

# Introducción a las aplicaciones de trazadores en Hidrología

Christian Birkel

Escuela de Geografía,  
Universidad de Costa Rica

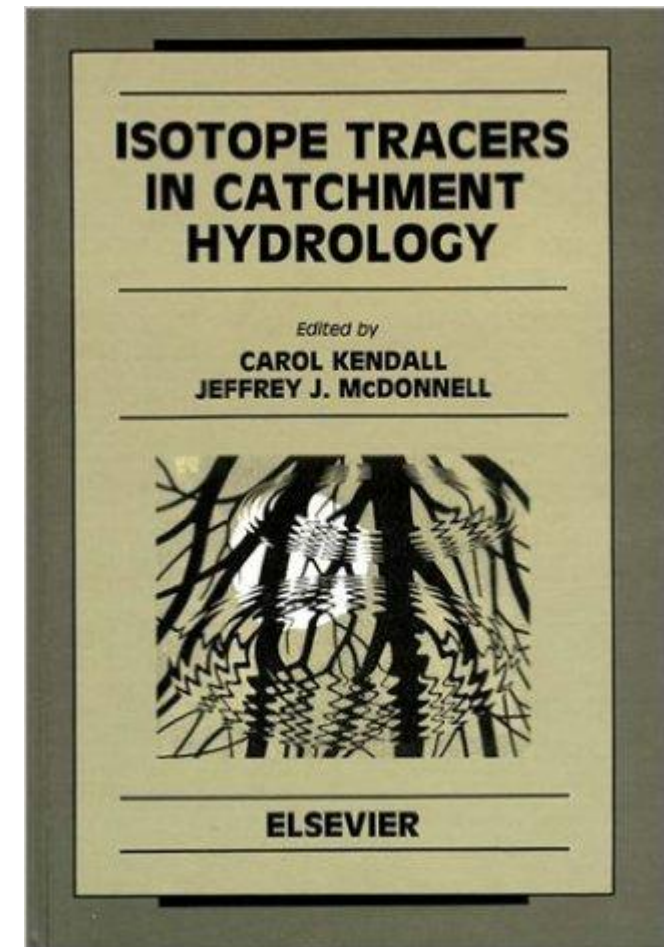
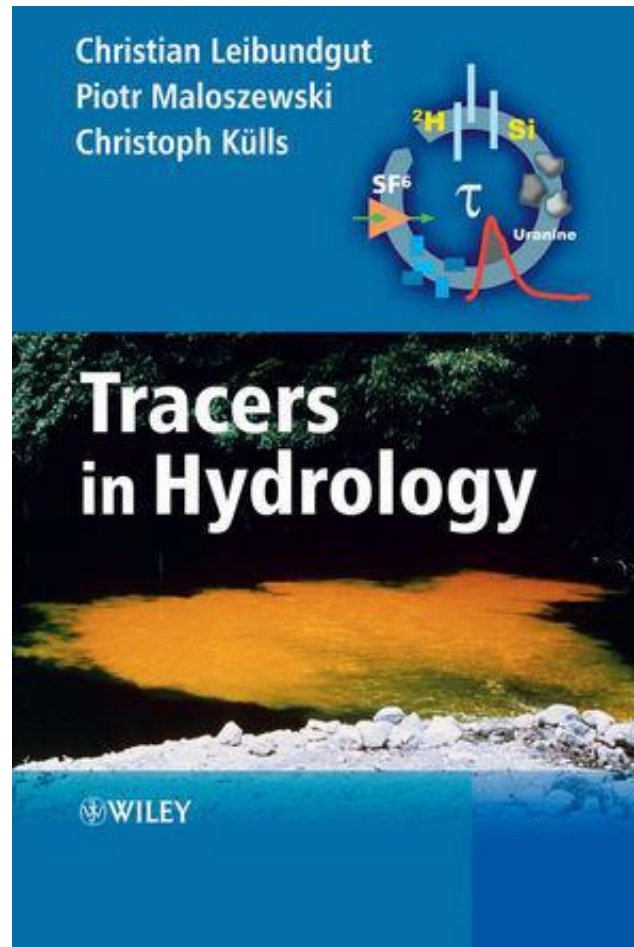
**SIMPOSIO Y CAPACITACIÓN PROFESIONAL**

‘Hidrología Andina para el manejo de los recursos hídricos:  
conceptos y herramientas’  
Viernes 20 noviembre 2016,  
Santiago de Chile.

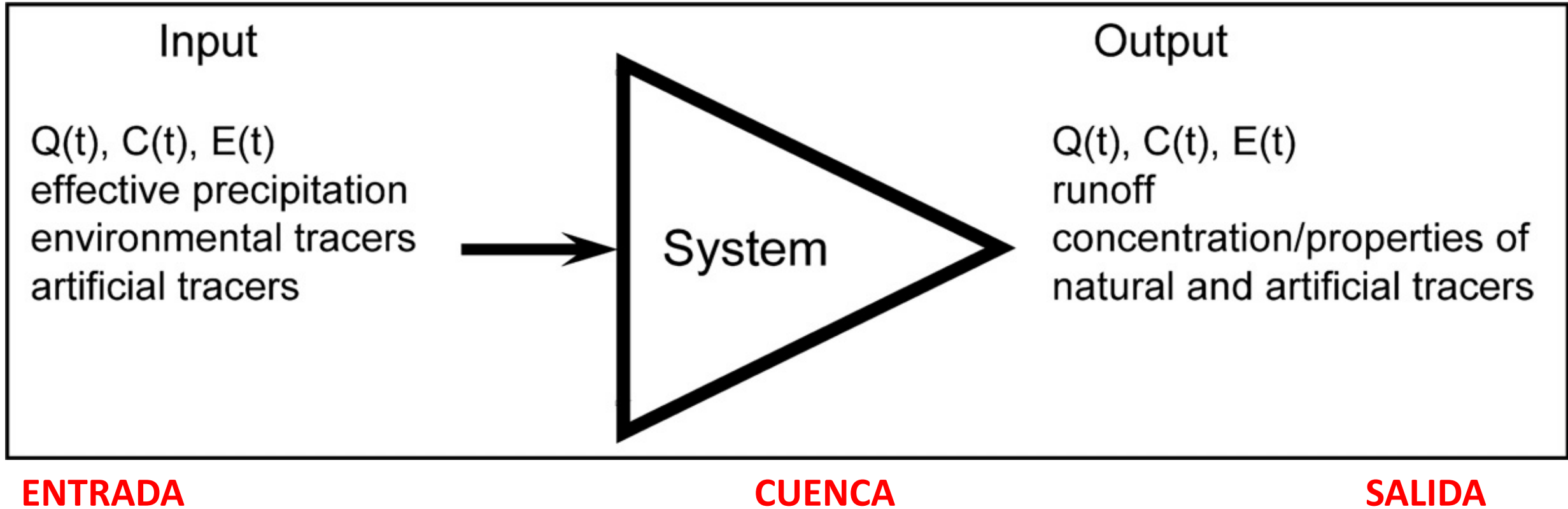


# CONTENIDO

1. Definición y características de un trazador
2. Tipos de trazadores
3. Aplicaciones en Hidrología



# Concepto sistemático:





# 1. Definición de un trazador

*“In nature tracers are widely used as markers, such as wildlife marking their territory or ants using pheromones for marking itineraries.”  
(West et al., 2008)*

Propiedades principales:

- Trazadores llevan información única.
- Detectable a concentraciones muy bajas ( $10^{-15}$ ).



# 1. Definición de un trazador

En Hidrología se usa para:

- Medir caudal (método de dilución)
- identificar fuentes de agua, zonas de recarga
- flujos de agua / mecanismos de generación de escorrentía
- la cantidad de agua almacenada por reservorio o el total de la cuenca
- tiempo de transito / edad del agua
- evaluar modelos / hipótesis
- evaluar impactos antropogénicos

## 1. Características de un trazador

|     |                                                    |                   |
|-----|----------------------------------------------------|-------------------|
| 1.  | Solubility                                         | efficient         |
| 2.  | Detection limit and fluorescence intensity (yield) |                   |
| 3.  | Sorptivity and sorption behaviour                  | conservative      |
| 4.  | chemical and biological stability                  |                   |
| 5.  | Sensitivity to light                               |                   |
| 6.  | pH-dependence                                      |                   |
| 7.  | Temperature dependency of fluorescence             | stable            |
| 8.  | Stability in sample bottles                        |                   |
| 9.  | Toxicity and environmental impact                  | environmental     |
| 10. | Costs                                              | friendly<br>cheap |

## 2. Tipos de trazadores

| Environmental tracers                                                       | Artificial tracers                                |                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                                                                             | Solute tracers                                    | Dissolved gas tracers                 |
| <b>Stable isotopes</b>                                                      | <b>Fluorescence tracers</b>                       | Helium                                |
| Deuterium ( $^2\text{H}$ )                                                  | Naphtionate                                       | Neon                                  |
| Oxygen-18 ( $^{18}\text{O}$ )                                               | Pyranine                                          | Krypton                               |
| Carbon-13 ( $^{13}\text{C}$ )                                               | Uranine                                           | Sulfur hexafluoride ( $\text{SF}_6$ ) |
| Nitrogen-15 ( $^{15}\text{N}$ )                                             | Eosine                                            |                                       |
| Sulphur-34 ( $^{34}\text{S}$ )                                              | Rhodamines                                        |                                       |
| <b>Radioactive isotopes</b>                                                 | <b>Non fluorescent dyes</b>                       | <b>Particulate tracers</b>            |
| Tritium ( $^3\text{H}$ ) (and Helium-3 ( $^3\text{He}$ ))                   | e.g. Brilliant Blue                               | Lycopodium spores                     |
| Carbon-14 ( $^{14}\text{C}$ )                                               | <b>Salts</b>                                      | Bacteria                              |
| Argon-39 ( $^{39}\text{Ar}$ )                                               | Sodium/potassium chloride                         | Viruses                               |
| Krypton-85 ( $^{85}\text{Kr}$ )                                             | Sodium/potassium bromide                          | Phages                                |
| Radon-222 ( $^{222}\text{Rn}$ )                                             | Lithium chloride                                  | DNA                                   |
| Radium-226 ( $^{226}\text{Ra}$ )                                            | Potassium iodide                                  | Synthetic microspheres                |
| Silicium-32 ( $^{32}\text{Si}$ )                                            | Sodium borate (borax)                             | Phytoplankton                         |
| Chlorine-36 ( $^{36}\text{Cl}$ )                                            | <b>Fluorobenzoic acids</b>                        |                                       |
| <b>Noble gases</b>                                                          | <b>Deuterated Water (<math>^2\text{H}</math>)</b> |                                       |
| <b>Geochemical compounds</b>                                                | <b>Radionuclides</b>                              |                                       |
| e.g. Silicate, chloride, heavy metals                                       | e.g. Tritium                                      |                                       |
| <b>Physio-chemical parameters</b>                                           | Bromide-82 ( $^{82}\text{Br}$ )                   |                                       |
| e.g. Electrical conductivity, Temperature                                   |                                                   |                                       |
| <b>Pollution Tracers</b>                                                    |                                                   |                                       |
| e.g. CFCs, $\text{SF}_6$ , phosphate, boron, nitrate, radioactive compounds |                                                   |                                       |



### 3. Aplicaciones en Hidrología (p.e. separación de componentes del hidrograma) a través de la construcción de balances de masa

Usando cualquier trazador:

$$Q_M = Q_1 + Q_2 \quad \text{and} \\ c_M Q_M = c_1 Q_1 + c_2 Q_2$$

by rearranging, we get:

$$Q_1 = Q_M * \frac{c_M - c_1}{c_1 - c_2} \quad \text{and} \quad Q_2 = Q_M - Q_1$$

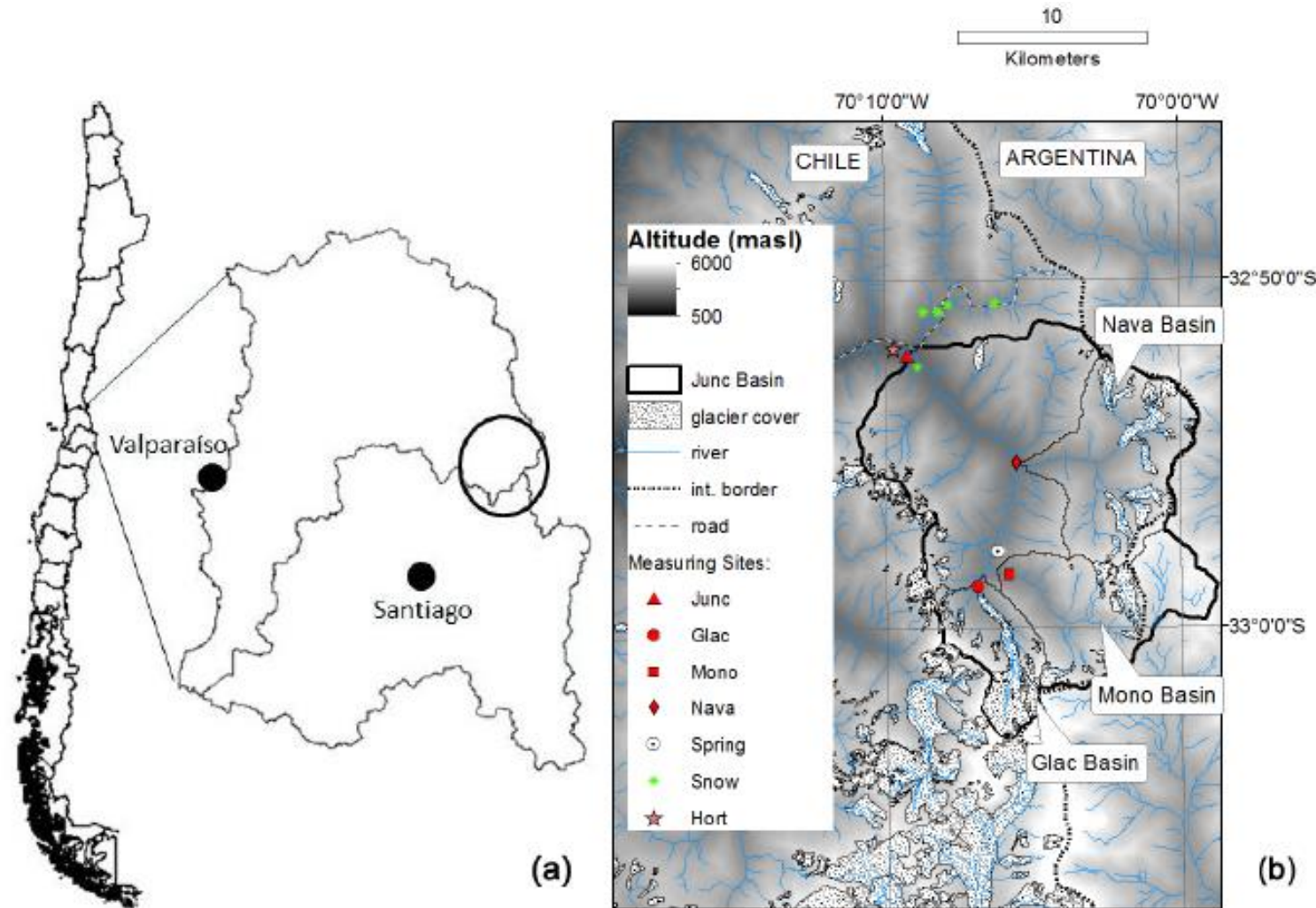
**Trazador geoquímico:** Fuente geográfica de agua como agua subterránea, agua del suelo, etc.

**Trazador isotópico:** Agua generada durante el evento por medio de precipitación (“agua nueva”) versus el agua que ya estaba almacenada en la Cuenca desde antes de la tormenta (“agua tipo pre-evento”)



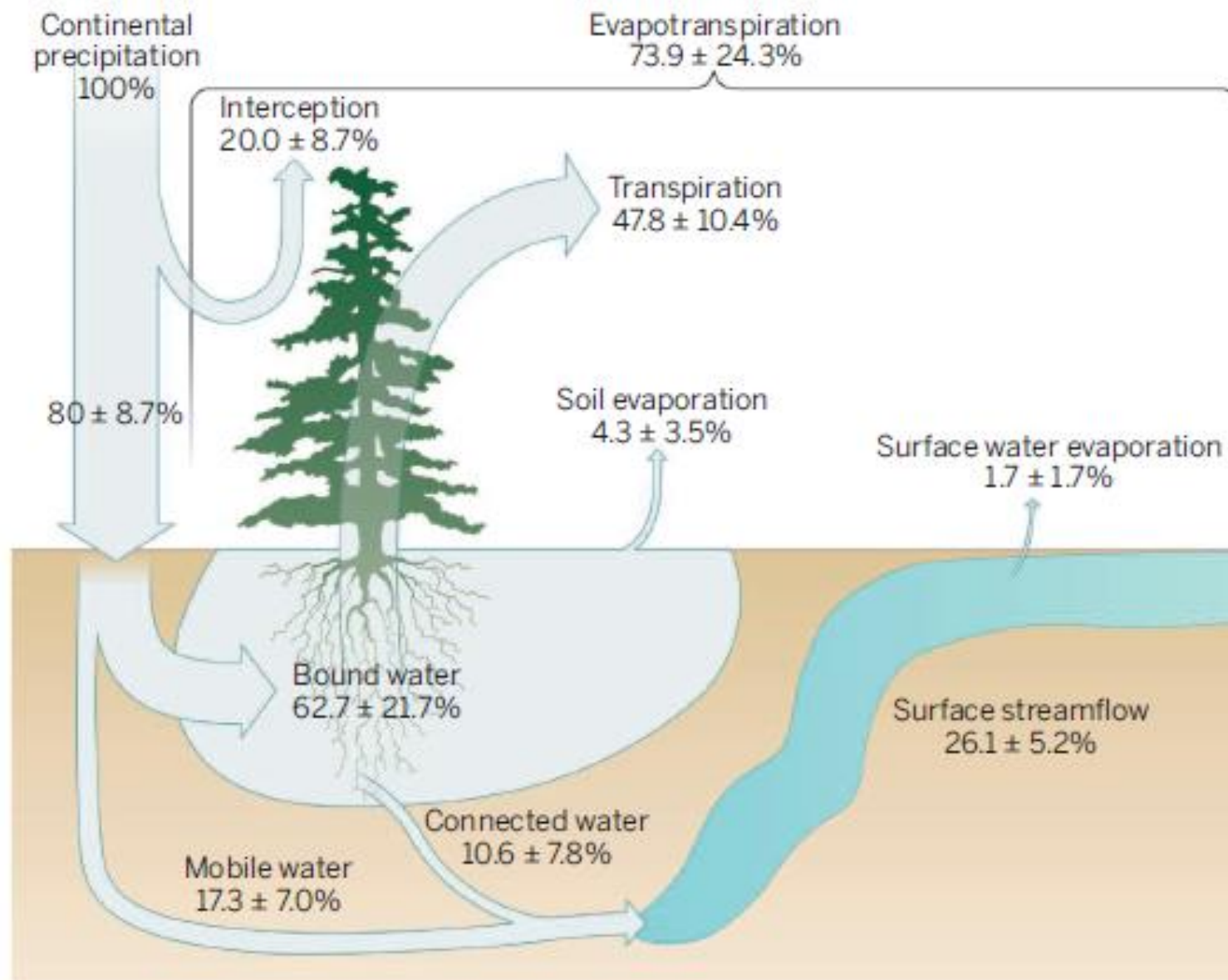
### 3. Aplicaciones en Hidrología (p.e. separación de componentes del hidrograma) a través de la construcción de balances de masa

Ohlanders et al. (2013) encontraron una contribución de aguas de origen glacial de entre 50 hasta 90% al caudal total durante la temporada de deshielo en un año seco.



### 3. Aplicaciones en Hidrología

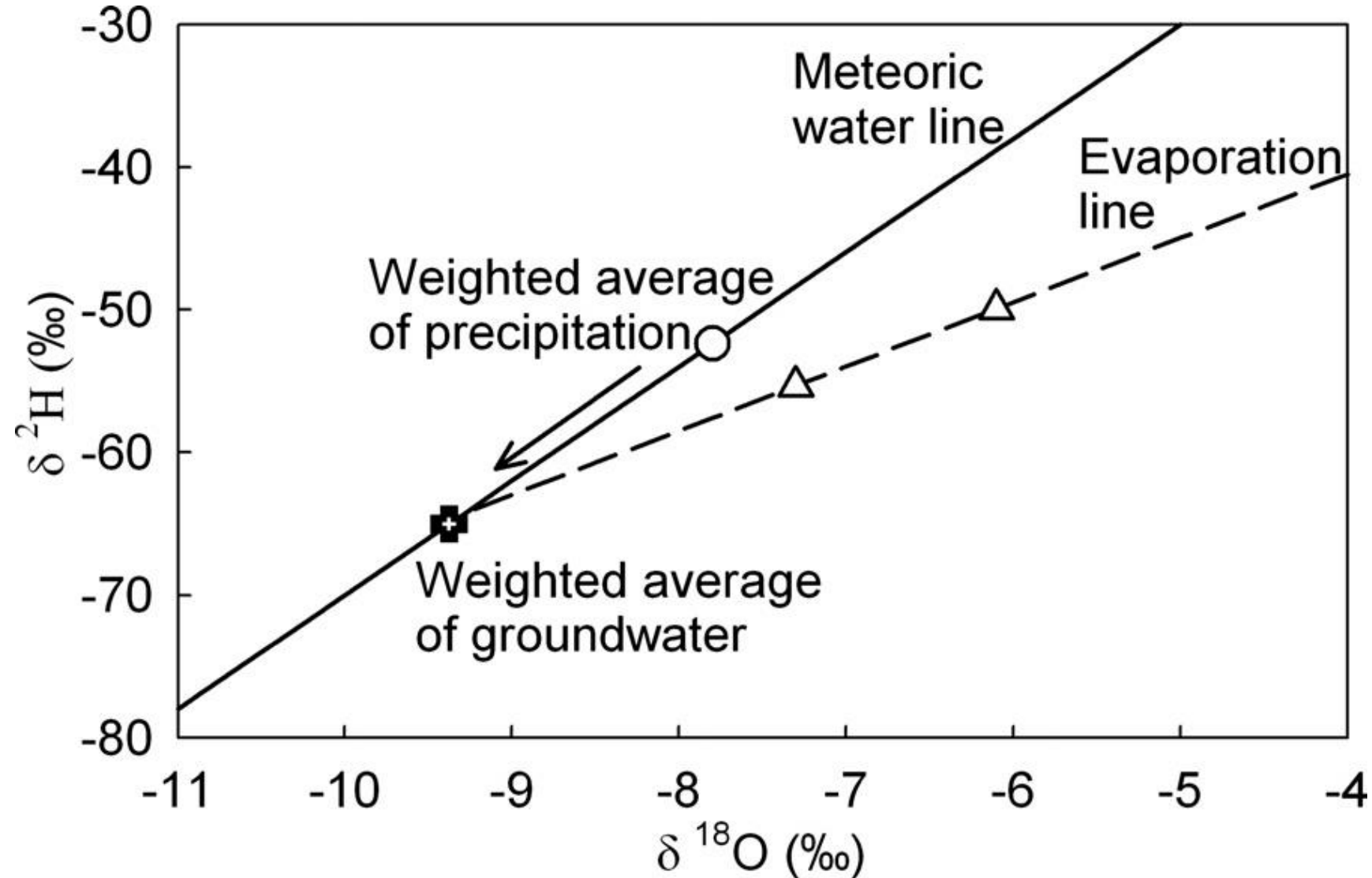
(separar y cuantificar componentes del ciclo hidrológico usando isotopos estables)



Brooks et al. (2015),  
Science

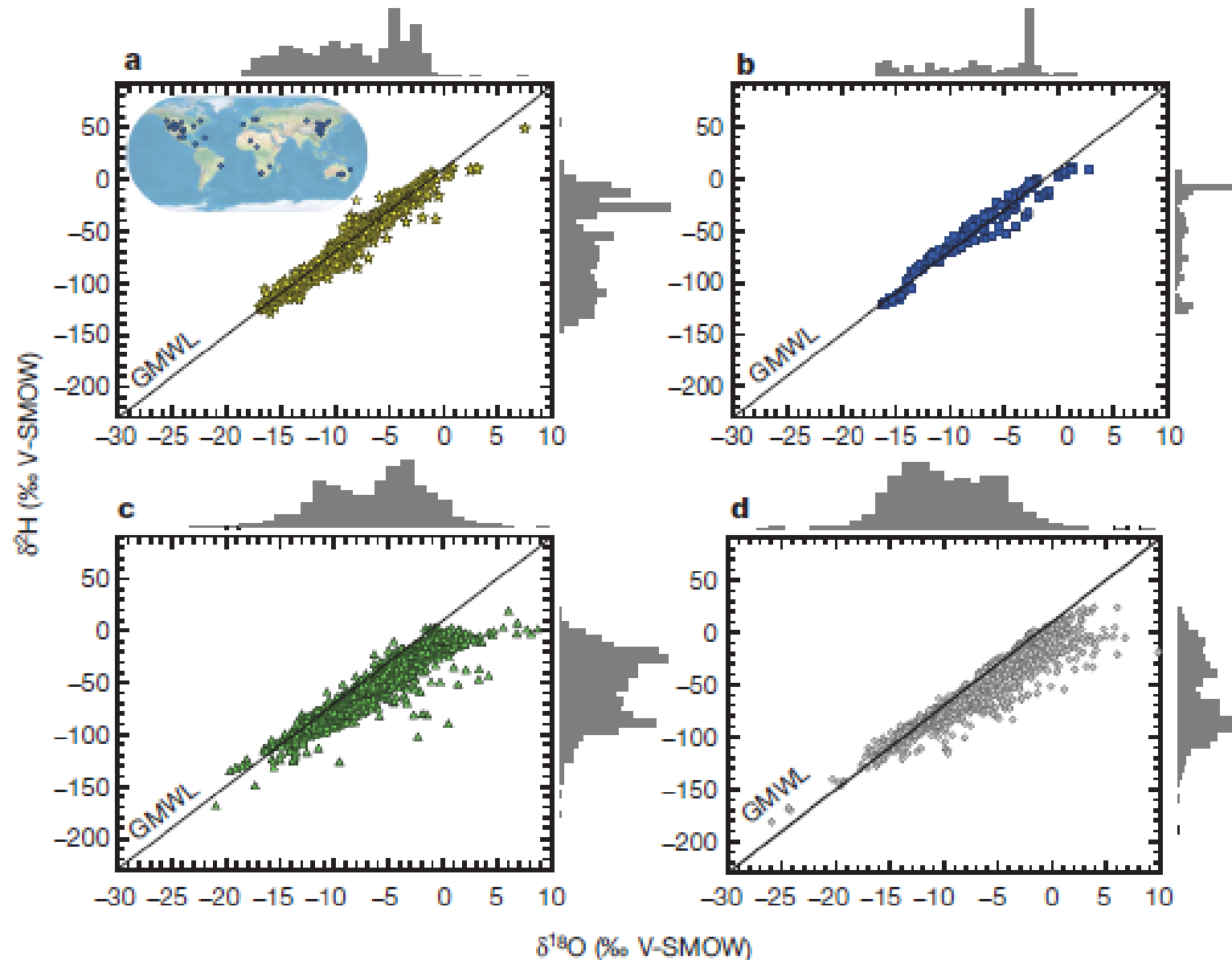
### 3. Aplicaciones en Hidrología

(separar componentes del ciclo hidrológico y flujos de agua usando isotopos estables)



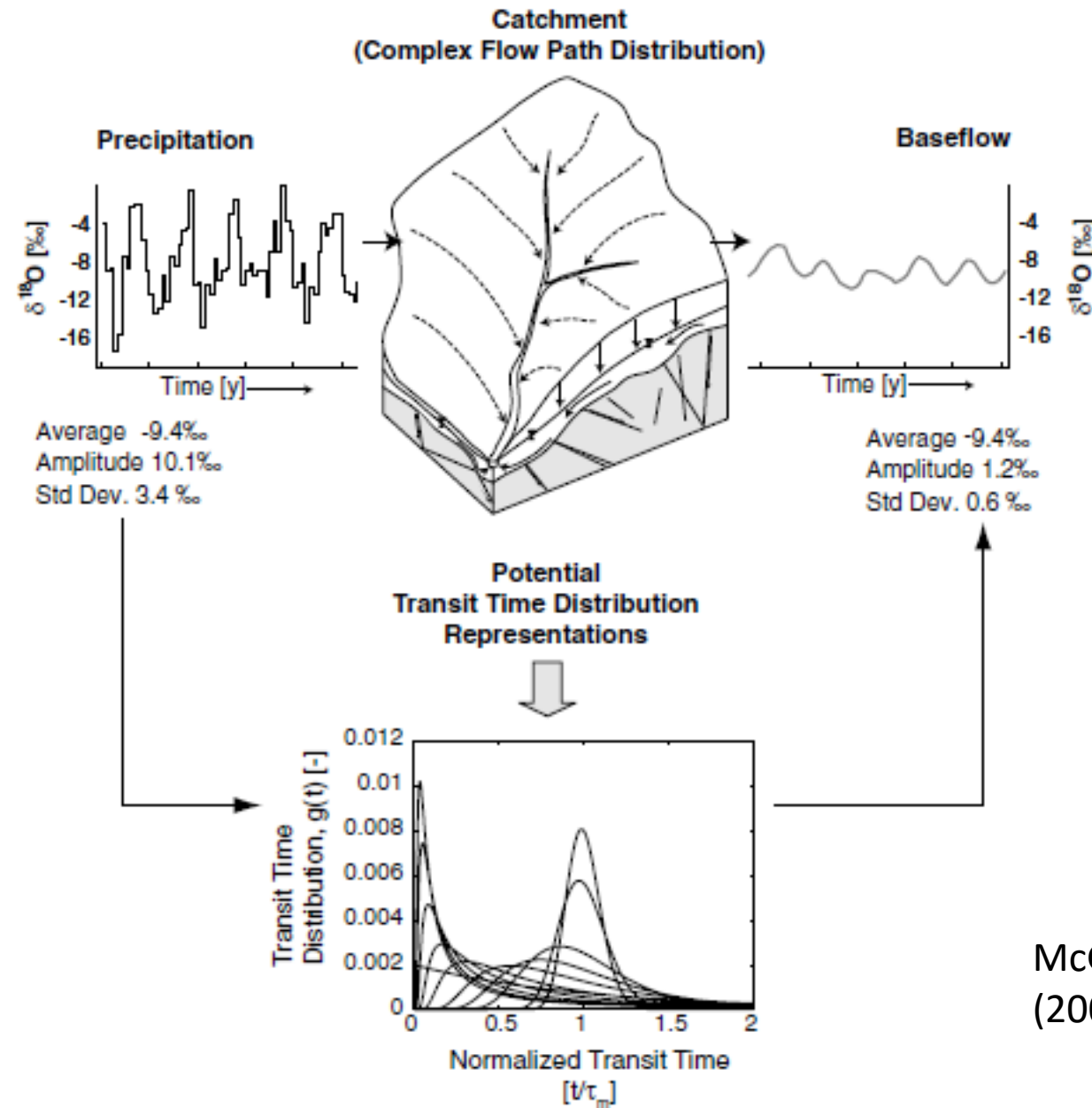


### 3. Aplicaciones en Hidrología (separar componentes del ciclo hidrológico y flujos de agua usando isotopos estables)



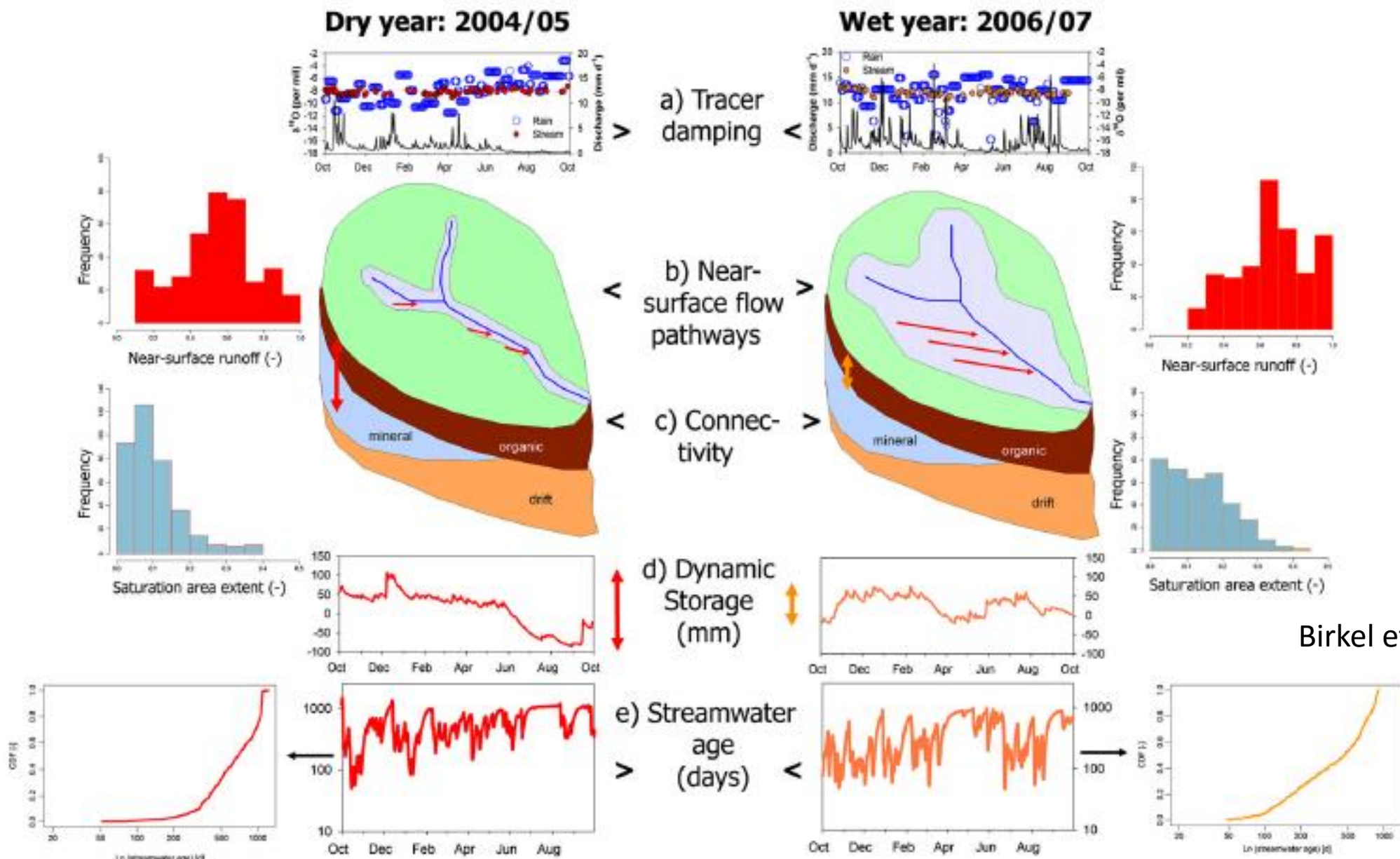
Evaristo et al. (2015),  
Nature

### 3. Aplicaciones en Hidrología (flujos de agua y tiempo de transito)



McGuire & McDonnell  
(2006), JoH

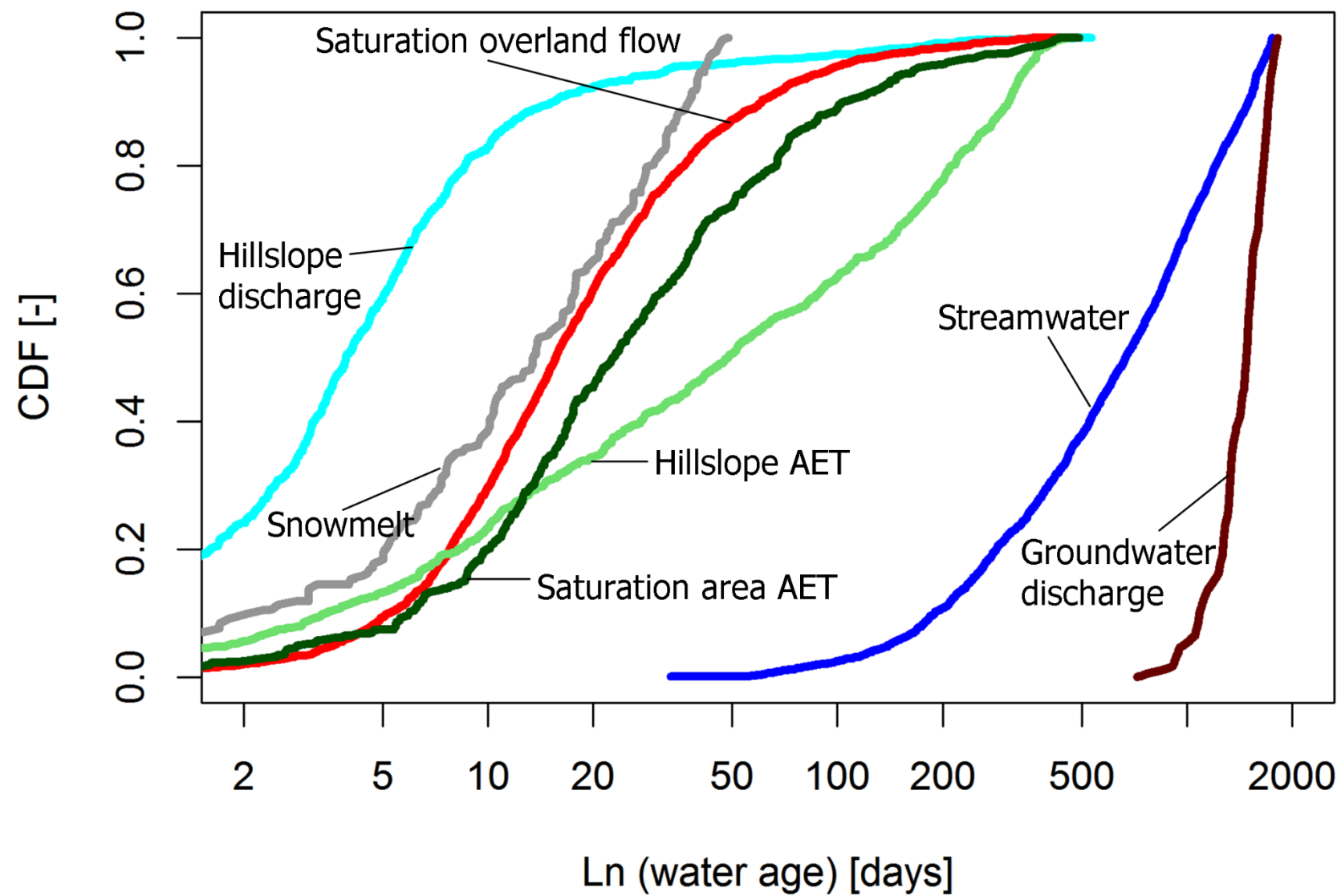
### 3. Aplicaciones en Hidrología (flujos de agua, conectividad y tiempo de transito)



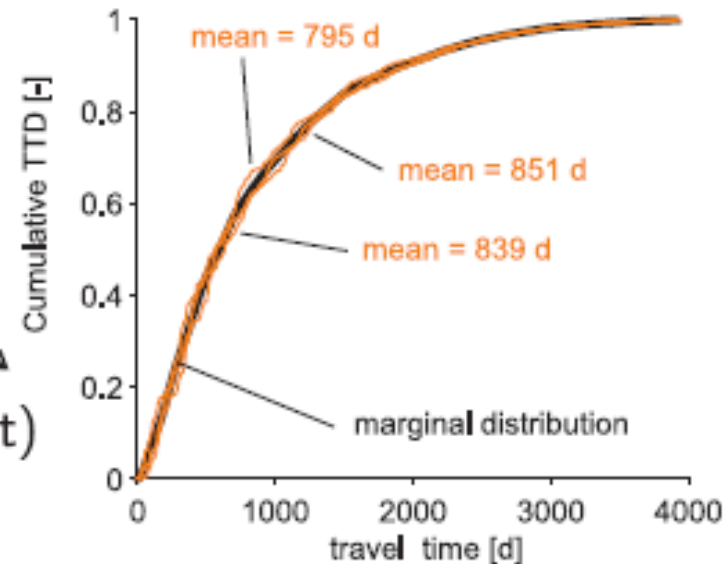
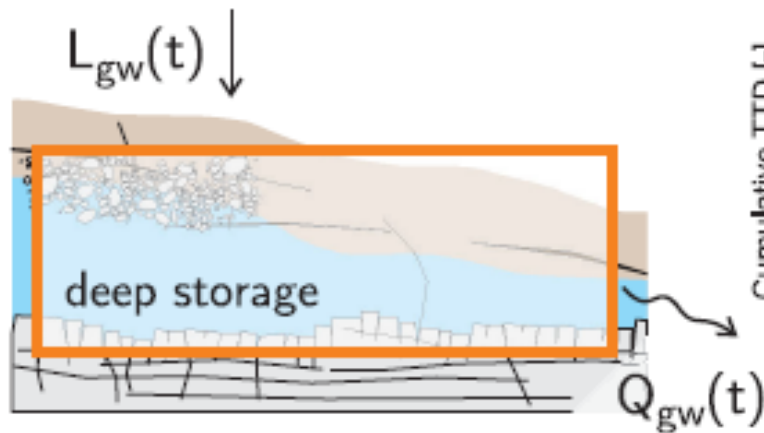
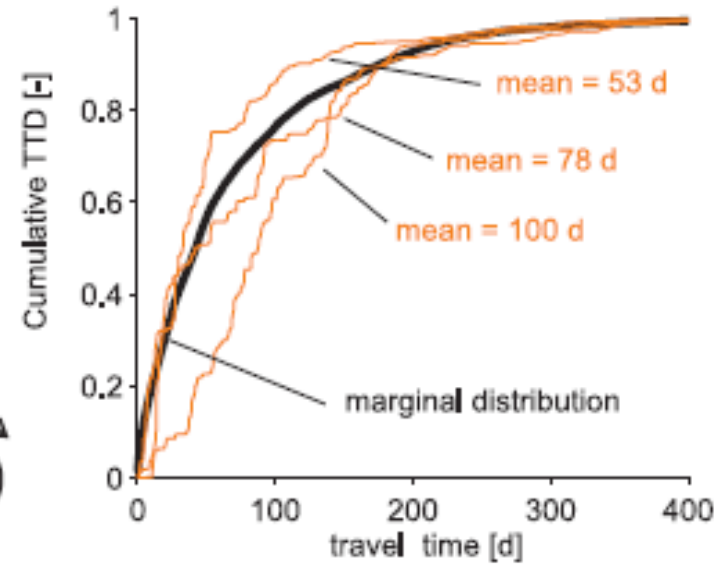
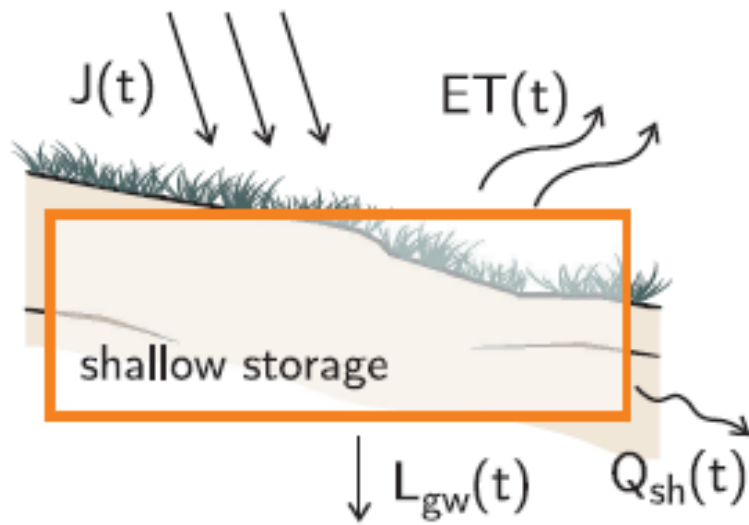
Birkel et al. (2015), HYP



### 3. Aplicaciones en Hidrología (flujos de agua y tiempo de transito)



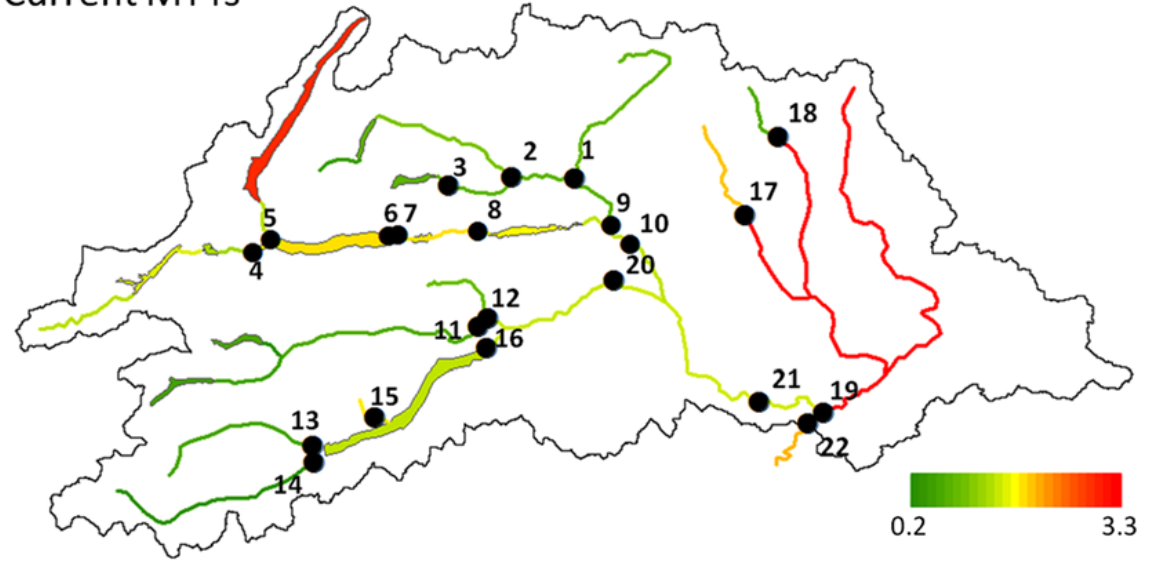
### 3. Aplicaciones en Hidrología (flujos de agua y tiempo de transito/permanencia)



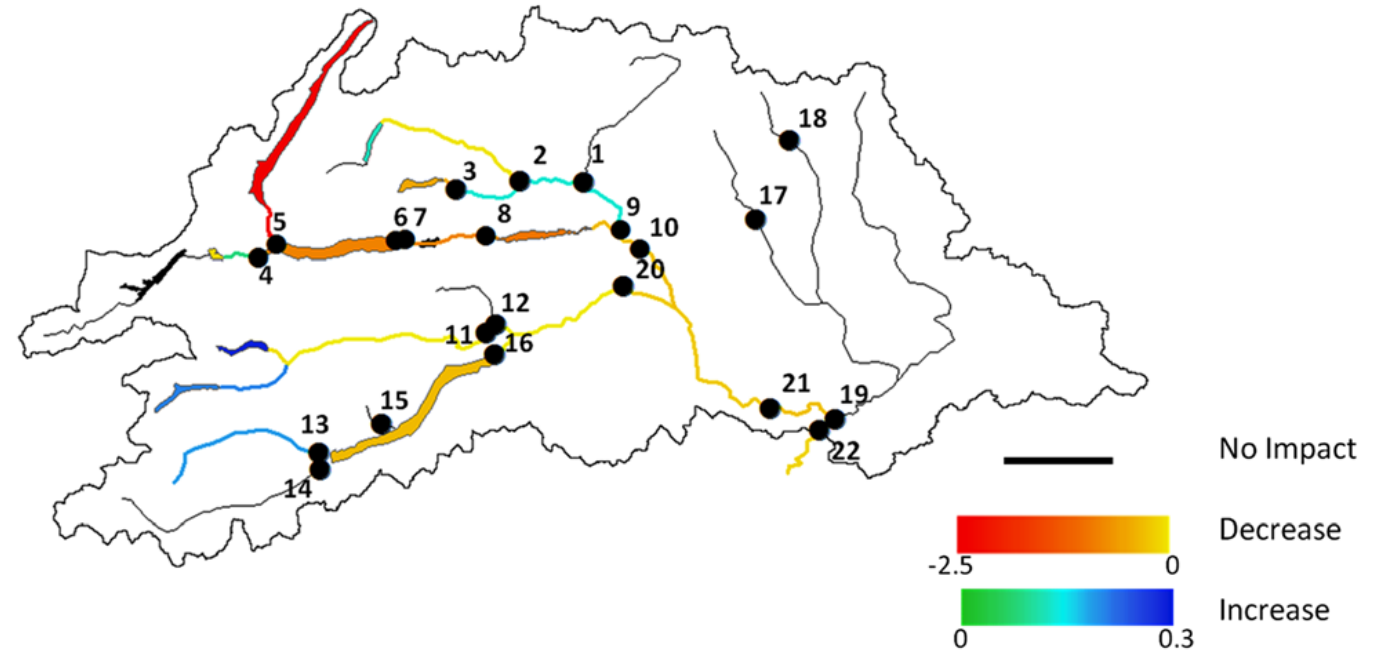
Benettin et al. (2015),  
WRR

### 3. Aplicaciones en Hidrología (impacto de infraestructura fluvial)

(a) Current MTTs

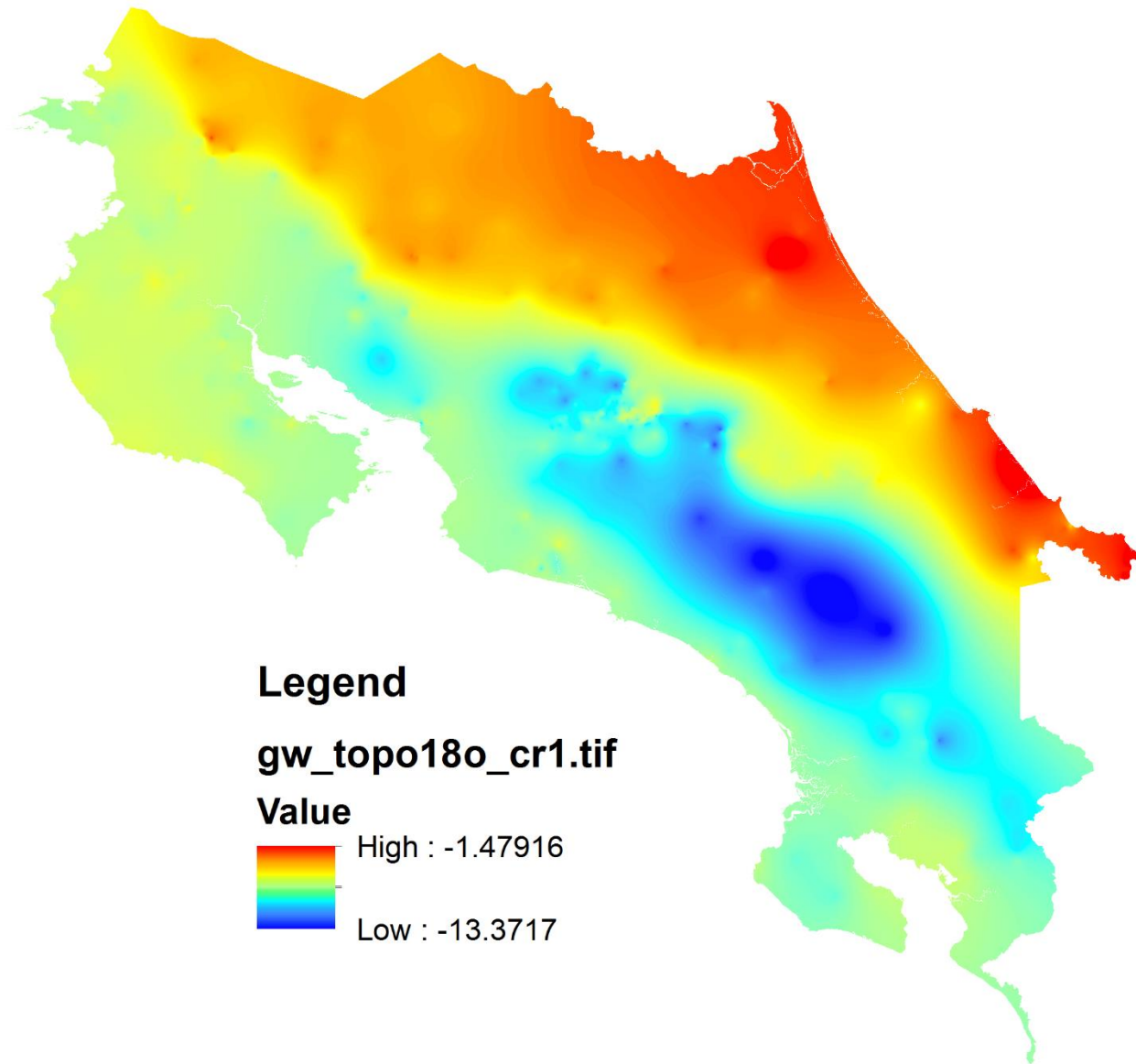


(b) Regulation Impacts on MTTs



Soulsby et al. (2013),  
RRA

### 3. Aplicaciones en Hidrología (concepto “isoscapes”)





Muchas gracias!