

Financiado por



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



GREEN
CLIMATE
FUND



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT



En colaboración con

Canada



CONTRIBUCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ALTOANDINOS EN LA PROVISIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE REGULACIÓN HÍDRICA

Ronal Cervantes Zavala

Implementado por



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Profonampe
Comprometidos por naturaleza



Los ecosistemas altoandinos



La importancia de los servicios ecosistémicos hídricos

- Más del 50% de la población mundial depende indirectamente de ecosistemas de montaña.
- Los cambios de uso del suelo afectan la regulación hídrica.
- Existe escasa evidencia cuantitativa sobre cuánto contribuye cada ecosistema andino al almacenamiento de agua.





Las preguntas de investigación

1. ¿Qué capacidad de regulación tienen los ecosistemas altoandinos de bofedales, pajonales y bosque de queñua?
2. ¿En comparación con otras alternativas de regulación hídrica ¿cómo será el desempeño de los ecosistemas evaluados?

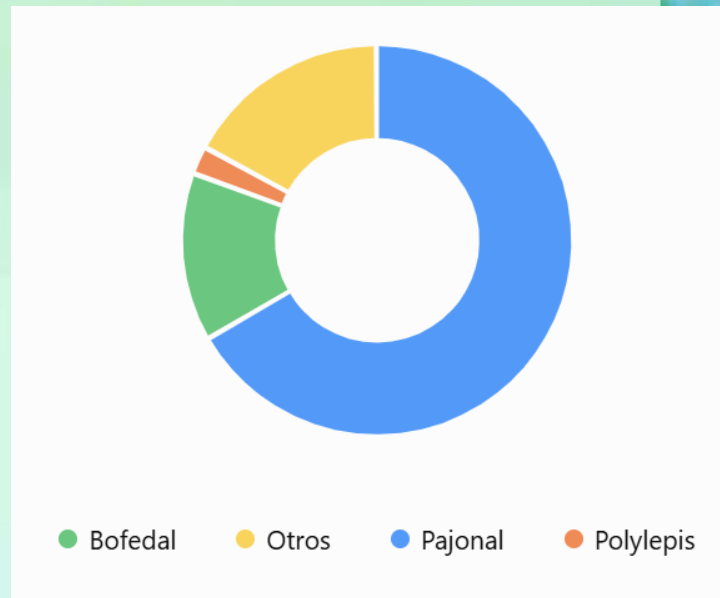
Otras alternativas: qochas/microrepresas rústicas y presas de concreto.

Ámbito de estudio

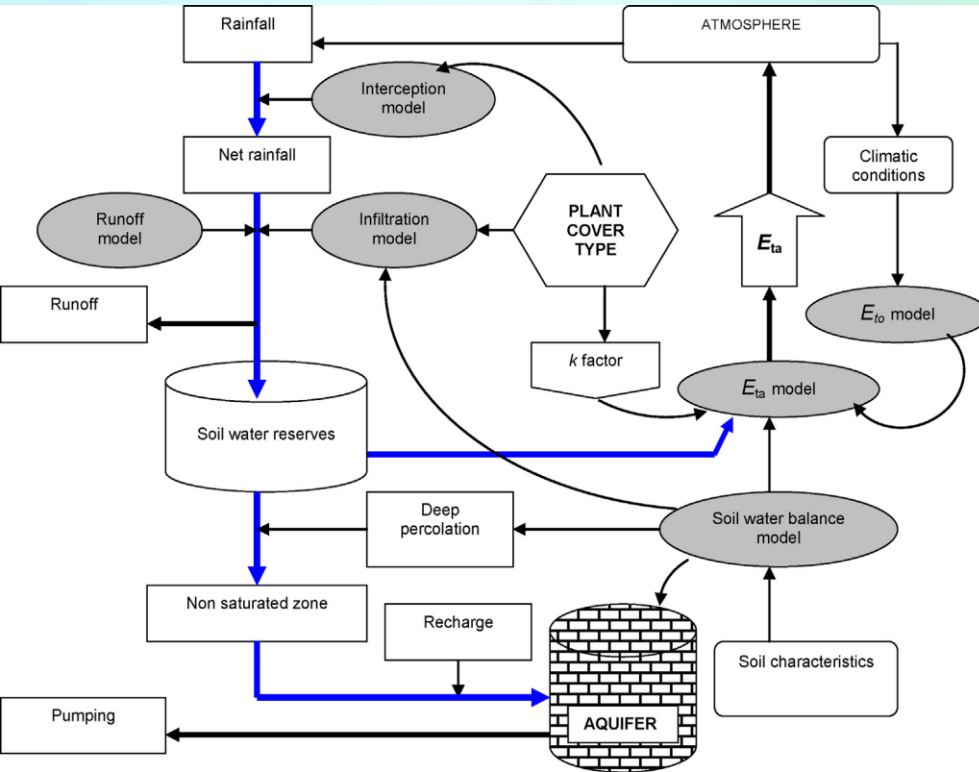
Unidad Hidrográfica Rontoccocha

- Abancay, Apurímac
- 3900–4635 msnm
- 875 ha

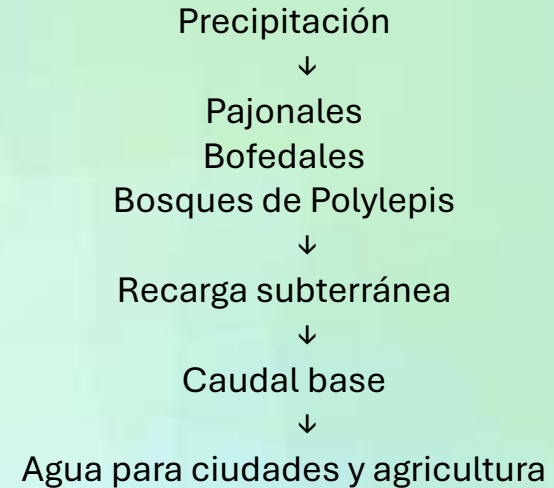
Ecosistema	Área (ha)	Cobertura
Pajonal	585	66.9%
Bofedal	121	13.9%
Polylepis	19	2.2%



Metodología



Modelo conceptual:



$$\Delta SWC = P - \text{Int} - E_{ta} - R_{off} - P_c$$

Modelo HYDROBALL (Bellot y Chirino, 2013)

Metodología

Variables de Entrada



Datos Climáticos

Precipitación registrada mediante pluviómetros digitales (2016-2020) y cálculo de evapotranspiración potencial (ETP) a partir de series de tiempo de SENAMHI.



Atributos Vegetales

Estructura y composición espacial de especies dominantes a través de parcelas de observación sistemáticas por tipo de ecosistema.



Física del Suelo

Determinación de textura, densidad aparente, porosidad, humedad inicial, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) mediante análisis de laboratorio.

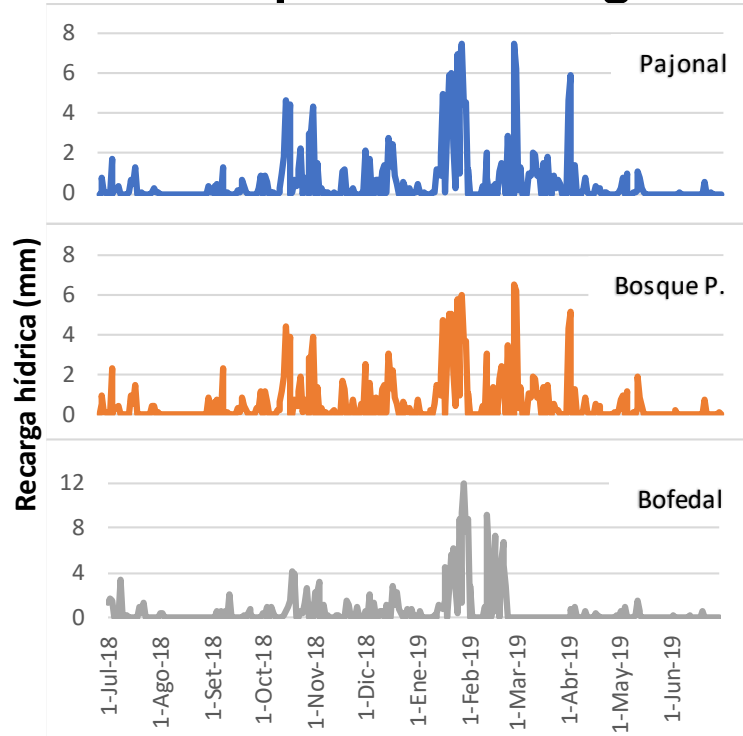
Metodología

Variables de Entrada

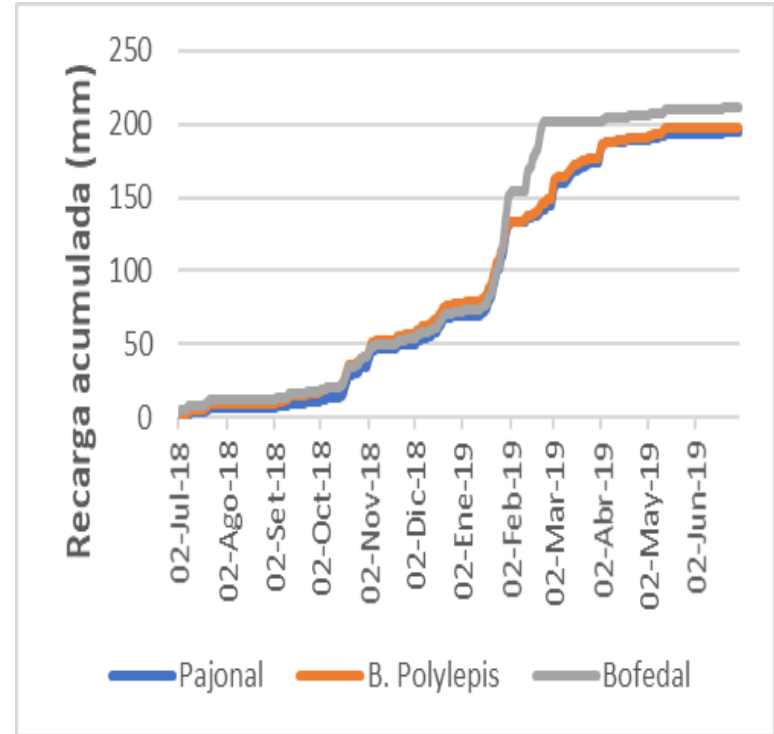
Ecosistema	Humedad Obs. (%)	Capacidad Campo (%)	Porosidad (%)	Cobertura (%)	Textura del Suelo
Bofedal	76.2 ± 8.27	28.7 ± 3.50	72.4 ± 7.00	93.7 ± 6.44	Franco limoso, arenoso orgánico
Pajonal de Puna	35.3 ± 7.16	29.4 ± 3.63	48.3 ± 4.49	82.0 ± 15.4	Franco arcillo arenoso, limoso
Bosque de Polylepis	50.3 ± 3.51	27.4 ± 1.62	56.4 ± 2.47	68.0 ± 9.13	Franco arenoso

Nota: Valores promedio, desviación estándar e intervalos de confianza obtenidos empíricamente en la microcuenca de Rontoccocha (Año Hidrológico 2018-2019).

Resultados: proceso de regulación



Proceso de recarga hídrica durante un año hidrológico



Proceso de infiltración acumulada



Resultados: Eficiencia en la regulación

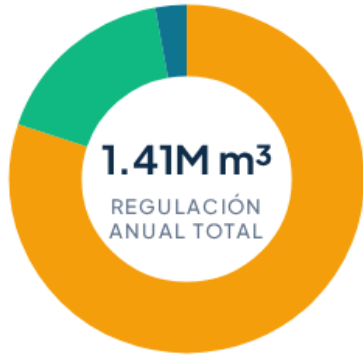
Ecosistema	Pp	Int.	Pp neta	Esc.	Eta real	Recarga
Pajonal	1 290 (100%)	51.5 (4.0%)	1 240 (96.0%)	324 (25.1%)	698 (54.2%)	194 (15.1%)
Bofedal	1 290 (100%)	25.8 (2.0%)	1 260 (98.0%)	320 (24.9%)	765 (59.4%)	211 (16.4%)
Bosque de Polylepis	1 290 (100%)	122 (9.5%)	1 170 (90.5%)	311 (24.2%)	696 (54.1%)	198 (15.4%)



Por unidad de área, la eficiencia de regulación es muy similar en los tres ecosistemas: aproximadamente el 15% del volumen de precipitación anual (Pp) logra penetrar hasta el almacenamiento subterráneo profundo (recarga del acuífero).

Resultados: Eficiencia en la regulación

¿Qué ecosistema aporta más agua a la cuenca?



- Pajonal de Puna: 80% (1,136,000 m³)
- Bofedal: 17% (240,000 m³)
- Bosque de Polylepis: 3% (40,700 m³)



Conclusiones

Sinergia Hidrológica

- Aunque evaluados individualmente, los ecosistemas operan de forma **interdependiente y conectada**.
- La infiltración profunda ocurrida en las laderas del pajonal cuenca arriba alimenta el nivel freático de los bofedales ubicados en las zonas bajas.
- La gestión hídrica y las inversiones de infraestructura natural deben evitar enfoques aislados y priorizar un manejo integral del ecosistema andino.

<https://doi.org/10.21704/rea.v20i2.1804>



¿Y las otras alternativas de regulación?

Cuerpo de Agua / Infraestructura	Área (m ²)	Prof. Media (m)	Efectividad Almacenamiento Superficial (m ³)
Solimaniq Bajo (Qocha Rústica)	1,813	1.08	1,965.97 m ³
Jayllahuasi Alto (Qocha Rústica)	1,982	0.99	1,963.41 m ³
Presa Rontoccocha (Estructura de Concreto)	150000	14.00 (Altura)	2,018,000.00 m³

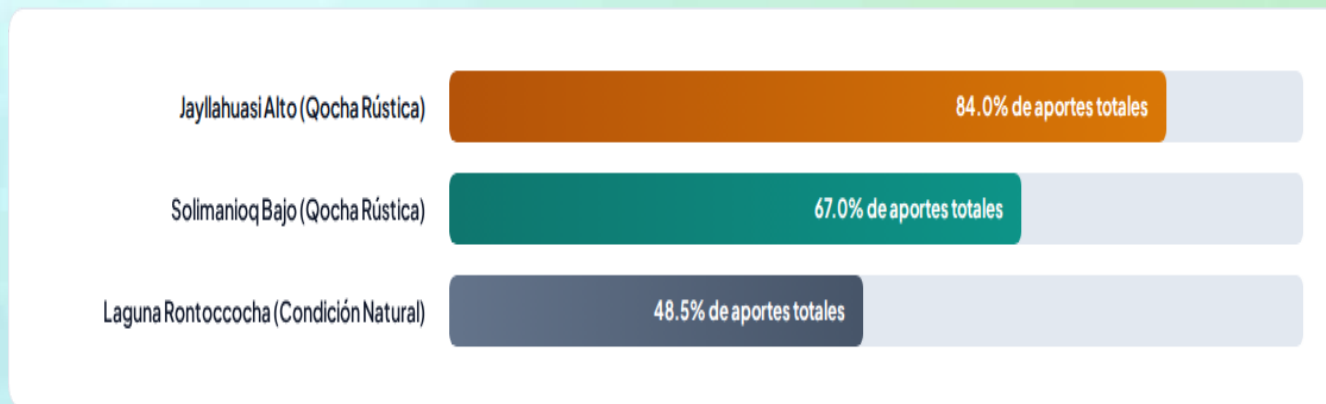
$$\Delta S = \Sigma Q_{in} + P - E - Q_{out} + Q_{Res}$$

ΔS : Variación del volumen | ΣQ_{in} : Afluentes superficiales | P : Lluvia directa | E : Evaporación | Q_{out} : Caudal de salida | Q_{Res} : Agua residual subterránea neta

Este modelo asume que el agua residual (Q_{Res}) es el resultado neto de los ingresos y salidas freáticas que sostienen el almacenamiento del cuerpo superficial.

Lynn et al. (2006).

Las otras alternativas de regulación



El modelamiento matemático del año hidrológico demuestra que la afluencia de agua subterránea (Q_{Res}) domina categóricamente sobre el caudal de los tributarios superficiales, especialmente en los reservorios rústicos de alta montaña.

Conclusiones:

- El valor fundamental de las qochas no yace solo en su espejo de agua superficial, sino en su tasa de infiltración y conectividad con la napa freática. A través de diques permeables de tierra y lechos rústicos, actúan como amortiguadores hidrológicos que alimentan directamente al flujo subterráneo de ladera abajo
- **La cuenca como alimentadora:** Los espejos de agua superficial, naturales o contruidos, son meros reflejos hidrológicos de sus cuencas aportantes. El flujo subterráneo que los alimenta depende de suelos permeables y geología conductiva.
- **Riesgo de Degradación:** Alteraciones por sobrepastoreo, incendios o agricultura eliminan la cobertura del pajonal superior, reduciendo la recarga y mermando irreversiblemente la oferta hídrica final que almacena la presa de concreto.



GRACIAS

Puna Resiliente busca **incrementar la resiliencia de las comunidades altoandinas del Perú**, de los **ecosistemas y medios de vida** afectados por el cambio climático, mediante el establecimiento de financiación pública y privada para invertir en **medidas de adaptación en ecosistemas (AbE)**, **cadenas de valor climáticamente resilientes** y el apoyo de instrumentos de **gobernanza** de los paisajes multinivel.

