociación Andina Cusichaca



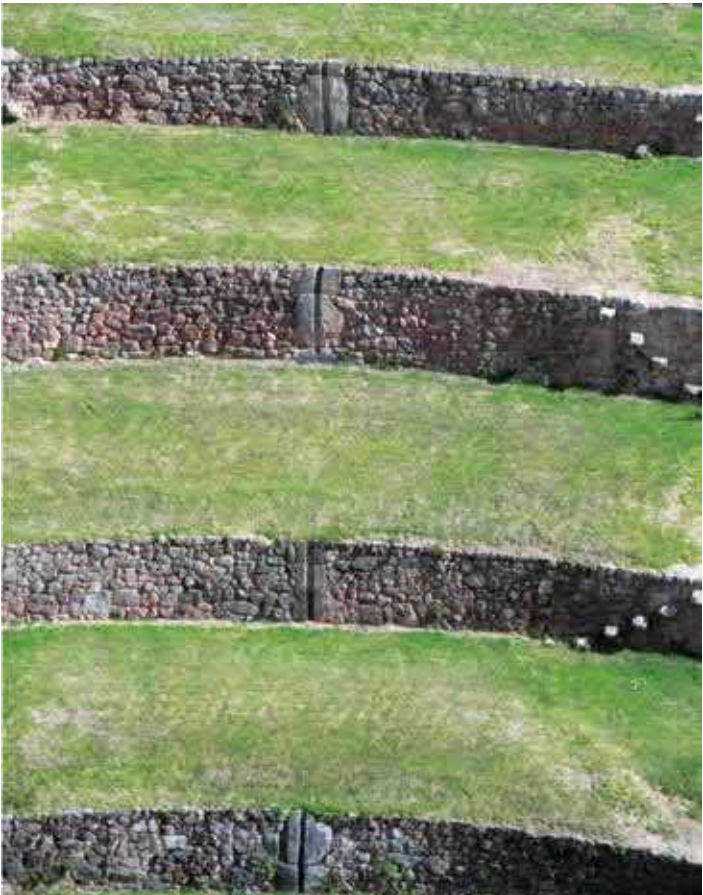
Rehabilitación de andenes (Andamarca, Ayacucho) | Foto: Asociación Andina Cusichaca



Construcción de nuevos andenes (Candarave, Tacna) | Foto: Asociación Andina Cusichaca



Andenes del tipo II (Andamarca, Ayacucho) | Foto: Asociación Andina Cusichaca



Sistema de riego (Moray, Cusco) | Foto: Asociación Andina Cusichaca



Terrazas de formación lenta (Caraybamba, Apurímac) | Foto: Giovanni Taboada.

Figura 2. Experiencias e iniciativas de mapeo de andenes y terrazas en el Perú.

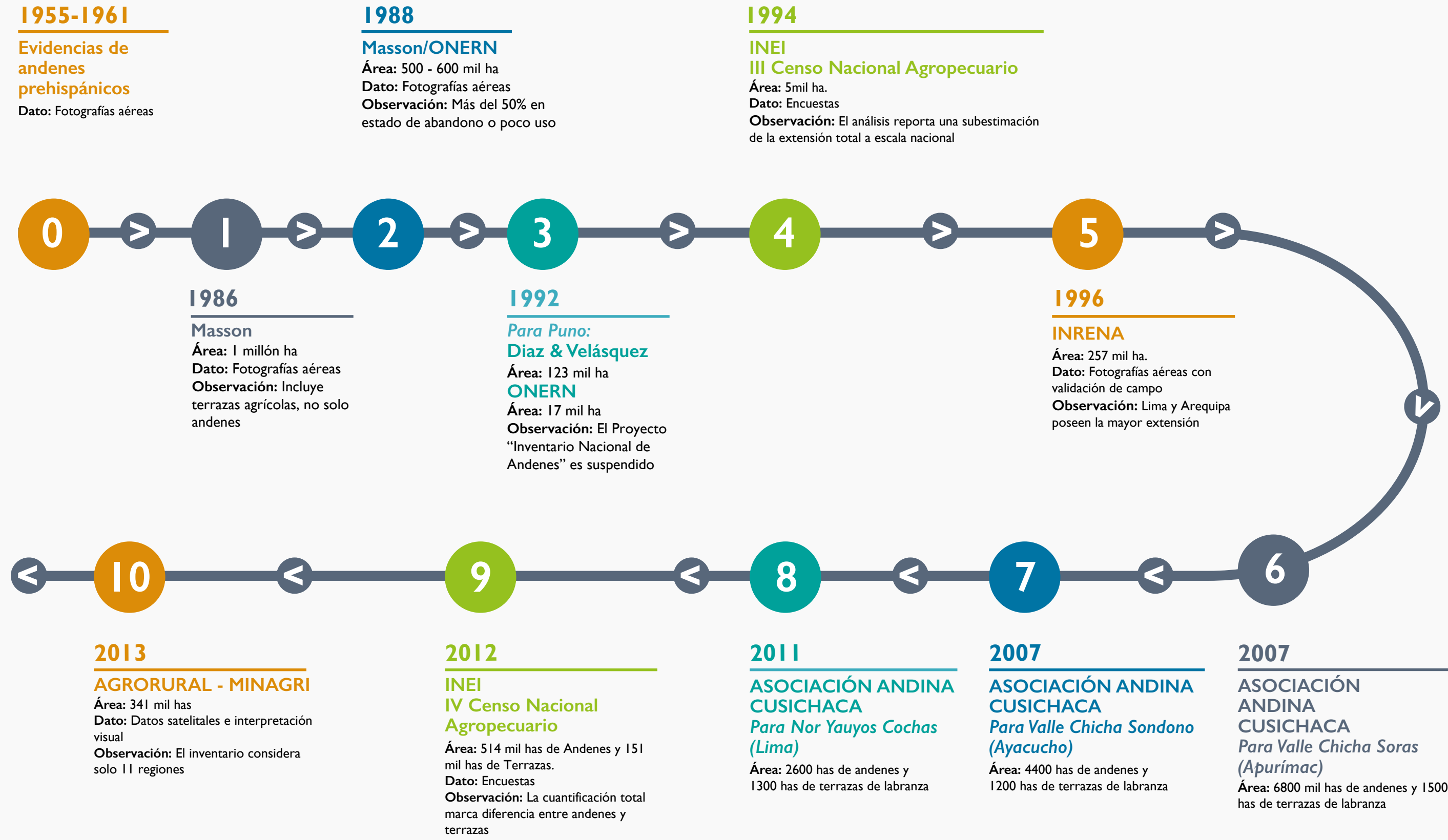


Figura 3. Mapa por regiones indicando las extensiones de andenes y terrazas (datos tomados del IV CENAGRO 2012). También se señalan las regiones abordadas en los estudios que reportan mediciones de parámetros hidrológicos.

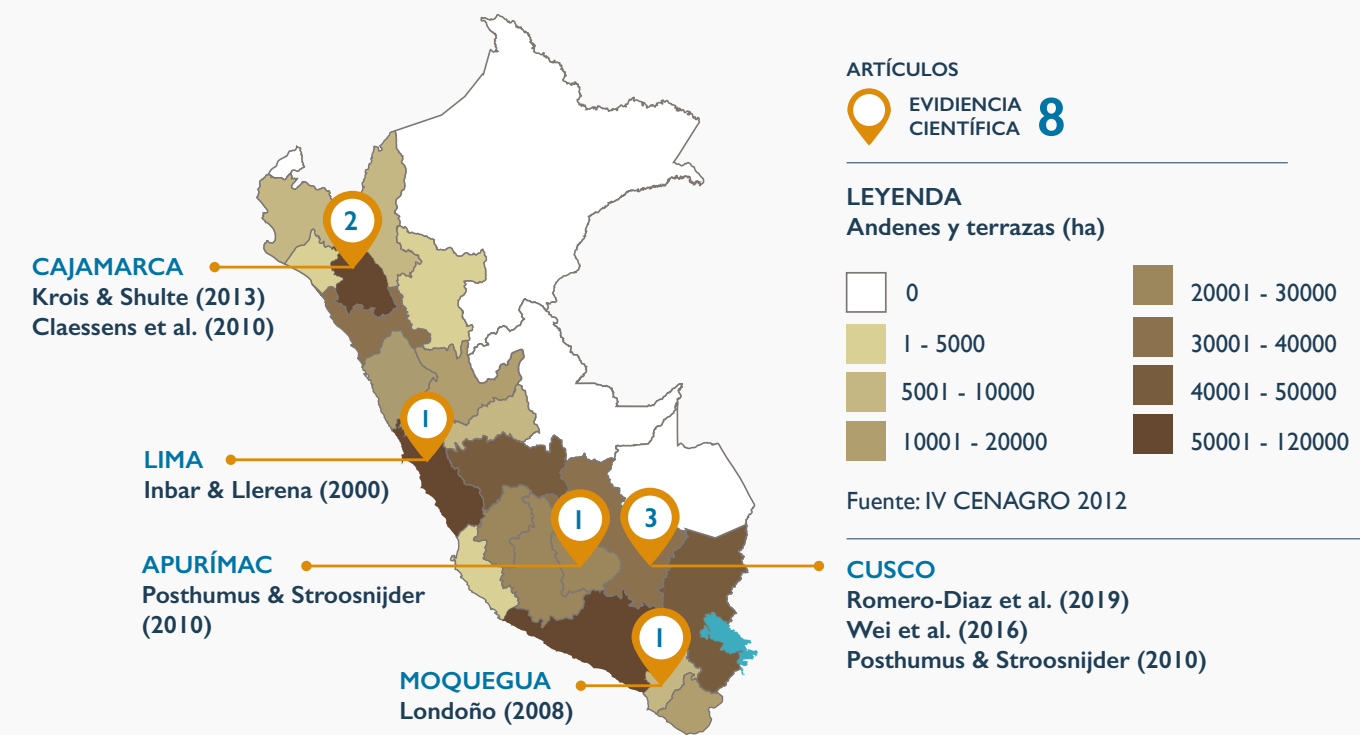


Figura 4. Ubicación de estudios científicos sobre la cuantificación de beneficios hidrológicos de andenes y terrazas.



III. Metodología y análisis

El trabajo involucró la revisión sistemática y rigurosa de artículos científicos que reportan **datos cuantitativos** sobre el impacto de terrazas en los **servicios ecosistémicos hídricos, como el control de la erosión y la regulación hídrica**, tanto a escala de parcela como de paisaje de cuenca.

La selección de publicaciones se dio a través de tres etapas (Figura 5), siguiendo una metodología estándar de revisión sistemática⁽¹²⁾. El primer nivel de búsqueda fue en las bases de datos de Web of Science, SCOPUS y Google Scholar, empleando combinaciones de términos relevantes a la intervención (p. ej., terraza), beneficio (p. ej., infiltración^c) y ámbito (p. ej., Andes). Un segundo filtro se dio con la lectura de los títulos y resúmenes, seleccionando aquellos que hacían referencia a los parámetros de interés. La selección final se dio con una lectura rápida de los artículos previamente escogidos.

En un inicio, la búsqueda estuvo centrada en el contexto andino, que arrojó pocos estudios de interés. Por ejemplo, para el Perú solo se encontraron ocho artículos que reportaron información de **medición de parámetros hidrológicos o modelamiento numérico** (5, 6, 13, 14, 15, 16, 17). Sin embargo, se pudo constatar la existencia de un número mayor de artículos, reportes técnicos y trabajos de tesis enfocados, principalmente, en aspectos relevantes a la producción agrícola o estudios socioeconómicos.

Ampliando la búsqueda a nivel global, se llegó a seleccionar un total de veintiséis (26) artículos científicos: veintitrés (23) corresponden a la revisión de casos y tres (03) son estudios de metaanálisis. A su vez, los sitios experimentales suman más de 300. El número de artículos según los servicios y parámetros hidrológicos y la respectiva escala, se indican en la Figura 6.

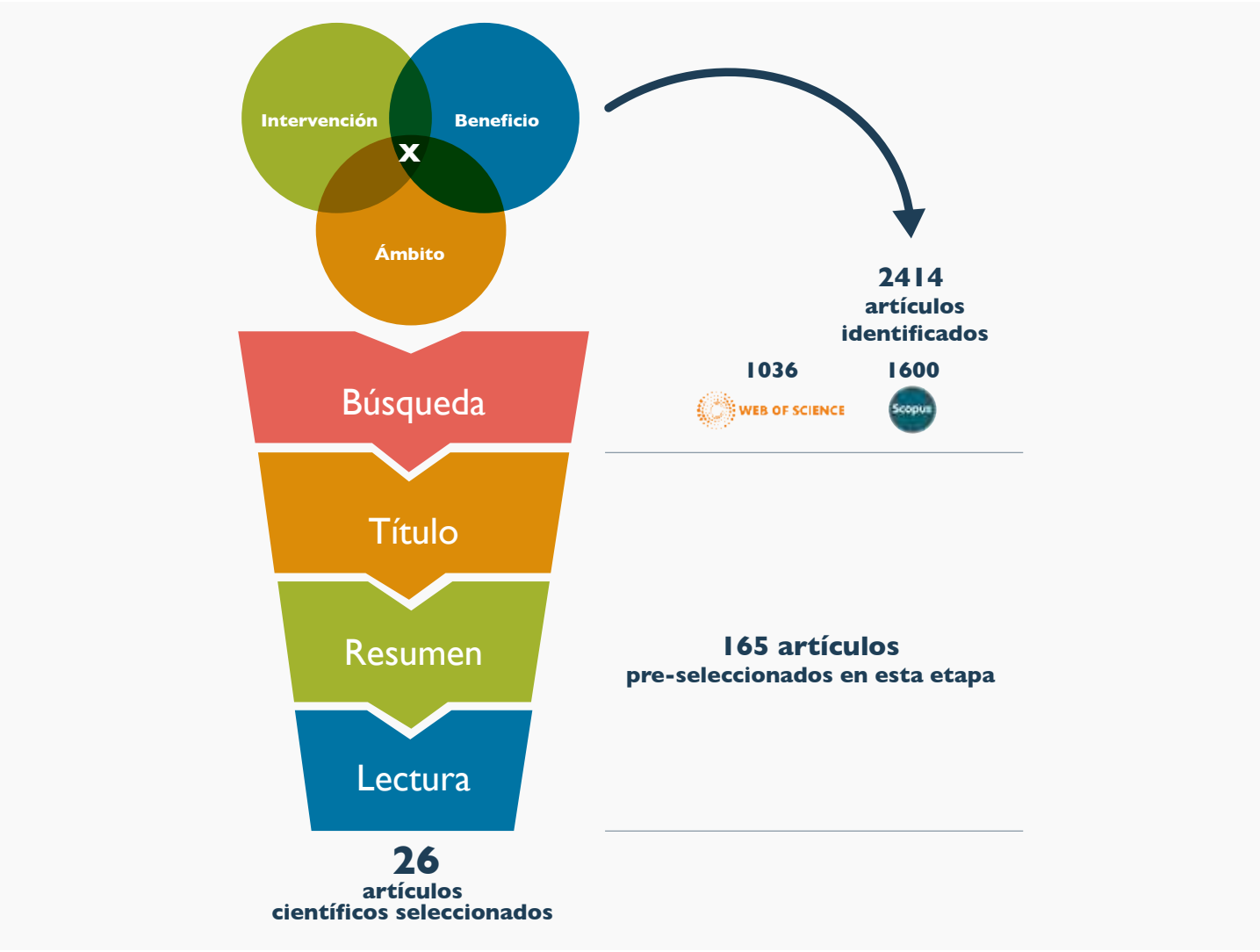


Figura 5. Diagrama de la secuencia de pasos de la búsqueda sistematizada. En el primer nivel se identificaron más de 1000 artículos por base de datos utilizada. Una segunda selección permitió reducir dicho número sustancialmente (93 en Web of Science y 72 en Scopus), llegándose, finalmente, a los 26 que fueron revisados en detalle.

^c Para el presente estudio, no se han incluido, de manera exhaustiva términos de búsqueda acerca de eficiencia de riego.

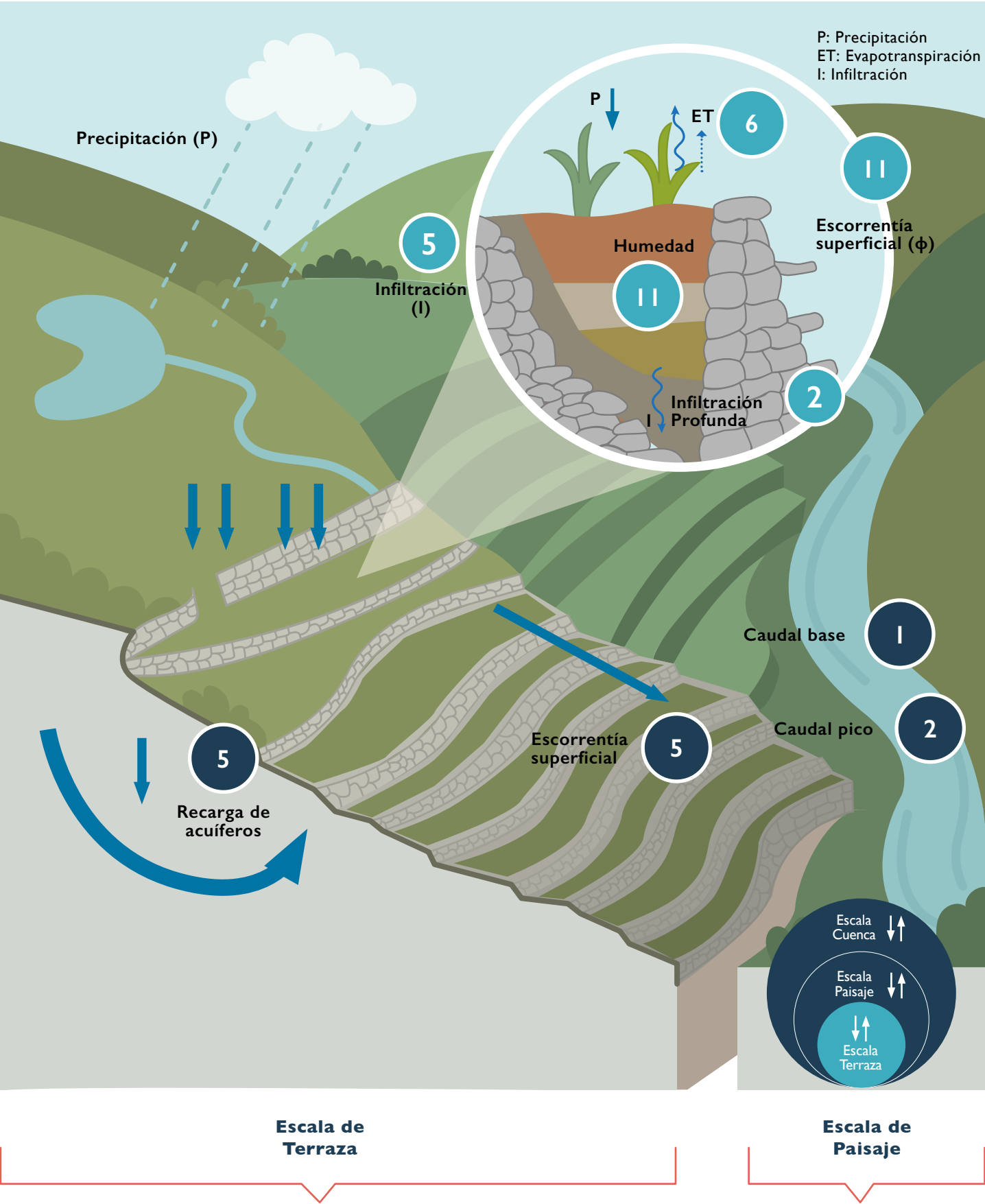


Figura 6. Número de estudios (en círculos) según el parámetro hidrológico y la escala. En la mayoría de los casos, los estudios reportaban más de un parámetro hidrológico. **Fuente:** Elaboración propia ⁽³⁰⁾.

Los resultados de la revisión son clasificados según el número de casos y nivel de coincidencia. De acuerdo a ello, se establecen cuatro categorías ⁽¹⁸⁾:

En el caso de haber de cuatro a menos estudios (<4), se consideran como “pocos”.

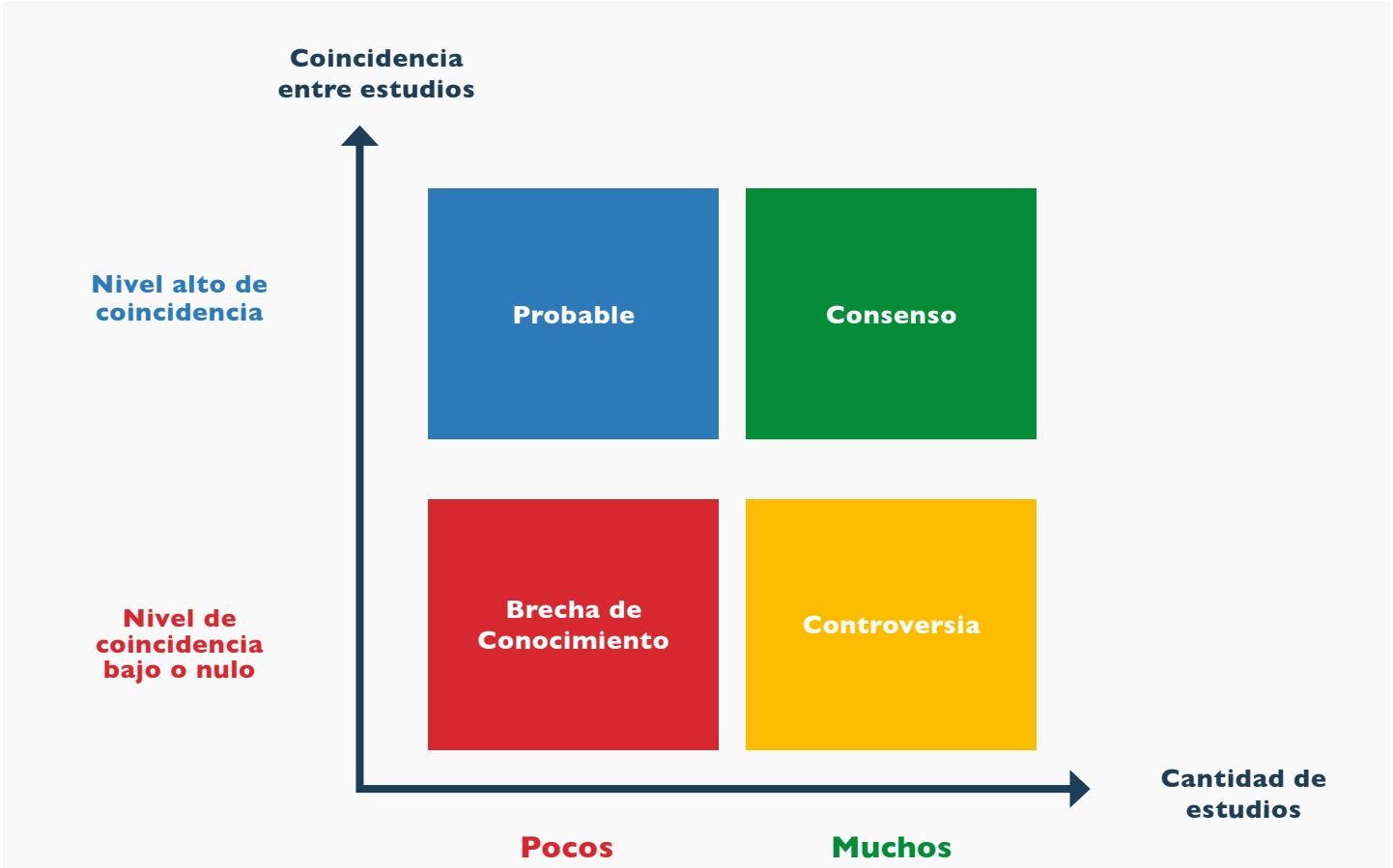


Figura 7. Clasificación de los estudios según la cantidad y nivel de coincidencia. **Fuente:** Bonnesoeur et al. ⁽¹⁸⁾.



Tabla 2. 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?
 Volumen total anual de agua disponible	La cantidad total de agua disponible en ríos, quebradas o pozos durante todo el año, sin considerar aspectos como regularidad o estacionalidad. El rendimiento hídrico caracteriza esta cantidad como el caudal promedio anual producido en una cuenca hidrográfica y el área de la cuenca.	La cantidad total es importante para los usuarios de agua con capacidad de almacenamiento (por ejemplo, centrales hidroeléctricas, embalses para uso agrícola, doméstico o industrial) que demandan grandes volúmenes de agua.	La cantidad total de agua depende de las precipitaciones menos las pérdidas (evaporación y transpiración, que se ven influenciadas por la vegetación).
 Conservación del caudal base	La conservación del caudal de agua en ríos, quebradas, manantes o pozos durante la temporada seca o durante las sequías (llamado también 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.
 Reducción de la escorrentía e inundaciones	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. Amortiguar caudales pico puede permitir de optimizar la captación de agua de ciertas obras hidráulicas.	Varias funciones del ecosistema que contribuyen a las pérdidas y al almacenamiento de agua convergen para reducir el caudal pico: interceptación, evaporación, transpiración e infiltración.
 Control de la erosión	La reducción de la erosión de los suelos, ya sea difusa (erosión laminar) o por movimientos de masa (deslizamiento de tierra o huayco) y la reducción del transporte de sedimentos.	Reducir la erosión es importante para preservar los suelos y sus capas fértiles que sostienen muchos servicios ecosistémicos (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 huaycos 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).



Foto: Asociación Andina Cusichaca



IV. Impactos de las terrazas sobre los servicios hidrológicos

Los impactos de las terrazas sobre funciones hidrológicas reportados en la literatura científica son resumidos a continuación. Cabe precisar que usaremos el término “terrazas” de manera general, para referirnos tanto a los sistemas de andenes como a las terrazas de labranza.

Tabla 3. Efectos de las terrazas en uso sobre los procesos y servicios hidrológicos comparado con el caso control de pendientes sin terrazas.

Escala	Procesos o servicios hidrológicos	Efectos
Parcela	Infiltración	Aumento
	Infiltración profunda	Probable aumento
	Humedad de suelo	Controversia
	Escorrentía superficial	Disminución
	Evaporación	Probable disminución
	Evapotranspiración	Probable aumento
	Erosión laminar	Disminución
Paisaje	Caudal base	Brecha de conocimiento
	Caudal pico	Brecha de conocimiento
	Recarga de acuífero	Probable aumento
	Rendimiento hídrico	Brecha de conocimiento
	Erosión laminar	Disminución



Foto: Asociación Andina Cusichaca

CONCLUSIÓN 1: LAS TERRAZAS REDUCEN LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

Consenso	Las terrazas actúan como “esponjas” al promover la infiltración de agua en los suelos, tal como lo demuestran la gran mayoría de estudios a escala de parcela. En ese sentido, conforman sumideros al alterar la microtopografía de las laderas, creando zonas más planas y ralentizando el flujo de agua ^(4, 5, 6, 7, 17, 19, 20, 21, 22) . Un estudio de 105 casos a nivel global, cubriendo zonas climáticas y condiciones de suelos diferentes, deduce que, en promedio, las terrazas son 2.5 veces más eficientes que las pendientes en reducir la escorrentía ⁽⁶⁾ . Para zonas subhúmedas, esta reducción puede llegar al 90% ^(5, 6) .
Consenso	Los factores que reducen la escorrentía superficial de las terrazas son ^(4, 5, 20, 21, 23, 24): • Mayor cobertura vegetal. • Mayor profundidad de suelos. • Presencia de material orgánico en los suelos (que es, a su vez, función de la cobertura vegetal). • Presencia de roca clástica y grava (mayor porosidad). • Ancho de terrazas (p. ej., para una ubicación y pendiente dada, la capacidad de retención de agua se incrementa con el ancho).
Consenso	La capacidad de reducción de la escorrentía superficial por las terrazas se ve disminuida por ^(4, 5, 20, 22, 25, 26): • Deterioro de la vegetación, ya sea por abandono o perturbaciones (p. ej., sobrepastoreo y deforestación). • Endurecimiento de suelos y formación de costras. • Colapso de las paredes y canales de drenaje. • Cantidad de agua previamente acumulada (p. ej., en zonas húmedas y subhúmedas, el nivel freático suele ser alto).
Brecha de conocimiento	Es incierto el impacto de las terrazas sobre el caudal pico, dada la escasez de estudios a nivel de cuenca. Dos estudios que abordan el tema empleando modelamiento hidrológico y mediciones de campo indican una reducción del caudal pico ^(15, 27) .
Probable	Es probable que el impacto de las terrazas sobre el caudal superficial en la cuenca tenga relación directa con la proporción entre sus respectivas áreas (terrazas/cuenca). Es decir, a menos proporción, menor impacto y viceversa ⁽²⁸⁾ .

CONCLUSIÓN 2: LA CAPACIDAD DE REGULACIÓN HÍDRICA DE LAS TERRAZAS A NIVEL DE PARCELA NECESITA SER COMPROBADA A ESCALA DE CUENCA.

Consenso	Las terrazas, al promover la infiltración, incrementan la humedad de los suelos ^(4, 6, 7, 17, 19, 20, 21, 22, 24) .
Controversia	No necesariamente las terrazas son más eficientes que las pendientes vegetadas en la retención de la humedad de suelos. Por ejemplo, en sistemas de andenes ubicados en Santa Eulalia, Lima, se observó un mayor impacto cuando las pendientes son pronunciadas y con vegetación dispersa ⁽¹⁴⁾ . De otro lado, en zonas semiáridas de China, las terrazas de banco ancho resultaban más efectivas que las pendientes vegetadas en cuanto a la retención de la humedad (hasta un 22% más) ⁽²²⁾ , lo que es relevante para el caso de los andenes en el Perú, debido a la estructura y contexto climático similares. Sin embargo, el mismo estudio reporta que otros tipos de terrazas, como los de banco angosto y con zanjas de contorno, no tenían esa ventaja comparativa ⁽²²⁾ .
Probable	El efecto de las terrazas en la conservación de la humedad de suelos parece ser mayor en zonas climáticas semiáridas y subhúmedas, mientras que es menos notorio en las zonas húmedas ^(5, 20) .
Probable	La presencia de terrazas puede favorecer la infiltración profunda y, como consecuencia, el aumento de la napa freática y eventual recarga de acuíferos ^(5, 15, 29) . El factor condicionante para ello es la profundidad y las propiedades del suelo, así como la permeabilidad del subsuelo. Por ejemplo, estudios de modelamiento hidrológico sobre el efecto de crestas de contorno en Marruecos, que son estructuras que promueven la formación lenta de terrazas por acumulación de sedimentos, estiman un incremento del 50% en la recarga ⁽²⁹⁾ . En el caso de zonas semiáridas, con suelos poco profundos formados sobre superficies rocosas impermeables, se espera un menor impacto ^(19, 26) .
Brecha de conocimiento	No se sabe si las terrazas tienen un efecto sobre el caudal base. El único estudio en el que se menciona dicho parámetro casualmente reporta que las terrazas abandonadas podrían tener un impacto negativo sobre este ⁽²⁶⁾ .



Foto: Asociación Andina Cusichaca

CONCLUSIÓN 3: SI BIEN LAS TERRAZAS PERMITEN UN USO EFICIENTE DEL RIEGO, SU IMPACTO EN TÉRMINOS DE RENDIMIENTO HÍDRICO ES MÁS INCIERTO.

Controversia	No existe consenso de si las terrazas reducen o no la pérdida de agua por evaporación o transpiración a través de las plantas a escala de parcela. Romero-Díaz et al. ⁽⁵⁾ reporta cuatro casos en los que la presencia de terrazas reduce la evaporación. Dicha disminución es proporcional al ancho de la terraza ^(20, 21) . Por su parte, al incrementarse la cobertura vegetal y cultivos, así como la humedad del suelo, la evapotranspiración tiende a crecer ^(24, 28) .
Probable	Sistemas de andenes, en los que se combinan infraestructuras como canales y qochas, permiten una mayor eficiencia en el riego y, por ende, un menor requerimiento de agua para el crecimiento de los cultivos. Casos revisados por Romero-Díaz et al. ⁽⁵⁾ y experiencias reportadas de construcción de andenes en Candarave, Arequipa, apuntan a dicha dirección.
Brecha de conocimiento	El efecto agregado de las terrazas sobre la interceptación de la precipitación y distribución espacial de agua para cultivos a escala de cuenca no está determinado. Por ejemplo, estudios de modelamiento hidrológico realizados para la cuenca de La Encañada, Cajamarca, indican que no hay diferencia entre un escenario de cultivos sin terrazas y uno donde el 20% del área cultivada comprende terrazas ⁽¹³⁾ .
Brecha de conocimiento	No existe estudio a nivel de cuenca sobre el rendimiento hídrico de los sistemas de andenes en su conjunto, incluyendo las qochas y los canales aguas abajo. Estas estructuras, necesarias para el riego, tienden a incrementar la superficie de contacto con la atmósfera y, por ende, la evaporación del agua.

CONCLUSIÓN 4: LAS TERRAZAS IMPACTAN POSITIVAMENTE EN LA CONSERVACIÓN DE SUELOS.

Consenso	Las terrazas contribuyen a un mejor control de los procesos de erosión, pudiendo reducir hasta en un 90% la pérdida de suelos ^(4, 5, 6, 19, 20) . A través de una disminución de la pendiente, las terrazas reducen la escorrentía superficial y la capacidad erosiva del agua. El aumento de la infiltración y la reducción en erosión hídrica en la terraza favorece la humedad, contenido de materia orgánica y fertilidad de los suelos.
Consenso	El efecto de las terrazas sobre el control de la erosión hídrica es particularmente importante en zonas semiáridas, donde los suelos suelen ser poco profundos (< 50 cm); a diferencia de zonas más húmedas, donde la profundidad de los suelos puede exceder los 2 m ^(4, 5, 16, 19) .
Consenso	La erosión hídrica es el principal factor de degradación de suelos en terrazas, seguido por la combinación de erosión hídrica con degradación química y, en menor proporción, la combinación de erosión eólica e hídrica ⁽⁵⁾ . Por lo tanto, el control de la escorrentía superficial por parte de las terrazas es clave para la conservación de suelos ⁽⁴⁻⁶⁾ .
Consenso	El abandono de las terrazas puede aumentar el riesgo de erosión hídrica por medio de la formación de cárcavas, surcos y procesos de erosión en túnel (piping). Las condiciones que favorecen dichos procesos son lluvias torrenciales, el colapso de las paredes y las franjas de vegetación, así como el uso después del abandono, recubrimiento de la vegetación y las propiedades hidráulicas y químicas de los suelos ^(4, 5) .
Consenso	En el caso de pendientes pronunciadas, el colapso de las terrazas tiene el potencial de desencadenar deslizamientos de tierra ^(4, 26) .

RECOMENDACIONES



Medir el impacto hidrológico de las terrazas a escala de paisaje o de cuenca. Es aún muy poco lo que se conoce acerca del efecto de las terrazas sobre el caudal pico, caudal base y rendimiento hídrico y, en consecuencia, sobre los beneficios que generan a escala de paisaje o de cuenca. Si bien se tiende a asumir que influyen positivamente en el ciclo hidrológico, es necesario corroborar esta hipótesis a través de estudios cuantitativos, en combinación con modelos hidrológicos. Esto es particularmente importante a la hora de incorporar las terrazas dentro de proyectos enmarcados por los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos.



Priorizar la recuperación de las terrazas en abandono es muy eficiente para controlar la erosión. Si bien las terrazas en uso permiten la conservación de suelos, existe un riesgo no despreciable de que terrazas abandonadas promuevan procesos de erosión, incluyendo casos extremos de deslizamiento de tierras. En el Perú, la extensión de terrazas en desuso es estimado en unas 250 000 ha y es necesario identificar las zonas de riesgo para la población local.



Promover el uso de andenes y terrazas como prácticas efectivas de conservación de agua y suelos. La revisión de estudios y experiencias dentro y fuera del país resalta la importancia de las terrazas y sistemas de andenes para la agricultura en zonas de montaña, en vista de la conservación de agua y uso eficiente del riego, reducción de la erosión y conservación de la fertilidad, entre otros. Dentro de un contexto de cambio climático y de pérdida progresiva de la biodiversidad, fomentar la agricultura de terrazas y facilitar la inversión en la recuperación de andenes constituye una medida efectiva de adaptación local.



Articular proyectos de conservación, producción agropecuaria y de prevención de riesgos alrededor de las terrazas. Visto desde la lógica de la inversión pública, los proyectos con un enfoque de sostenibilidad, contrariamente al caso de aquellos netamente productivos, no siempre son claros en cuanto a los beneficios que puedan generar. La preservación y recuperación de terrazas tiene el potencial de articular actividades productivas (p. ej., incremento de cultivos al tener una mayor superficie de siembra y mejor control de la topografía) y de conservación y promoción del patrimonio cultural (con el subsecuente incremento del turismo), con la reducción de riesgos (p. ej., estabilización de taludes) y conservación de servicios ecosistémicos (p. ej., regulación hídrica). El uso eficiente del riego en andenes es relevante para proyectos de conservación o restauración de ecosistemas altoandinos, ya que la intensificación de la producción agropecuaria en las terrazas puede favorecer la disminución de la presión humana sobre zonas frágiles y vulnerables.



Implementar un sistema de monitoreo de terrazas del Perú. Las terrazas forman parte del legado cultural del país y cumplen, además, un rol importante en la economía local de muchos pueblos andinos. En ese sentido, contar con un sistema de información para la ubicación de terrazas y conocer sus extensiones, estado y tipo de uso, permitiría una mejor planificación, implementación y monitoreo de intervenciones orientadas a la preservación, recuperación y uso sostenible de los ecosistemas y áreas productivas.

REFERENCIAS

Los estudios de metaanálisis están resaltados en **negrita**:

- 1 Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B.G. and Bradley, R.S., 2008: Climate change and tropical Andean glaciers – Past, present and future. *Earth Science Reviews*, 89, 79-96.
- 2 Buytaert W., Cuesta-Camacho F. and Tobon C. (2011). Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 19-33.
- 3 Aguilar-Lome, J., Espinoza-Villar, R., Espinoza, J.C., Rojas-Acuña, J., Willems, B. & Leyva-Molina, W.M. (2019). Elevation-dependent warming of land surface temperature in the Andes assessed using MODIS LST series (2000-2017). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 77, 119-128.
- 4 **Moreno-de-las-Heras, M., Lindenberger, F., Latron, J. & Lana-Renault, N. (2019). Hydrogeomorphological consequences of the abandonment of agricultural terraces in the Mediterranean region: Key controlling factors and landscape stability patterns. *Geomorphology*, 333, 73–91.**
- 5 Romero-Díaz, A., De Vente, J., Díaz-Pereira, E. (2019). Assessment of the ecosystem services provided by agricultural terraces. *Pirineos*, 174, e043.
- 6 **Wei, W., Chen, D., Wang, L., Daryanto, S., Chen, L., Yua, Y., Lu, Y., Sun, G. & Feng, T. (2016). Global synthesis of the classifications, distributions, benefits and issues of terracing. *Earth-Science Reviews* 159, 388-403.**
- 7 Posthumus, H. (2005). Adoption of terraces in the Peruvian Andes. *Doctoral Thesis Wageningen University*.
- 8 Llerena, C.A., Inbar, M., y Benavides, M.A. (Eds.) (2004). *Conservación y abandono de andenes*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad de Haifa, Lima, Perú (Disponible en [enlace](#)).
- 9 Kendall, A. & Rodríguez, A. (2009). Desarrollo y perspectivas de los sistemas de andenería de los Andes centrales del Perú. *Cuzco: Institut français d’études andines*. doi:10.4000/books.ifea.6110
- 10 Sandor, J. A. & Eash, N. S. (1995). Ancient agricultural soils in the Andes of southern Peru. *Soil Science Society of America Journal*, 59(1), 170-179.
- 11 Masson, L. & Cotler, H. (1986) *Inventario, evaluación y uso de los andenes en la subcuenca del río Rímac*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima.
- 12 Pullin, A.S., Frampton, G.K., Livoreil, B. & Petrokofsky, G. (Eds.) (2018). Collaboration for Environmental Evidence. 2018. *Guidelines and Standards for Evidence synthesis in Environmental Management. Version 5.0* www.environmentalevidence.org/information-for-authors
- 13 Claessens, L., Stoorvogel, J. & Antle, J. (2010). Exploring the impacts of field interactions on an integrated assessment of terraced crop systems in the Peruvian Andes. *Journal of Land Use Science*, 5:4, 259-275.
- 14 Inbar, M. & Llerena, C.A. (2000). Erosion processes in high mountain agricultural terraces in Peru. *Mountain Research and Development*, Vol. 20, N° 1, 72-79.
- 15 Krois, J. & Schulte, A. (2013). Modeling the Hydrological Response of Soil and Water Conservation Measures in the Ronquillo Watershed in the Northern Andes of Peru. *Proceedings of the 6th ICWRER Conference Volume: Water & Environmental Dynamics* (pp. 147-184). Koblenz, Germany.
- 16 Londoño, A.C. (2008). Pattern and rate of erosion inferred from Inca agricultural terraces in arid southern Peru. *Geomorphology*, 99, 13-25.
- 17 Posthumus, H. & Stroosnijder, L. (2010). To Terrace or not: the Short-term Impact of Bench Terraces on Soil Properties and Crop Response in the Peruvian Andes. *Environment, Development and Sustainability*, 12, 263-276. DOI 10.1007/s10668-009-9193-4.
- 18 Bonnesoeur, V., Locatelli, B. & Ochoa-Tocachi, B.F. (2019). Impactos de la forestación en el agua y los suelos de los Andes: ¿Qué sabemos? – Resumen de Políticas. *Proyecto “Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica” (INSH), Forest Trends, Lima, Perú.*

- 19 Arnaez, J., Lana-Renault, N., Lasanta, T., Ruiz-Flaño, P. & Castroviejo, J. (2015). Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. *Catena*, 128, 122-34.
- 20 **Chen, D., Wei, W. & Chen, L. (2020). How Can Terracing Impact on Soil Moisture Variation in China? A meta-analysis. *Agricultural Water Management* 227, 105849.**
- 21 Lu, H., Zhu, Y., Skaggs, T.H. & Yu, Z. (2009). Comparison of Measured and Simulated Water Storage in Dryland Terraces of the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management* 96, 299-306.
- 22 Wei, W., Feng, X., Yang, L., Chen, L., Feng, T. & Chen, D. (2019). The Effects of Terracing and Vegetation on Soil Moisture Retention in a Dry Hilly Catchment in China. *Science of the Total Environment* 647, 1323-1332.
- 23 Xu, Q., Wu, P., Dai, J., Wang, T., Li, Z., Cai, C. & Shi, Z. (2018). The Effects of Rainfall Regimes and Terracing on Runoff and Erosion in the Three Gorges Area, China. *Environmental Science and Pollution Research* 25, 9474-9484.
- 24 Zhang, H., Wei, W., Chen, L. & Wang, L. (2017). Effects of Terracing on Soil Water and Canopy Transpiration of *Pinus Tabulaeformis* in the Loess Plateau of China. *Ecological Engineering* 102, 557-564.
- 25 Ramos, M.C., Cots-Folch, R. & Martínez-Casasnovas, J.A. (2007). Effects of Land Terracing on Soil Properties in the Priorat Region in Northeastern Spain: A Multivariate Analysis. *Geoderma* 142, 251-261.
- 26 Gallart, F., Llorens, P. & Latron, J. (1994). Studying the Role of Old Agricultural Terraces on Runoff Generation in a Small Mediterranean Mountainous Basin. *Journal of Hydrology*, 159, 291-303.
- 27 Londero, A.L., Minella, J.P.G., Deuschle, D., Schneider, F.J.A., Boeni, M. & Merten, G.H. (2018). Impact of Broad-Based Terraces on Water and Sediment Losses in no-till (Paired Zero-Order) Catchments in Southern Brazil. *Journal of Soils and Sediments*, 18, 1159-1175.
- 28 Strehmel, A., Jewett, A., Schuldt, R., Schmalz, B. & Fohrer, N. (2016). Field Data-Based Implementation of Land Management and Terraces on the Catchment Scale for an Eco-hydrological Modelling Approach in the Three Gorges Region, China. *Agricultural Water Management* 175, 43-60.
- 29 Abouabdillah, A., White, M., Arnold, J.G., De Girolamo, A.M., Oueslati, O., Maataoui, A. & Lo Porto, A. (2014). Evaluation of Soil and Water Conservation Measures in a Semi-arid river Basin in Tunisia Using SWAT. *Soil Use and Management*, 30, 539-549.
- 30 Blossiers, J., Deza, C., Leon, B. & Samane, R. (2000). Agricultura de laderas a través de andenes, Perú. *Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia. Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N° 13, RLCEA/FAO.* ([Enlace](#))



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Veerle Vanacker, Miluska Rosas Barturen, Peggy Stern y Fabian Drenkhan por sus valiosos aportes.



Foto: Asociación Andina Cusichaca

Impactos de andenes y terrazas 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 esta investigación?

Willems B., Leyva-Molina WM, Taboada-Hermoza R., Bonnesoeur V., Román F., Ochoa-Tocachi BF, Buytaert W., Walsh D., 2021. Impactos de andenes y terrazas en el agua y los suelos: ¿qué sabemos? Resumen de políticas, Proyecto “Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica”, Forest Trends, Lima, Perú.



Canada



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.