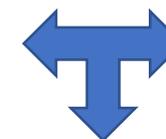




**¿De dónde  
viene y cuanta  
agua hay  
disponible?**

**¿Cómo  
asignamos y  
gestionamos  
el agua?**

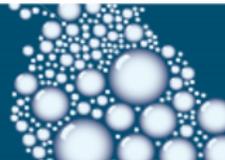


**DEMANDAS AGRICULTURA DE RIEGO  
Y OTROS USOS**

**ROBERTO CASTRO; INGENIERO FORESTAL.  
MASTER EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL  
ESPECIALISTA EN MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS (MIC)  
ROBERTO.CASTRO@IICA.INT  
Profesional de Recursos Naturales y CC. IICA Chile.**

**MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS(MIC)**

**GESTION INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS  
(GIRH)**



La gestión de los recursos hídricos y la planificación se encuentran entre los mayores retos que enfrentan muchos países de todo el mundo; incluyendo los de Latinoamérica y el Caribe (LAC). La mayoría de los países de ALC presentan estos **retos comunes**:

- Evaluación, protección, gestión y calidad de las fuentes de agua
- La falta de información cuantitativa (datos)
- Necesidad de predecir / proyecto (plan bajo condiciones cambiantes -CC)
- Diseño, rehabilitación, mantenimiento de infraestructuras
- Escenarios / políticas (recursos hídricos de asignación)
- La gestión de riesgos (inundaciones y sequías)

**LA AGRICULTURA Y LA DE RIEGO EN PARTICULAR ESTA  
CONDICIONADA AL MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS,  
ESPECIALMENTE EN TIEMPOS DE RIESGO - SEQUÍAS**

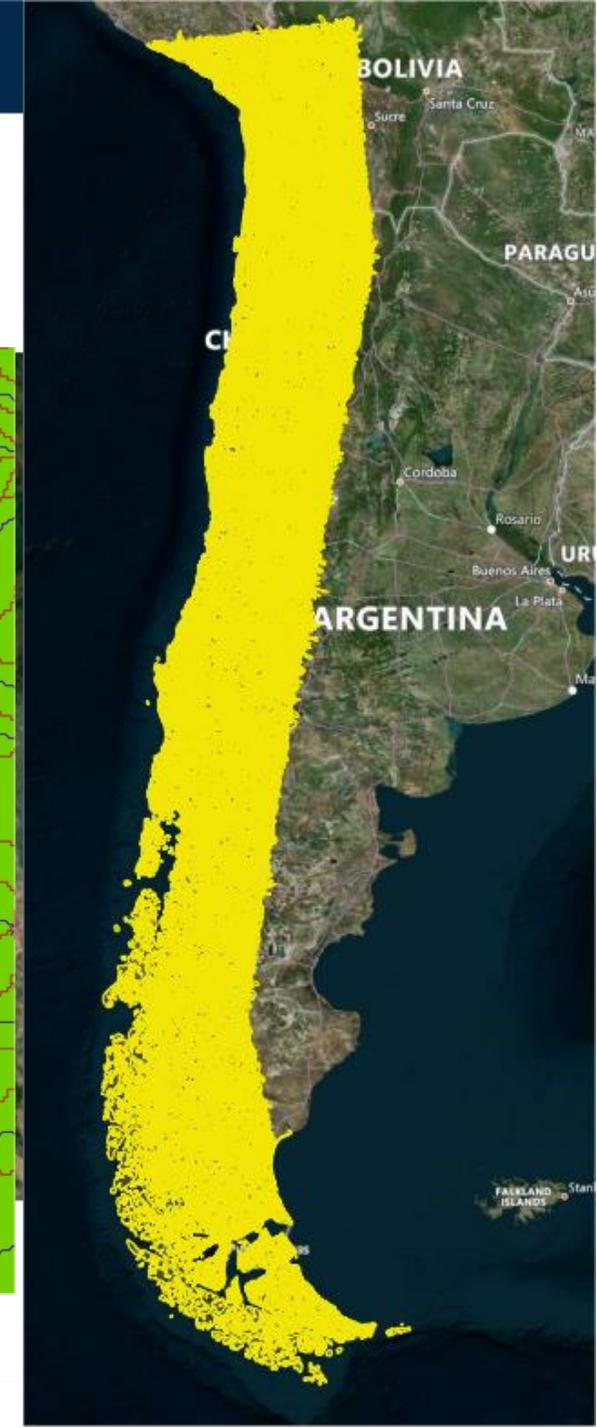
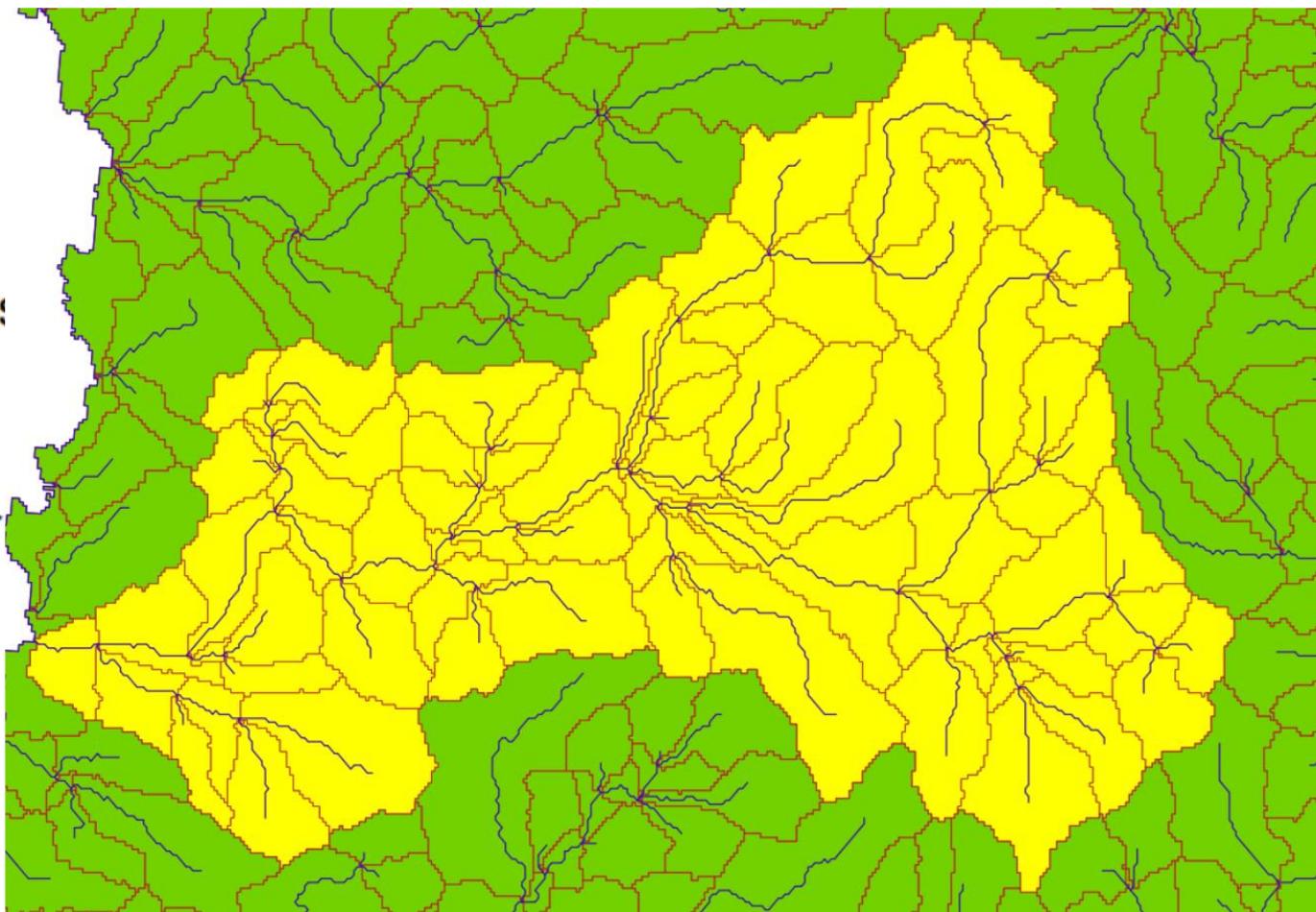
# Sistema de Identificación de las Cuencas y Ríos – COMID

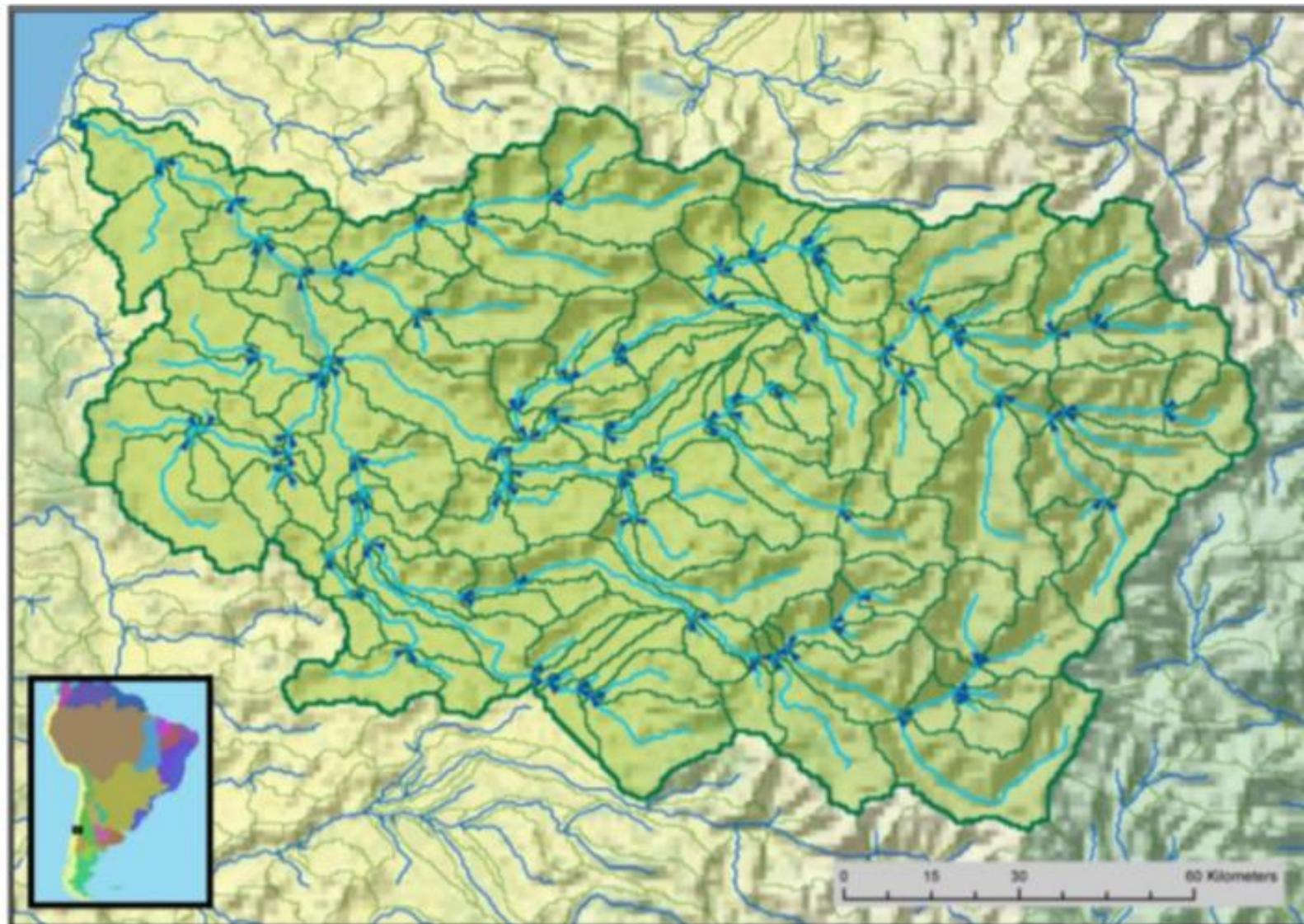
- La red hidrológica AHD contiene un sistema único de identificación de cuencas (catchments) y principales segmentos fluviales (flowlines).
- Permite establecer la conectividad de la red hidrológica.
- Permite asociar cada cuenca con varios atributos.

**230.000 cuencas y cauces fluviales de ALC**

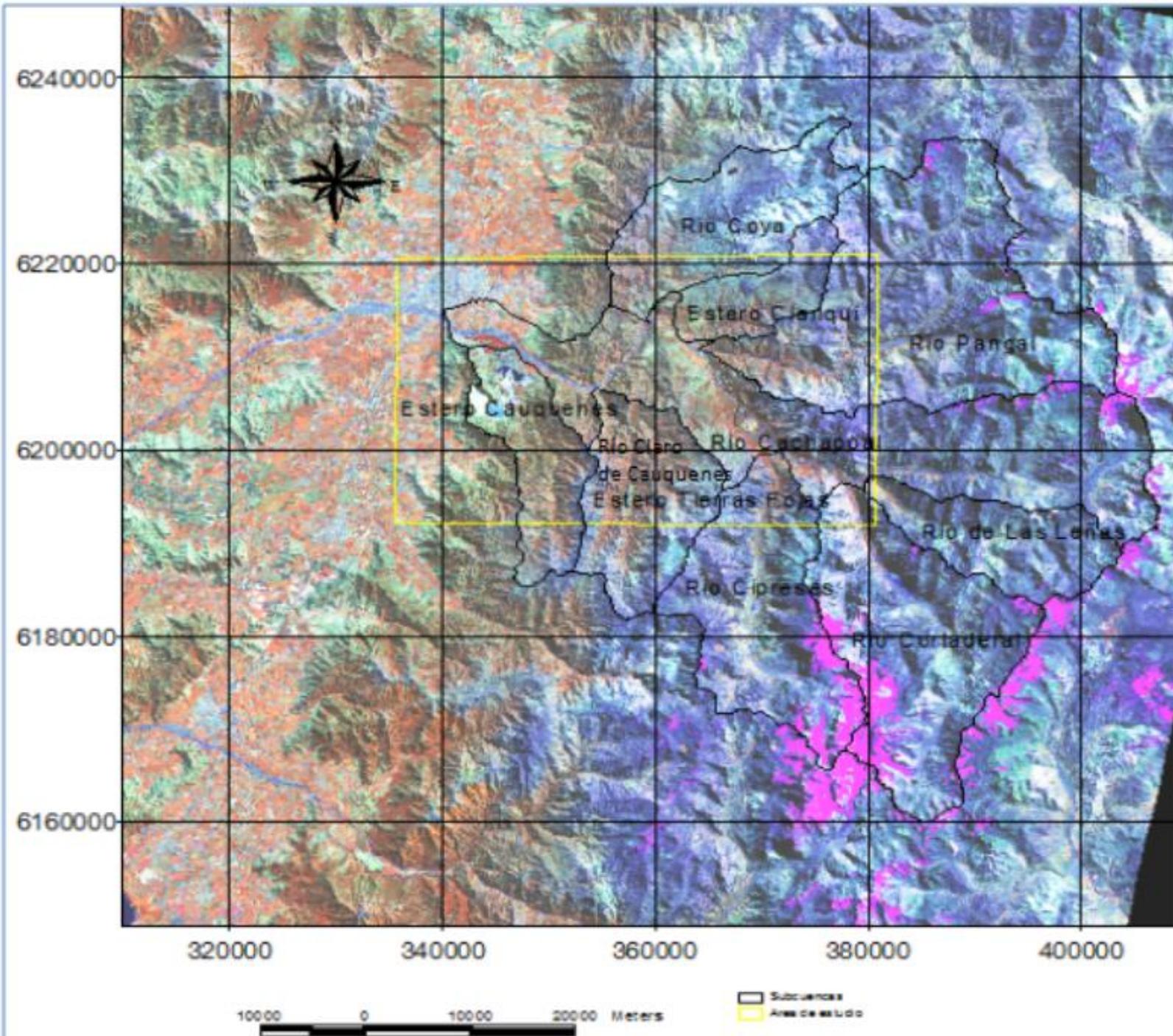
**CHILE 23.423 CUENCAS, SUP.PROMEDIO: 84,1 KM<sup>2</sup>**

**CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA; 77 SUBCUENCAS**

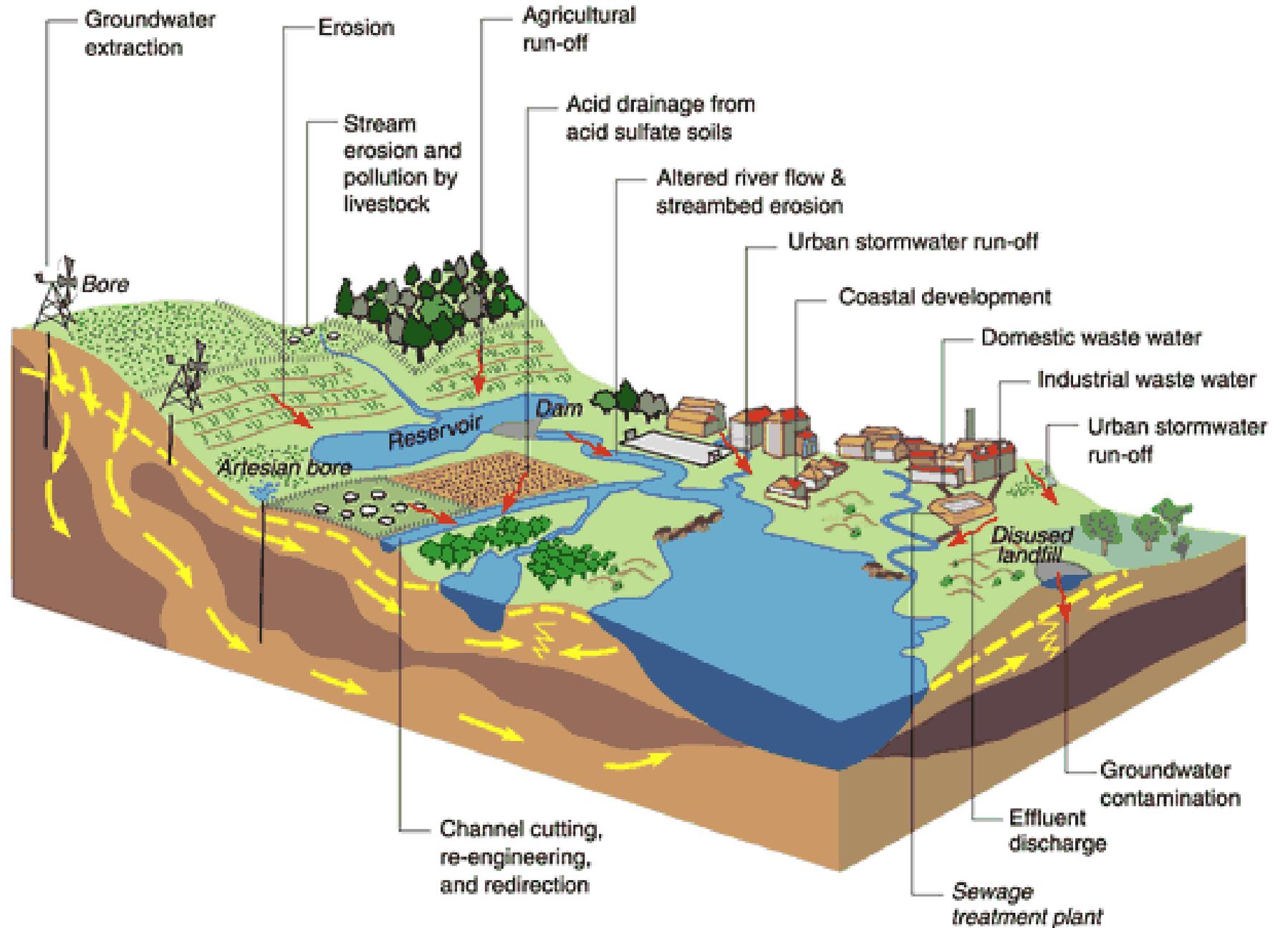


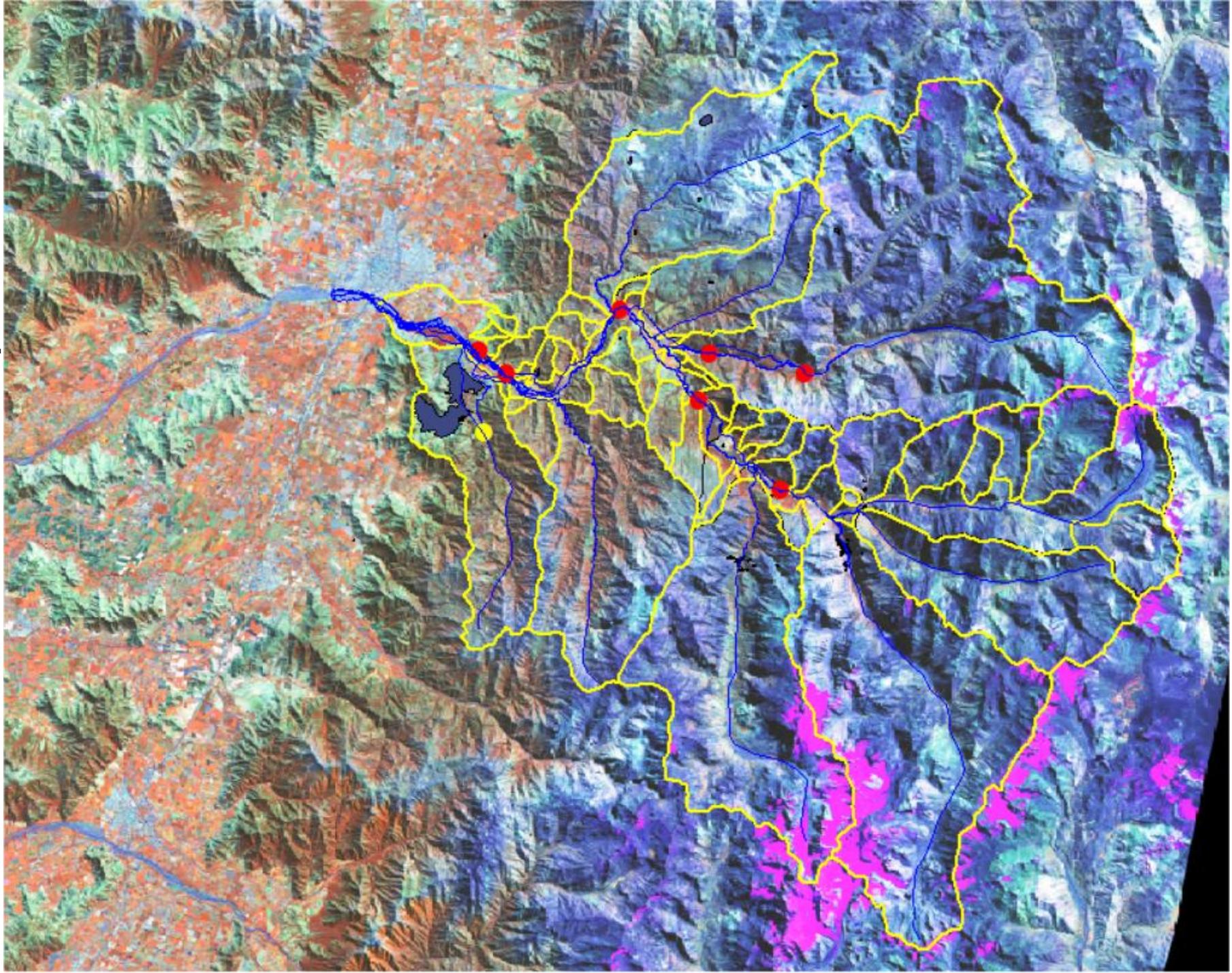


**Figure 7. Rapel River watershed delineation at Corneche Station.**



La cuenca y múltiples usos (agrícola, pecuario, forestal, turístico, acuícola, minero, industrial...) e impactos integrados al medio natural



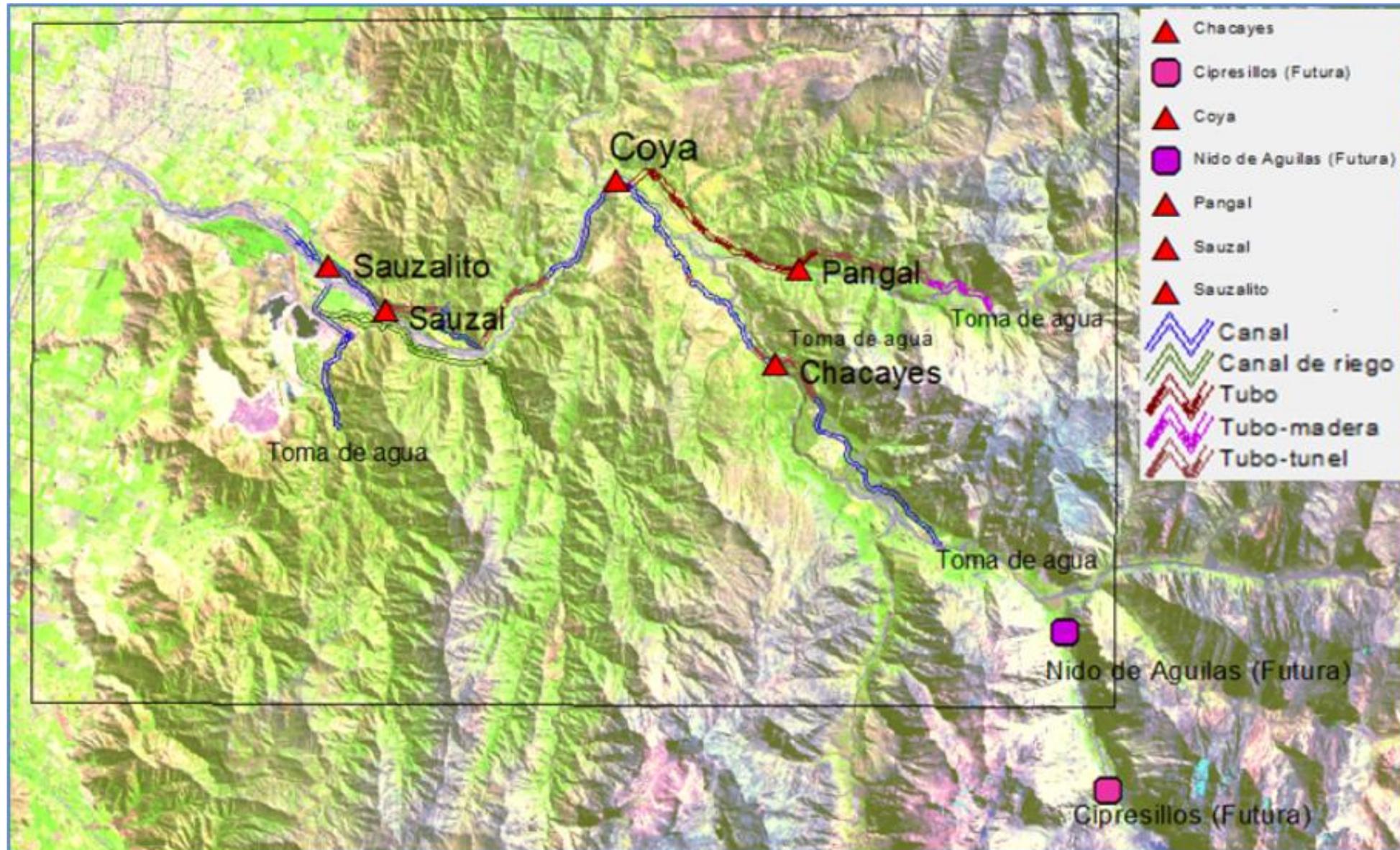


**Cuenca  
RIO CACHAPOAL**

**271.677  
hectáreas**

# INTERVENCIONES Y ALTERACIONES Cuenca RIO CACHAPOAL

## Centrales Hidroeléctricas de Paso (Castro et al, 2018)



# INTERVENCIONES Y ALTERACIONES

## Cuenca RIO CACHAPOAL



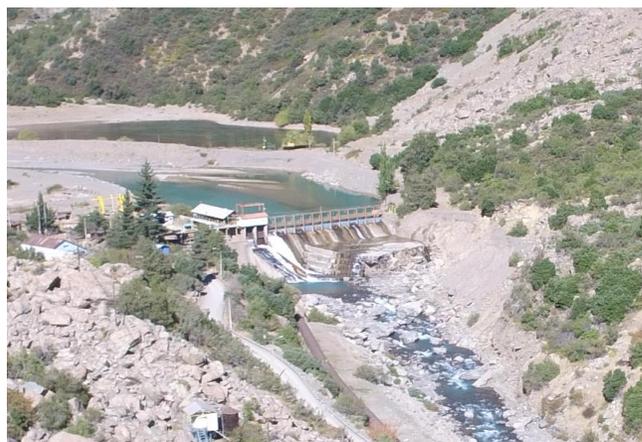
TRASVASE DE CACHAPOAL A CENTRALES EN CHACAYES



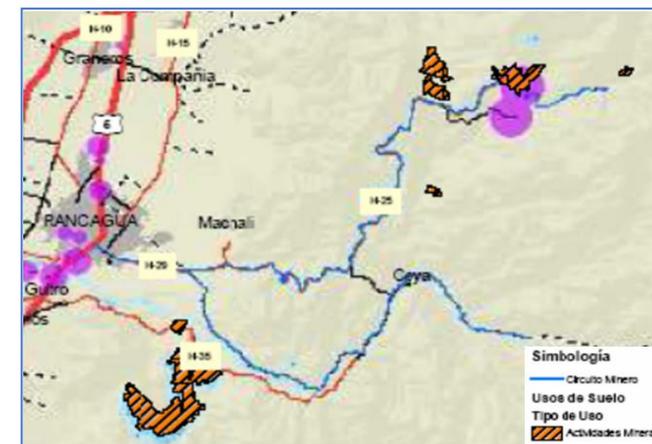
TRASVASE DE RIO PANGAL AL CACHAPOAL (1917)



Embalses de agua (Sauzal y Chacayes).



Bocatoma de agua del río Pangal



circuito minero en Coya

# INTERVENCIONES Y ALTERACIONES

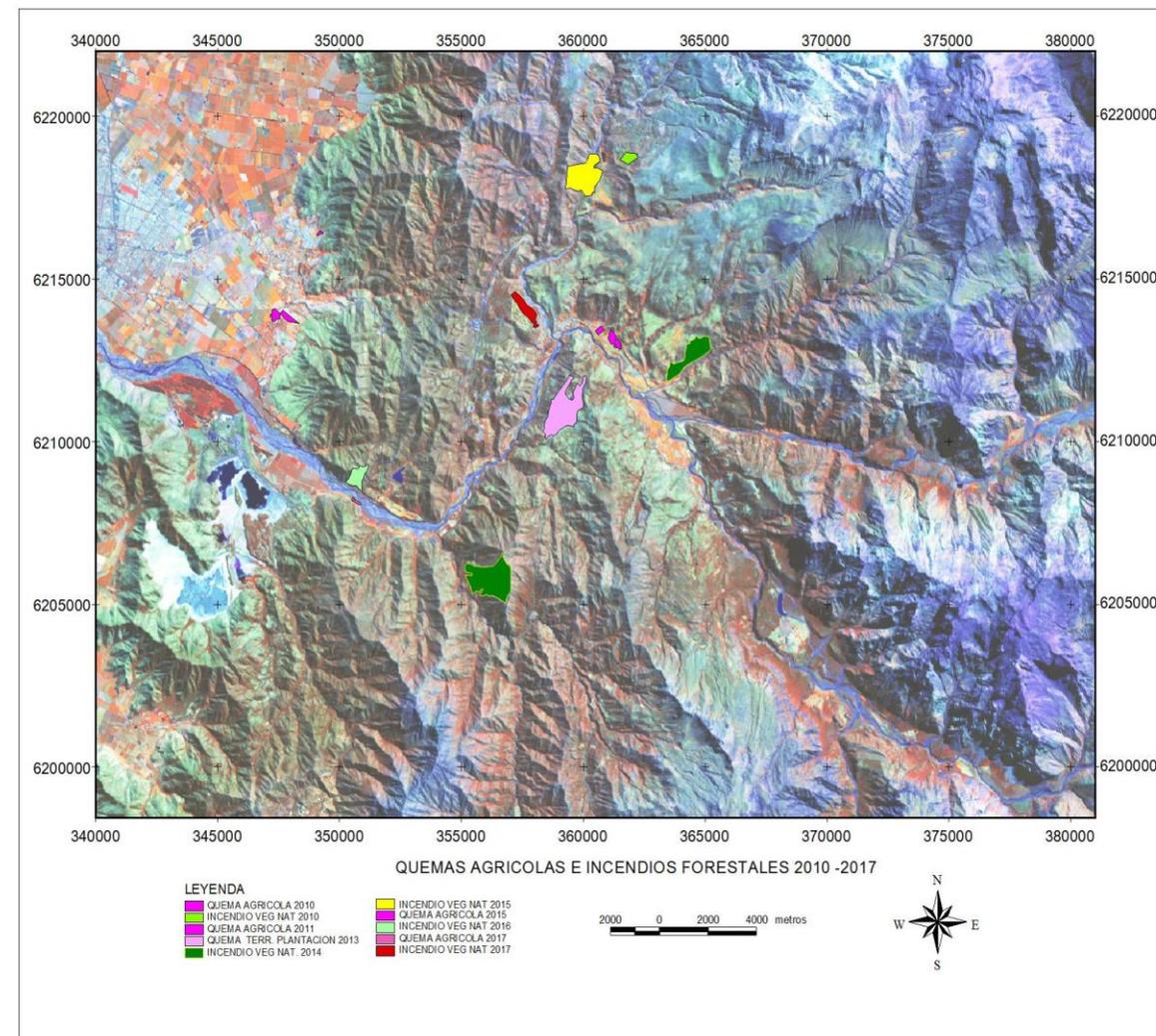
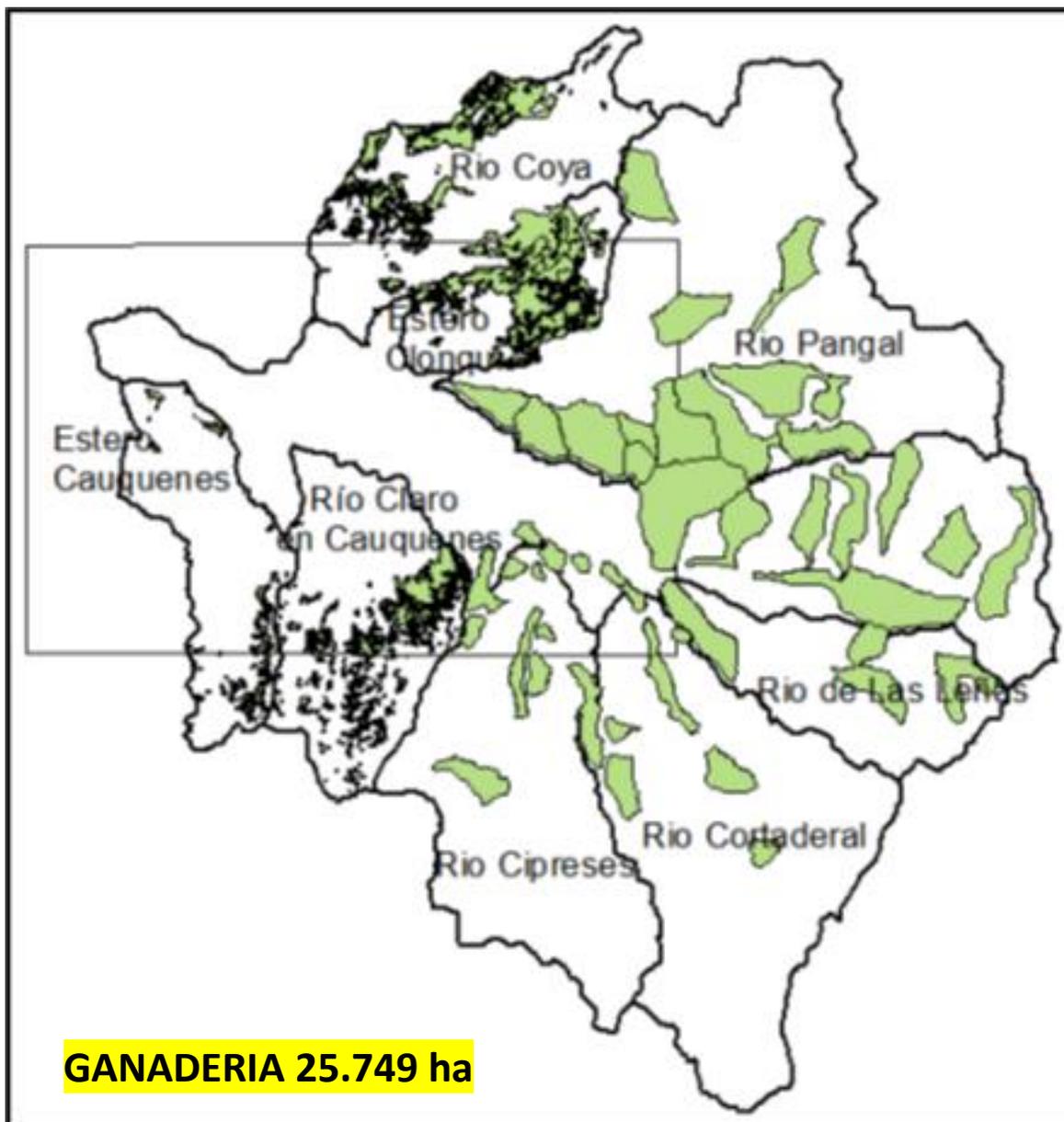
## Cuenca RIO CACHAPOAL



**2011 OBRAS DE CANALIZACION – EMBALSE – RIO  
CIPERESES**

# INTERVENCIONES Y ALTERACIONES

## Cuenca RIO CACHAPOAL



**QUEMAS AGRICOLAS E INCENDIOS FORESTALES**

## Remoción y acarreos



ector desembocadura de río Cipreses a río Cachapoal.



## SEQUIA – 30% DE COBERTURA VEGETACIONAL SECA VERANO 2020.



. Vista general del cajón río Cortaderal.

**Nombre:** Cajón río Cortaderal; veranada Puente Cimbra (Foto 5).

**Ubicación:** 378444 – 6195950 UTM. Sexta región.

**Código cartográfico:** UCH 060018; Subunidad 1.

**Descripción:**

La formación corresponde a una vega junciforme ubicado en llano aluvial con pendiente de 0 a 2%.

Altitud 1.194m.s.n.m. Textura de suelo areno-limoso con profundidad de 30cm.

Las especies principales son *Cyperus sp* (25%), *Plantago lanceolata* (10%). Cobertura vegetal total de 35%.

## INTERVENCIONES Y ALTERACIONES Cuenca RIO CACHAPOAL



**SEQUIA – 30% DE COBERTURA VEGETACIONAL SECA  
VERANO 2020.**

**CAMBIO CLIMÁTICO**



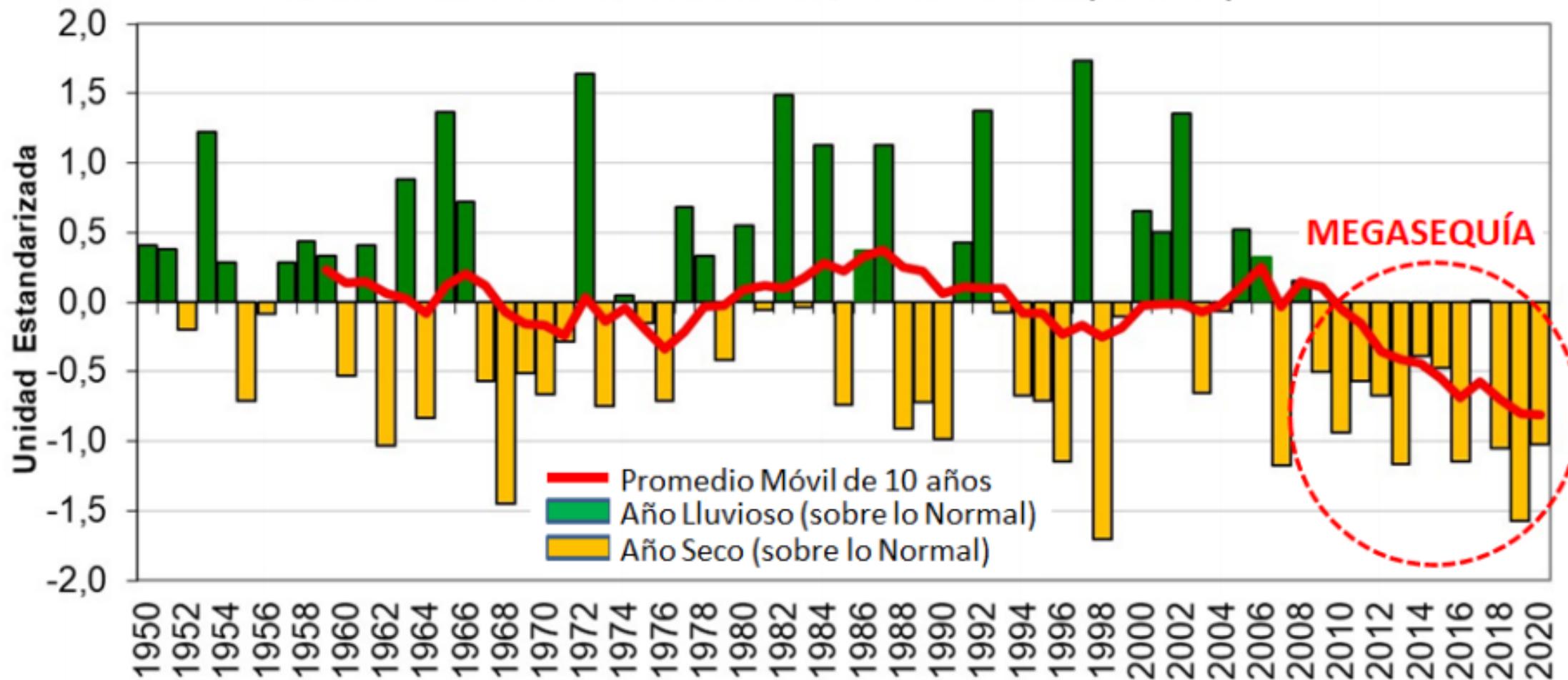
**PARTE BAJA CUENCA ESTERO CODEGUA  
Verano 2021**



**INTERVENCIONES Y ALTERACIONES  
Cuenca RIO CACHAPOAL**

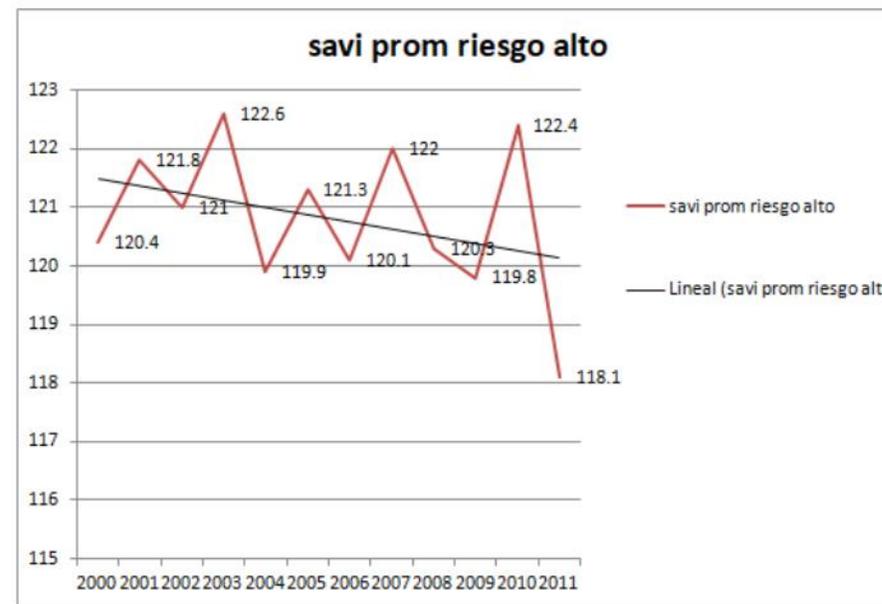
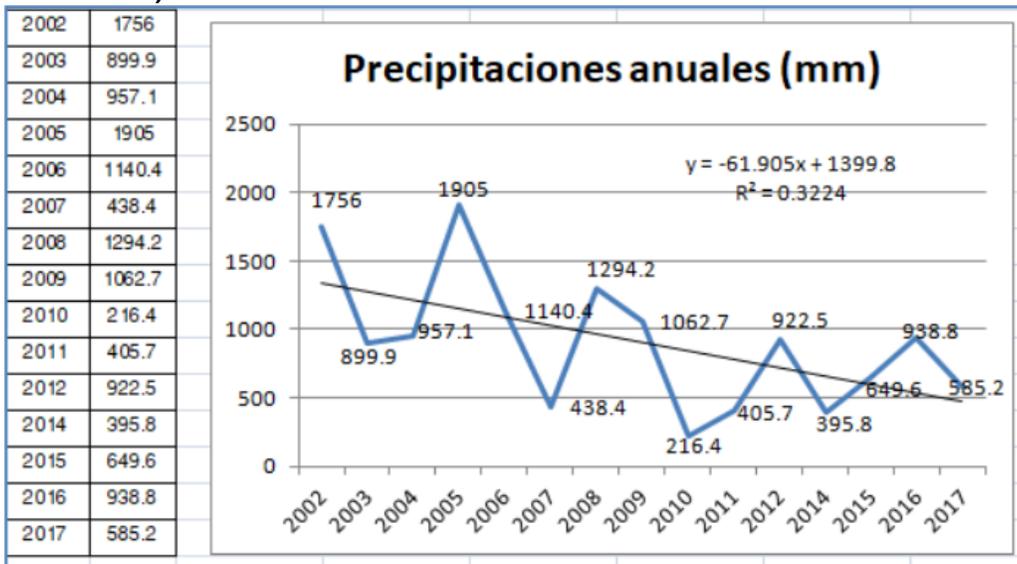


## ANOMALÍA PLUVIOMÉTRICA - CHILE CENTRAL (30-38°S)

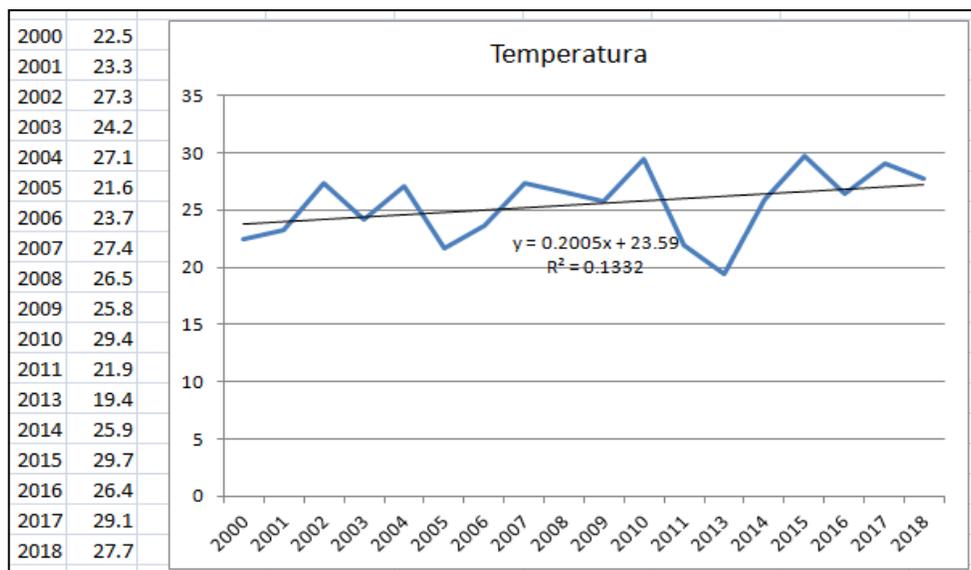


Fuente: DMC, 2020)

Precipitaciones anuales entre el año 2002 y 2017 (Análisis multitemporal de la vegetación como soporte de hábitat y de uso agropecuario asociado a los sectores de cordillera y precordillera de la región de O'Higgins. Castro et al, 2018 – SAG-DIPROREN.)



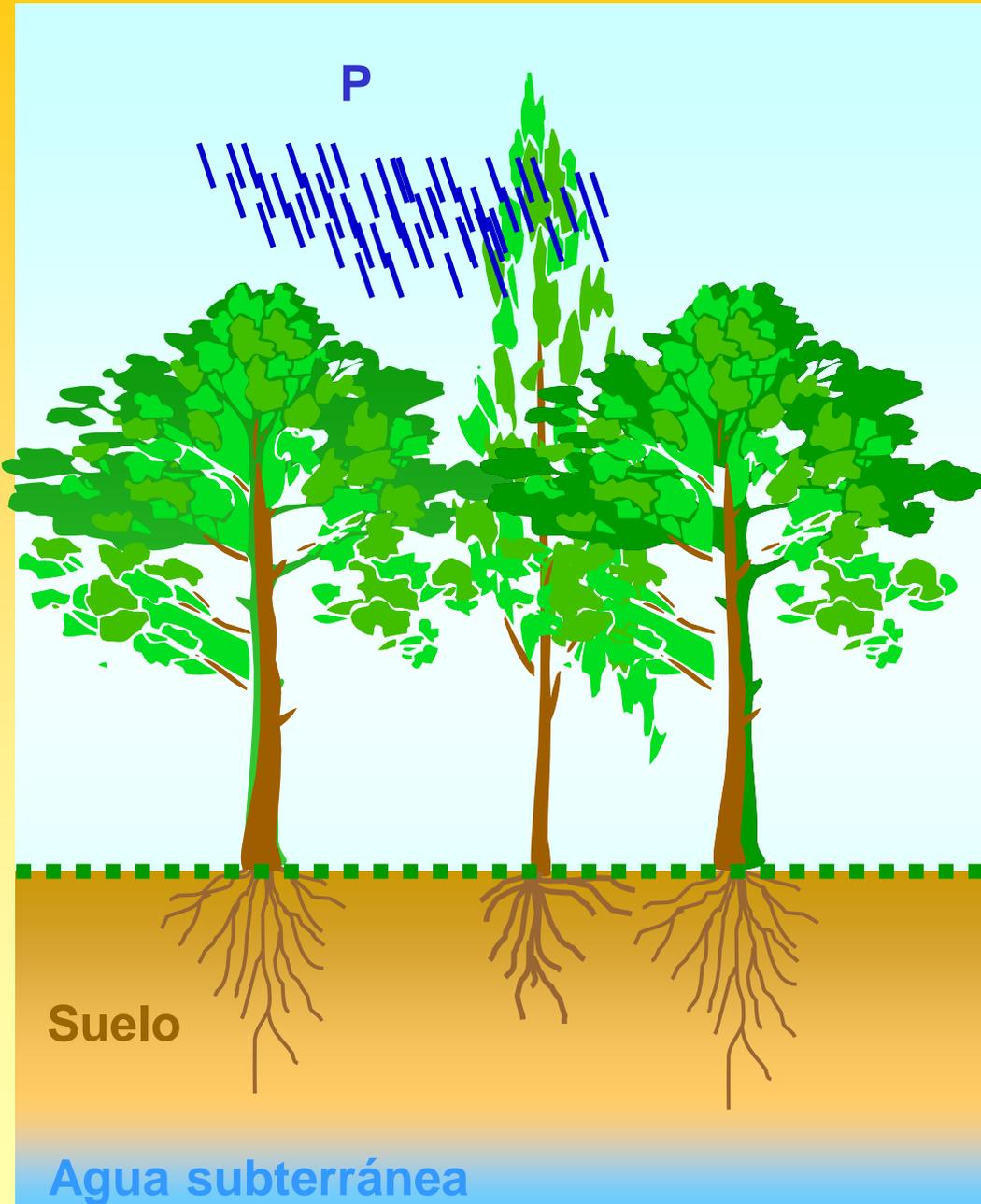
**r<sup>2</sup> de 0,291**



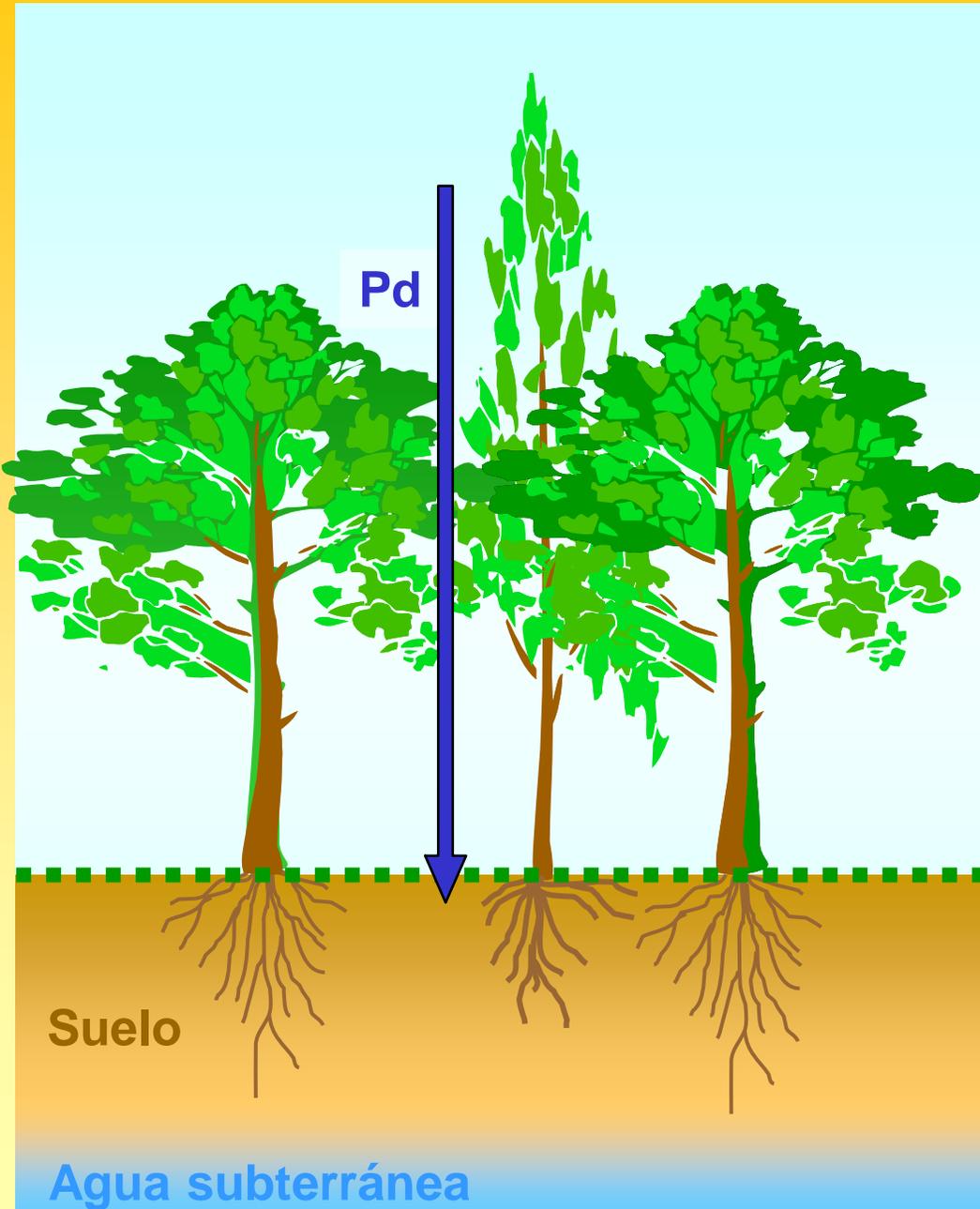
Los resultados obtenidos concuerdan con las conclusiones del estudio “Evaluación del impacto del cambio climático en centrales hidroeléctricas de la cuenca del alto Cachapoal” (Gómez, T. Univ. de Chile, 2013) que proyectó un aumento de temperaturas para el 2040 entorno de los 2°C y 4°C y una disminución de las precipitaciones del orden del 20% respecto del año base 2009



**LA IMPORTANCIA DE LA VEGETACION EN MODELAMIENTO HIDRICO  
DE LAS CUENCAS**



**Precipitación (P)**

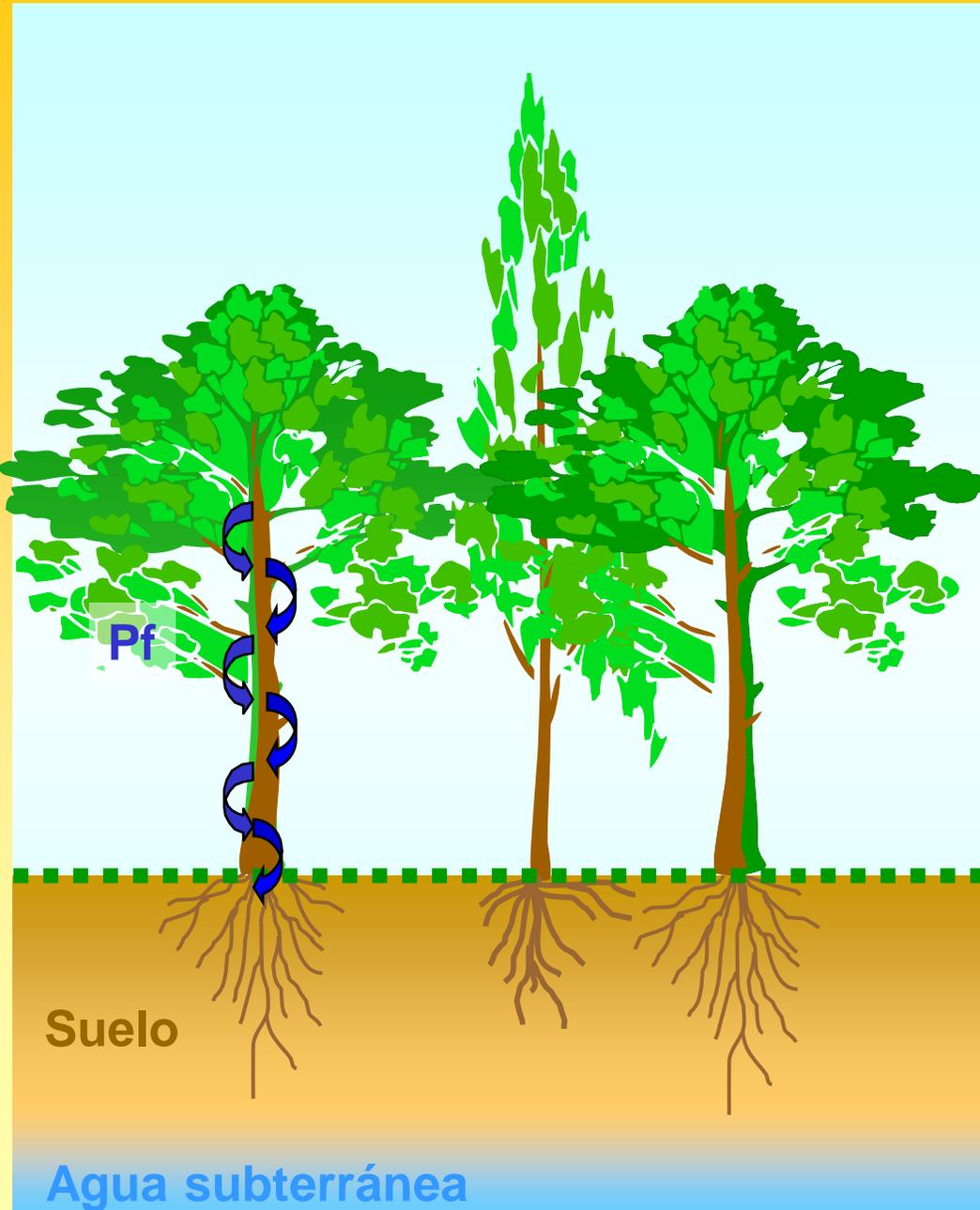


## Precipitación directa (Pd)

Fracción de la precipitación que llega al suelo por los claros del bosque

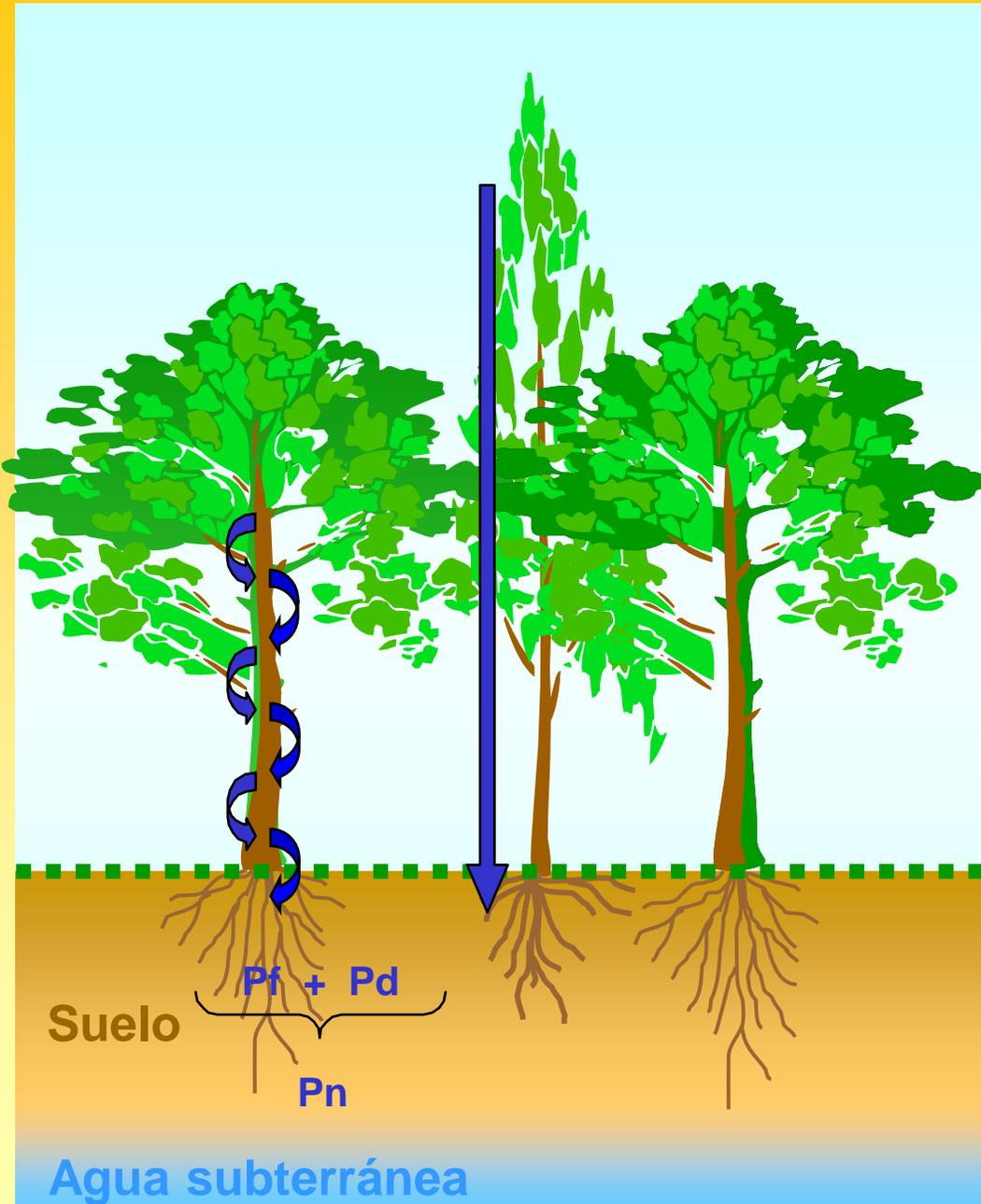
+

Agua que gotea desde la biomasa aérea hasta alcanzar el suelo



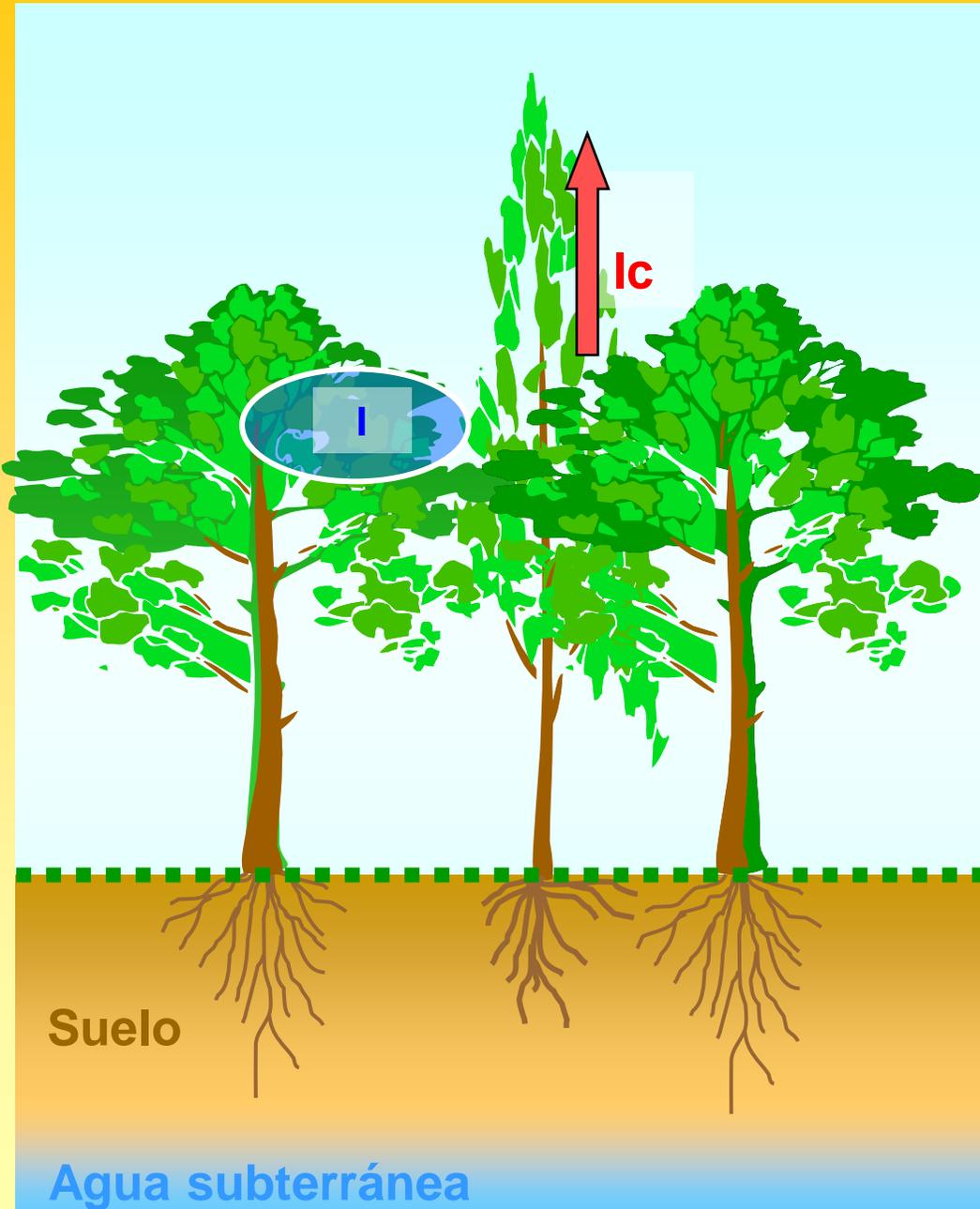
## Escorrentía fustal (Pf)

Agua que alcanza el suelo usando como senda de fluido el fuste de los árboles



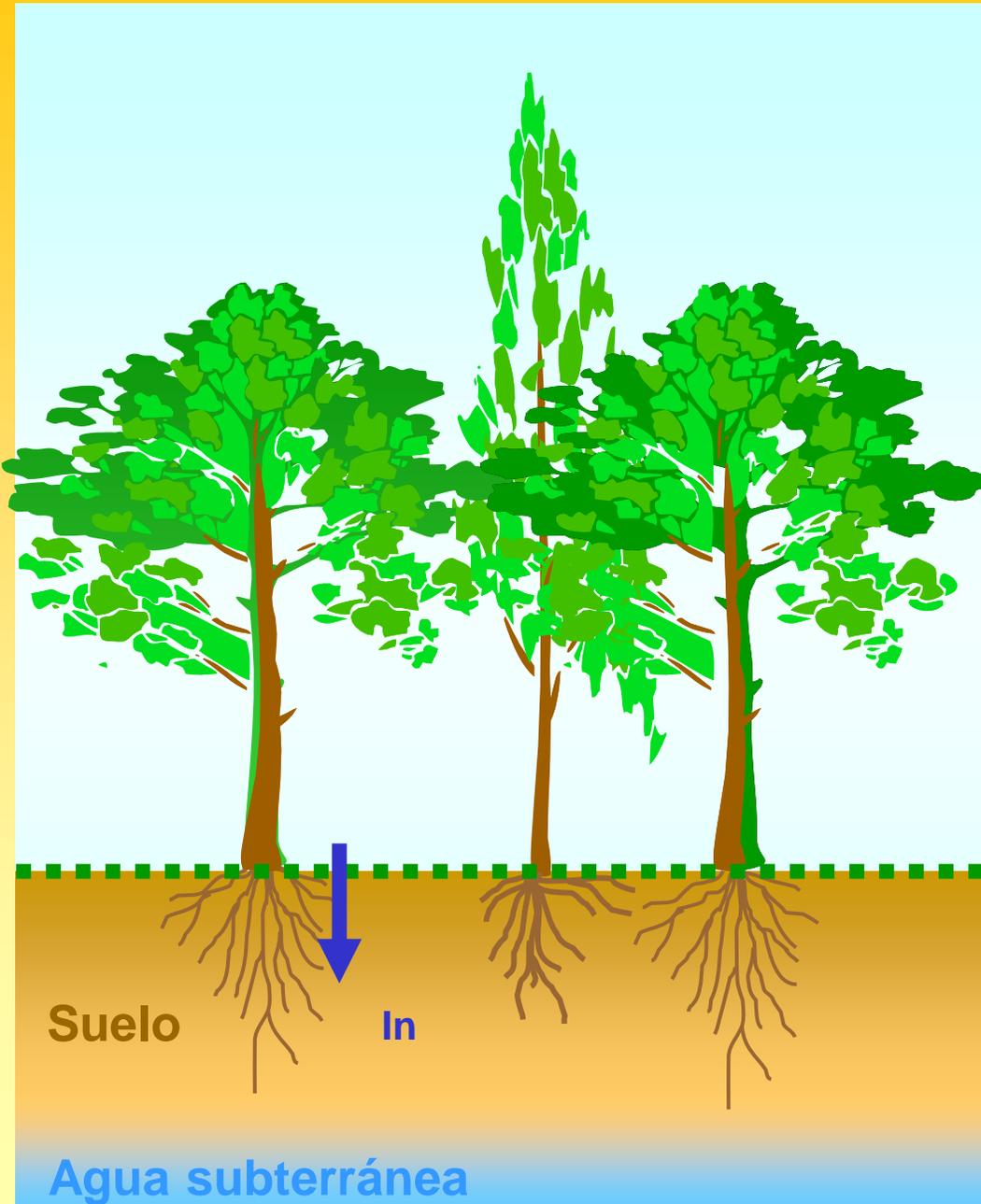
## Precipitación neta

Total del agua de lluvia que alcanza el piso del bosque



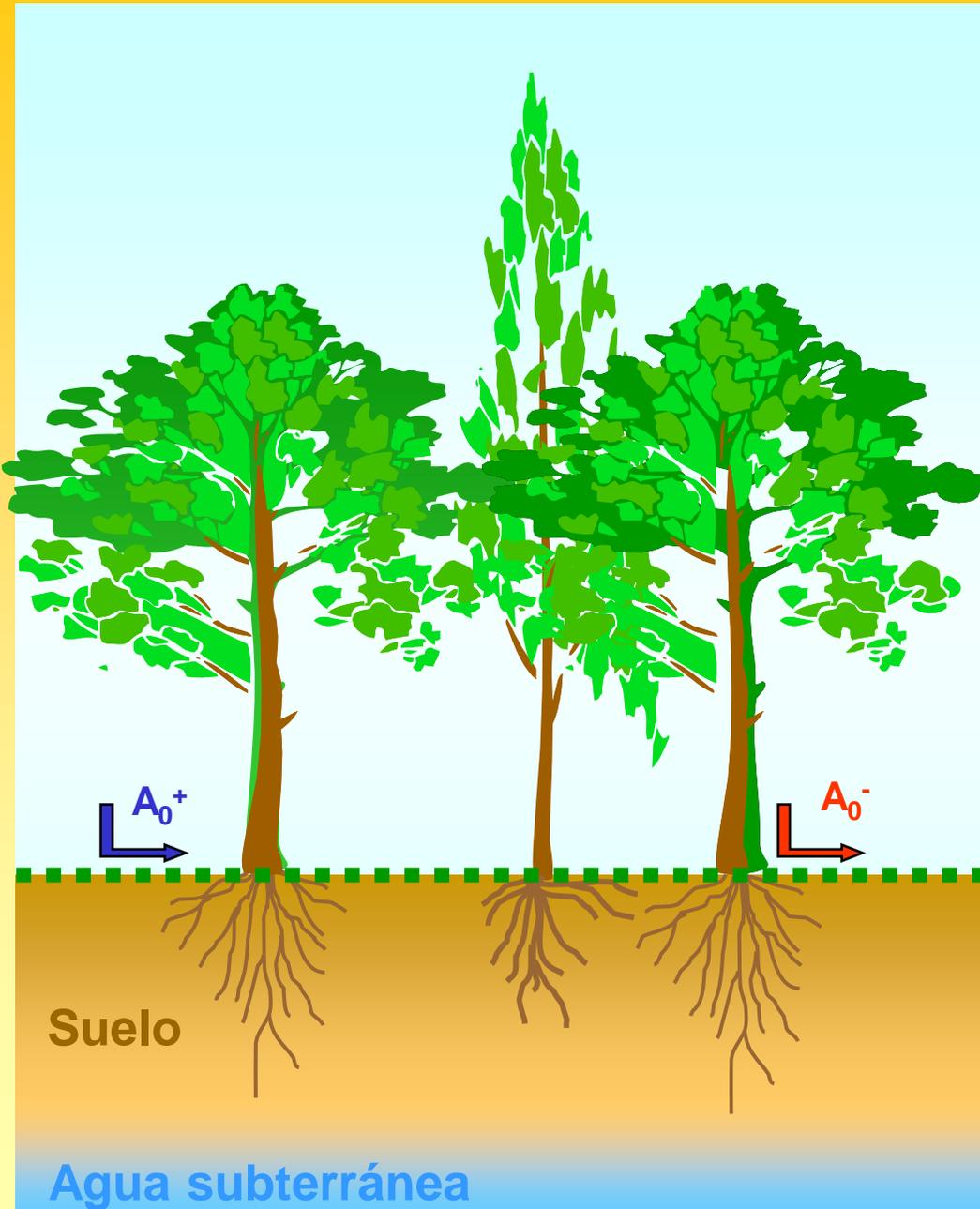
## Aporte de agua a la atmósfera por **intercepción (Ic)**

Agua que se evapora desde la biomasa aérea del bosque



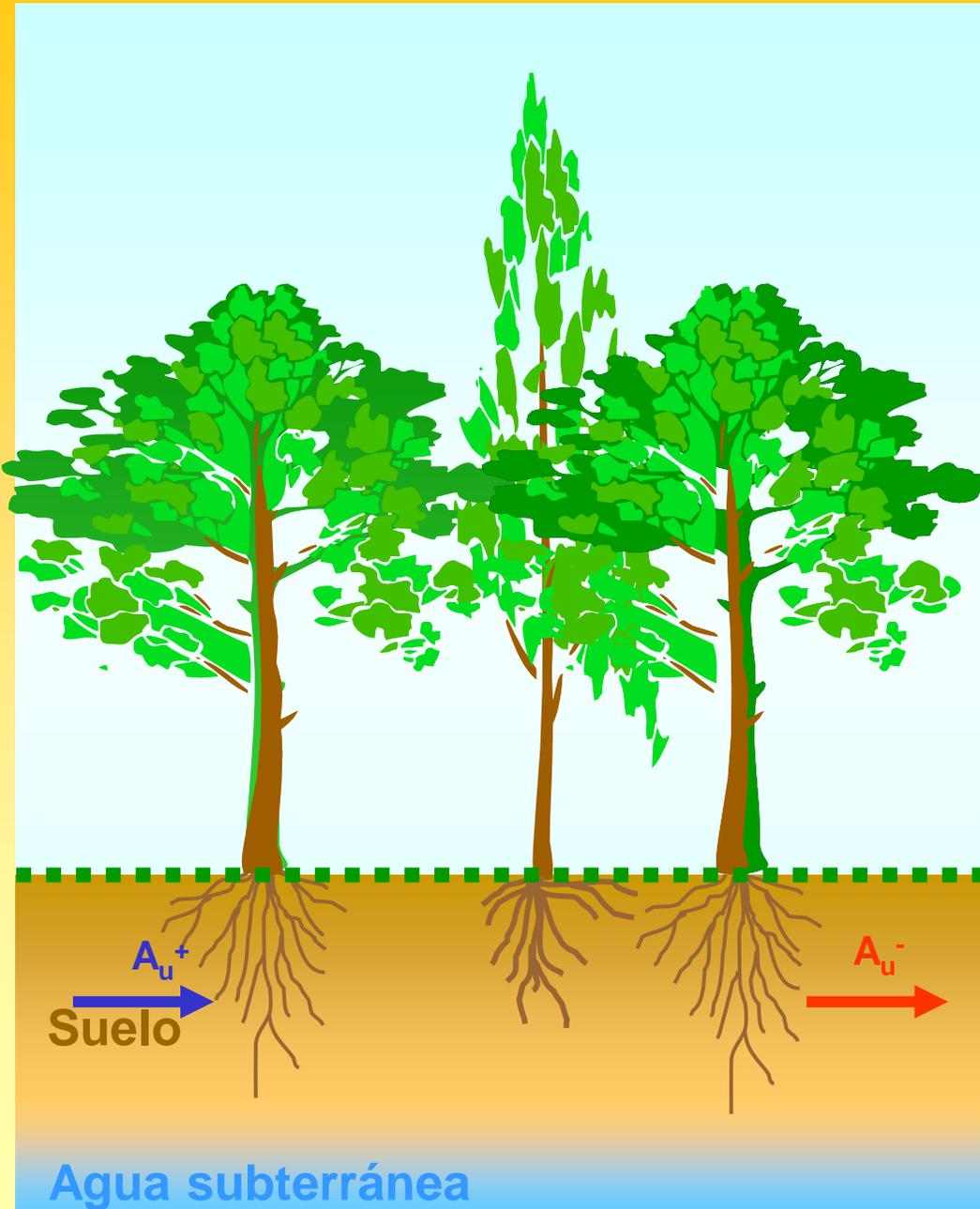
## Infiltración (In)

Ingreso del agua de lluvia al suelo.



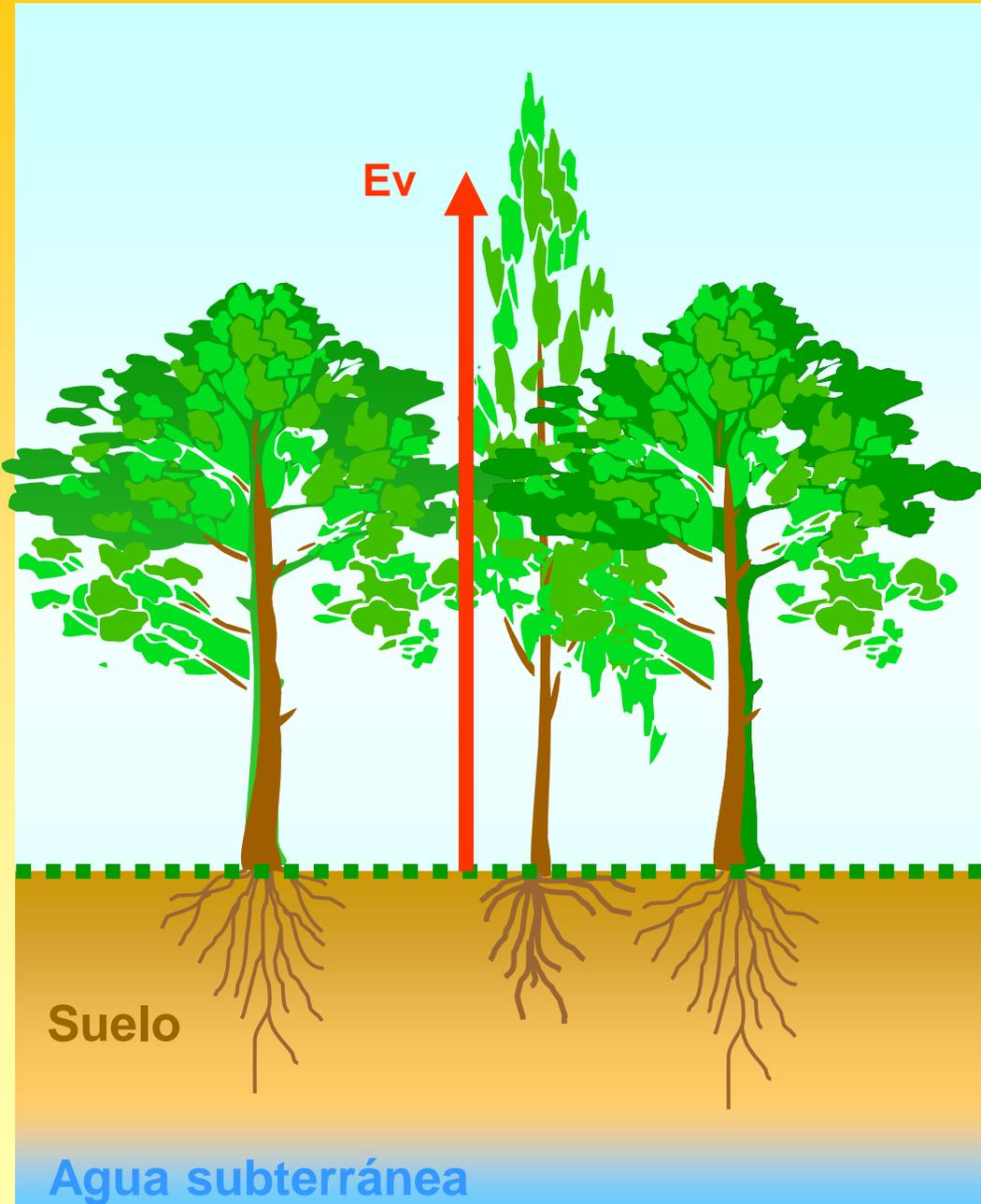
## Escorrentía superficial ( $E_{s_0}$ )

Movimiento horizontal del  
agua que no infiltró



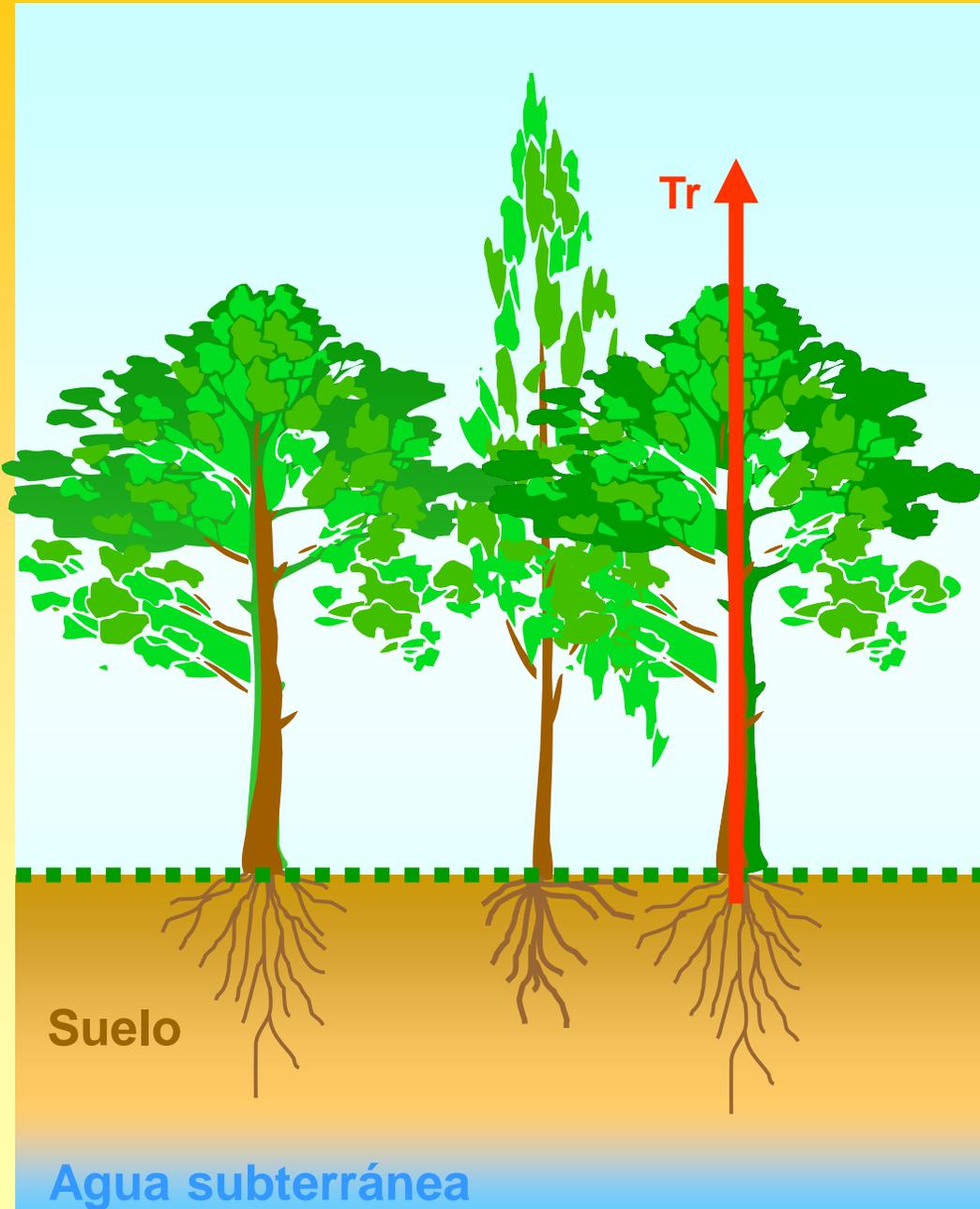
## Escorrentía subsuperficial (A<sub>u</sub>)

Movimiento horizontal del  
agua en el interior del suelo



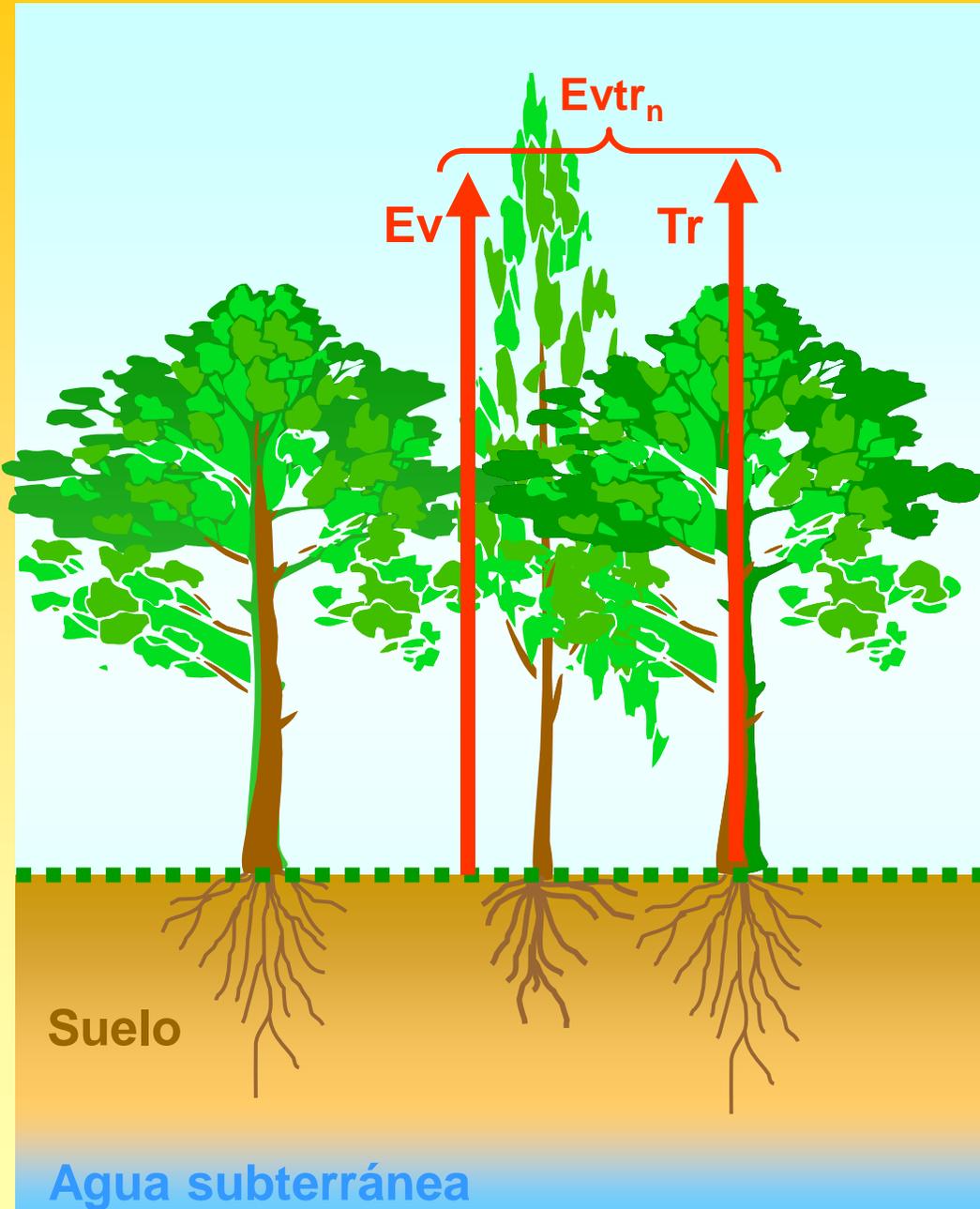
## Evaporación (Ev)

Ingreso de agua a la atmósfera desde el suelo.



## Transpiración (Tr)

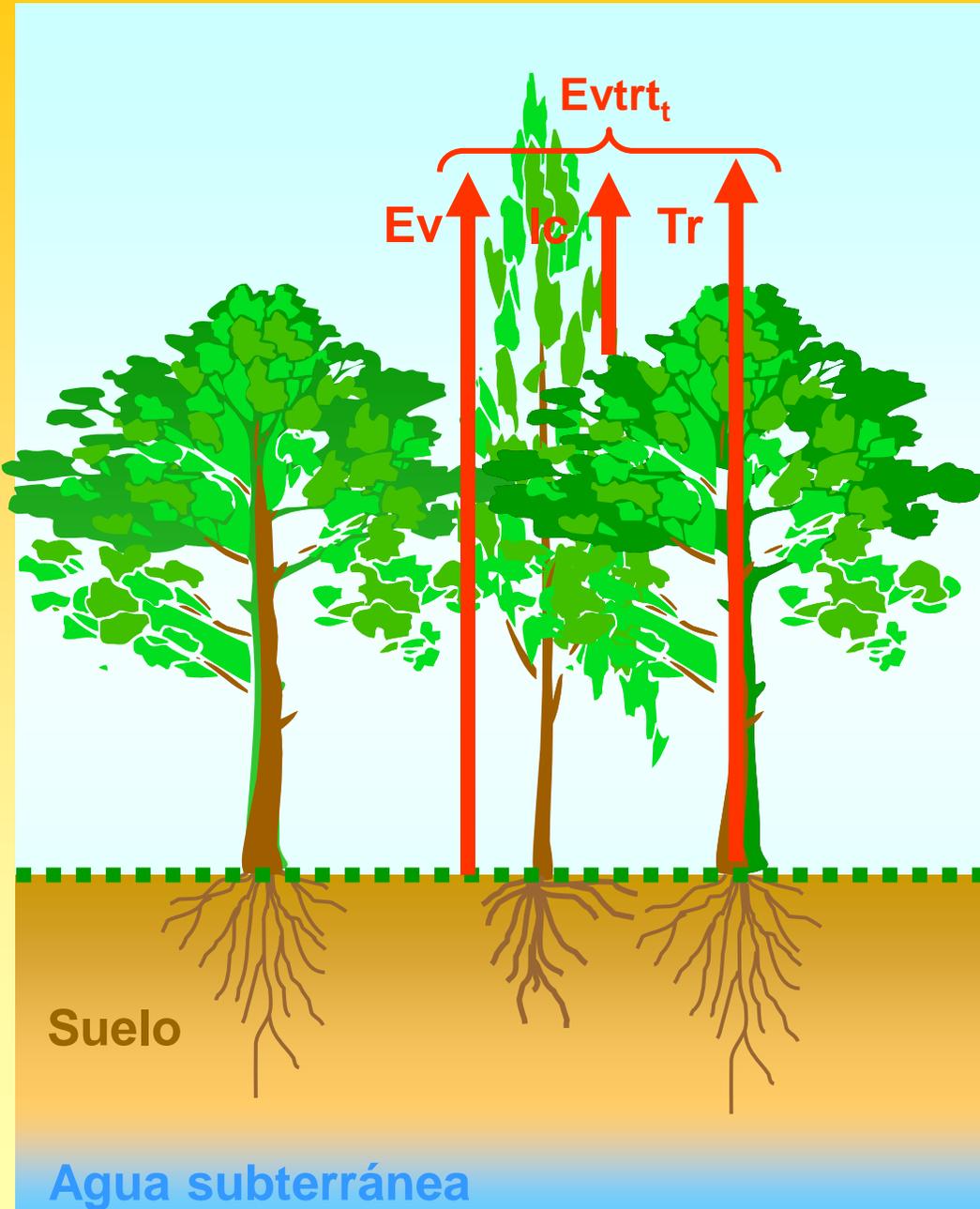
Aporte de agua a la atmósfera en forma de vapor por parte de los vegetales producto de sus procesos biológicos



## Evapotranspiración neta (Evtr<sub>n</sub>)

Total del agua que pasa desde el suelo de un bosque a la atmósfera. Incluye:

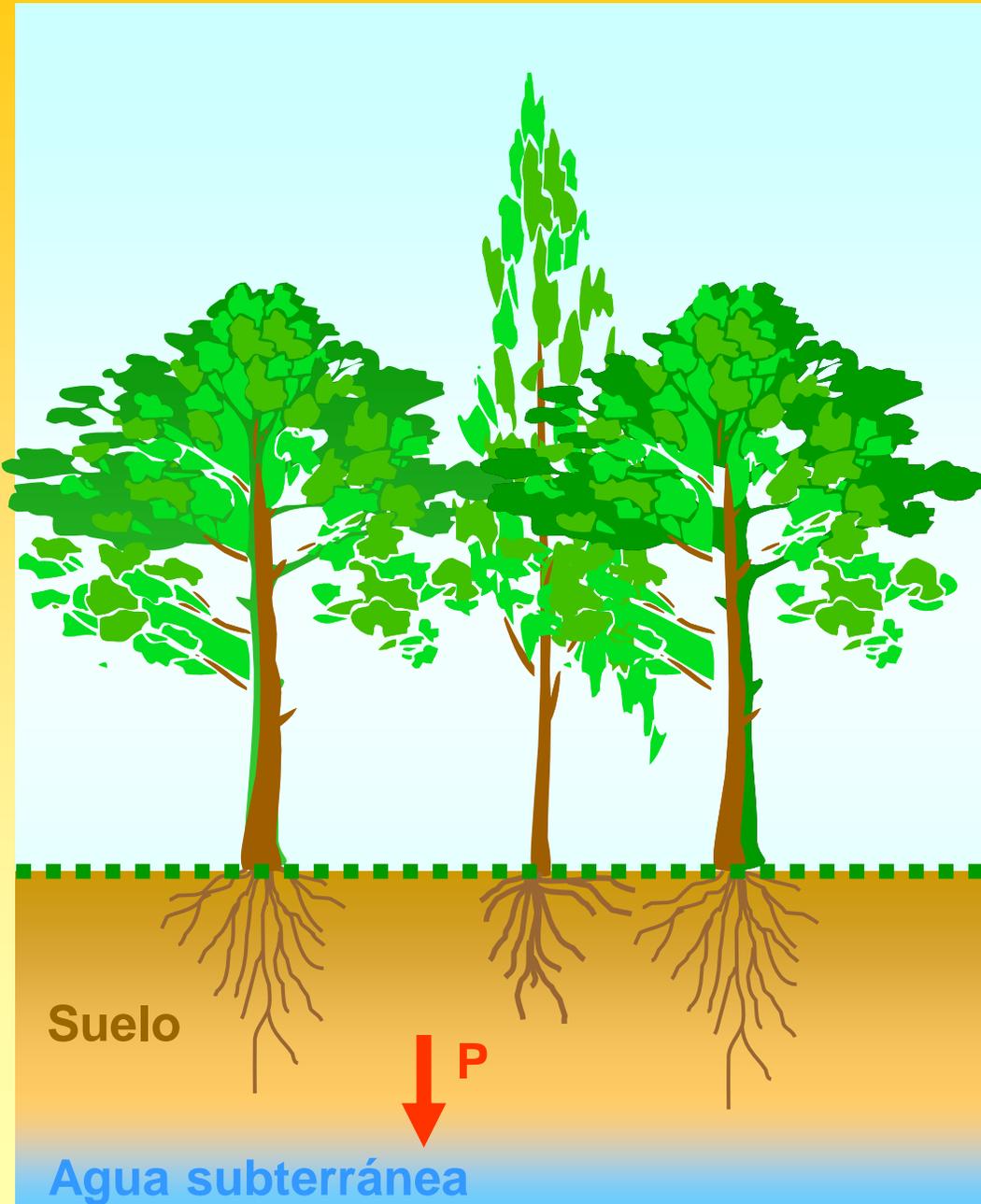
- Evaporación
- Transpiración



## Evapotranspiración total (Evtrt)

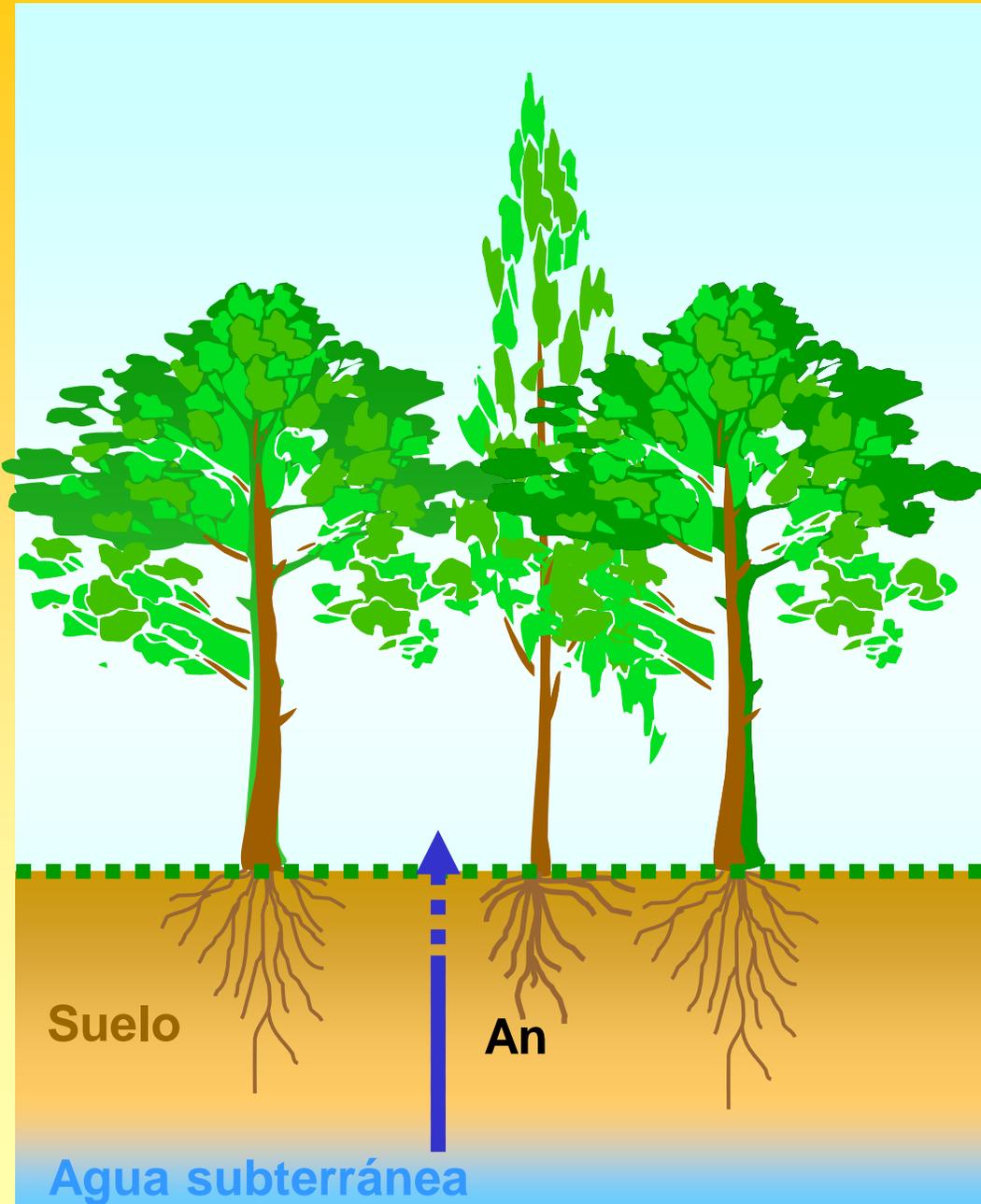
Total del agua que pasa desde un bosque a la atmósfera. Incluye:

- Evaporación
- Transpiración
- Intercepción



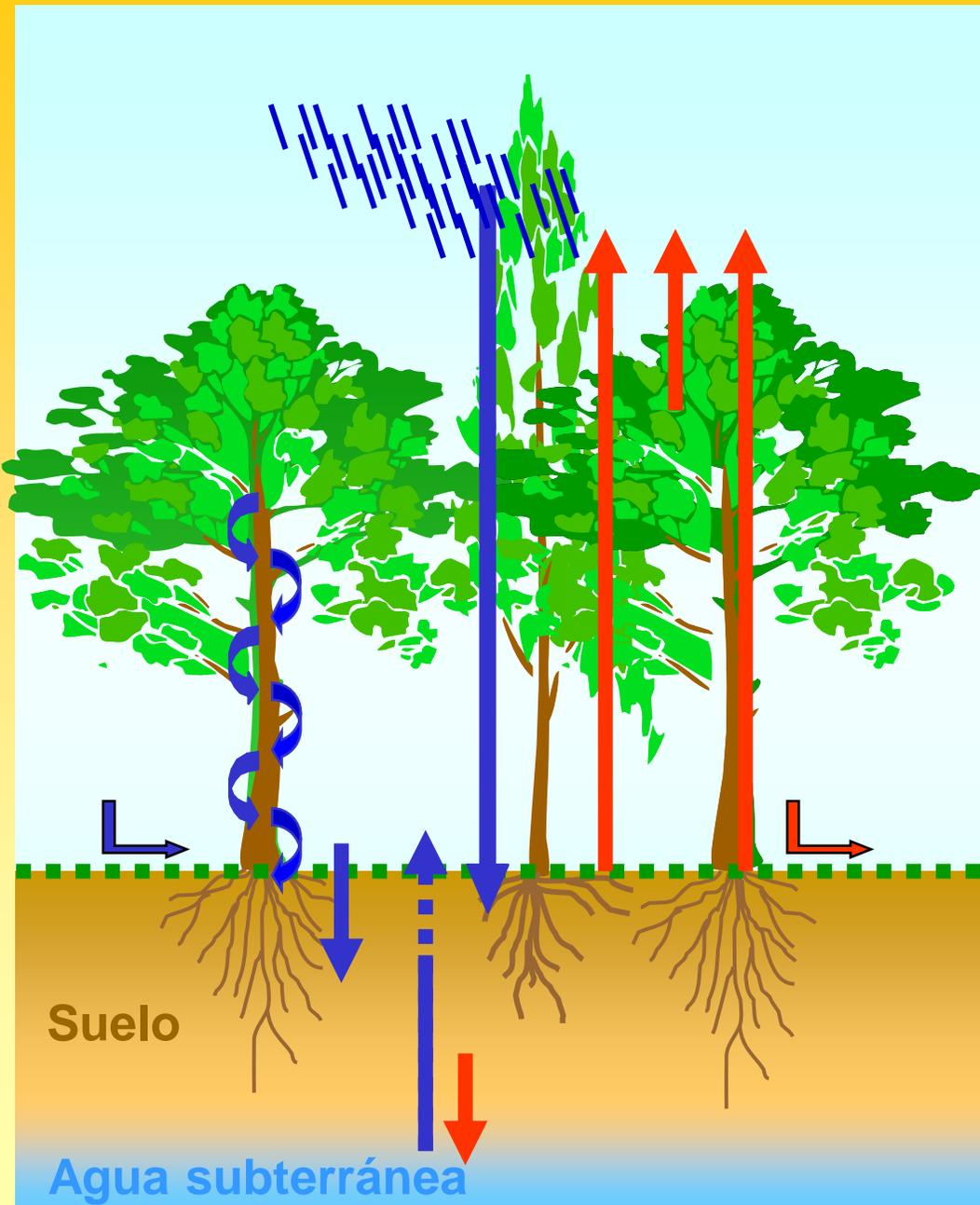
## Percolación (Per)

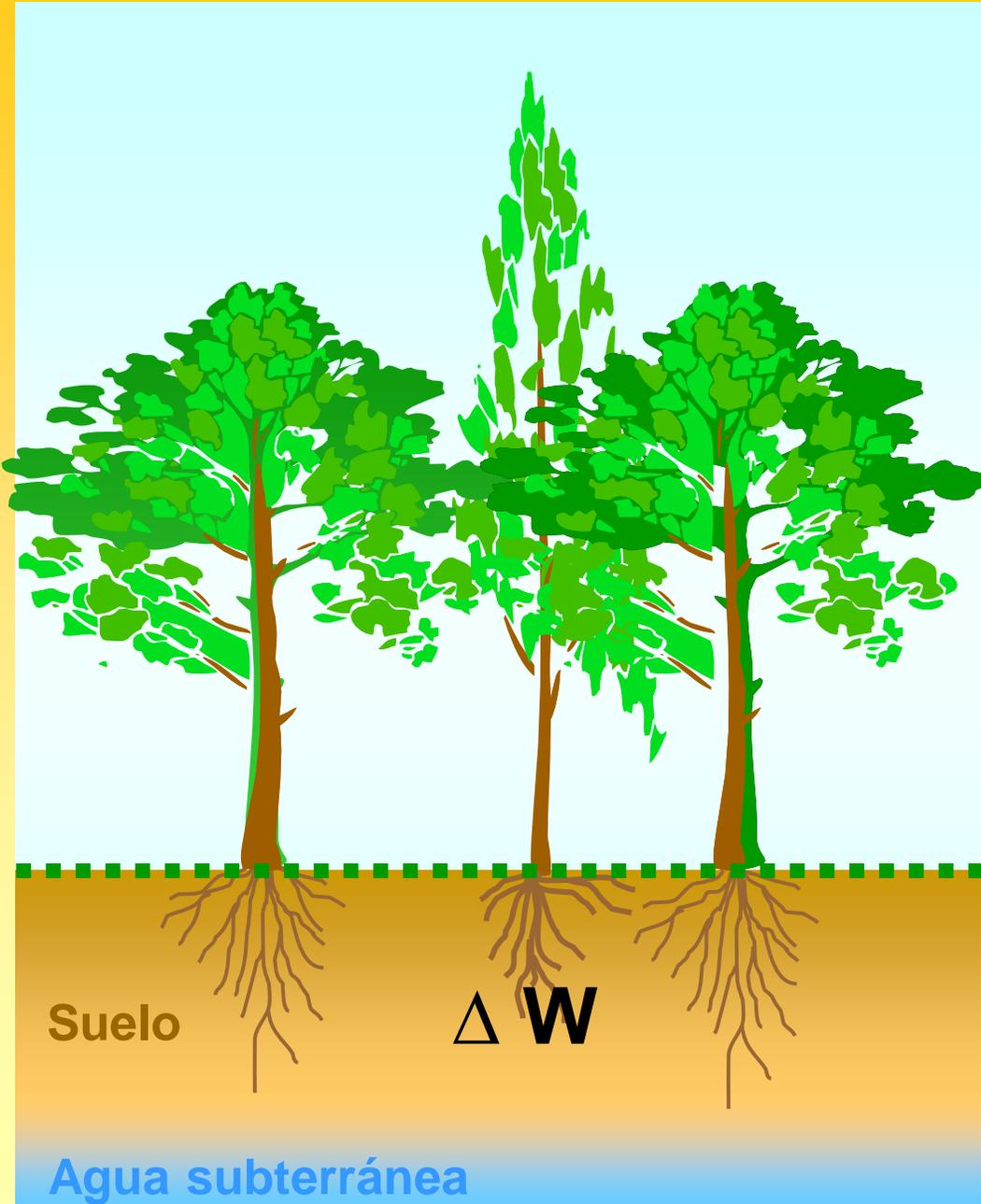
Movimiento vertical del agua más allá de los sistemas radiculares hasta alcanzar la napa freática



## Aporte de agua desde la napa (An)

Aporte de agua al bosque desde la napa freática por movimiento capilar ascendente del agua





## Variación del contenido de agua del suelo ( $\Delta W$ )

$$\Delta W = R - B$$

**R = Ganancia**

**B = Salidas de agua**

# RESUMEN

## COBERTURA VIVA Y MUERTA SOBRE EL SUELO

### DOSEL

- ↓ ENERGÍA CINÉTICA DE LA LLUVIA
  - ↓ EROSIÓN POR SALPICADURA
  - ↓ FRAGMENTACIÓN DE AGREGADOS DEL SUELO
  - ↓ SELLADO SUPERFICIAL
    - ↑ INFILTRACIÓN
    - ↓ ESCORRENTÍA
- ↓ PRECIPITACIÓN QUE ALCANZA EL SUELO (INTERCEPCIÓN) EN ZONAS CON NIEBLAS FRECUENTES
- ↑ EL VOLUMEN DE AGUA QUE ALCANZA EL SUELO

- ↓ ENERGÍA CINÉTICA DE LA LLUVIA
- ↑ RESISTENCIA A LA CIRCULACIÓN SUPERFICIAL DEL FLUJO
- ↓ CIRCULACIÓN EN LÍNEA DE MÁXIMA PENDIENTE
  - ↑ TIEMPO DE CIRCULACIÓN
  - ↓ CAPACIDAD EROSIVA DEL FLUJO
- ↑ RETENCIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA
- ↑ FORMACIÓN DE AGREGADOS ESTABLES
  - ↓ ERODABILIDAD

### SISTEMA DE RAICES

- ↑ INFILTRACIÓN
- ↑ CALIDAD DEL AGUA (↓ EMISIÓN DE NUTRIENTES A LA RED DE DRENAJE )
- ↑ ESTABILIDAD DEL SUELO



# Tipos de cuencas



Cuencas

Exorreica

Cuenca vertiente

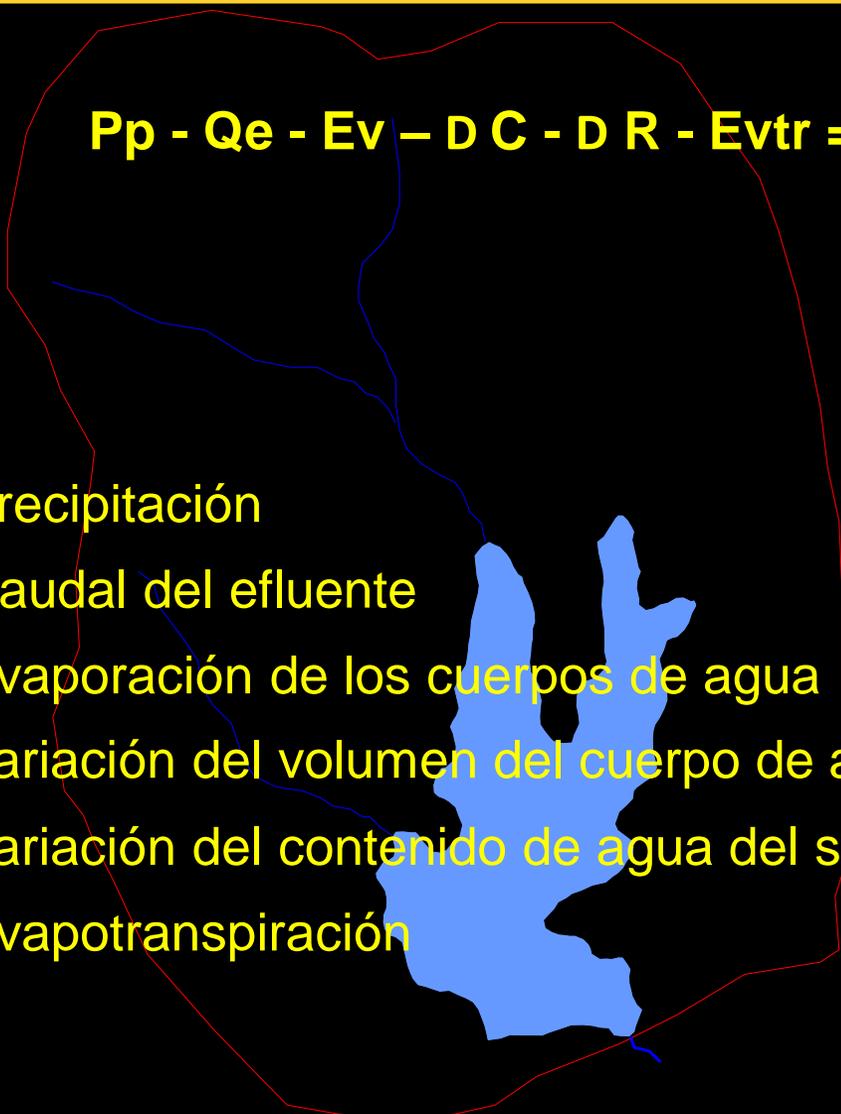
Cuenca lacustre

Cuenca lacustre con afluente

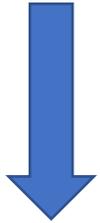
Endorreica

# Componentes del balance hídrico de una cuenca lacustre

$$P_p - Q_e - E_v - \Delta C - \Delta R - E_{vtr} = 0$$

- 
- $P_p$  : Precipitación  
 $Q_e$  : Caudal del efluente  
 $E_v$  : Evaporación de los cuerpos de agua  
 $\Delta C$  : Variación del volumen del cuerpo de agua  
 $\Delta R$  : Variación del contenido de agua del suelo  
 $E_{vtr}$  : Evapotranspiración

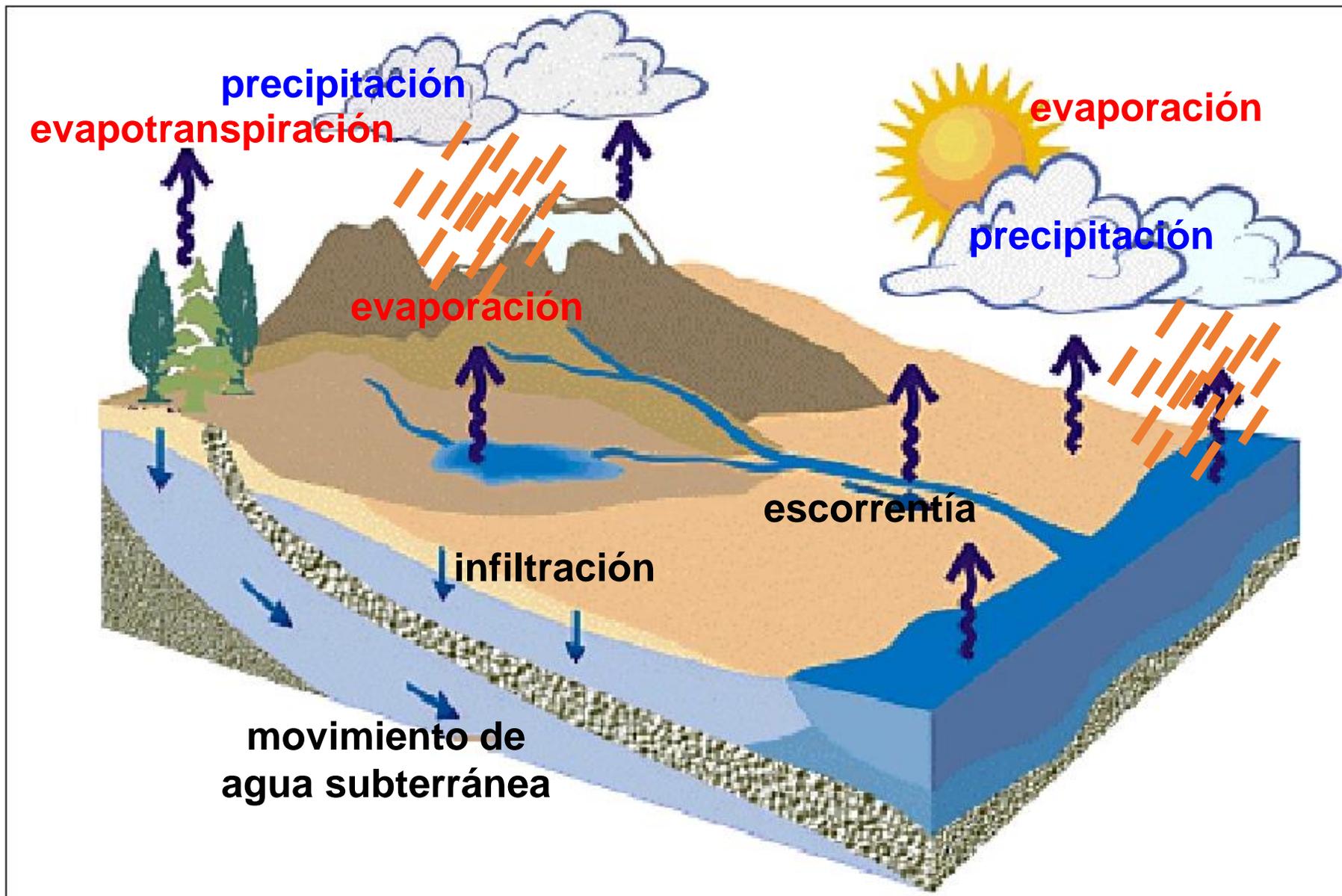
Cambios en el uso de los recursos naturales aguas arriba ...



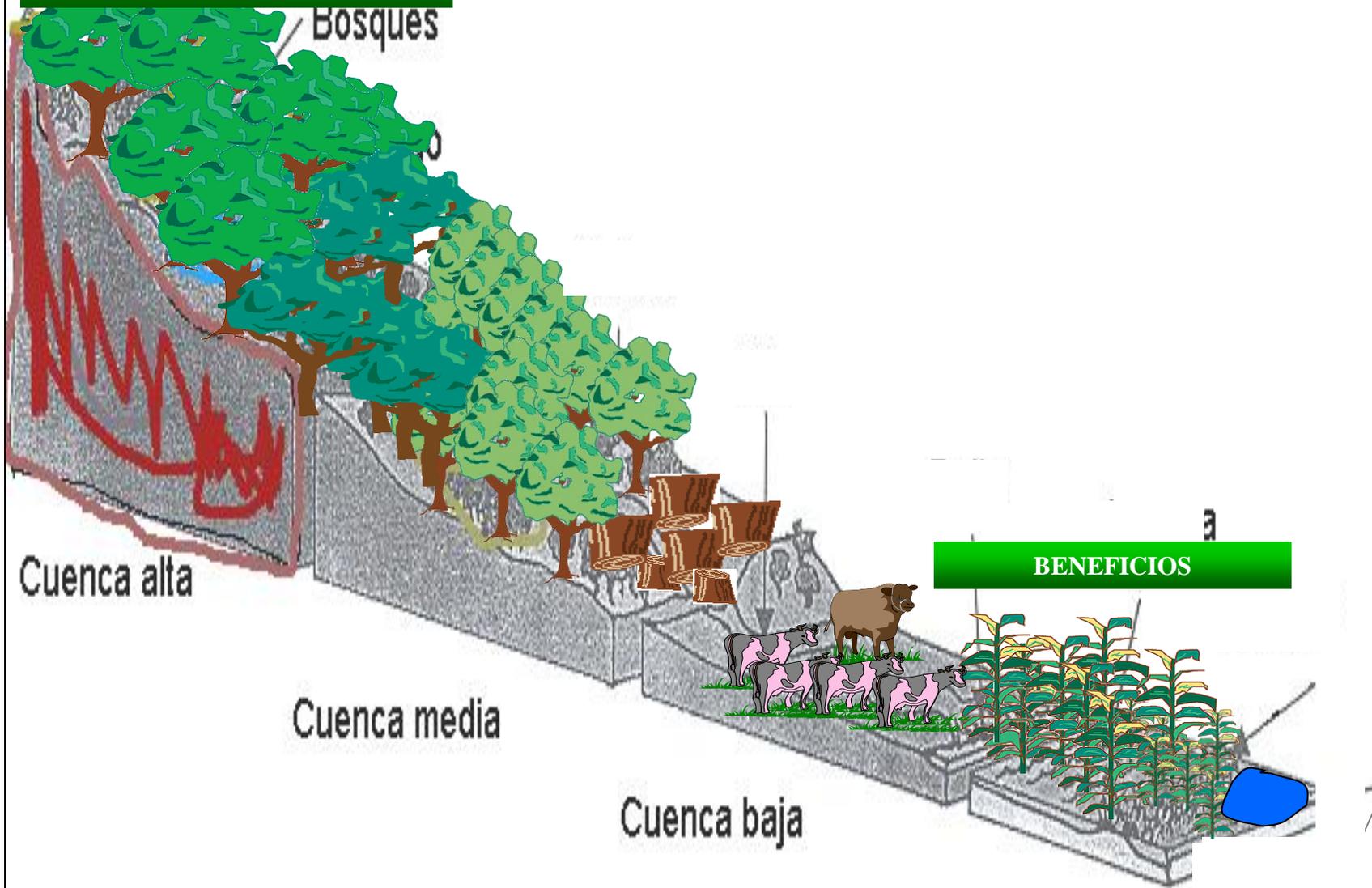
... generan cambios en el ciclo hidrológico aguas abajo.



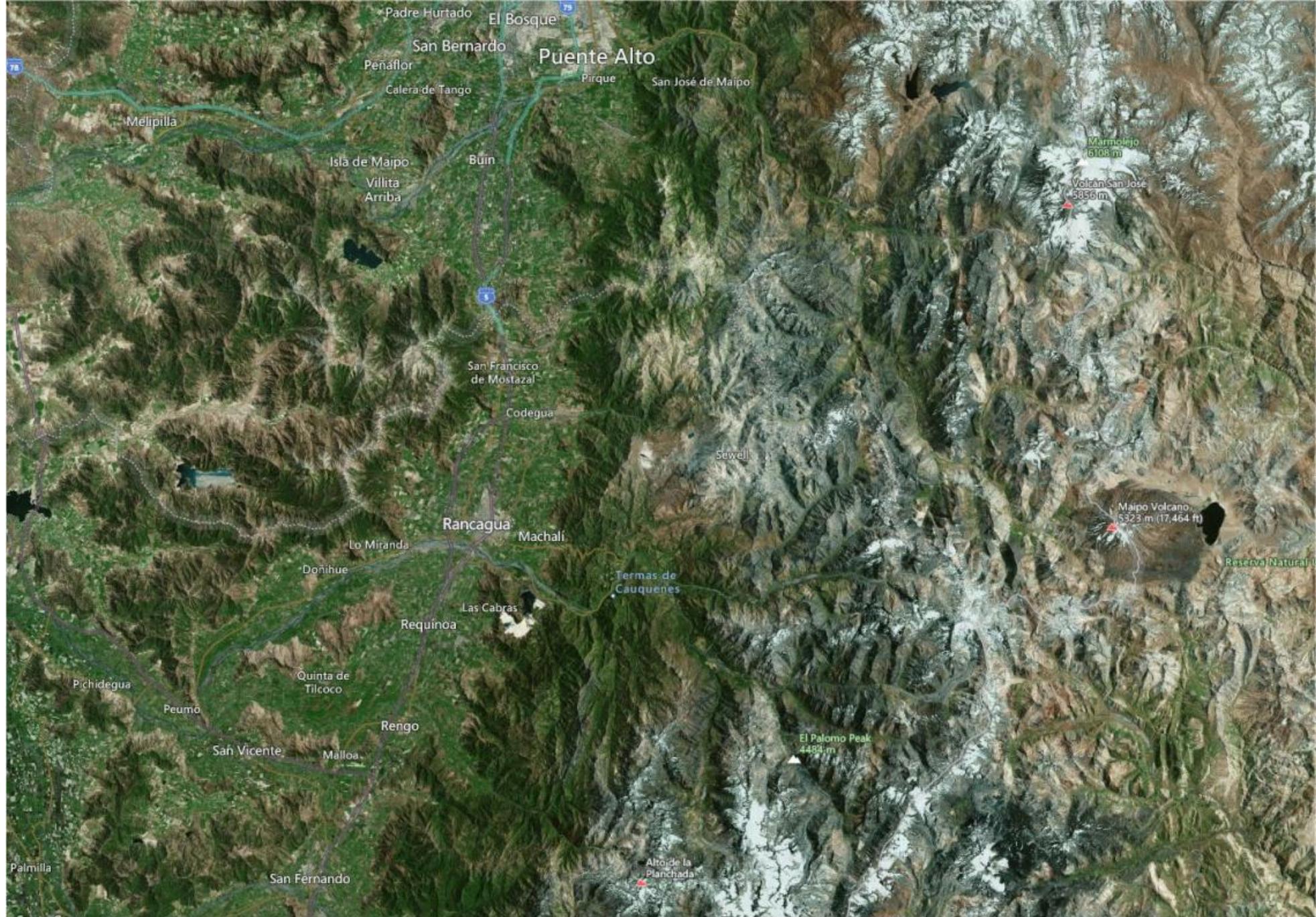
# El ciclo hídrico



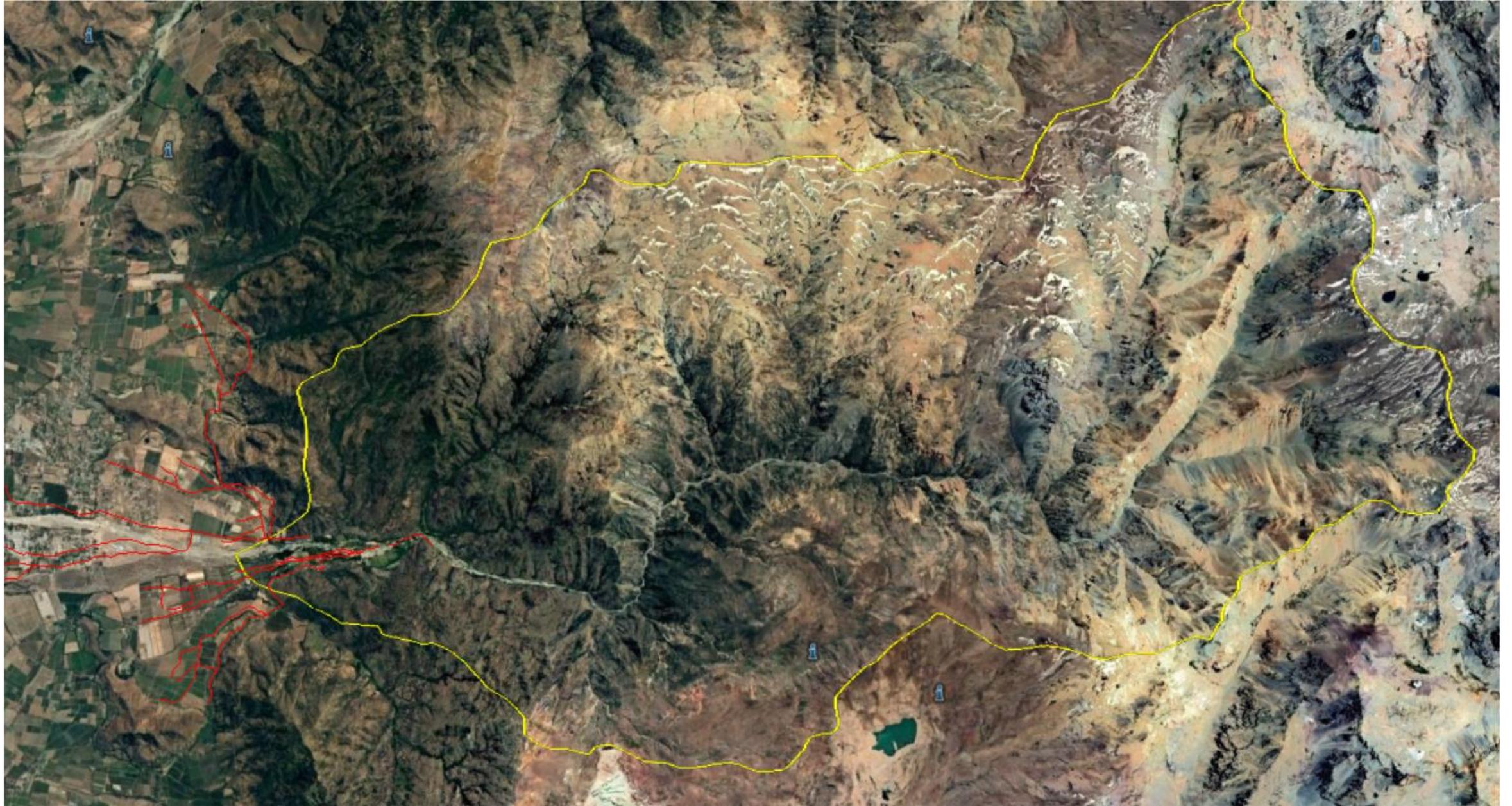
**SERVICIOS  
AMBIENTALES**

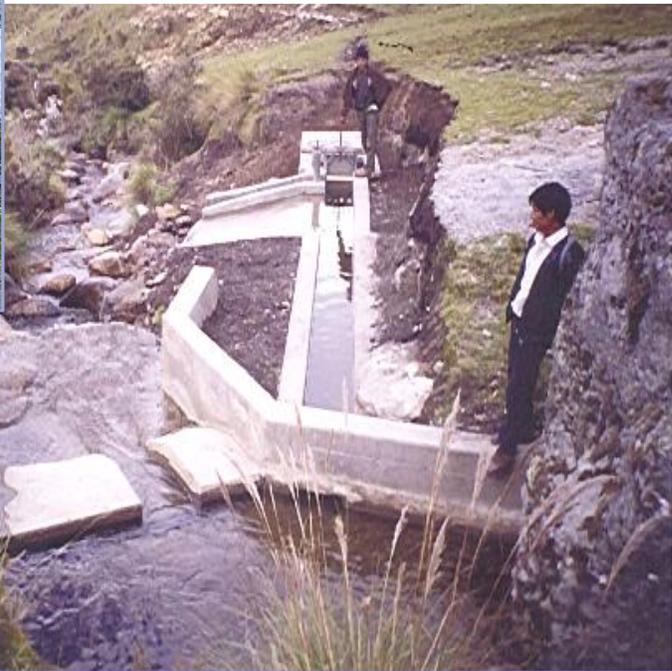


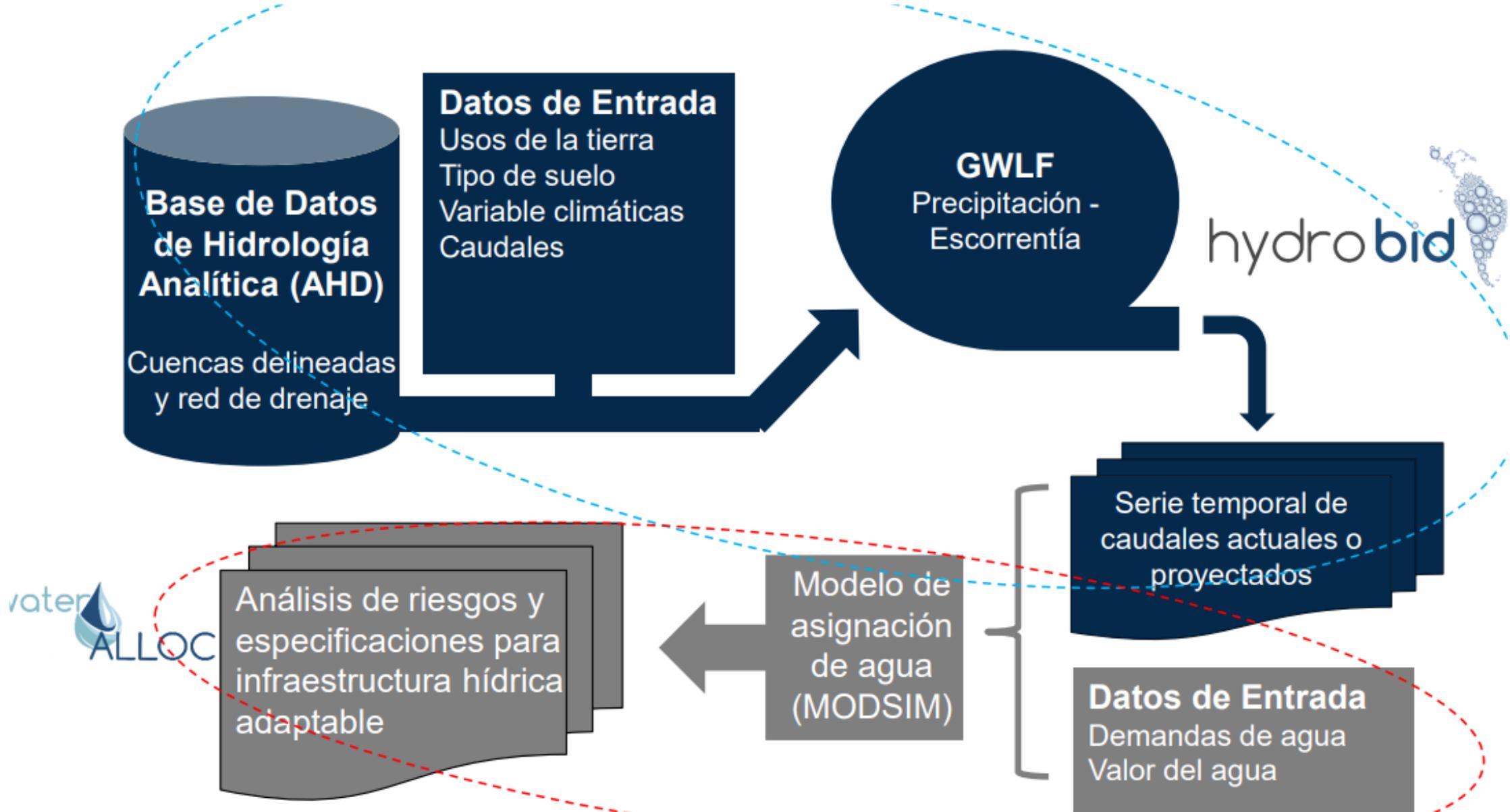
# AGRICULTURA DE RIEGO – MIC



## CUENCA ESTERO CODEGUA Y CANALES DE RIEGO







El sistema tiene 5 componentes:

- 1) AHD, 2) Base de Datos 3) Modelo Hidrológico (HydroBID) 4) MODSIM 5) WaterALLOC

# Aplicaciones

Temas	Objetivos de Modelado
Asignación y permisos de agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• Proporcionar una base científica para la <b>toma de decisiones sobre permisos</b>.</li><li>• Estimar el caudal en ríos sin observaciones de caudal</li></ul>
Diseño de infraestructura de agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• Delimitar los límites de las cuencas hidrográficas</li><li>• Cuantificar el plan de <b>disponibilidad de agua</b></li><li>• Diseño de embalses para energía hidroeléctrica</li><li>• <b>Abastecimiento de agua y control de inundaciones</b> para promover la seguridad energética</li><li>• Estimar el suministro cauces y de agua en ubicaciones no calibradas</li></ul>
Impacto del cambio climático	<ul style="list-style-type: none"><li>• Comunicar <b>las proyecciones del cambio climático</b> en términos de agua superficial</li><li>• Apoyar las actividades de evaluación de la <b>mitigación y la adaptación</b></li><li>• Evaluar las consecuencias agrícolas, sanitarias e hidrológicas del cambio climático</li></ul>
Recursos de agua subterránea	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mapeo de áreas de recarga de agua subterránea</li><li>• <b>Interacción</b> entre aguas superficiales y subterráneas</li></ul>
Transporte de sedimentos y medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"><li>• Planificación de la <b>gestión forestal y la reforestación</b></li><li>• Apoyar las decisiones municipales de reforestación y conservación.</li><li>• Estimación de la <b>erosión de sedimentos</b></li><li>• Evaluar la hidrología con escenarios alternativos de uso de la tierra y clima.</li><li>• Evaluación de la <b>preservación del flujo para la protección del medio ambiente</b>.</li><li>• Cuantificación de servicios ecosistémicos</li></ul>

# A MODDO DE CONCLUSIÓN:



## ¿Por qué Hydro-BID-WaterAlloc?

- Es un **bien público disponible** para **toda la región ALC**: útil para **organizar y consolidar** datos escasos
- Tiene resolución espacial y temporal apropiada para **planificación y diseño** de infraestructura hídrica
- La estructura del modelo es **modular, flexible y escalable**; la formulación hidrológica es **robusta** y permite interactuar con cualquier modelo climático o fuente de datos
- Puede simular los recursos hídricos en **cualquier escala de tiempo**: a corto plazo, intra / inter-anual, decenal y más allá
- Desarrollado con una **arquitectura web**: se ejecuta desde un browser (web app); y no tiene restricciones de sistema operativo
- Fuente abierta (**open-source**): diseñado para ser impulsado por la comunidad, abriendo las puertas a un rico proceso de desarrollo y mejora

[roberto.castro@iica.int](mailto:roberto.castro@iica.int)

**LA DIGITALIZACIÓN DE SERVICIOS  
REQUIERE UNIVERSALIZAR  
LA INFRAESTRUCTURA DIGITAL Y  
CAPACITAR  
PARA EL USO DE SERVICIOS DIGITALES**

**IMPLEMENTAR CAMBIOS TECNOLÓGICOS  
EN LOS SERVICIOS IMPULSARÁ  
EL CRECIMIENTO ECONÓMICO  
BENEFICIANDO ESPECIALMENTE  
A LOS MÁS VULNERABLES**

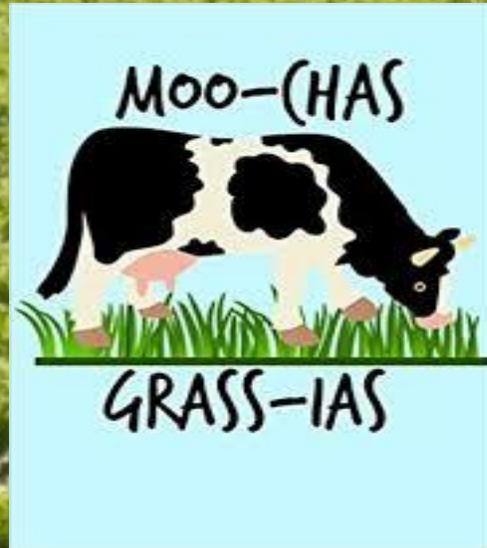
**EL CAMBIO CLIMÁTICO REQUIERE  
ACCIONES INMEDIATAS EN EL  
CAMPO DE LA INFRAESTRUCTURA**

**PARA UN MEJOR MAÑANA  
HAY QUE TOMAR DECISIONES HOY**

Los pilares de la agenda política pública

# SEMBRANDO LA AGRICULTURA DEL MAÑANA

water  
**ALLOC**



**ROBERTO CASTRO RIOS**  
**INGENIERO FORESTAL**  
**MASTER EN INGENIERÍA Y GESTION**  
**AMBIENTAL**  
**ESPECIALISTA EN MANEJO INTEGRADO**  
**DE CUENCAS**  
**PROFESIONAL REC.NATURALES Y CC. -**  
**IICA-CHILE**

**[roberto.castro@iica.int](mailto:roberto.castro@iica.int)**