



**DOCTORADO EN ECONOMÍA DE RECURSOS  
NATURALES Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE**

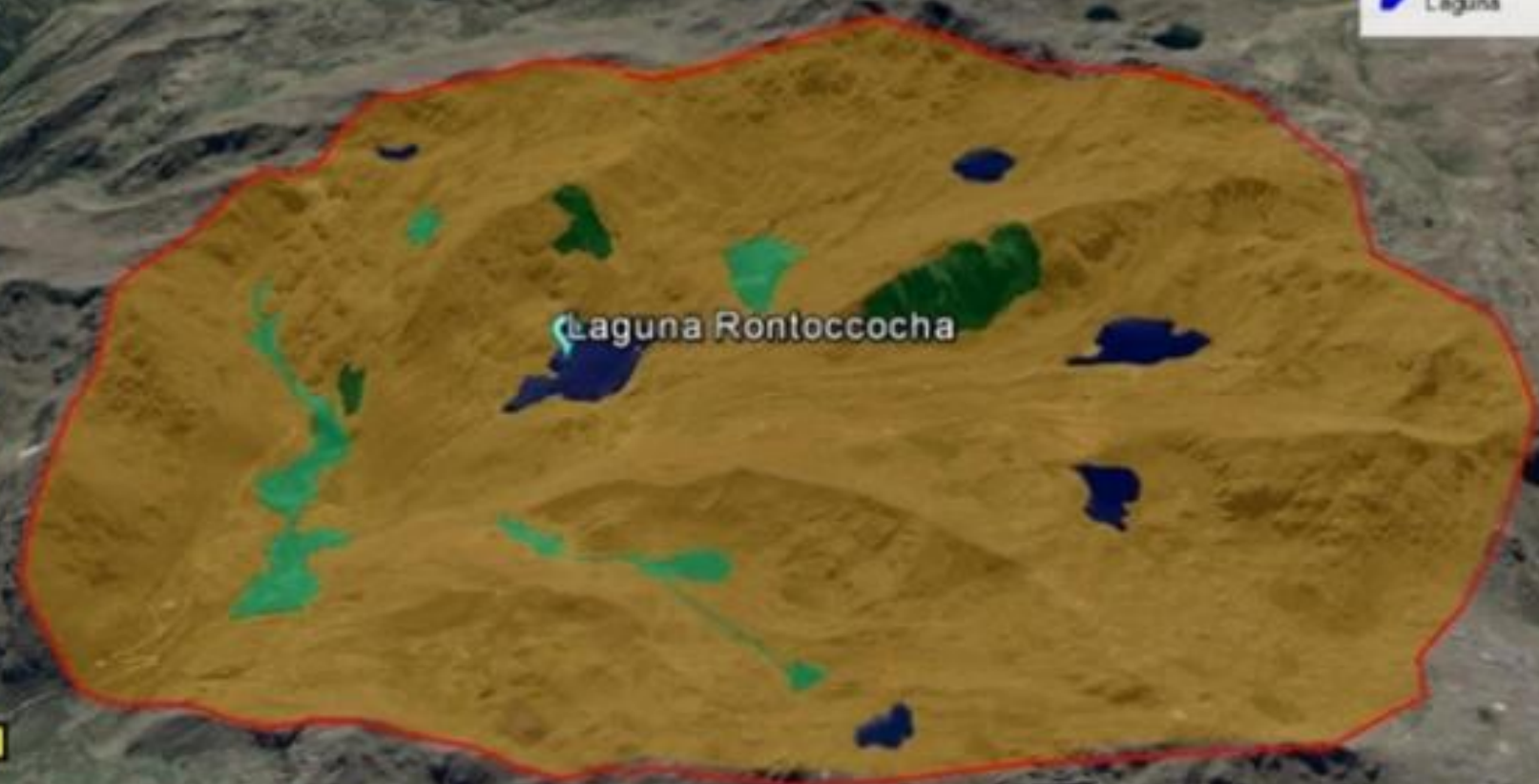
# **Costo efectividad de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la regulación hídrica, de la unidad hidrográfica de Rontoccocha, Abancay**

Ronal Cervantes Zavala

**Asesor: Dr. José Miguel Sánchez Uzcátegui**

Ámbito de estudio, unidad hidrográfica de  
Rontoccocha

- Leyenda
- Bofedal
  - Bosque Nativo
  - Estepa/ Pajonal Andino
  - Laguna



Laguna Rontoccocha

Rio Rontoccocha

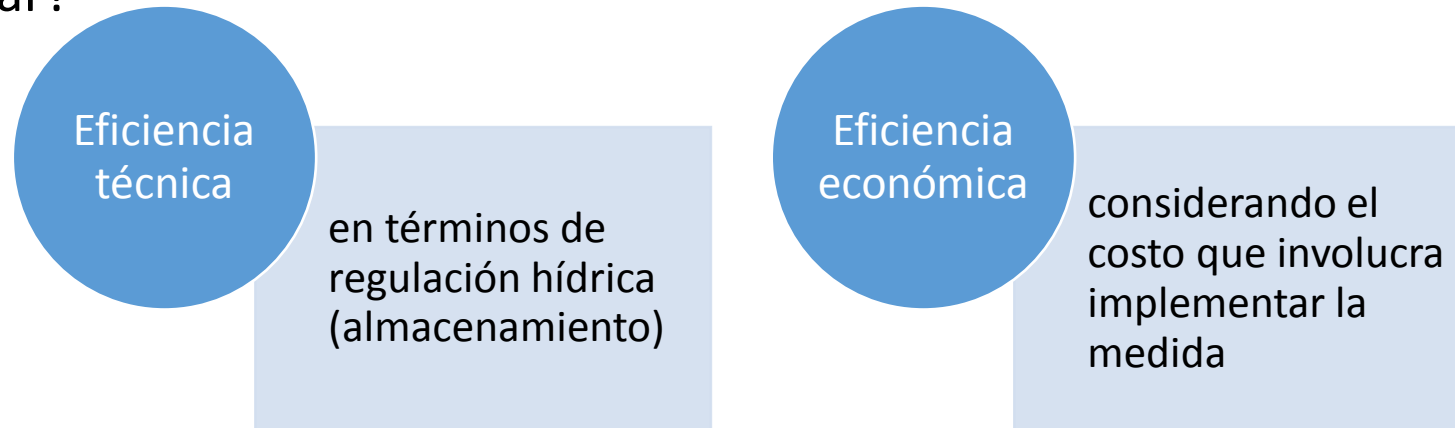






# Introducción

- Ante la degradación de los **servicios ecosistémicos**, sobre todo la **regulación hídrica** están siendo alterados por actividad del hombre y el CC.
- Ante esta crisis de agua, existen diversas opciones que se plantean.
- Sin embargo, el problema es que no hay recursos para financiar todo, sobre todo en un marco de MRSE.
- ¿Que priorizar?



**¿Cual es el valor de una estrategia de regulación hídrica?**

Así, se busca que maximicen el bienestar de las personas.

# Introducción

- Lo anterior, tiene aún más relevancia en un escenario en el que se implementa MRSE.
- Entonces ¿Qué estrategia implementar? Tradicionalmente, se han desarrollado proyectos de infraestructura gris (pero con altos costos) y actualmente está de “moda” las inversiones en infraestructura natural (IN). Pero...
  - ¿Que tan eficiente es la IN en términos de regulación de agua?
  - Su eficiencia ¿es comparable con otras alternativas?
  - ¿Son costo efectivas?
  - La estrategia ¿estará dentro del umbral de costo efectividad?

# Objetivos

## General:

- Determinar el Costo – Efectividad de los ecosistemas Altoandinos y su Biodiversidad Funcional en la regulación hídrica en la unidad hidrográfica de Rontoccocha, cabecera de la cuenca del río Mariño, Abancay – Apurímac.

## Específicos:

- Determinar la capacidad de regulación hídrica de los ecosistemas altoandinos
- Comparar con otras estrategias de regulación: presa de concreto y represamiento rustico.
- Determinar el costo-efectividad de las alternativas
- Determinar el umbral de costo-efectividad

# Marco teórico

## Biodiversidad (funcional):

- Biodiversidad es un concepto que **no está acabado** (Bartkowski 2017).
- Definición **clásica** tiene una orientación **taxonómica**, así como su propósito (Francisco & De la Cueva, 2017).
- “Biodiversidad funcional”. Moderna, basada en **entender la relación** entre biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas.
- Las funciones proveen un **mejor comprensión de su relevancia** para el bienestar humano = Servicios ecosistémicos.
- Por lo tanto, los beneficios que la sociedad recibe (SE) proviene del funcionamiento de estos (B. funcional).

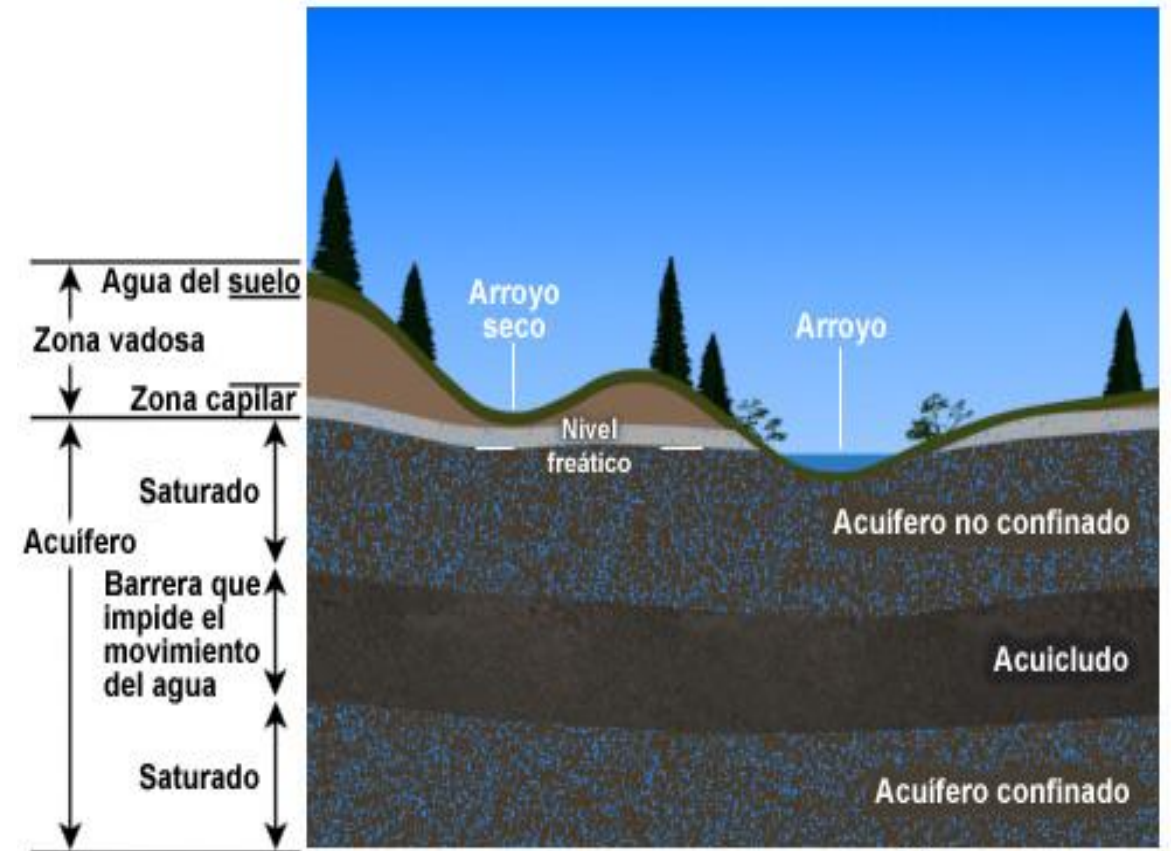


# Marco teórico

## Acuífero:

- Un acuífero es un **volumen subterráneo de roca y arena que contiene agua**. El agua subterránea halla en ella. Existen de tipo libre y confinada.
- La capa superior del agua subterránea se denomina nivel freático (o napa freática).
- Siempre que **la superficie del suelo esté por debajo del nivel freático**, es probable que se formen zonas con agua superficial permanente, como lagos, estanques y ríos.

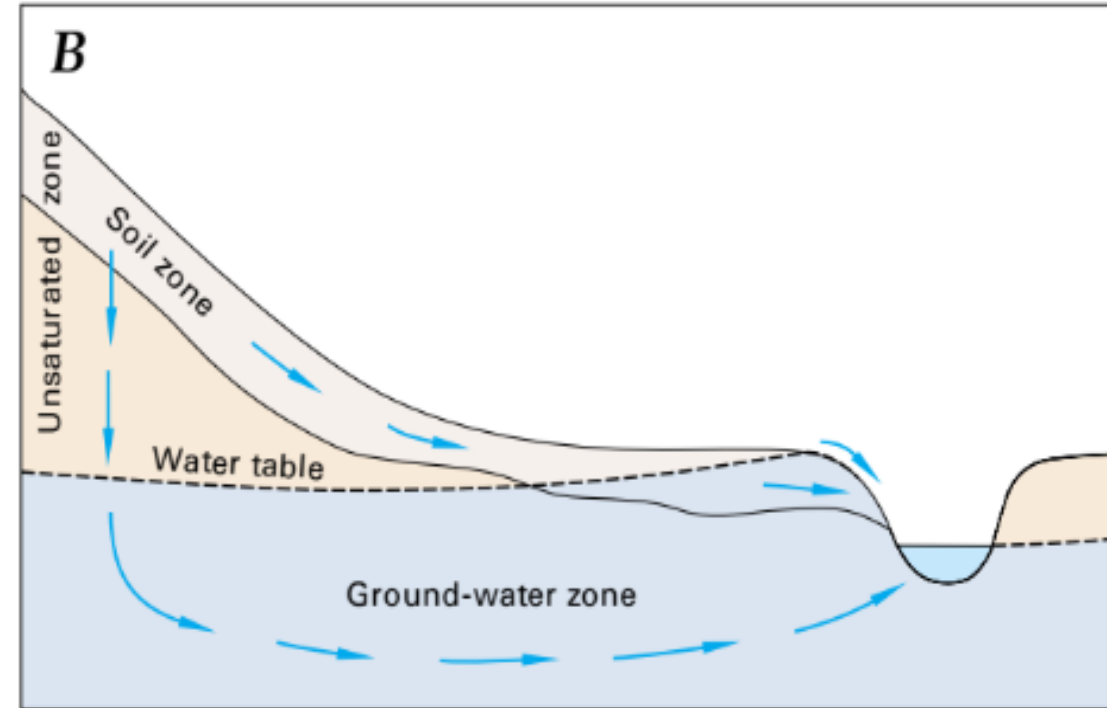
Ubicación de agua subterránea, nivel freático y agua de superficie



# Marco teórico

## Regulación hídrica del ecosistema:

- La regulación hídrica, tiene que ver con la **influencia del ecosistema** en uno de los componentes del ciclo hidrológico, que este caso es la **infiltración y el almacenamiento** de agua en el acuífero (Touhami, 2014).
- Este proceso se genera cuando el ecosistema logra infiltrar y almacenar agua en el suelo en los **periodos lluviosos** y, luego, la **libera lentamente en los periodos secos o de estiaje** (Célleri, 2009).



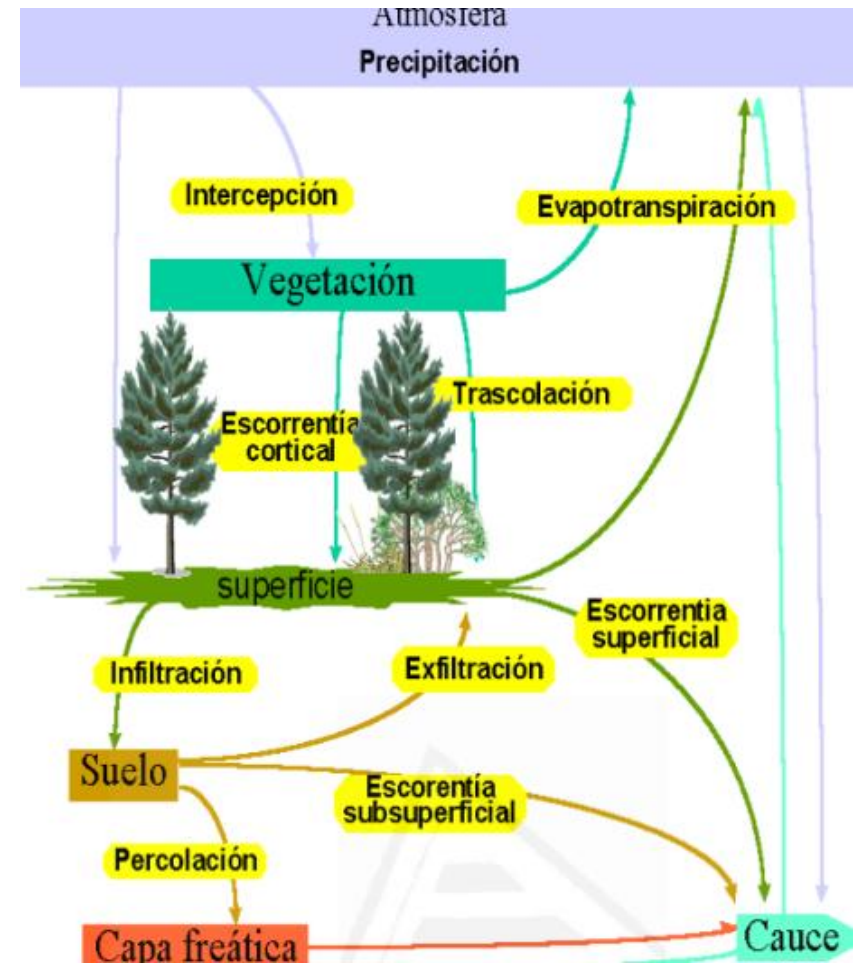
*Movimiento del agua en zonas de montaña (Taylor y Allen, 2001)*

# Marco teórico

## Eco-hidrología/ la vegetación en los procesos de recarga

La cobertura vegetal (superficie, estructura, composición de especies, etc.) determinan la magnitud de la **evapotraspiración** y se traduce en las **variaciones de la recarga** (Bellot y Chirino, 2013; Touhami, 2014).

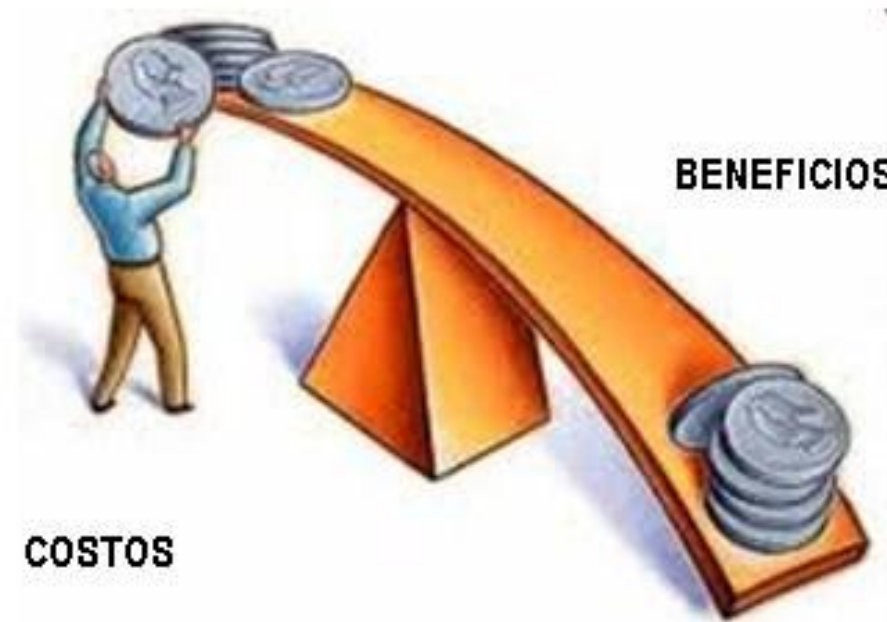
**El suelo** es otro importante factor: suelos porosos facilitan la infiltración y tienen una buena capacidad de retener agua



# Marco teórico

## Evaluación económica:

- Marco de análisis cuantitativo de los costos y resultados una intervención.
- Permiten conocer el **costo de oportunidad** ¿vale la pena que la sociedad o la instancia formal pague por el desarrollo del proyecto?.
- Esto explicita la necesidad de justicia distributiva para usar de mejor forma los recursos disponibles y escasos (Espinoza, 2017; Zarate, 2010).



# Marco teórico

## Análisis coste-efectividad (ACE)

### ACE

- Es la evaluación económica en la cual los proyectos son comparadas **en términos del costo por unidad de efecto** (m<sup>3</sup> de agua)
- Los **costos** vienen expresados en términos **monetarios**, y las **consecuencias**, en unidades **físicas** o naturales (MEF, 2015 y Navarro, 2001).

### ¿Por qué un ACE?

- Cuando la estimación del beneficio son complejos
- Cuando el objetivo de evaluación se centra en un solo elemento o resultado (m<sup>3</sup> de H<sub>2</sub>O).
- Por que integra un umbral de costo efectividad. Es decir saber si la sociedad tiene la DAP una mejora en su bienestar.

# Marco teórico

## Análisis coste-efectividad (ACE)

### RCEI

- El estimador más habitual de costo efectividad se denomina Razón de Costo Efectividad Incremental (RCEI)

$$\frac{C_1 - C_0}{B_1 - B_0} = RCEI$$

Así la RCEI, es el costo adicional que se debe pagar para obtener una unidad adicional del beneficio.

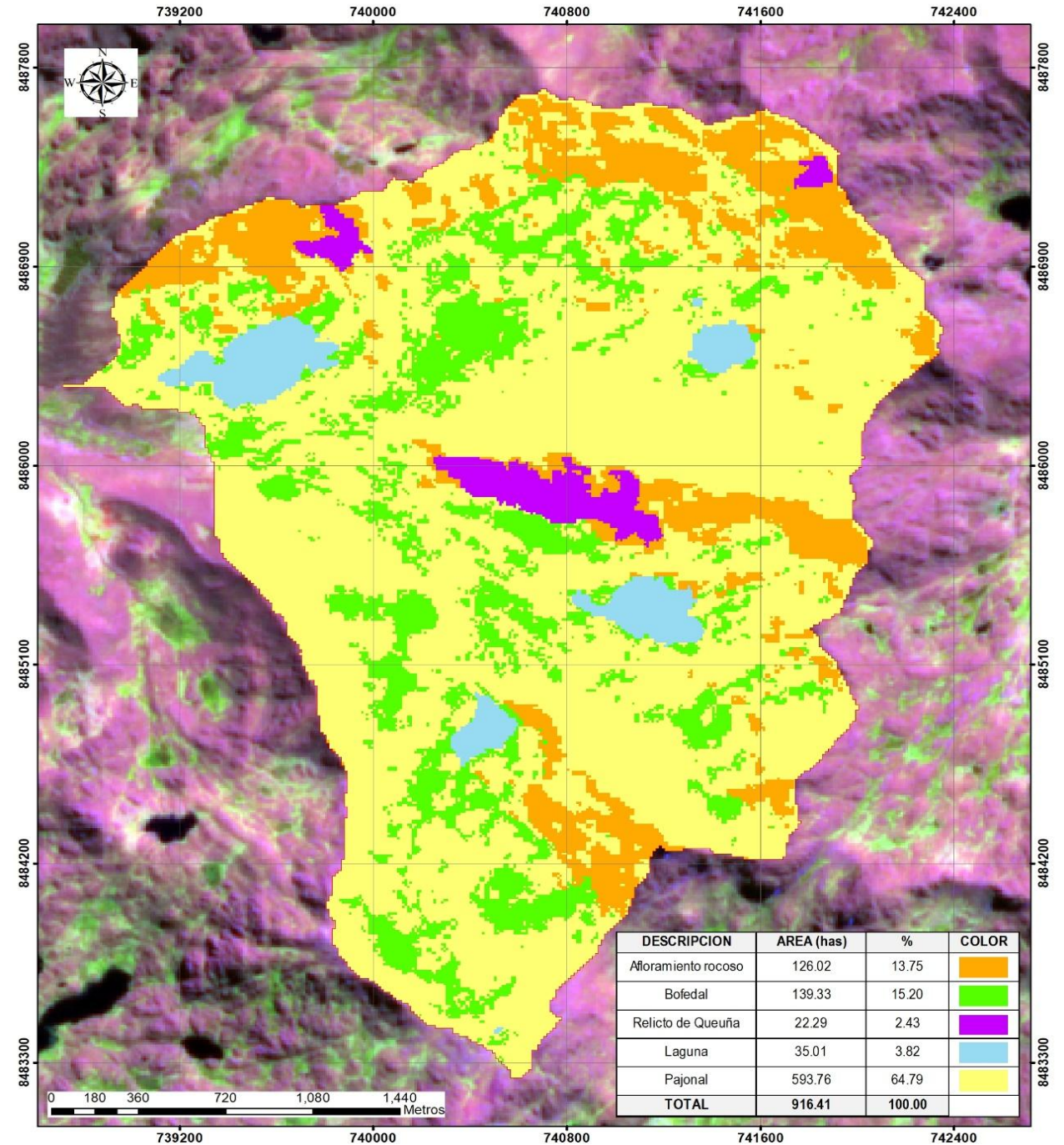
### Umbral de Costo efectividad

El umbral de costo efectividad ( $\lambda$ ) es una **representación del costo de oportunidad del dinero recaudado (MRSE)**.

Por lo tanto, ***si el dinero que cuesta producir una unidad adicional de beneficio con una nueva intervención (RCEI) es menor que lo que se dispone ( $\lambda$ ), es coherente adoptar la nueva intervención.***

$$\frac{(C_1 - C_0)}{(B_1 - B_0)} < \lambda$$

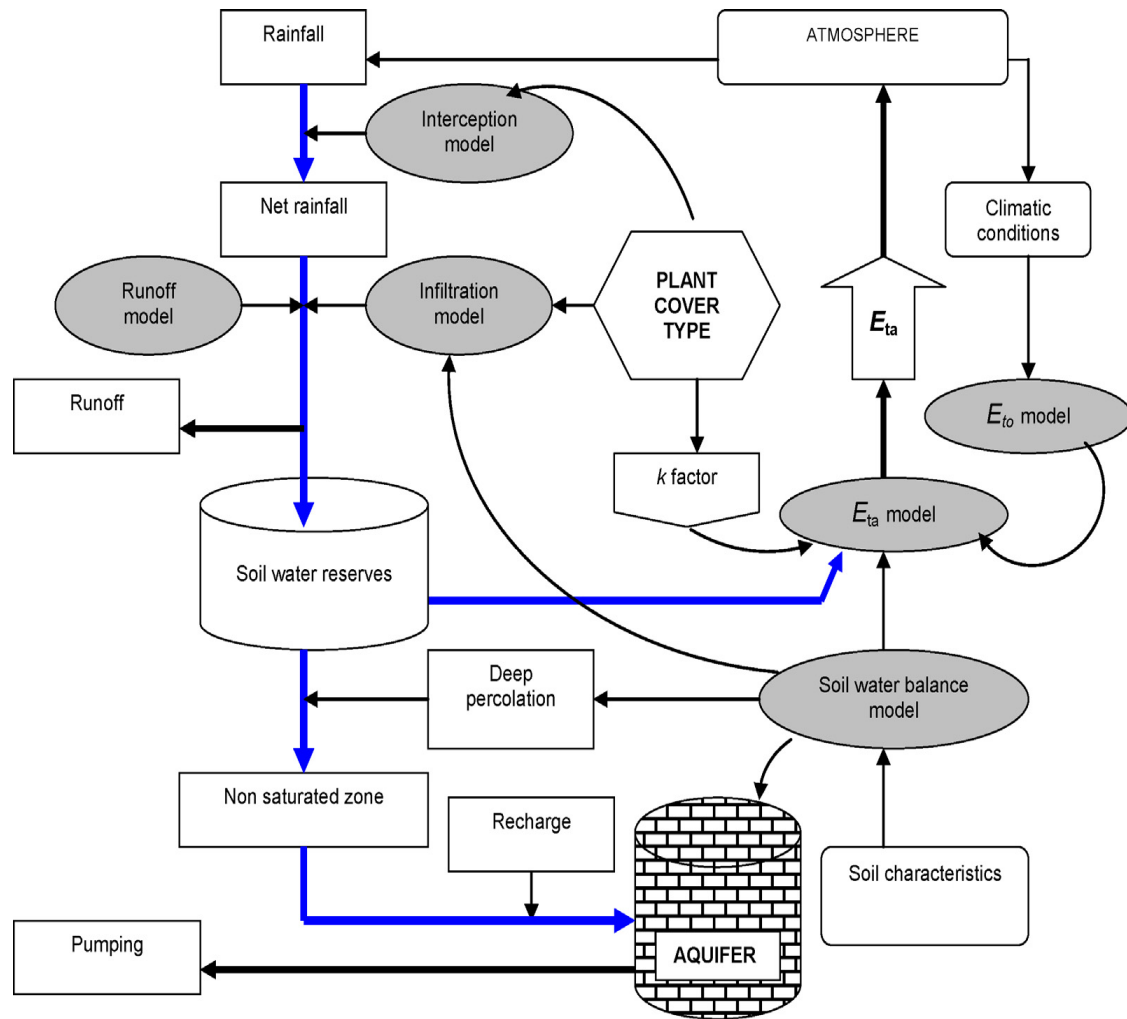
# La zona de estudio



<u>DESCRIPCION</u>	<u>AREA (has)</u>	<u>%</u>	<u>COLOR</u>
Afloramiento rocoso	126.02	13.75	Orange
Bofedal	139.33	15.20	Green
Relicto de <u>Queuña</u>	22.29	2.43	Purple
Laguna	35.01	3.82	Light Blue
Pajonal	593.76	64.79	Yellow
<b>TOTAL</b>	<b>916.41</b>	<b>100.00</b>	

# Resultados

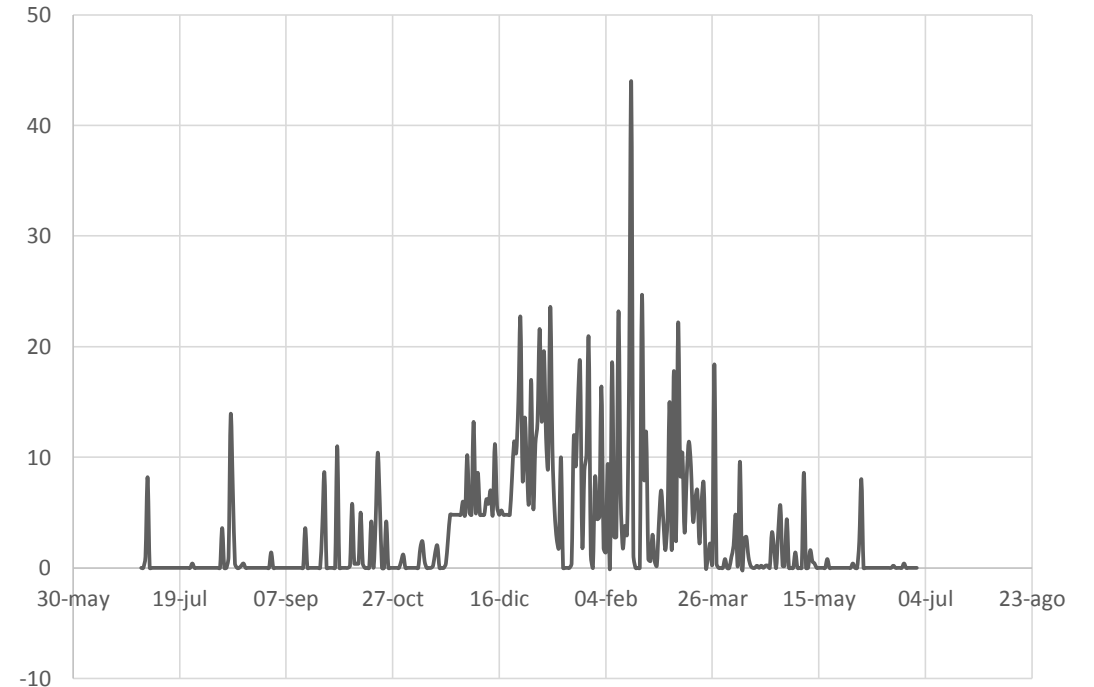
# 1. Regulación hídrica de los ecosistemas



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

Modelo HYDROBALL (Bellot y Chirino, 2013)

## Precipitación



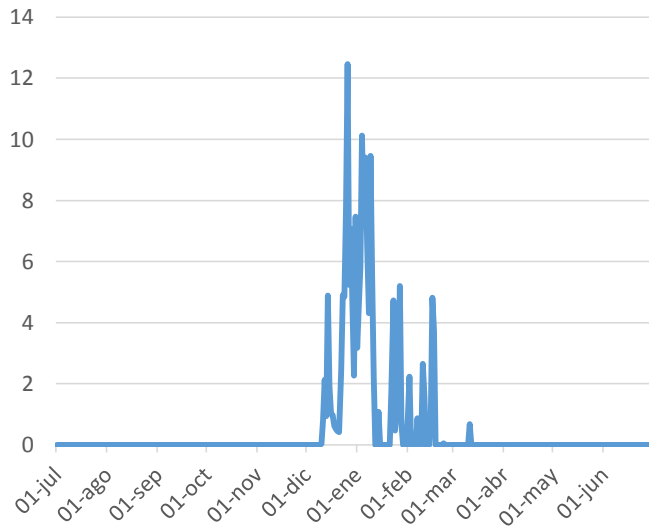
Variables	Características	Fuente
Precipitación	Diaria (2015)	Evaluación de campo Estudio hidrológico de la cuenca Mariño, Unidad Ejecutora Pro Desarrollo Apurímac (2012)
Evapotranspiración potencial	Diario en base a promedio mensual	Estudio hidrológico de la cuenca Mariño, Unidad Ejecutora Pro Desarrollo Apurímac (2012)
Porosidad	Pajonal = 40.3 Bofedal = 86.23 Bosque = 62	Estudio agrológico de la cuenca Mariño, Unidad Ejecutora Pro Desarrollo Apurímac (2012) y Estudio de calidad de suelos del Gobierno Regional de Apurímac (2018).
Humedad	Pajonal = 10 Bofedal = 18.5 Bosque = 8	Estudio agrológico de la cuenca Mariño, Unidad Ejecutora Pro Desarrollo Apurímac (2012) y Estudio de calidad de suelos del Gobierno Regional de Apurímac (2018).
Punto de marchitez	Pajonal = 12.1 Bofedal = 15.5 Bosque = 8	Estudio agrológico de la cuenca Mariño, Unidad Ejecutora Pro Desarrollo Apurímac (2012) y Estudio de calidad de suelos del Gobierno Regional de Apurímac (2018).
Capacidad de campo	Pajonal = 26.5 Bofedal = 29.2 Bosque = 17.6	Estudio agrológico de la cuenca Mariño, Unidad Ejecutora Pro Desarrollo Apurímac (2012) y Estudio de calidad de suelos del Gobierno Regional de Apurímac (2018).
Biodiversidad/ ecosistemas	Pajonal = 64.79% Bofedal = 15.20% Bosque = 2.43% Suelo desnudo/ roca = 13.75	Evaluación de campo Proyecto: "Validación y Publicación de la ZEE de la región Apurímac (2010) e imágenes satelitales Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea (2018).
% de cobertura según especies	Pajonal = 95% Bofedal = 95% Bosque = 70%	Evaluación de campo
Traslocación/ Interceptación	Pajonal = 0.99 Bofedal = 0.99 Bosque = 0.87 Suelo desnudo = 1	(Valencia & Tobón, 2017)
Factor k de evapotranspiración	Pajonal = 0.04 – 0.06 Bofedal = 0.08 – 0.1 Bosque = 0.04 – 0.06	(Specht & Specht, 1993)

# 1. Regulación hídrica de los ecosistemas

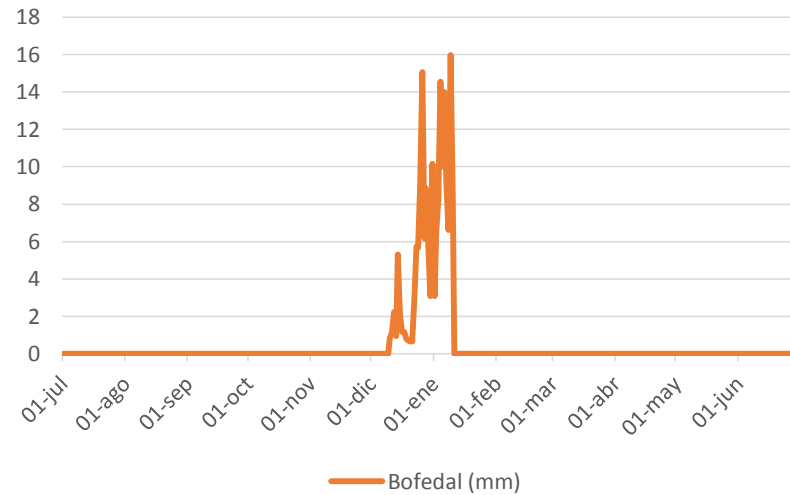
Ecosistema	Pp	Int.	Pp neta	Esc.	Eta real	Recarga
Pajonal	1146.40	11.46	1134.94	336.80	660.92	177.20
Bofedal	1146.40	11.46	1134.94	282.07	683.37	186.98
Bosque de Polylepis	1146.40	104.32	1042.08	213.06	668.11	169.36
%						
Pajonal	100	1	99	29.38	57.65	15.46
Bofedal	100	1	99	24.60	59.61	16.31
Bosque de Polylepis	100	9.1	90.9	18.58	58.28	14.77

# 1. Regulación hídrica de los ecosistemas

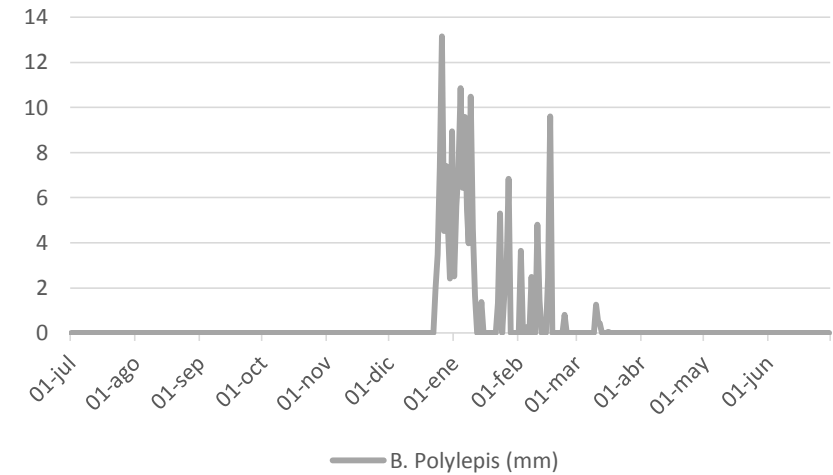
Pajonal (mm)



Bofedal (mm)

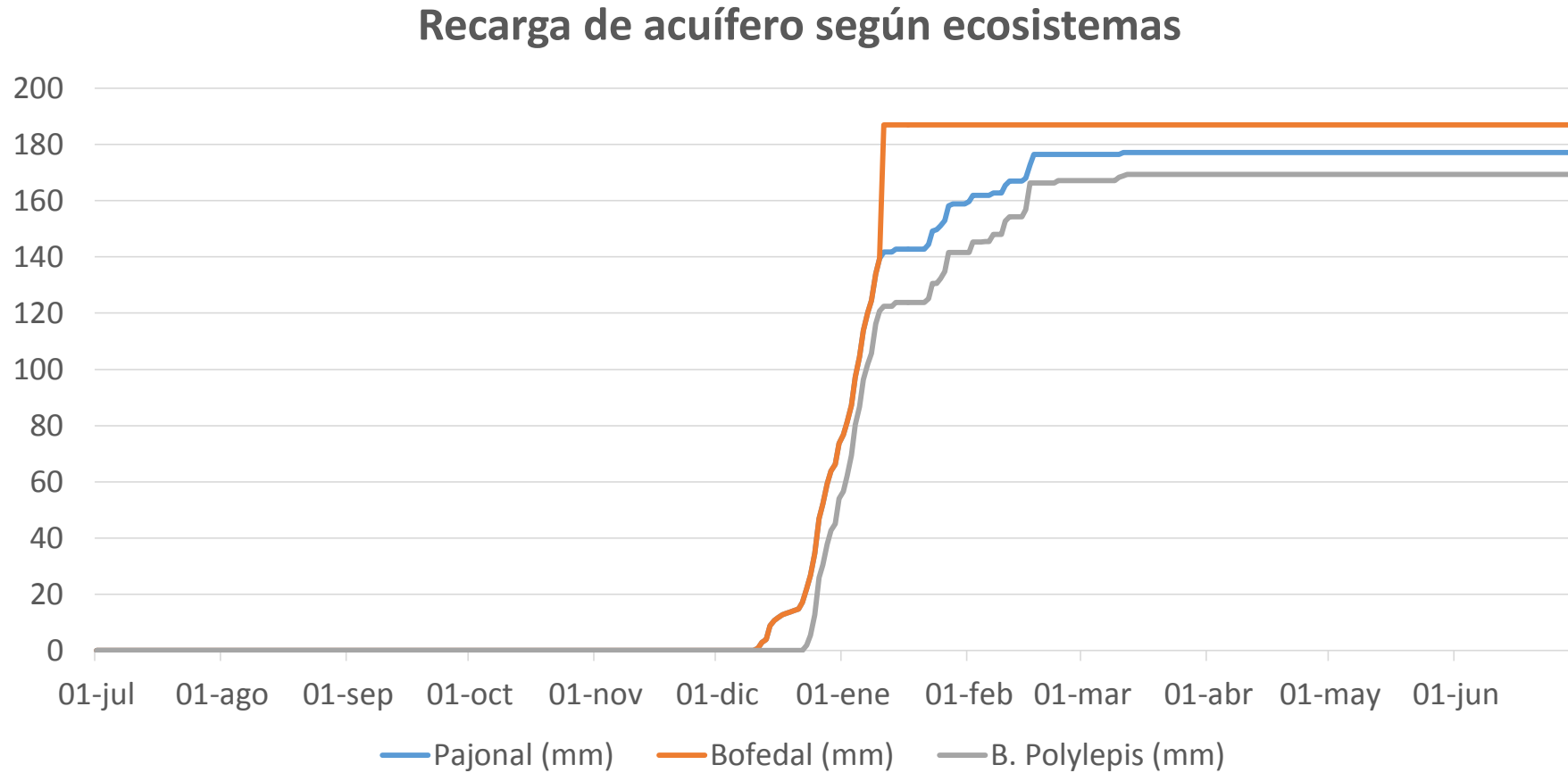


B. Polylepis (mm)



- Regulación hídrica de tres ecosistemas de Rontoccocha

# 1. Regulación hídrica de los ecosistemas



- Regulación hídrica de tres ecosistemas de Rontoccocha

# 1. Regulación hídrica de los ecosistemas

## Regulación en todo la unidad hidrográfica de Rontoccocha

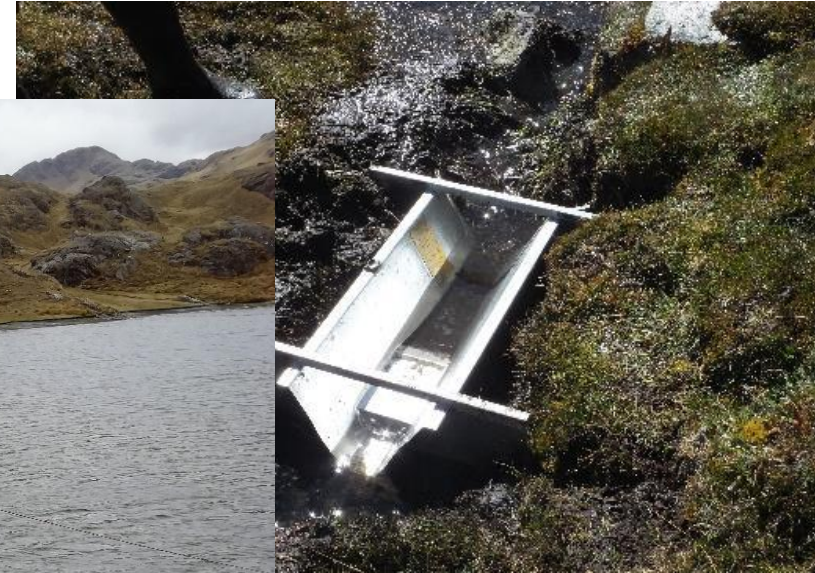
Ecosistemas	Ha	m2	Regulación Lm2	Cap. Total (L)	M3	%
Pajonal	593.76	5,937,600.00	177.20	1,052,123,012.63	1,052,123.01	77.91
Bofedal	139.33	1,393,300.00	186.98	260,512,267.50	260,512.27	19.29
Bosque de Polylepis	22.29	222,900.00	169.36	37,750,513.90	37,750.51	2.80
				Total	1,350,385.79	100

## Aporte marginal de los ecosistemas en la regulación

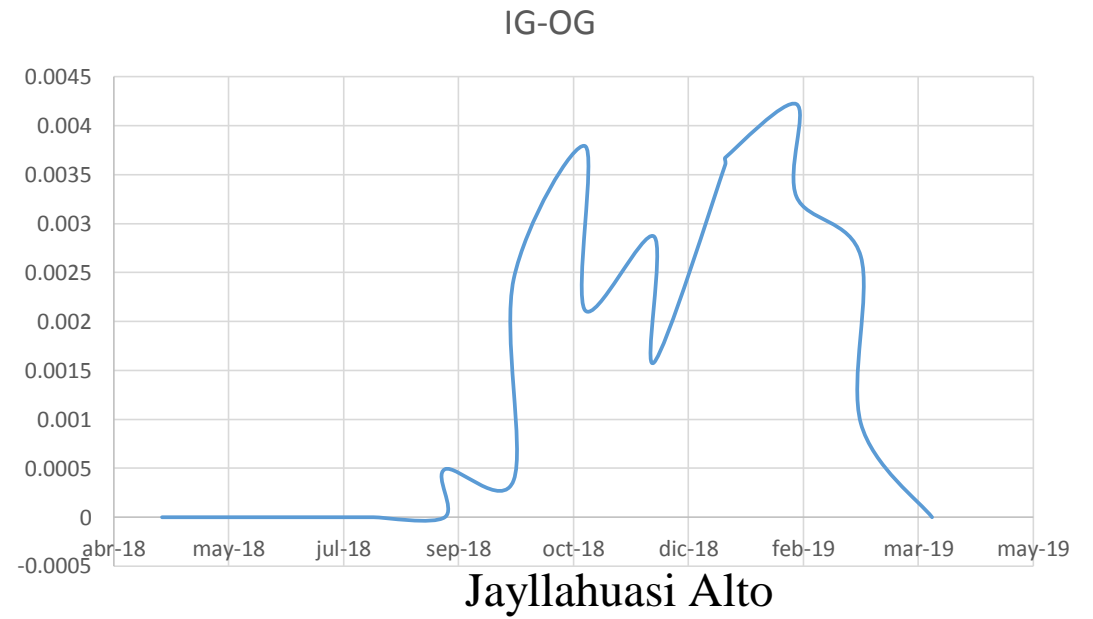
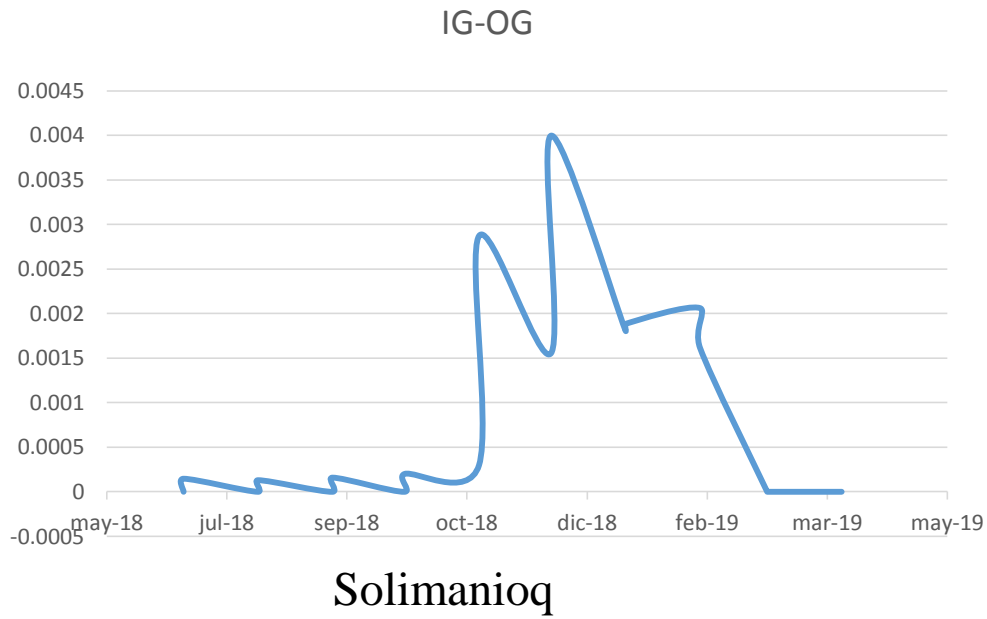
Ecosistemas	Regulación Lm2	Regulación Lm2 (ajust. 24%)	Regulación total en cuenca (L)	Regulación total en cuenca (M3)
Pajonal	177.20	42.53	252,509,523.03	252,509.52
Bofedal	186.98	44.87	62,522,944.20	62,522.94
B. Polylepis	169.36	40.65	9,060,123.34	9,060.12
			Total	324,092.59

## 2. Regulación hídrica de otras alternativas

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



# 2. Regulación hídrica de otras alternativas



	<b>A Microrepresa (m2)</b>	<b>1813</b>
<b>Regul. En presa</b>	Vol. P (m3)	<b>1796.00</b>
<b>Regul. Subterránea</b>	Vol. gw (m3)	1445.20
<b>Regul. Total</b>	Reg. Total	3241.20
<b>Regulación de la microrepresa en %</b>	% presa	55.4
	% GW	44.6
	Total (%)	100

## 2. Regulación hídrica de otras alternativas

	<b>A Microrepresa (m2)</b>	<b>1813</b>
<b>Regul. En presa</b>	Vol. P (m3)	<b>1,796.00</b>
<b>Regul. Subterránea</b>	Vol. gw (m3)	1445.20
<b>Regul. Total</b>	Reg. Total	3241.20
<b>Regulación de la microrepresa en %</b>	% presa	55.4
	% GW	44.6
	Total (%)	100

### Solimanioq

### Rontoccocha

	<b>A presa (m2)</b>	<b>150000</b>
<b>Regul. En presa</b>	Vol. P (m3)	<b>721,299.26</b>
<b>Regul. Subterránea</b>	Vol. gw (m3)	569829.32
<b>Regul. Total</b>	Reg. Total	1291128.58
<b>Regulación de la presa en %</b>	% presa	55.9
	% GW	44.1
	Total (%)	100

## 2. Regulación hídrica de otras alternativas

Comparando la regulación entre presa y ecosistemas

Ecosystem recharge (m3)	1,350,385.79
Dam Recharge (m3)	721,299.26
Ecosystem(%)	65.2%
Dam (%)	34.8%

# 3. Costo efectividad de las intervenciones

¿Cual es el valor de las estrategias de regulación hídrica?

En el contexto de restricción presupuestaria el valor está dado por **lo que se tiene que renunciar para obtener un beneficio adicional.** Esto es lo que reporta el análisis de costo efectividad.

# 3. Costo efectividad de las intervenciones

## Efectividad

Práctica	Aporte en regulación (m3) de forma natural	Aporte marginal de la practica en la regulación (m3)
Manejo de ecosistemas	1,350,385.79	324,092.59
Construcción de microrepresas	0	1,796.00
Construcción de presa de concreto	721,299.26	2,100,000

# 3. Costo efectividad de las intervenciones

## Análisis CE

	TOTAL
Inversión <sub>ALT 01</sub>	870,249.62
VNA <sub>ALT 01</sub>	79,424.93
VACT <sub>ALT 01</sub>	949,674.55
Beneficios <sub>(M3)</sub>	324,092.59
CE <sub>ALT 01</sub>	<b>2.93</b>

	TOTAL
Inversión <sub>ALT 01</sub>	17,322.24
VNA <sub>ALT 01</sub>	19,856.23
VACT <sub>ALT 01</sub>	37,178.47
Beneficios <sub>(M3)</sub>	1,796.00
CE <sub>ALT 01</sub>	<b>20.70</b>

	TOTAL
Inversión <sub>ALT 01</sub>	7,448,386.32
VNA <sub>ALT 01</sub>	280,159.77
VACT <sub>ALT 01</sub>	7,728,546.08
Beneficios <sub>(M3)</sub>	2,100,000.00
CE <sub>ALT 01</sub>	<b>3.68</b>

**Manejo de ecosistemas**

**Represamiento rústico**

**Presa de concreto**

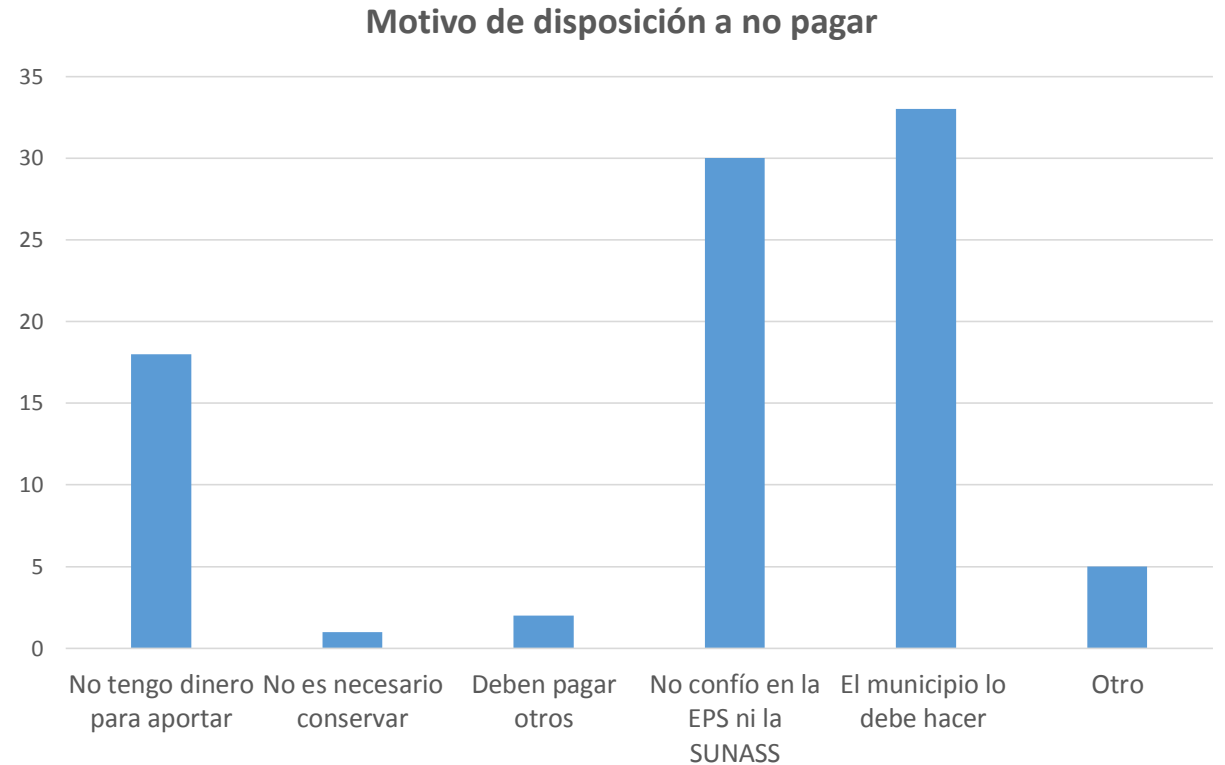
## 4. Umbral de CE y valor económico de los ecosistemas

$$\frac{(C_1 - C_0)}{(B_1 - B_0)} < \lambda =$$

Valor económico del servicio ecosistémico de regulación hídrica de los ecosistemas de la UH Rontoccocha (Biodiversidad funcional de Rontoccocha)

**Expresado en DAP**

# 4. Umbral de CE y valor económico de los ecosistemas



# 4. Umbral de CE y valor económico de los ecosistemas

## Disposición a pagar

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
bid	196	3.494898	2.341372	1	8
dap	196	.5306122	.50034	0	1
genero	196	.6632653	.4738035	0	1
edad	196	41.29082	15.41934	18	85
educ	196	2.77551	1.223954	0	4
hhsiz	196	4.831633	2.59135	1	16
perm	196	29.29592	18.16179	1	85
hijo18	196	1.188776	1.293009	0	8
Ingresos	196	980.3571	709.7919	250	3250

dap	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
bid	-.2121535	.0673403	-3.15	0.002	-.3441381	-.0801689
edad	-.0236007	.0105139	-2.24	0.025	-.0442077	-.0029938
Ingresos	.0005749	.0002249	2.56	0.011	.000134	.0010157
_cons	1.288249	.5394667	2.39	0.017	.2309136	2.345584

# 4. Umbral de CE y valor económico de los ecosistemas

## Disposición a pagar

```
Logistic regression                               Number of obs   =           196
                                                  Wald chi2(2)    =           13.02
                                                  Prob > chi2     =           0.0015
Log pseudolikelihood = -128.05276                Pseudo R2      =           0.0549
```

	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
dap						
bid	-.2071096	.0670836	-3.09	0.002	-.3385912	-.0756281
Ingresos	.0005796	.0002271	2.55	0.011	.0001344	.0010248
_cons	.2847418	.3142634	0.91	0.365	-.3312031	.9006866

```
. summarize wtp4
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
wtp4	196	2.743549	1.986366	.6996299	9.095188

# 4. Umbral de CE y valor económico de los ecosistemas

Tecnología/ estrategia	RCEI
Manejo de ecosistemas	S/. 2.93
Construcción de microrepresas	S/. 20.70
Constr. Presa de concreto	S/. 3.68

Umbral CE ( $\lambda$ ).
2.74

¿Cual es la tecnología/ estrategia genera mayor valor a la sociedad?



# Regulación de la Infraestructura natural altoandina

## Las características de la biodiversidad:

- Plantas pequeñas (menor demanda de humedad)
- La profundidad de enraizamiento determina el volumen de agua que las plantas son capaces de extraer del suelo.
- Forma de la hoja de menor área foliar (LAI) reduce pérdidas de agua
- Abundante desarrollo radicular, contribuyen con la estabilidad de los suelos (Körner, 2003).
- La reducción del metabolismo por bajas temperaturas y el control estomatal previene que la vegetación agote la humedad del suelo.
- Menor tasa de interceptación (1 – 10%).



**Gracias**