



**El ambiente  
es de todos**

**Minambiente**



El ambiente  
es de todos

Minambiente

# Metodología para la estimación del caudal ambiental en Colombia

Bogotá D.C., 19 de marzo de 2019



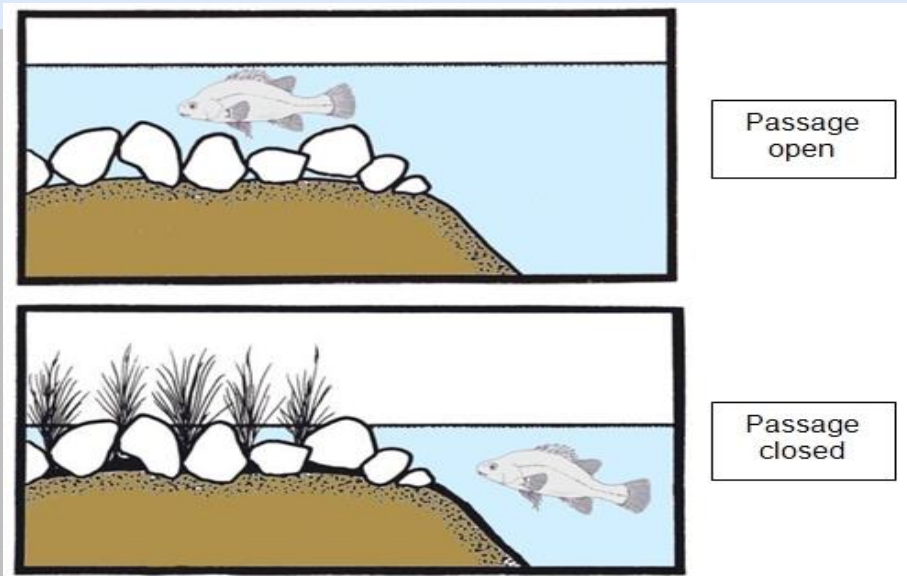


El ambiente  
es de todos

Minambiente

# Enfoque Conceptual





- El **caudal ecológico** es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua (concepto asociado exclusivamente al **funcionamiento ecológico**).
- El **caudal ambiental**, además del **sostenimiento del ecosistema acuático**, incorpora en su definición la subsistencia y el bienestar de las personas que dependen de tales ecosistemas (incorpora la provisión de **servicios ecosistémicos** y, por lo tanto, una **dimensión social**).

Estimación del caudal ambiental para la gestión integral del recurso hídrico → Planificación ambiental territorial



## Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

(D. 3930/10 – D1076/15)

*Volumen de agua necesario en términos de **calidad**, **cantidad**, **duración** y **estacionalidad** para el **sostenimiento de los ecosistemas acuáticos** y para el **desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios** aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas*

SOLO SERVICIO  
ECOSISTÉMICO DE  
APROVISIONAMIENTO

## Declaración de Brisbane del año 2007

*Los caudales ambientales son los **flujos de agua**, el **momento de aplicación** y la **calidad** del agua precisos para **mantener los ecosistemas de agua dulce** y estuarinos, así como los **medios de subsistencia y bienestar de las personas** que dependen de tales ecosistemas”.*

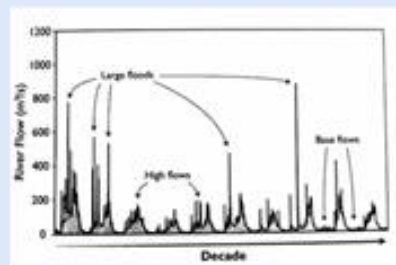
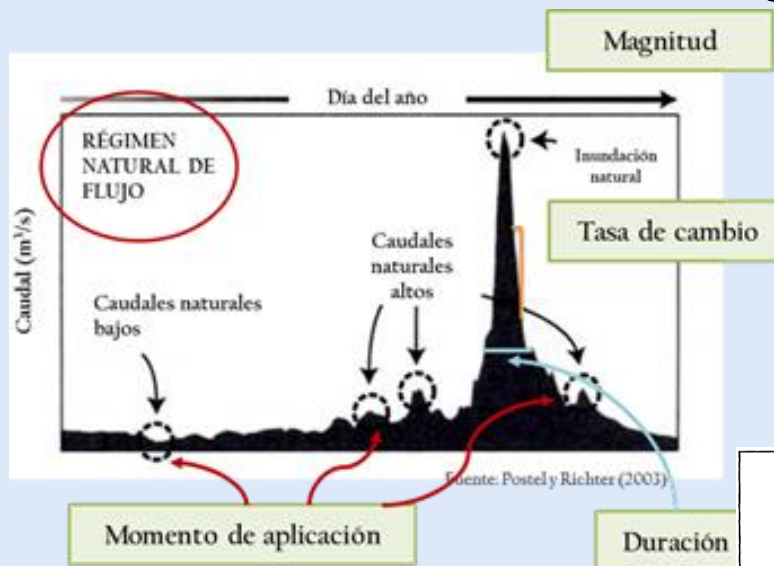
TODOS LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
(SOPORTE, REGULACIÓN, APROVISIONAMIENTO, CULTURALES)

## Decreto 050 de 2018

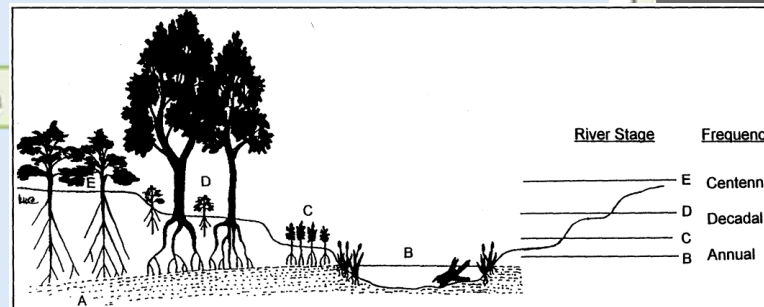
*“Volumen de agua por unidad de tiempo, en términos de **régimen** y **calidad**, requerido para mantener el **funcionamiento y resiliencia** de los **ecosistemas acuáticos** y su **provisión de servicios ecosistémicos**”.*



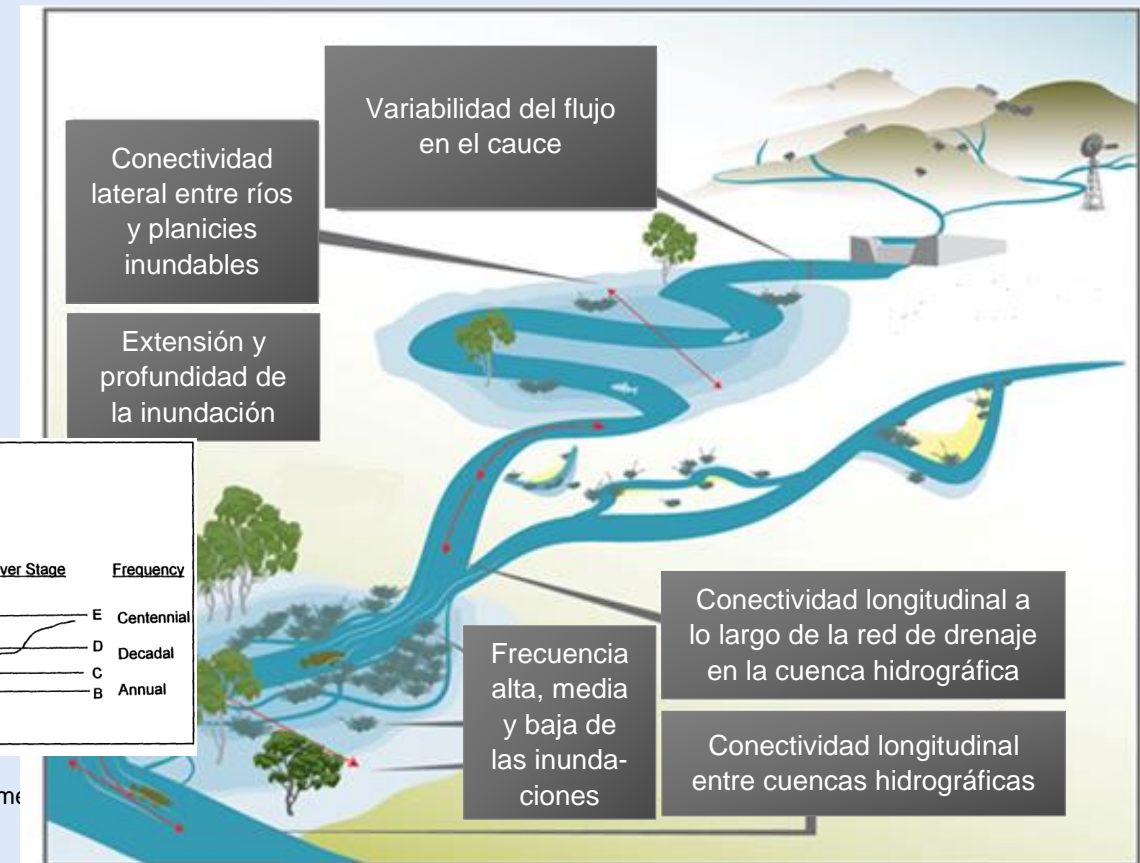
El régimen natural de flujo puede ser considerado como la "variable maestra" que limita la distribución y abundancia de especies y regula la integridad ecológica en los sistemas fluviales



Frecuencia

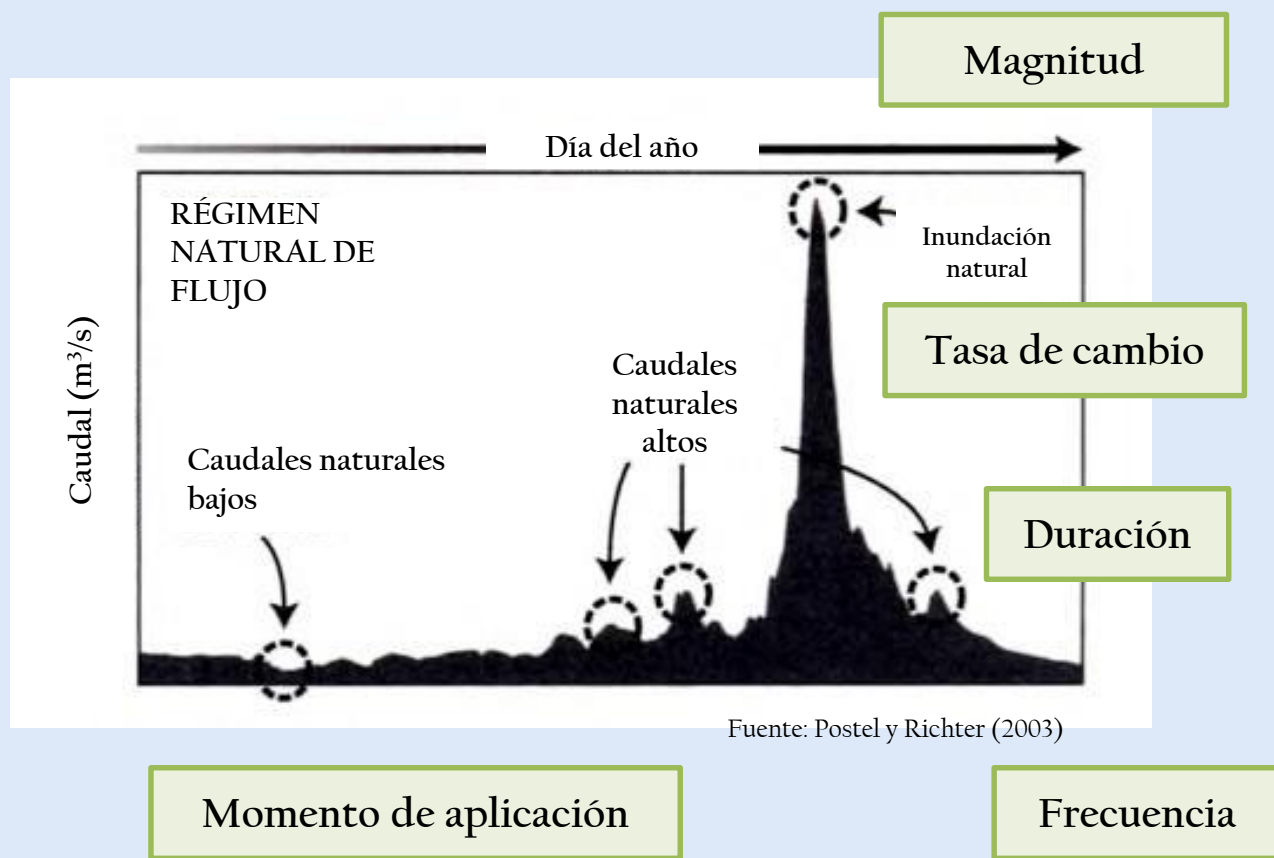


Poff et al. (1997) : The natural flow regime



Adaptado desde <http://www.mdba.gov.au/>.

El caudal ambiental es el volumen de agua por unidad de tiempo en términos de **calidad y régimen hidrológico** requerido para mantener la **funcionalidad y resiliencia de los ecosistemas acuáticos continentales** y su **provisión de servicios ecosistémicos**.



TODO EL RÉGIMEN DE CAUDALES  
IMPORTA

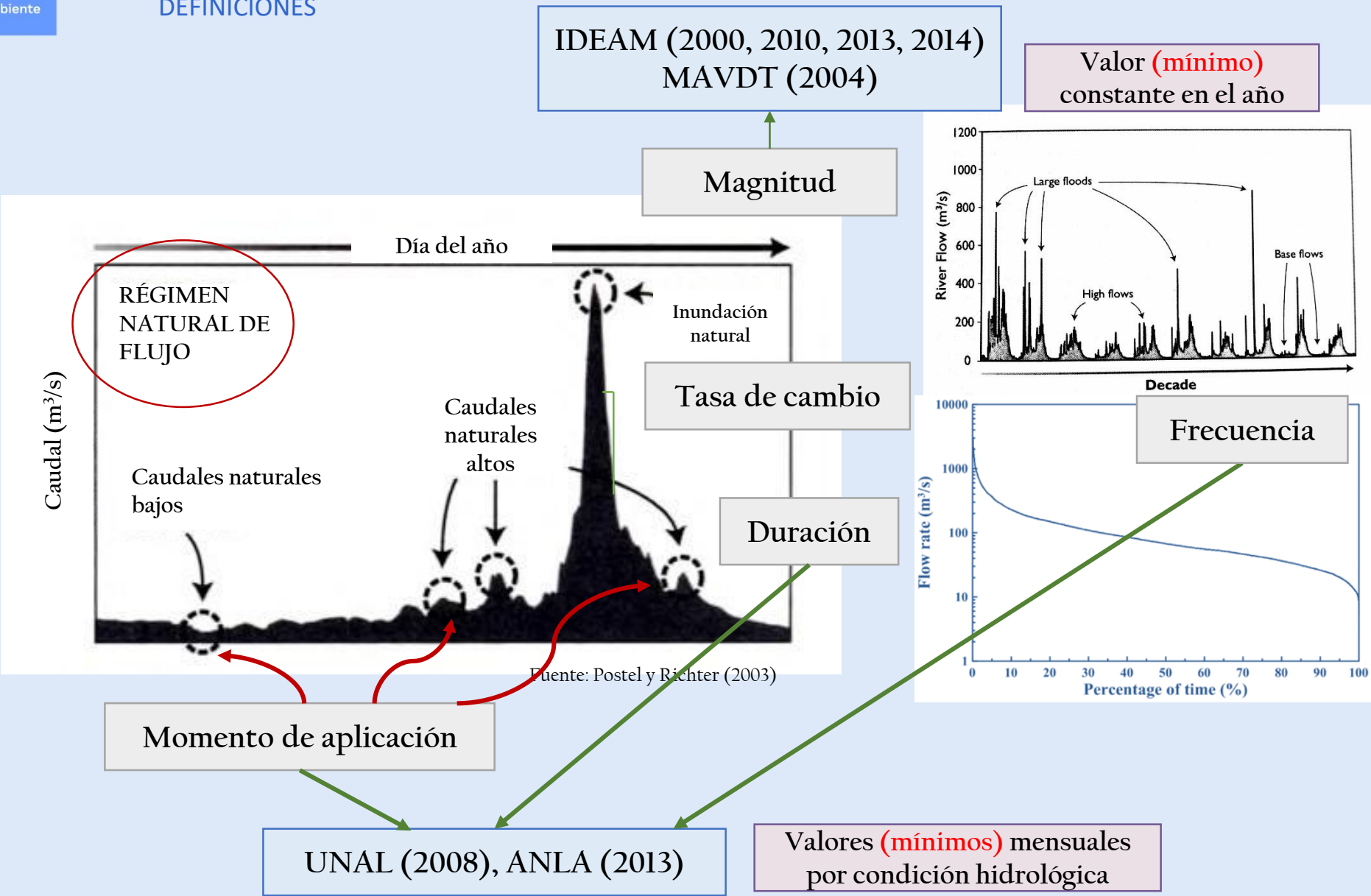
El caudal ambiental NO ES un valor mínimo  
ni constante en un mes o un año

Tampoco es una proporción fija del caudal  
medio de una corriente de agua

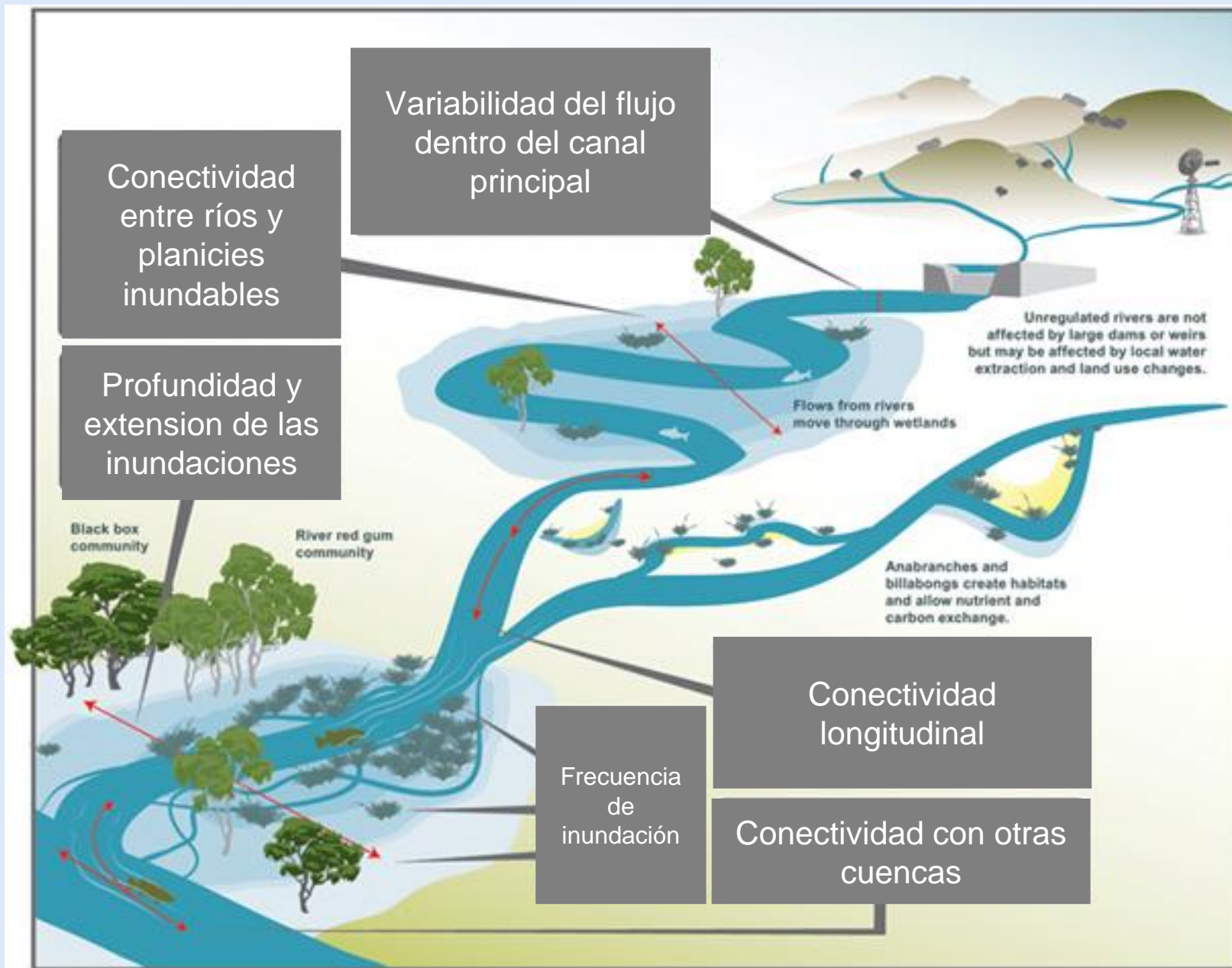




DEFINICIONES









## DEFINICIONES

¡TODO EL RÉGIMEN DE CAUDALES IMPORTA!

Extremos altos

Altos

Medios

Bajos

Extremos bajos

El caudal ambiental **no es un valor mínimo** ni tampoco un régimen de caudales mínimos

Garantizar el caudal ambiental es apenas una parte...

Sedimentos

Nutrientes

Carbono

Áreas de conservación y protección ambiental

Áreas SINAP

Áreas Complementarias

Áreas de Importancia ambiental

Áreas con reglamentación especial

Áreas de amenazas naturales

¿Para qué importa?

Objetivos ecológicos en la cuenca

Proteger la biodiversidad

Mantener los servicios ecosistémicos

Ciclo hidrológico

Estructura y funcionamiento de los ecosistemas

Bienestar humano





El ambiente  
es de todos

Minambiente

# Marco Metodológico





El ambiente  
es de todos

Minambiente

# Estimación de caudales ambientales a escala regional (autoridades ambientales)



## Criterios de priorización

### Criterios relacionados con instrumentos de gestión ambiental (C1)

- Cuerpos de agua priorizados desde un POMCA adoptado o en proceso de formulación
- PORH adoptados o en formulación
- Cuerpos de agua priorizados para el acotamiento de la ronda hídrica
- Cuerpos de agua con reglamentación del uso de las aguas
- Humedales priorizados para formulación de su Plan de Manejo
- Cuerpos de agua en el marco de distinciones internacionales (RAMSAR, AICAS, reservas de biosfera)
- Cuerpos de agua en áreas de influencia de proyectos de desarrollo económico de interés nacional o con alto impacto sobre régimen o rondas hídricas (contemplados a futuro)
- Cuerpos de agua priorizados para su restauración

### Criterios relacionados con servicios ecosistémicos de soporte o regulación (C2)

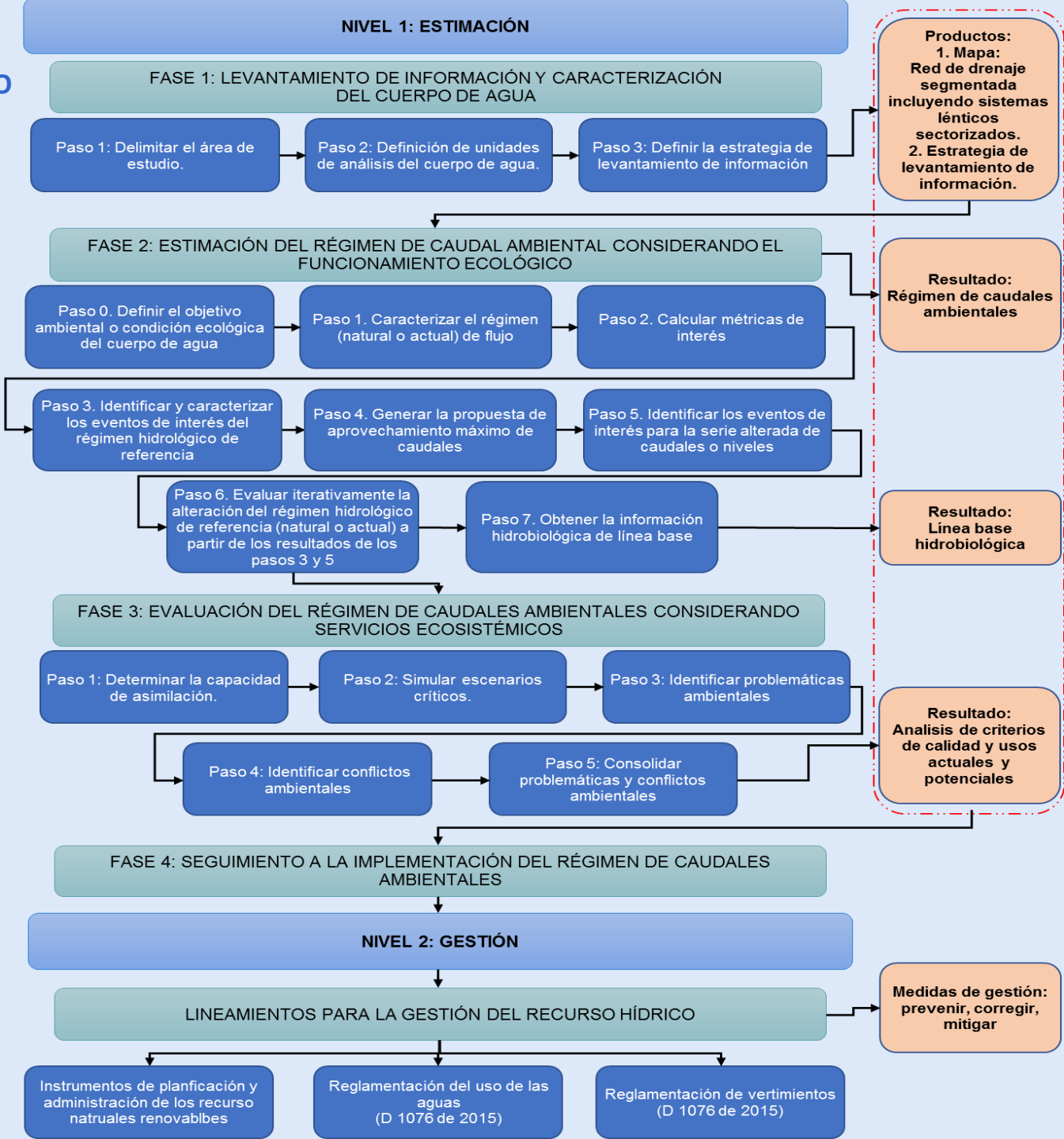
- Existencia de biota nativa o endémica
- Presencia de especies migratorias
- Presencia de fauna o flora en alguna categoría de amenaza
- Caudal ambiental en cuerpos de agua en áreas protegidas

### Criterios relacionados con cuerpos de agua y servicios ecosistémicos de aprovisionamiento y culturales (C3)

- Caudal ambiental con requerimientos culturales
- Cuerpos de agua de acuerdo con su grado de presión por cantidad
- Cuerpos de agua con régimen alterado de flujo
- Cuerpos de agua de acuerdo con su grado de presión por calidad



# MARCO METODOLÓGICO



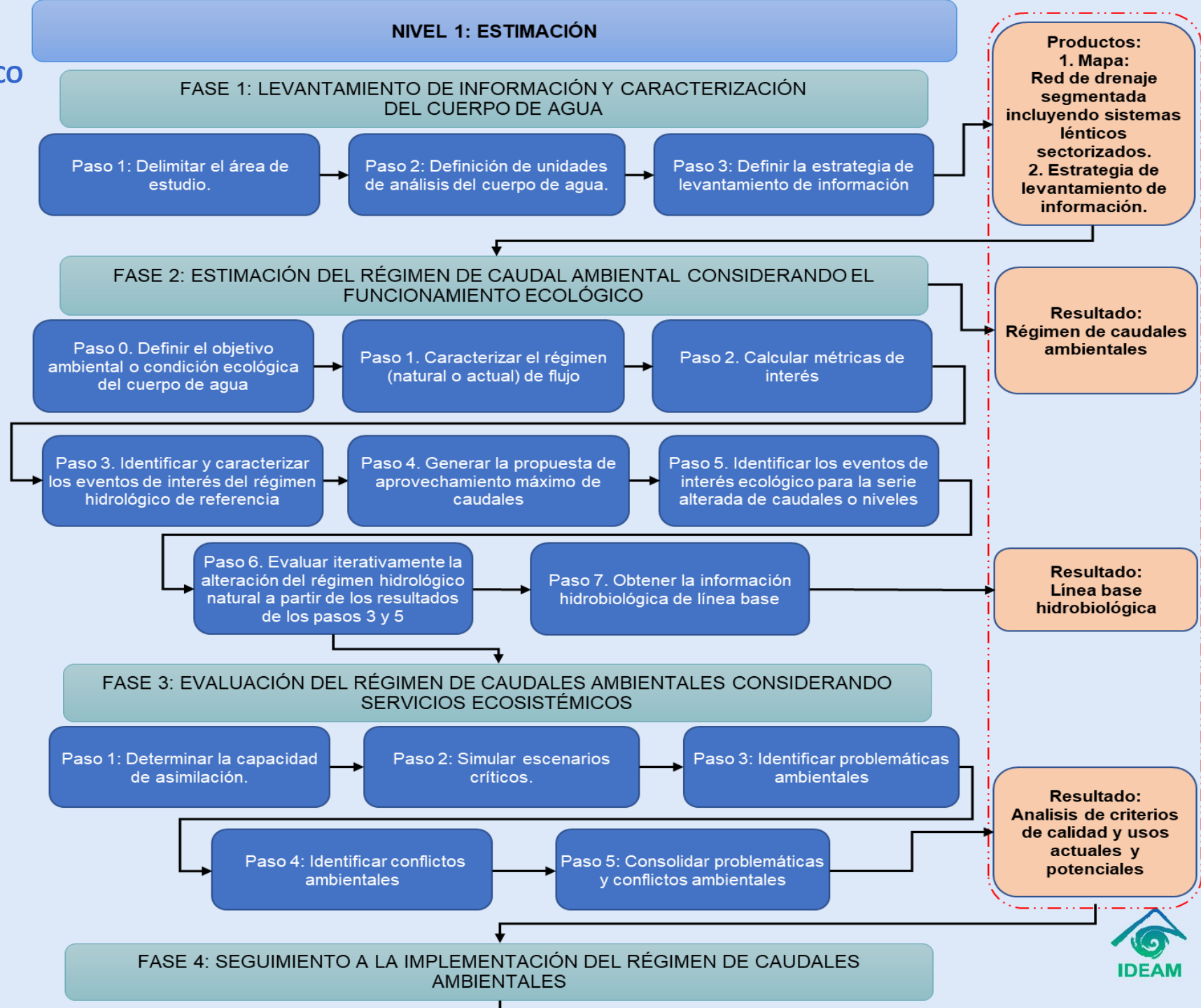
Condición  
ecológica  
deseada

Clasificación  
geomorfológica





## MARCO METODOLÓGICO





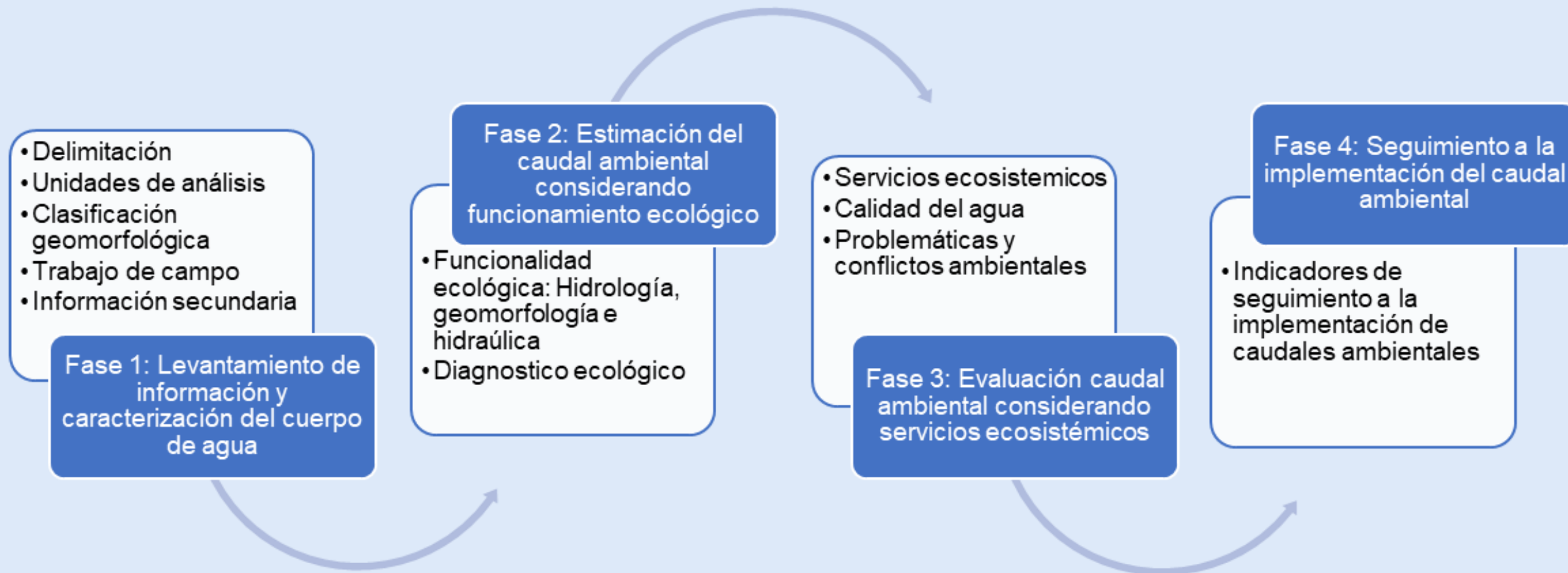
El ambiente  
es de todos

Minambiente

# Nivel 1: Estimación del caudal ambiental

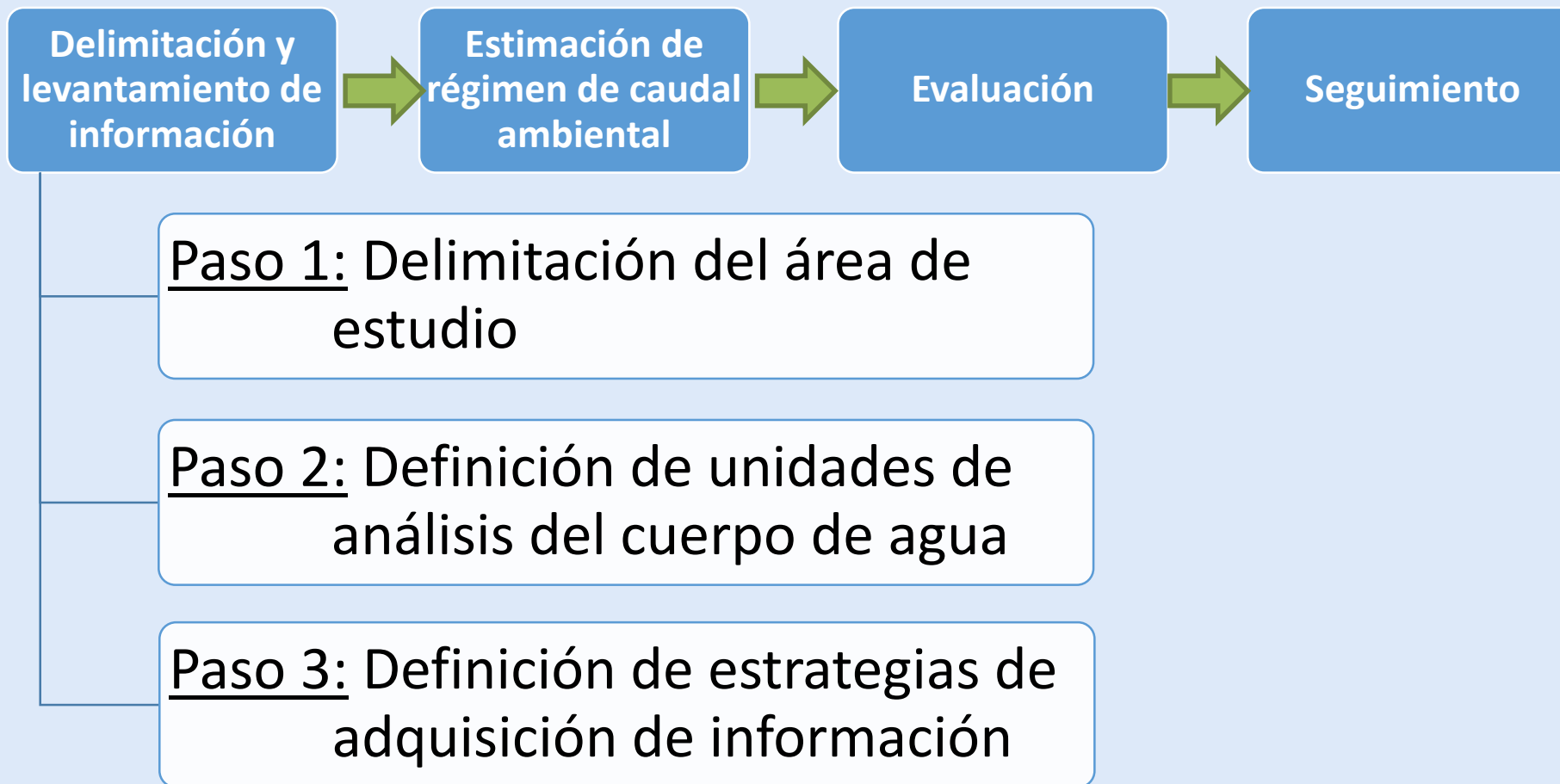


## NIVEL 1: ESTIMACIÓN

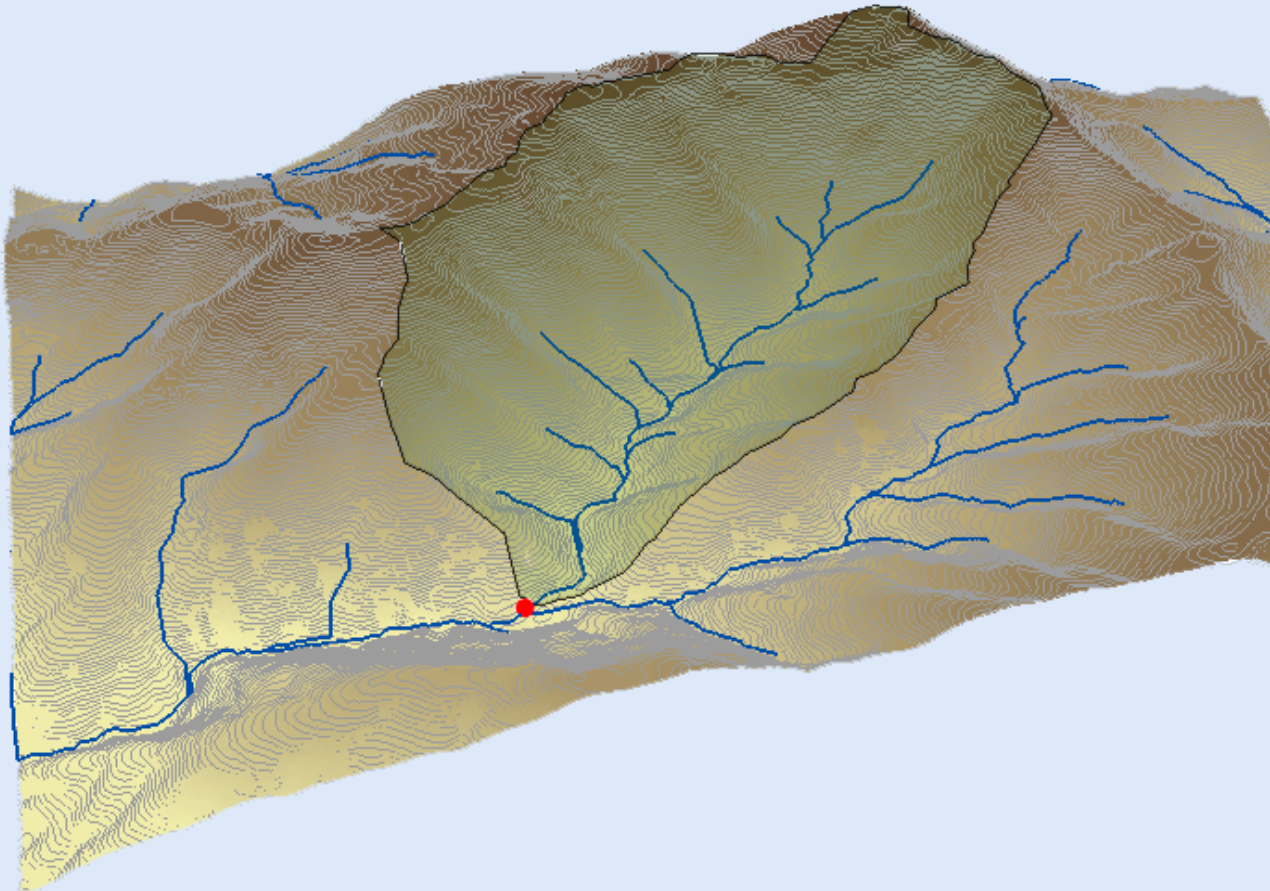




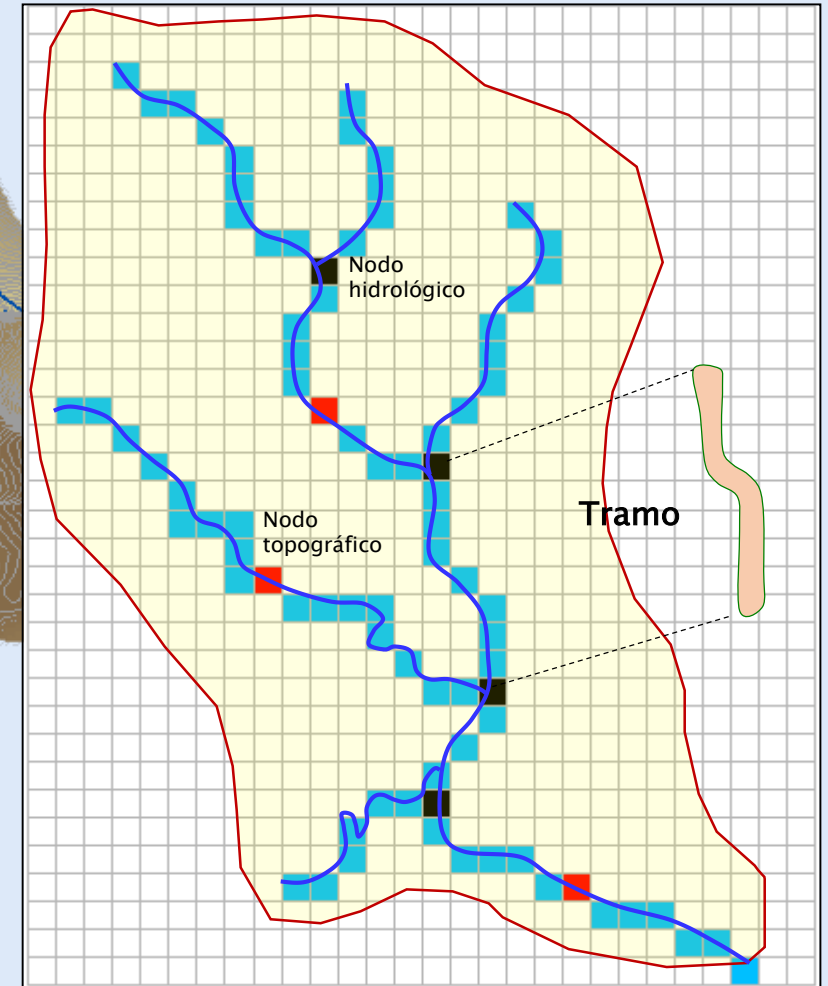
## Nivel 1



## Paso 1: **Delimitación** del área de estudio

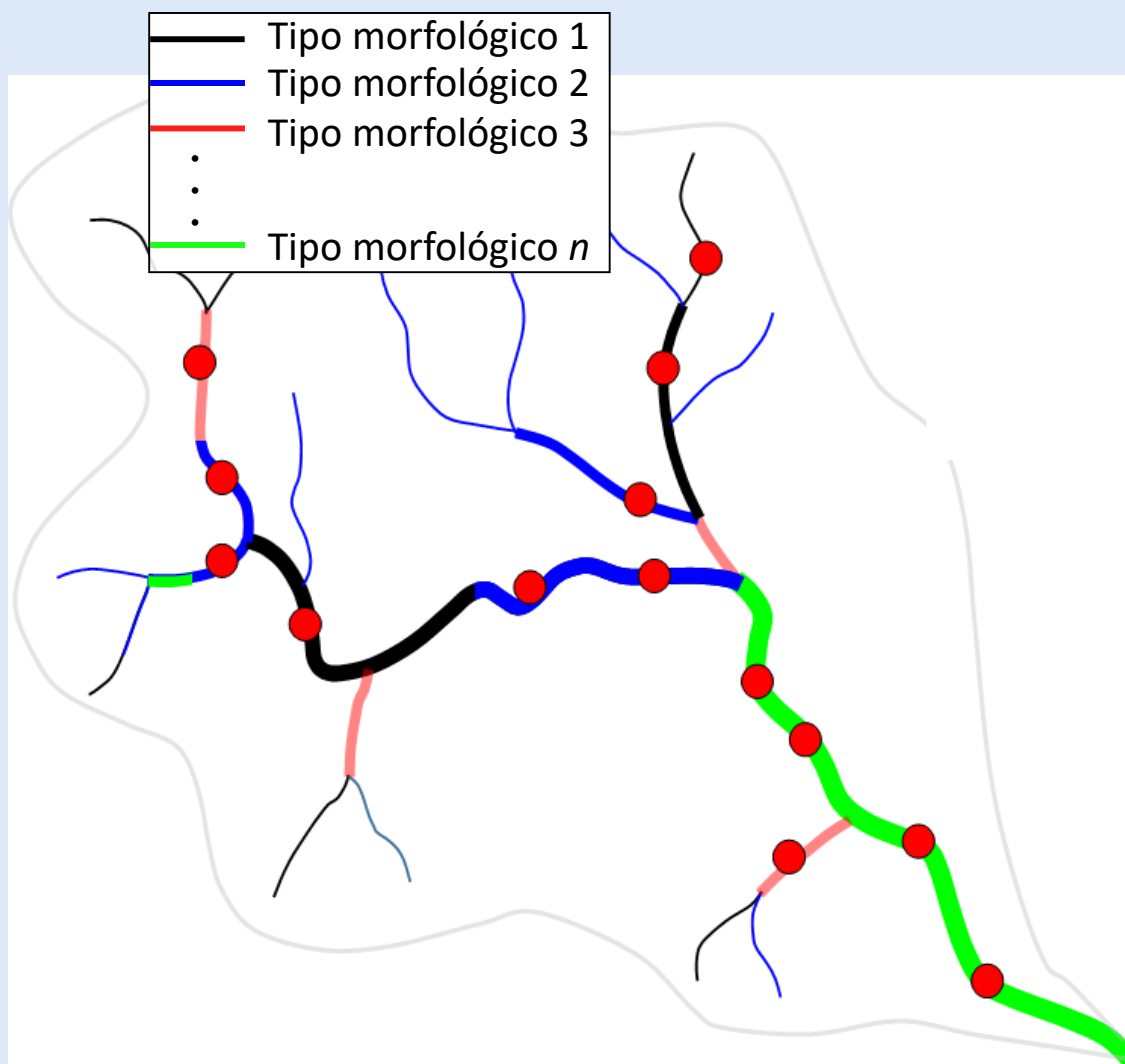


Fuente: <http://i0.wp.com/acolita.com/wp-content/uploads/2011/11/Delimitar-una-cuenca-hidrografica.png>



Fuente: UNAL-GOTTA (2015)

## Paso 2: Definición de unidades de análisis



### Clasificación geomorfológica

Orienta levantamiento de información

Permite identificar sitios en los que se requieren esfuerzos adicionales

Base para plantear y verificar hipótesis de regionalización

Permite enlazar hidrología, hidráulica y ecología

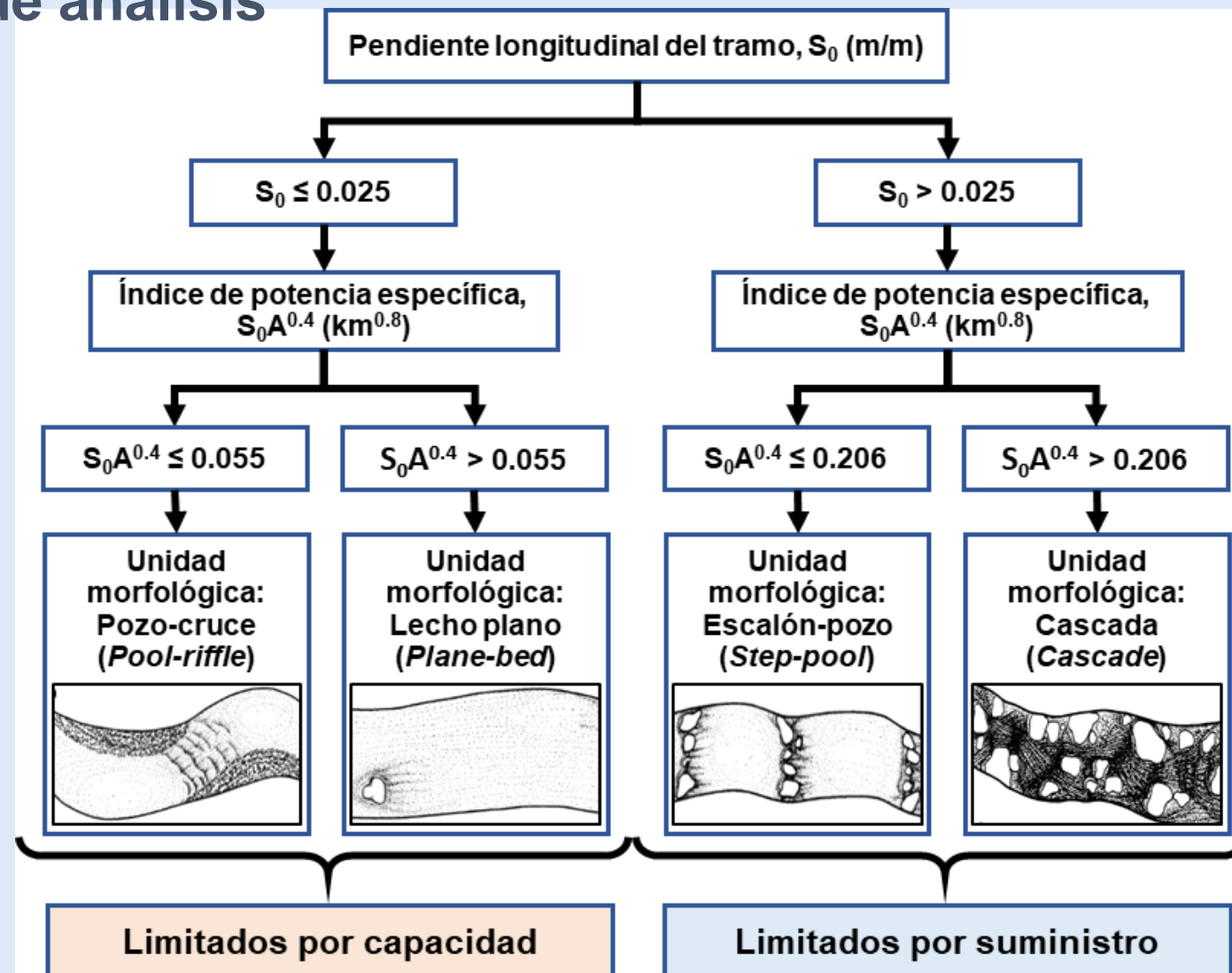
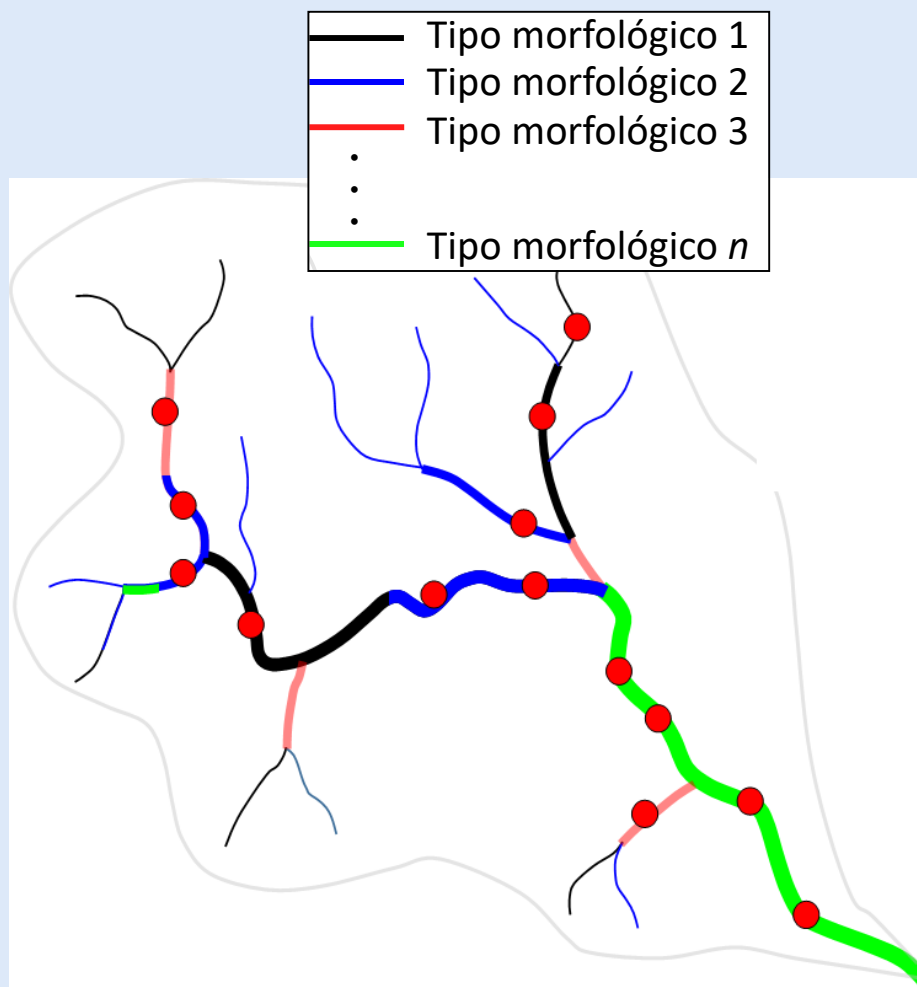
Orienta acciones de seguimiento

Permite analizar interacciones entre flujos de agua y sedimentos, hábitat, etc.

Nivel de detalle ajustable en función de la disponibilidad de información



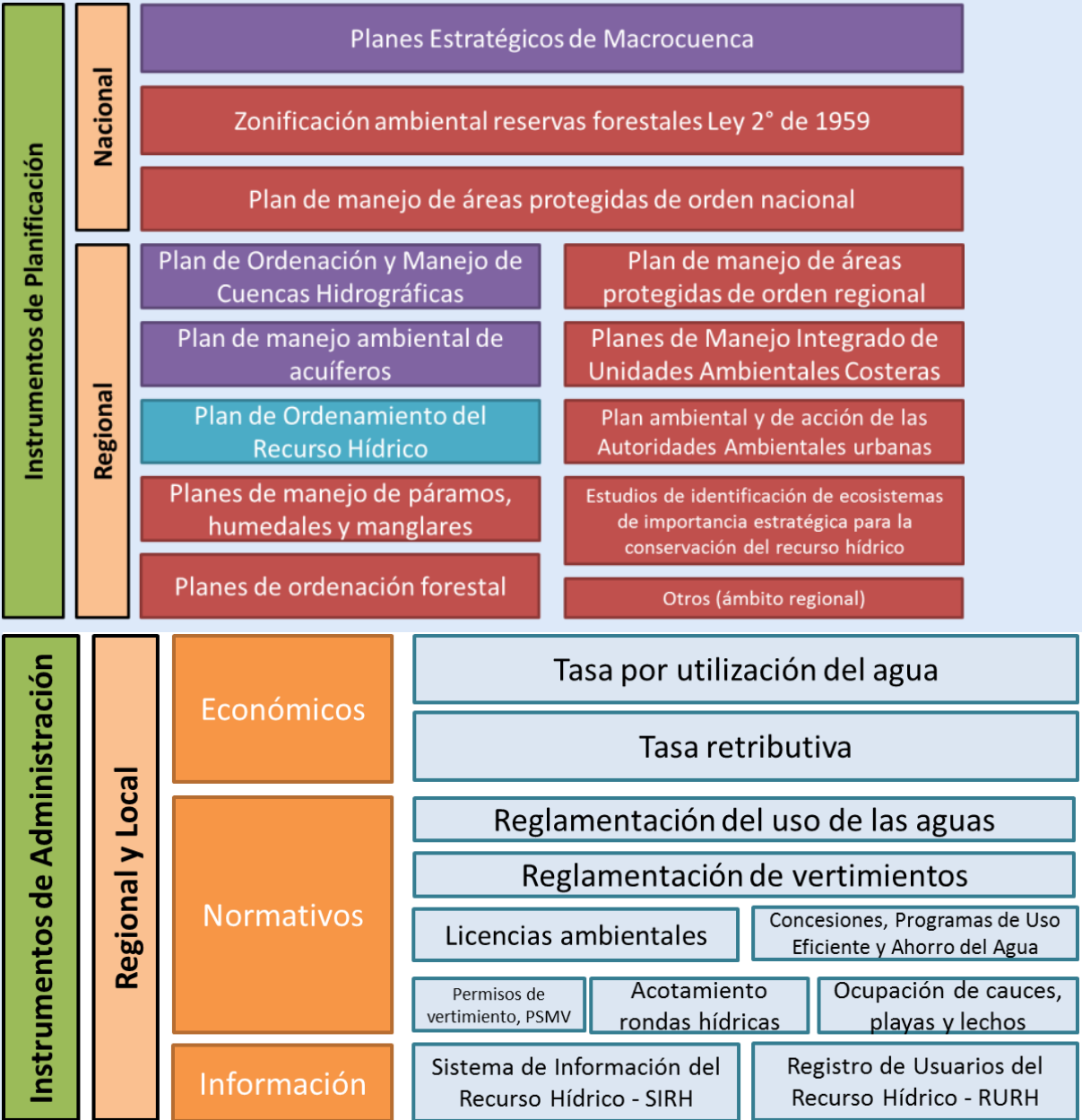
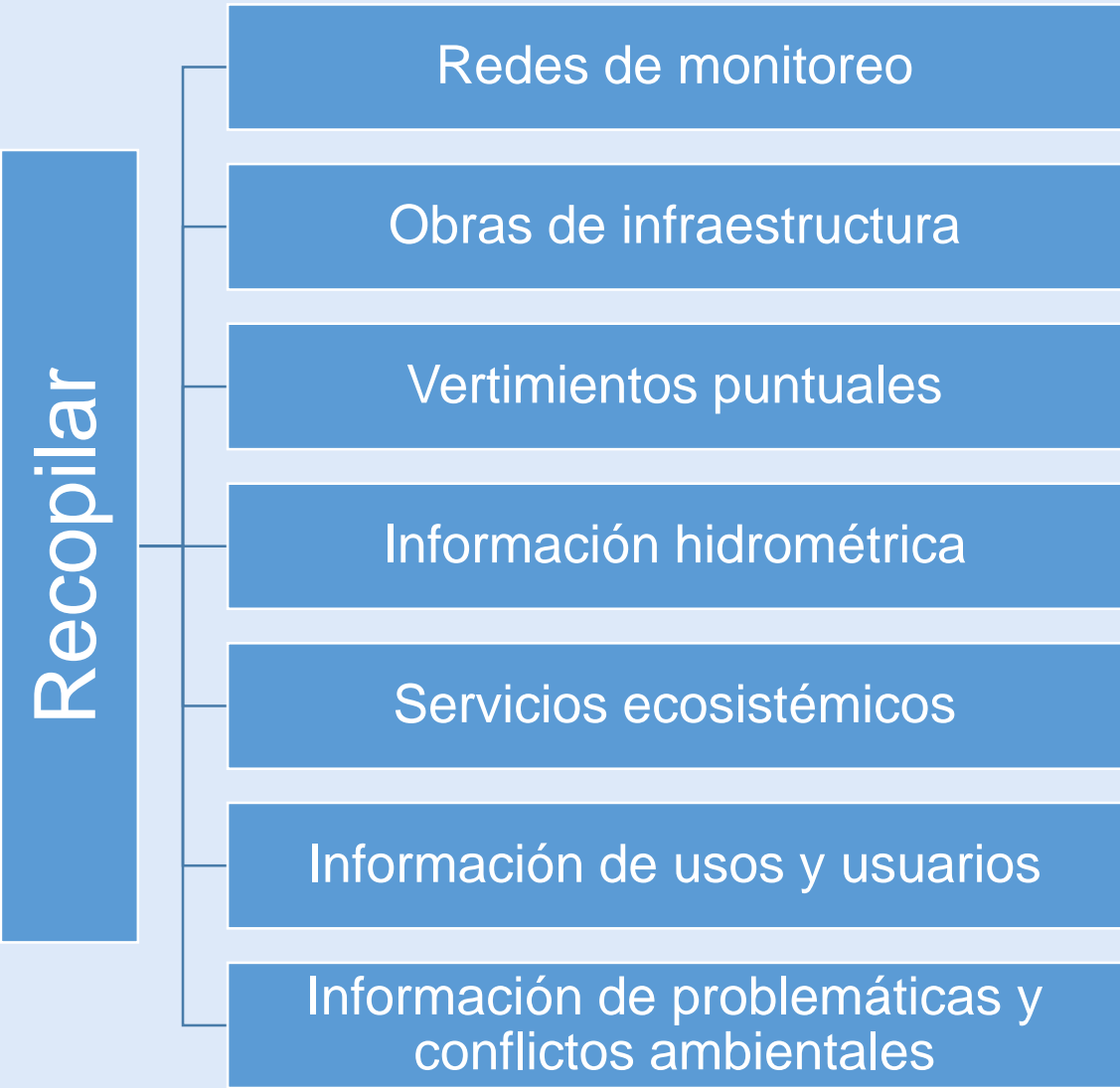
## Paso 2: Definición de unidades de análisis



Árbol de clasificación morfológica propuesta por  
Flores et al. (2006)

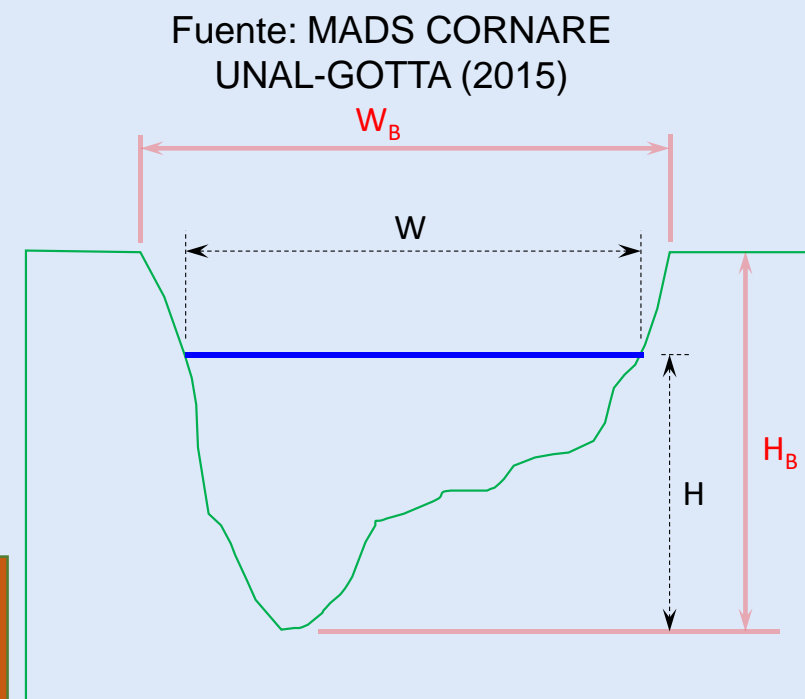


# Paso 3: Estrategias de adquisición de Información secundaria



## Paso 3: Estrategias de adquisición de información

### Trabajo de campo



¡Siempre midiendo  
caudal!

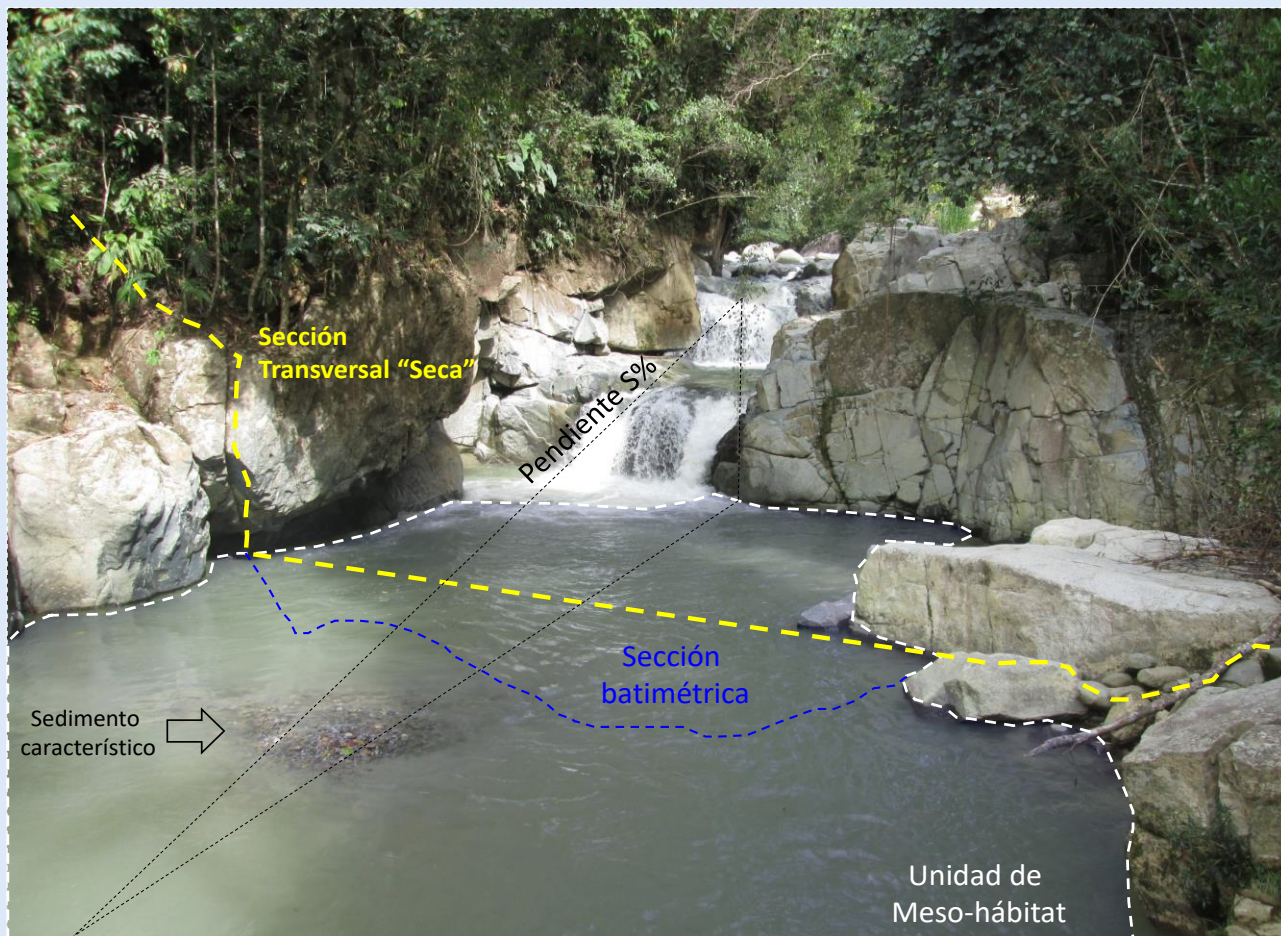
¡Caracterizar  
tramos!





## Paso 3: Estrategias de adquisición de información

### Trabajo de campo

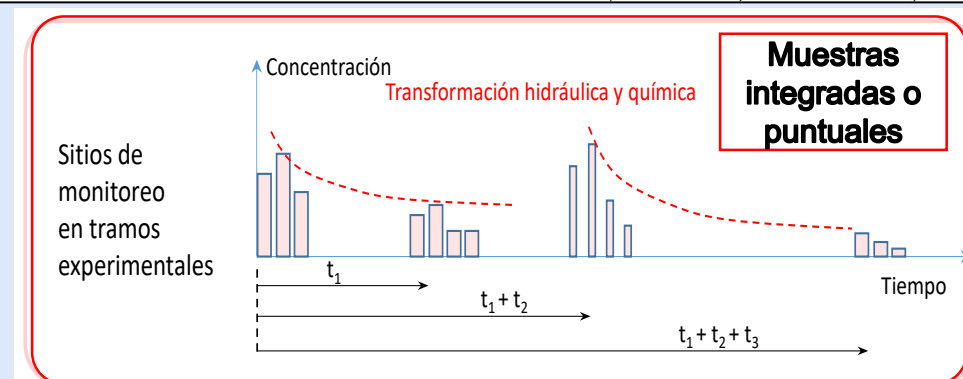
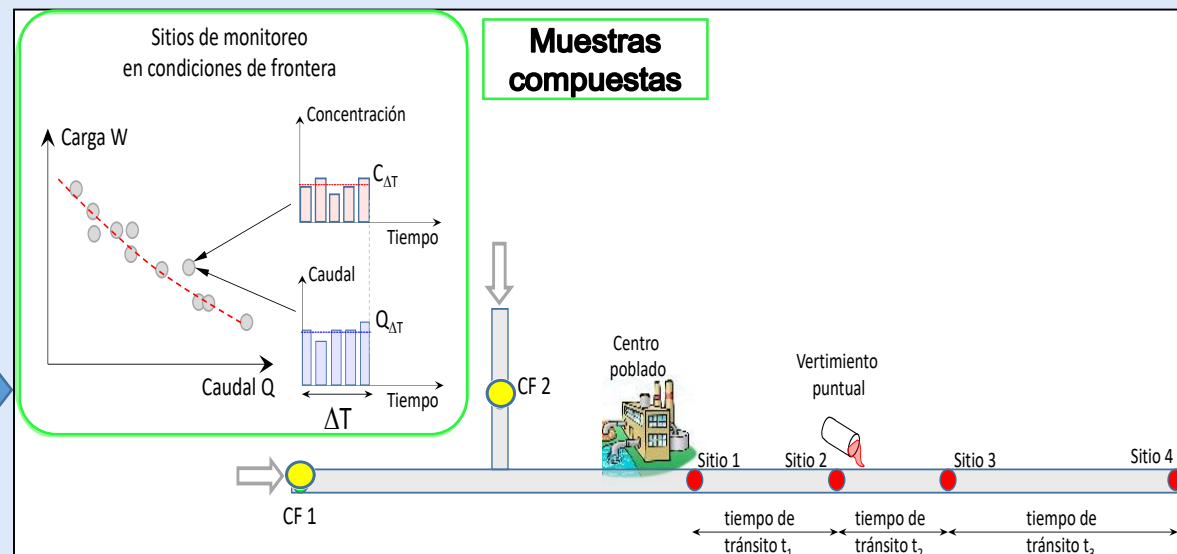
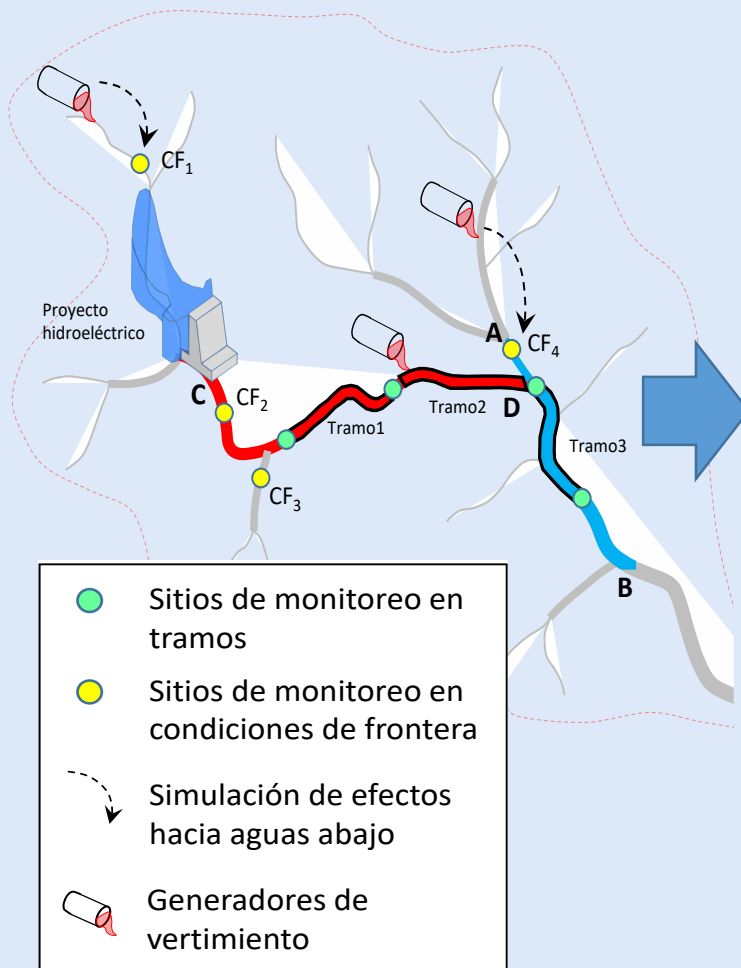


Variable	Descripción
$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	Caudal
$A$ (m <sup>2</sup> )	Área de flujo
$Y_{\max}$ (m)	Profundidad máxima
$Y_{\text{media}}$ (m)	Profundidad media
$V_{\text{media}}$ (m/s)	Velocidad media
$V_{\max}$ (m/s)	Velocidad máxima
$W$ (m)	Ancho de flujo
$F$	Número de Froude
$R_H$ (m)	Radio hidráulico
$^aDF = (1 - V_{\text{media}}/V_{\max})$	Fracción dispersiva en la sección transversal
Sección trasversal	Levantamiento topo-batimétrico en el sitio de aforo, incluyendo zona seca

<sup>a</sup> No es necesariamente representativa en la escala de tramo, pero es un proxy en ausencia de información.

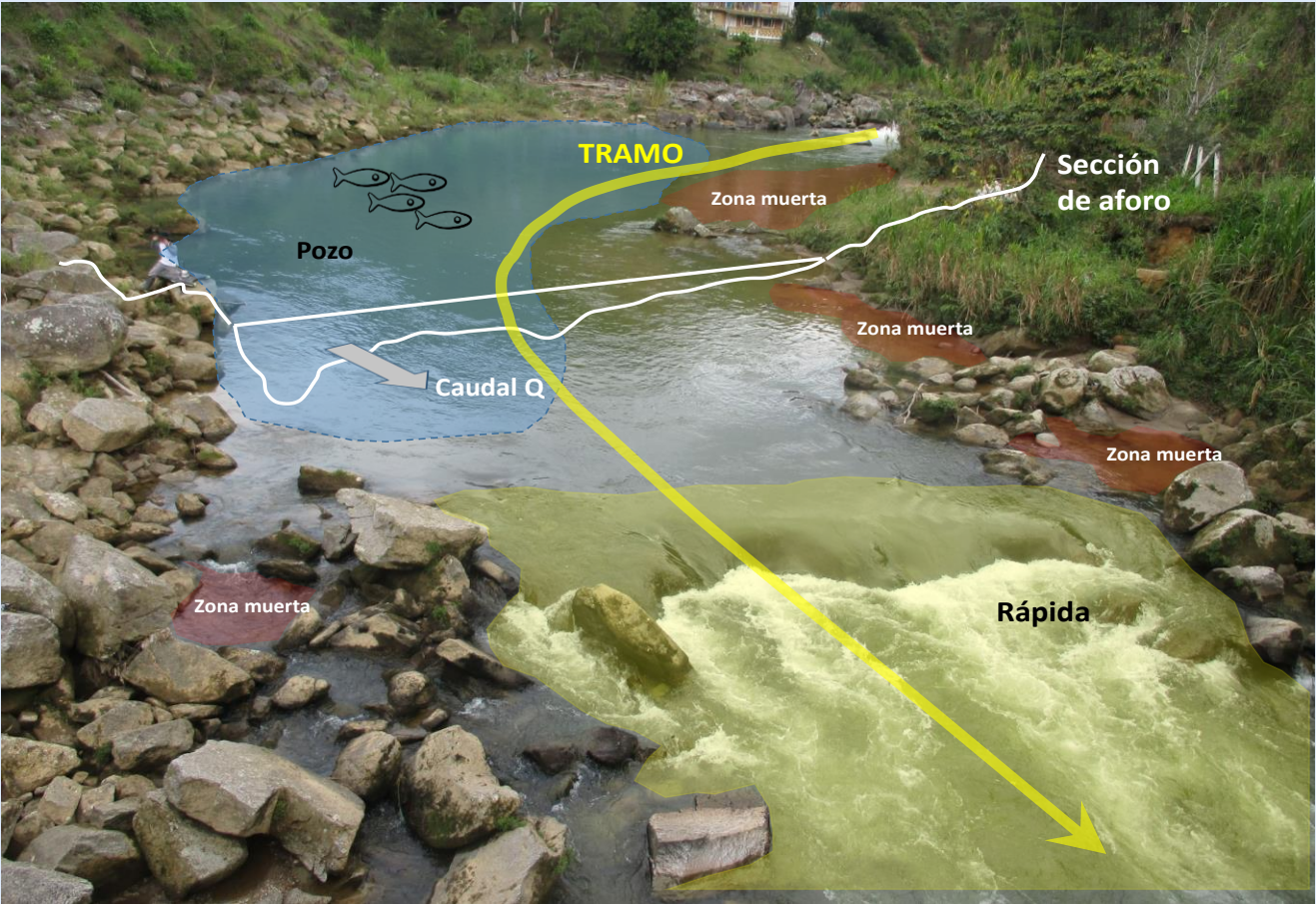
## Paso 3: Estrategias de adquisición de información

### Trabajo de campo





# Paso 3: Estrategias de adquisición de información hidrobiológica - Trabajo de campo

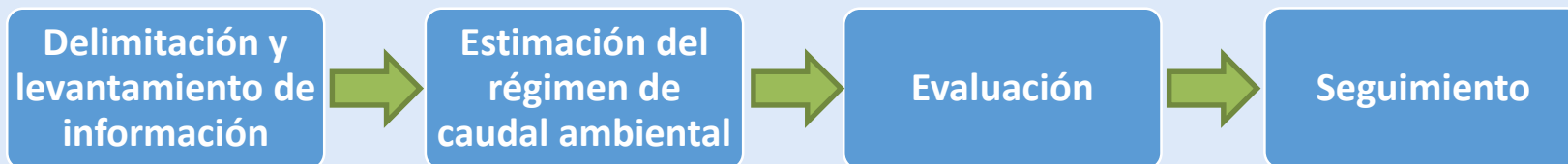


Variable	Unidades
Ictiofauna	[# individuos] por especie
	[g] por especie





# Nivel 1



Paso 0: Definición del objetivo ambiental o condición ecológica deseada

Paso 1: Estimación del régimen hidrológico natural

Paso 2: Cálculo de métricas de interés ecológico

Paso 3: Identificación y caracterización de eventos de interés ecológico para la serie de caudales natural o naturalizada

Paso 4: Propuesta de aprovechamiento máximo de caudales

Paso 5: Identificación y caracterización de eventos de interés ecológico para la serie de caudales alterada

Paso 6: Evaluación iterativa de la alteración del régimen hidrológico natural a partir de los resultados de los pasos 3 y 5

Paso 7: Información hidrobiológica de línea base



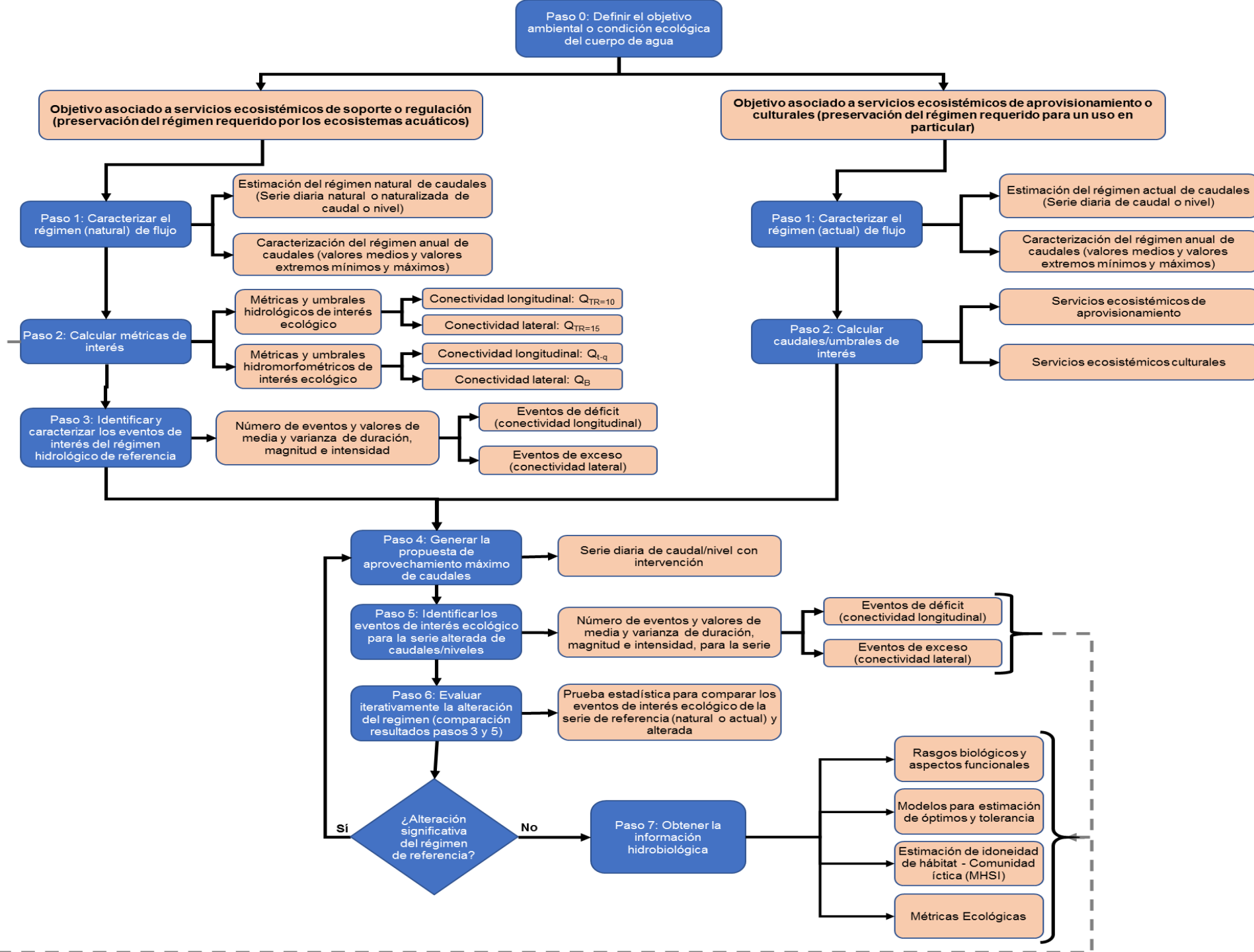
## Paso 0: Definición del objetivo ambiental o condición ecológica deseada

Servicios ecosistémicos asociados:

- **SSEE de soporte o regulación:** asociados con estrategias ambientales para la preservación o restauración del régimen natural de flujo.
- **SSEE de aprovisionamiento o culturales:** asociados con usos para el abastecimiento de las demandas de sectores usuarios, incluidos recreación, ritos, etc.

Tener en cuenta **objetivos contenidos en instrumentos de planificación**, particularmente, los priorizados en instrumentos de escala regional como los Planes Estratégicos de la Macrocuenca.

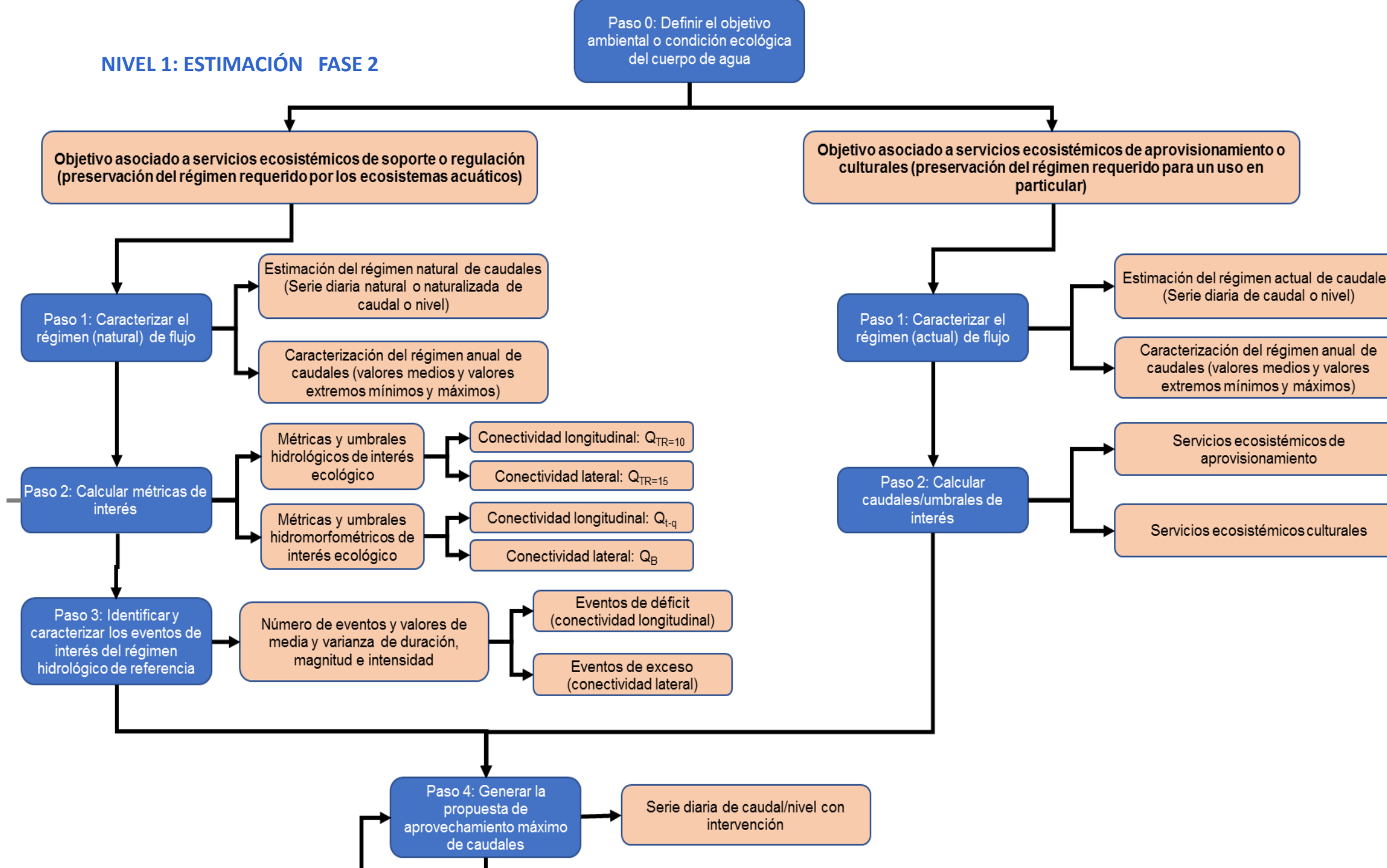
En **caso de no contar** con ninguno de dichos instrumentos, se deberá definir el objetivo ambiental a partir de los **usos del agua actuales y potenciales**.



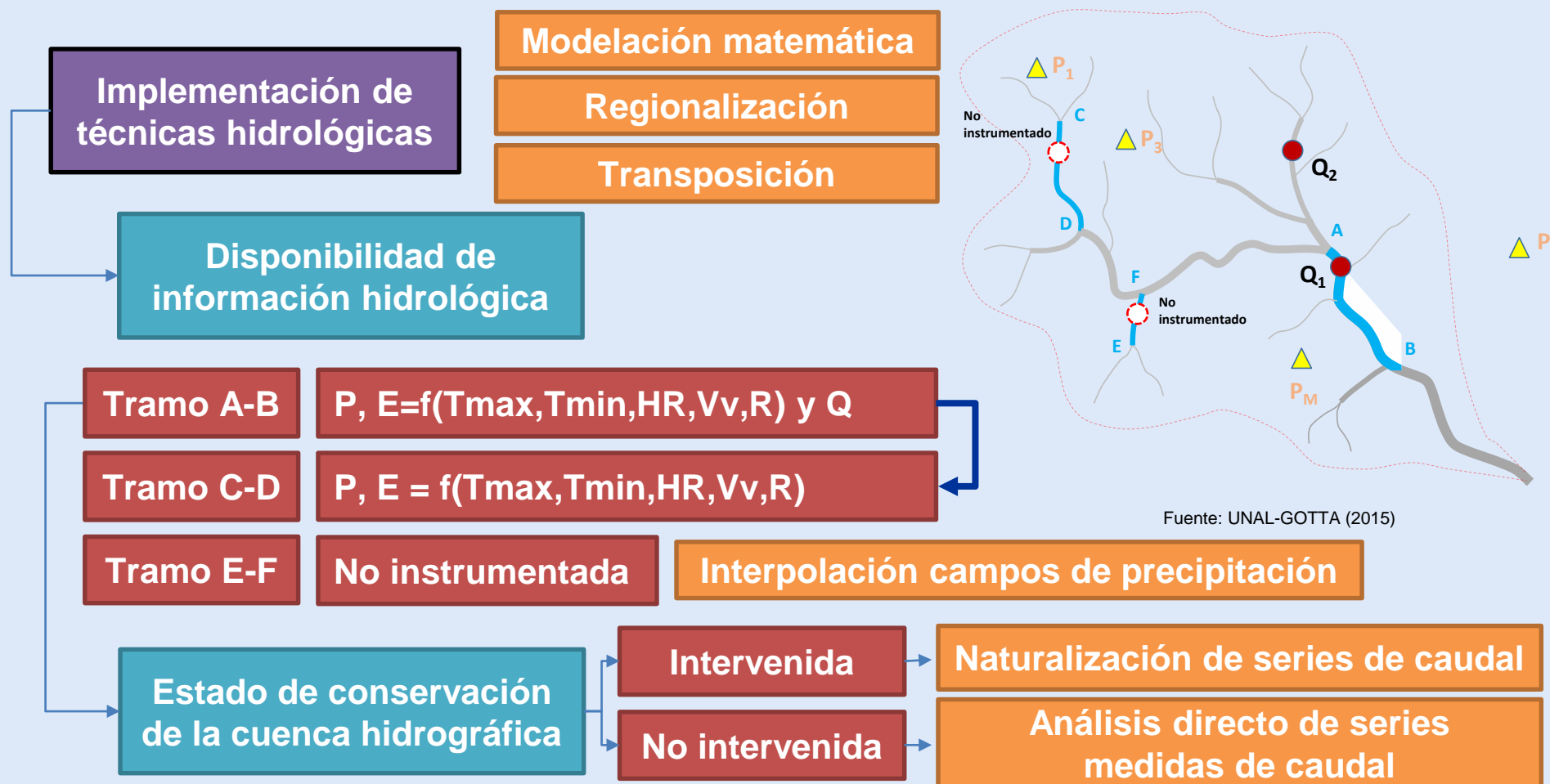




## NIVEL 1: ESTIMACIÓN FASE 2

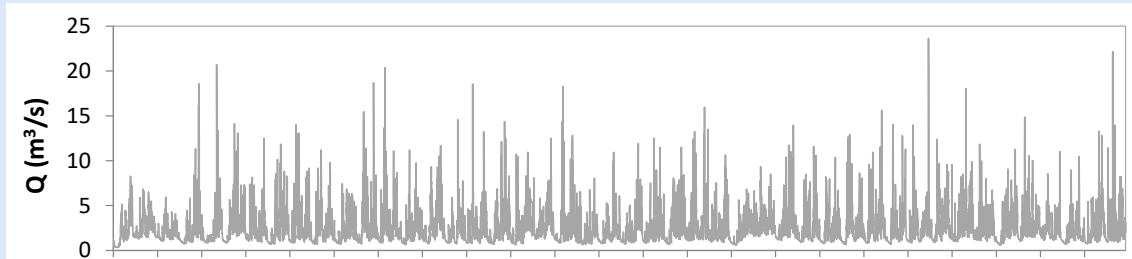


## Paso 1a: Estimación del régimen hidrológico (natural o actual)



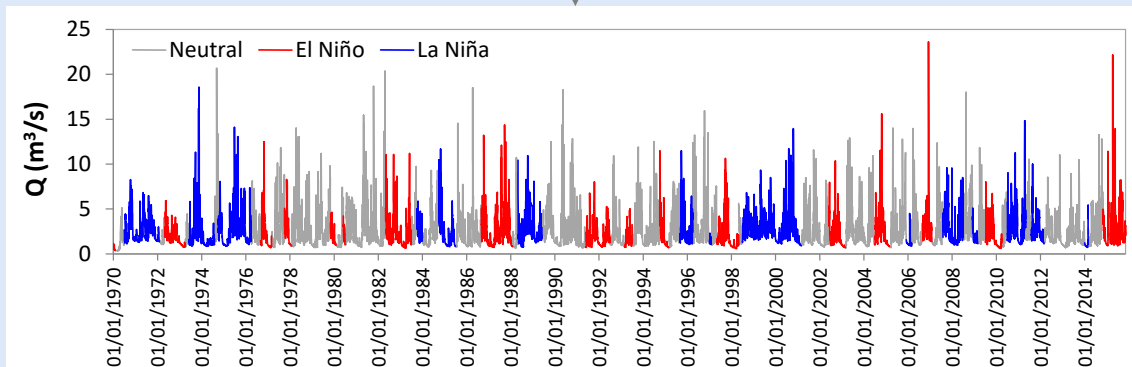


## Paso 1b: Caracterización del régimen anual de caudales (natural o actual)



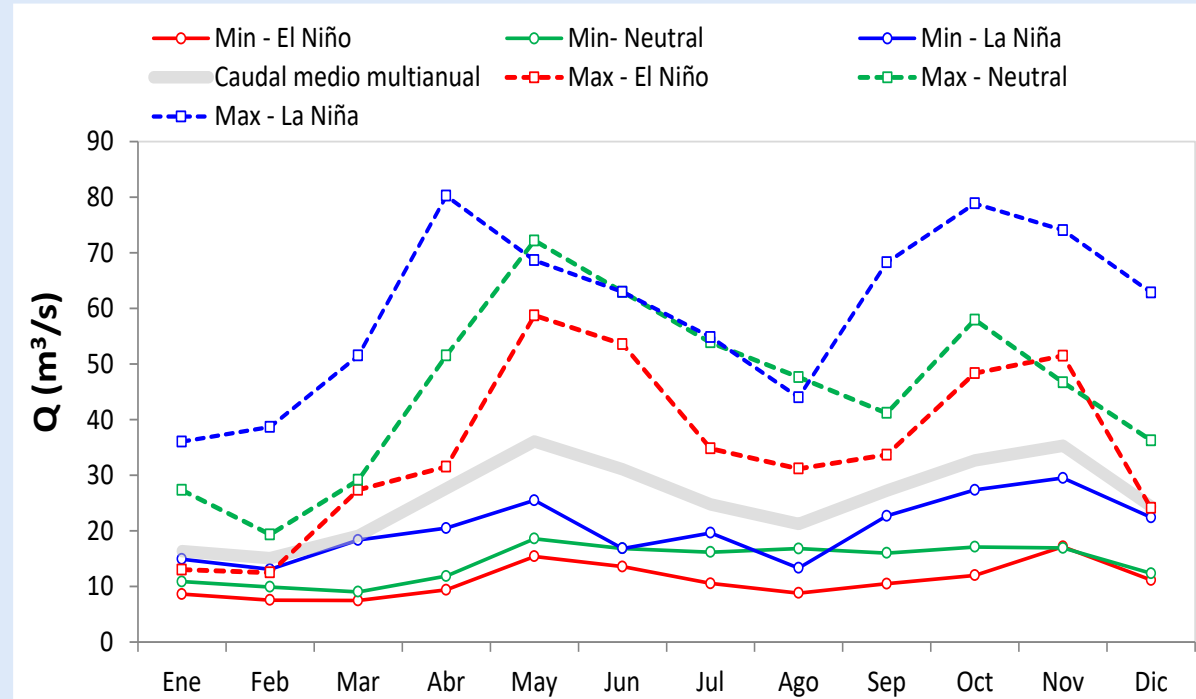
EtapA

ONI, SOI, MEI, Otros



EtapB

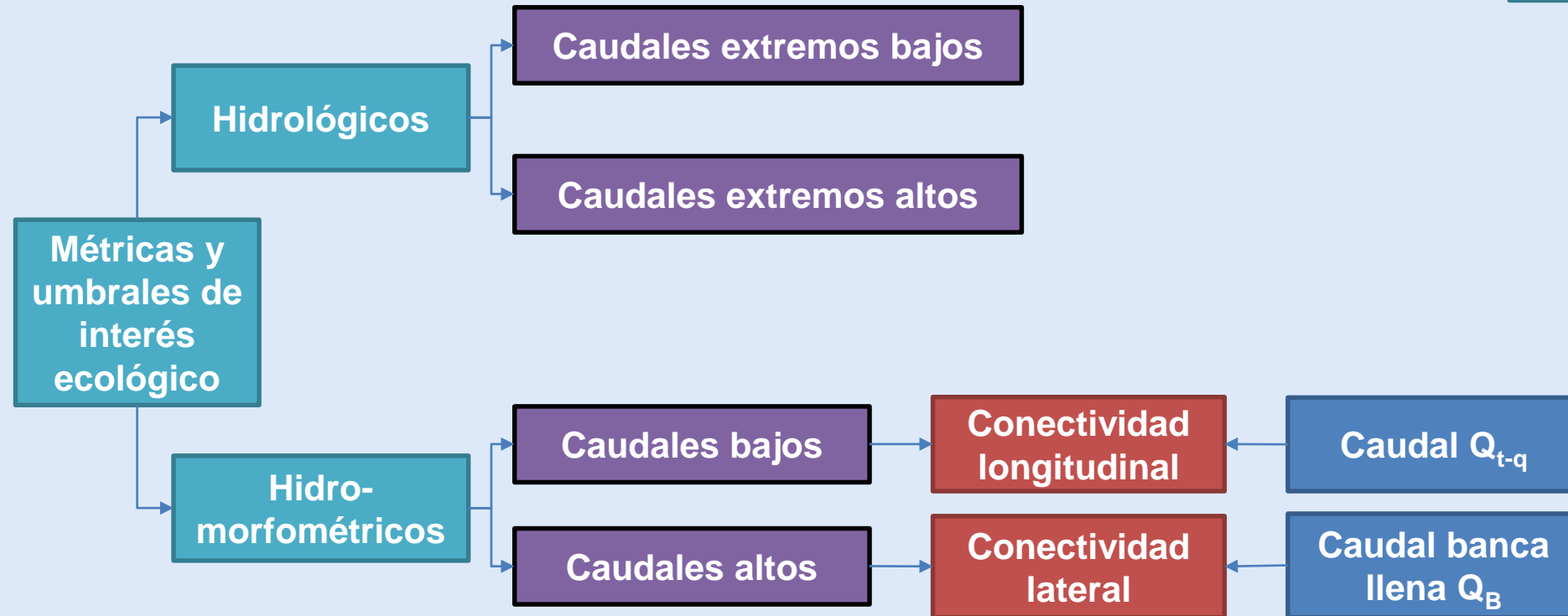
## HIDROLOGÍA







## Paso 2: Métricas y umbrales de interés ecológico



ECOLOGÍA

SERVICIOS  
ECOSISTÉMICOS

## Paso 2b: Métricas y umbrales **hidromorfométricos** de interés ecológico

**Caudales bajos**

**Conectividad longitudinal**

**Caudal  $Q_{t-q}$**

Proveen la magnitud y características (temperatura, velocidad de flujo, conectividad, etc.) de los hábitats acuáticos en la mayor parte del año.

**Caudales altos**

**Conectividad lateral**

**Caudal banca llena  $Q_B$**

Permiten a los peces y organismos móviles acceder a la llanura de inundación y hábitats tales como canales secundarios, humedales, etc. (áreas que proveen altos recursos alimenticios para el rápido crecimiento de especies y áreas para desove).

**ECOLOGÍA**

**SERVICIOS  
ECOSISTÉMICOS**



Fuente: [www.eltiempo.com](http://www.eltiempo.com)





# Paso 3: Identificación y caracterización de eventos de interés ecológico del régimen hidrológico natural

Magnitud (D)

Duración (T)

Intensidad (I)

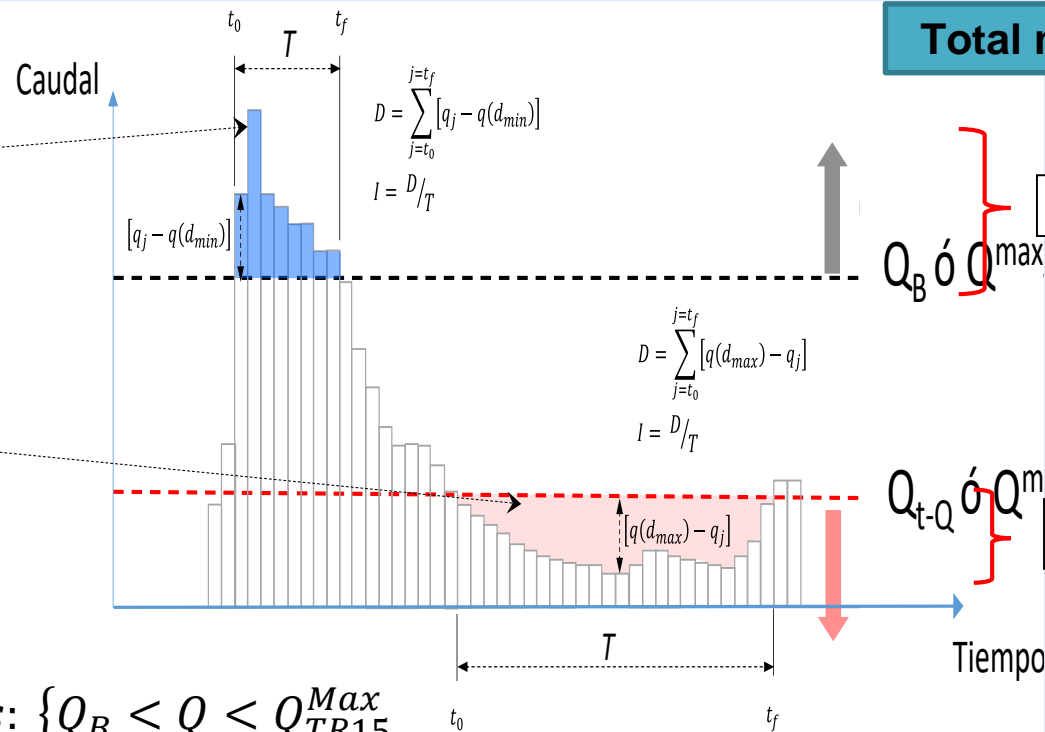
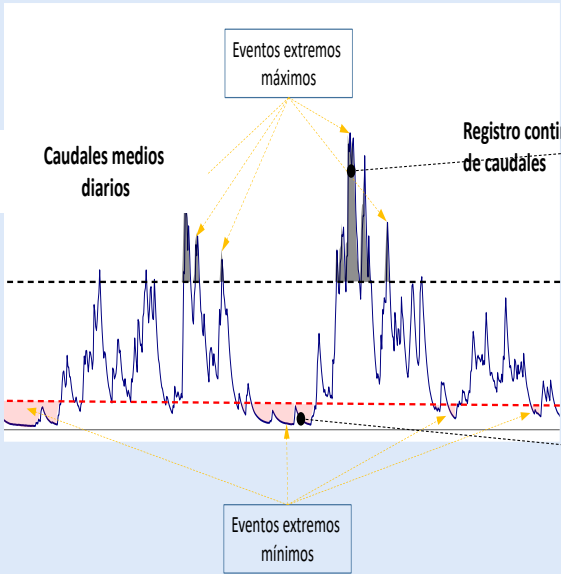
Media  $\overline{X_1}$

Varianza  $S_1^2$

Año i

Mes j

$n_{j,i}$  Eventos



Total  $n_1$  eventos

Eventos entre  $Q_B$  y  $Q^{Max}_{Tr=15}$

Eventos entre  $Q_{t-Q}$  y  $Q^{Min}_{Tr=10}$

Eventos asociados a máximos:  $\{Q_B < Q < Q^{Max}_{TR15}\}$

Eventos asociados a mínimos:  $\{Q^{Min}_{TR10} < Q < Q_{t-Q}\}$

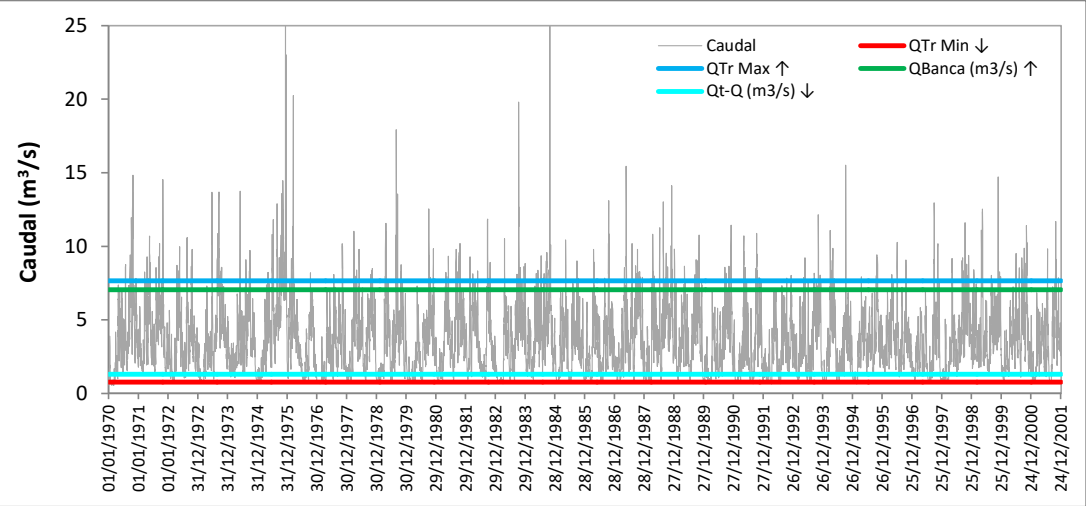
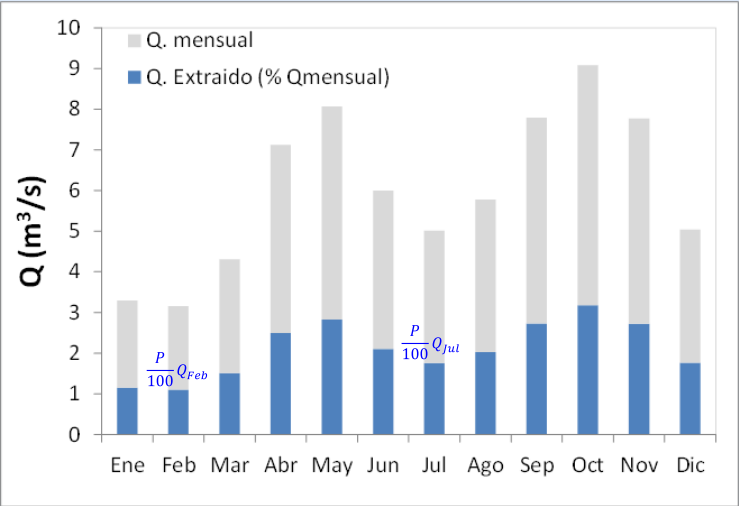
HIDROLOGÍA

ECOLOGÍA





# Pasos 4 y 5: Propuesta de aprovechamiento máximo de caudales e identificación de eventos (serie intervenida)



Porcentaje de aprovechamiento  
 $P$

Caudal aprovechable  $q_j$

$$q_j = \frac{P}{100} Q_{\text{mensual}}^j ; \forall j = 1, \dots, 12 \text{ mes}$$

Caudal aguas abajo  $Q_{i,j}^*$

$$Q_{i,j}^* = \begin{cases} Q_{i,j} - q_j & ; \text{ si } Q_{i,j} - q_j > Q_{\text{minimo}}^j \\ Q_{\text{minimo}}^j & ; \text{ si } Q_{i,j} - q_j < Q_{\text{minimo}}^j \end{cases} \quad \forall i = 1, \dots, N \text{ días y } \forall j = 1, \dots, 12 \text{ mes}$$

Magnitud (D)

Duración (T)

Intensidad (I)

Media  $\overline{X_2}$

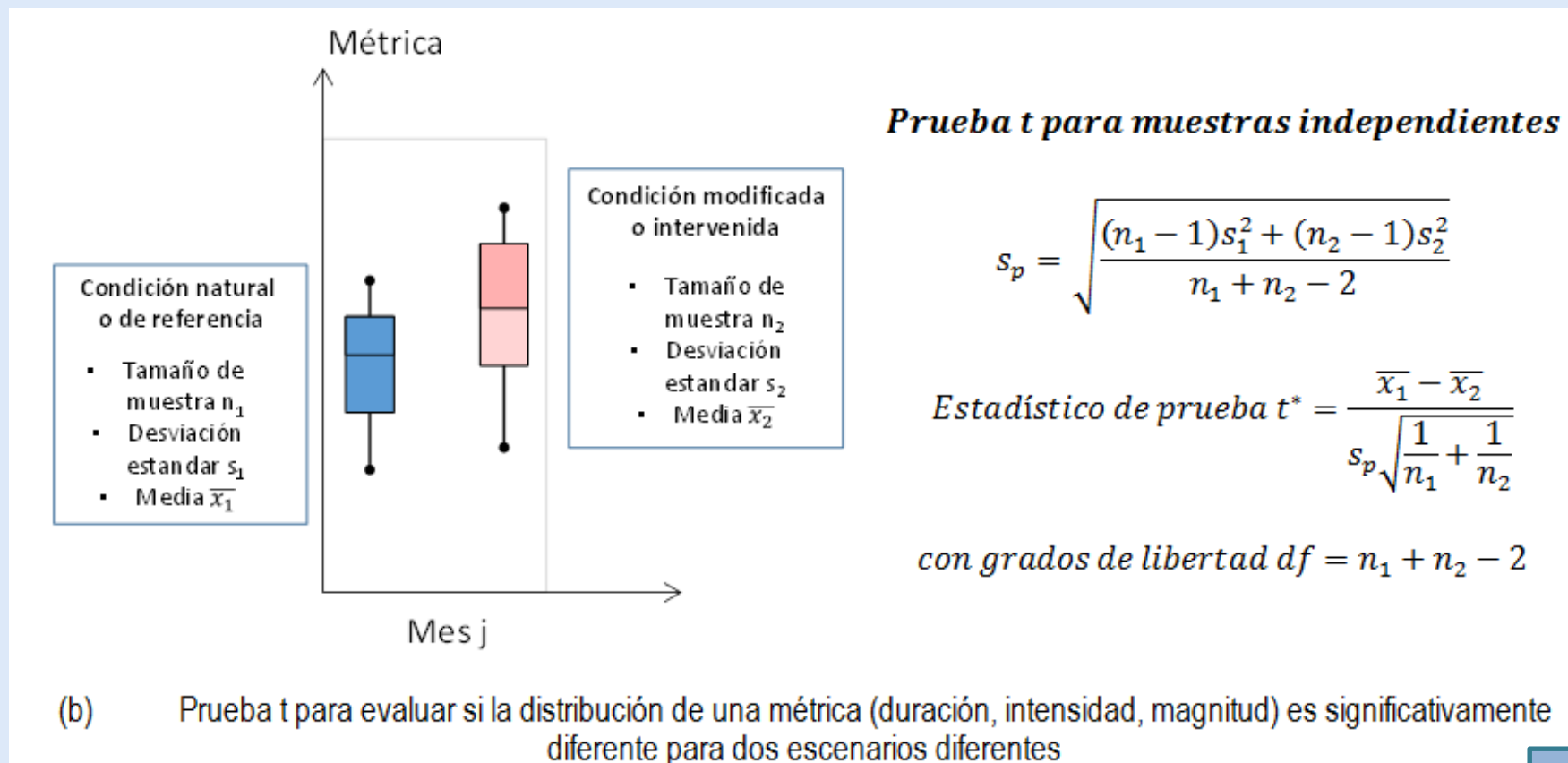
Varianza  $S_2^2$

Total  $n_2$  eventos

HIDROLOGÍA

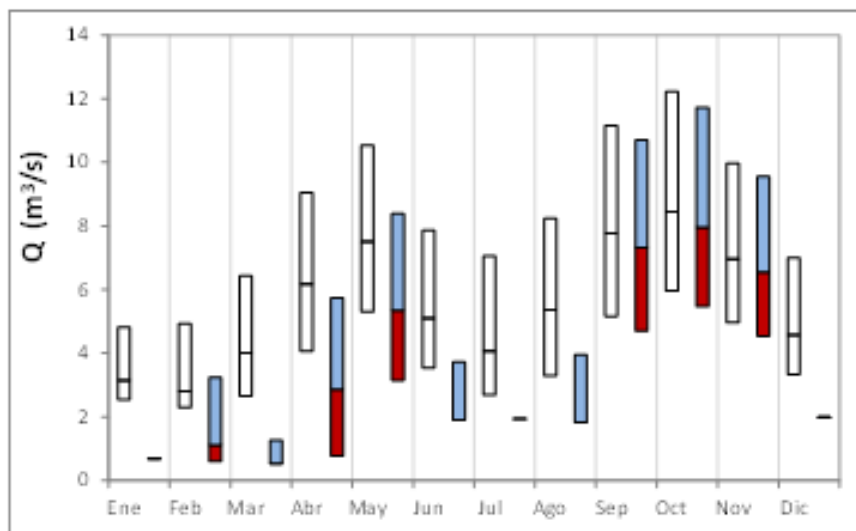
ECOLOGÍA

## Paso 6: Evaluación de la alteración del régimen hidrológico natural (iterativo)

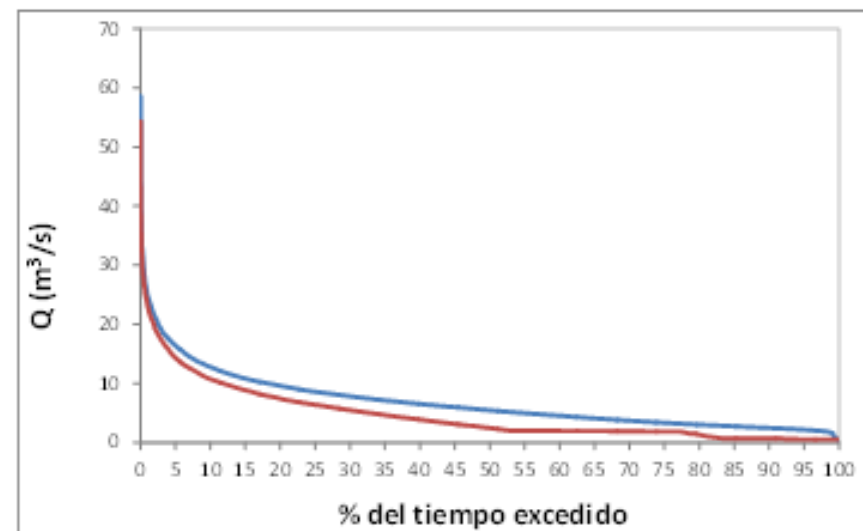




## Paso 6: Evaluación de la alteración del régimen hidrológico natural (iterativo)



(c) Régimen de caudales medios en condición natural (cajas blancas) y luego del aprovechamiento máximos considerando el régimen de los componentes del régimen  $Q_B \uparrow$ ;  $Q_{Tr=15} \uparrow$ ;  $Q_{t-Q} \downarrow$ ;  $Q_{Tr=10} \downarrow$



(d) Curvas de duración en condición natural (azul) y luego del aprovechamiento máximos considerando el régimen de los componentes del régimen.

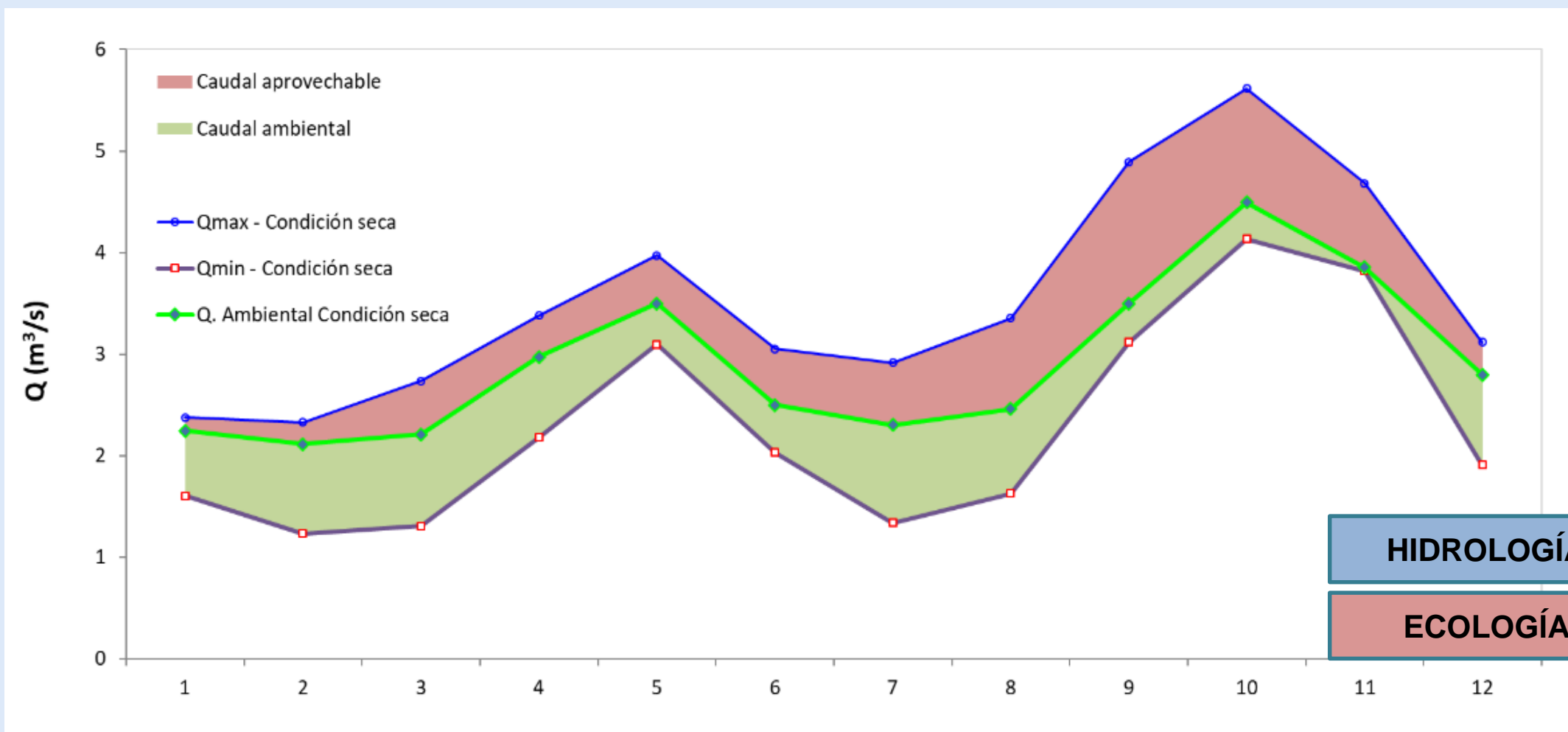
HIDROLOGÍA

ECOLOGÍA





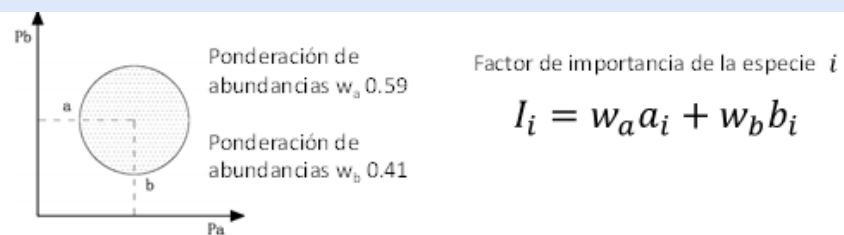
## Paso 6: Evaluación de la alteración del régimen hidrológico natural (iterativo)



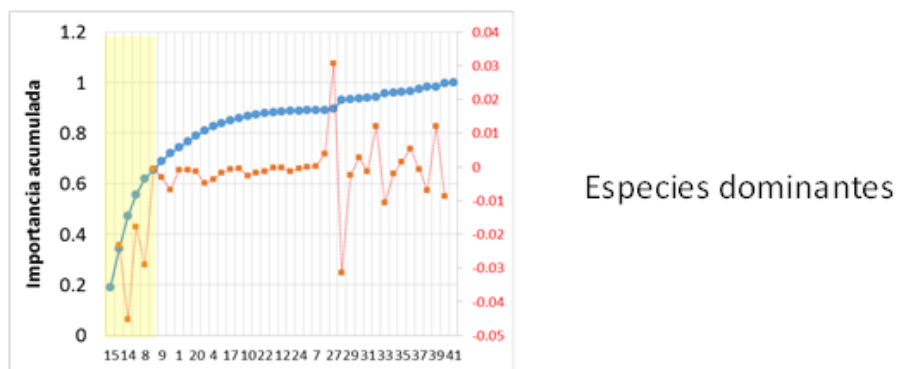


## Paso 7: Línea base hidrobiológica

### Índice de idoneidad del hábitat multi-especie –MHSI (Zhao et al. , 2015)-



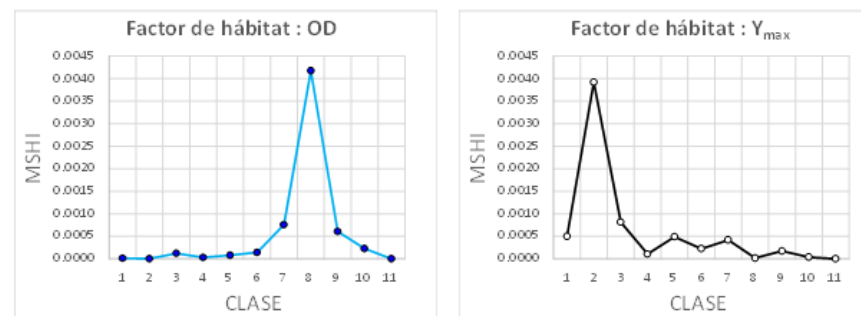
(a) Valoración de la importancia de cada especie de acuerdo con su abundancia y biomasa



(b) Selección de especies representativas

Índice MHSI para un factor de hábitat  
(oxígeno disuelto, velocidad, etc.) y  
el gradiente ambiental  $k$

$$MHSI_k = \sum_{i=1}^I \frac{p_{ki}}{I} \quad \text{with} \quad p_{ki} = \frac{n_{ki}}{N_i}$$



(c) Estimación del índice MHSI para las especies dominantes y para cada uno de los factores de hábitat considerados

HIDROLOGÍA

ECOLOGÍA

CALIDAD DEL AGUA

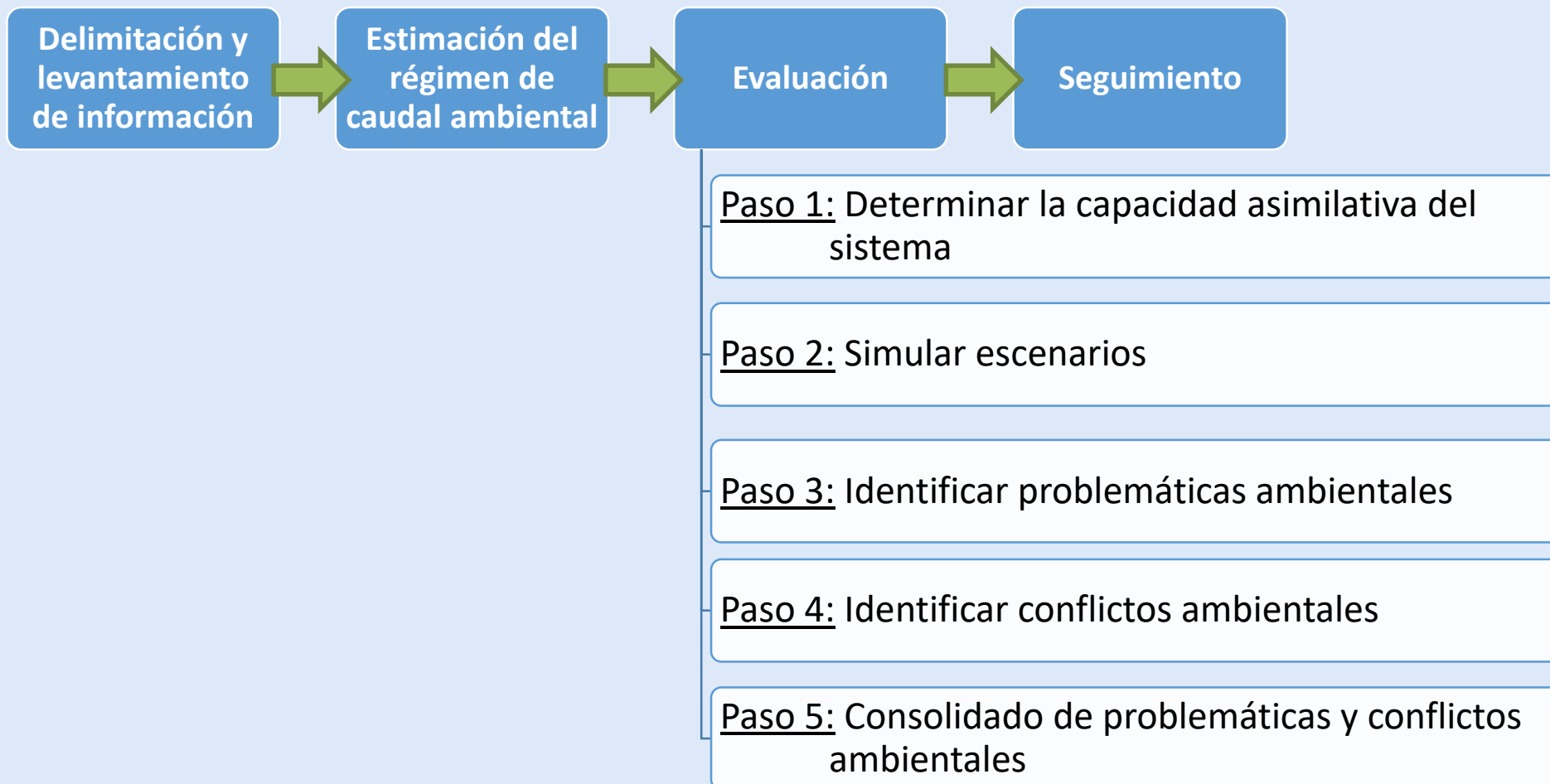


## Paso 7: Línea base hidrobiológica

Nombre	Autores
Peces del medio Amazonas	Galvis et al. (2006)
Peces de la Orinoquia colombiana con énfasis en especies de interés ornamental.	Galvis et al. (2007)
Freshwater fish faunas, habitats and conservation challenges in the Caribbean river basins of north-western South America.	Jiménez-Segura et al. (2016)
Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia	Lasso et al. (2011)
Peces del Pamplonita : Cuenca del río Catatumbo, Norte de Santander, Colombia - 63 especies, riqueza, distribución y datos físicoquímicos del medio.	Pimienta et al. (2014)
Peces de los Andes de Colombia : guía de campo	Maldonado-Ocampo et al. (2005)
Peces dulceacuícolas del Chocó biogeográfico de Colombia	Maldonado-Ocampo et al. (2012)
Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia	Mojica et al. (2012)
Guía de las especies Migratorias de la Biodiversidad en Colombia. Peces. Vol. 2.	Zapata & Rivera Usme (2013)
Serie: Pesquerías continentales de Colombia Serie: Inventarios de Biodiversidad	Instituto de Investigación de Recurso Biológicos Alexander von Humboldt

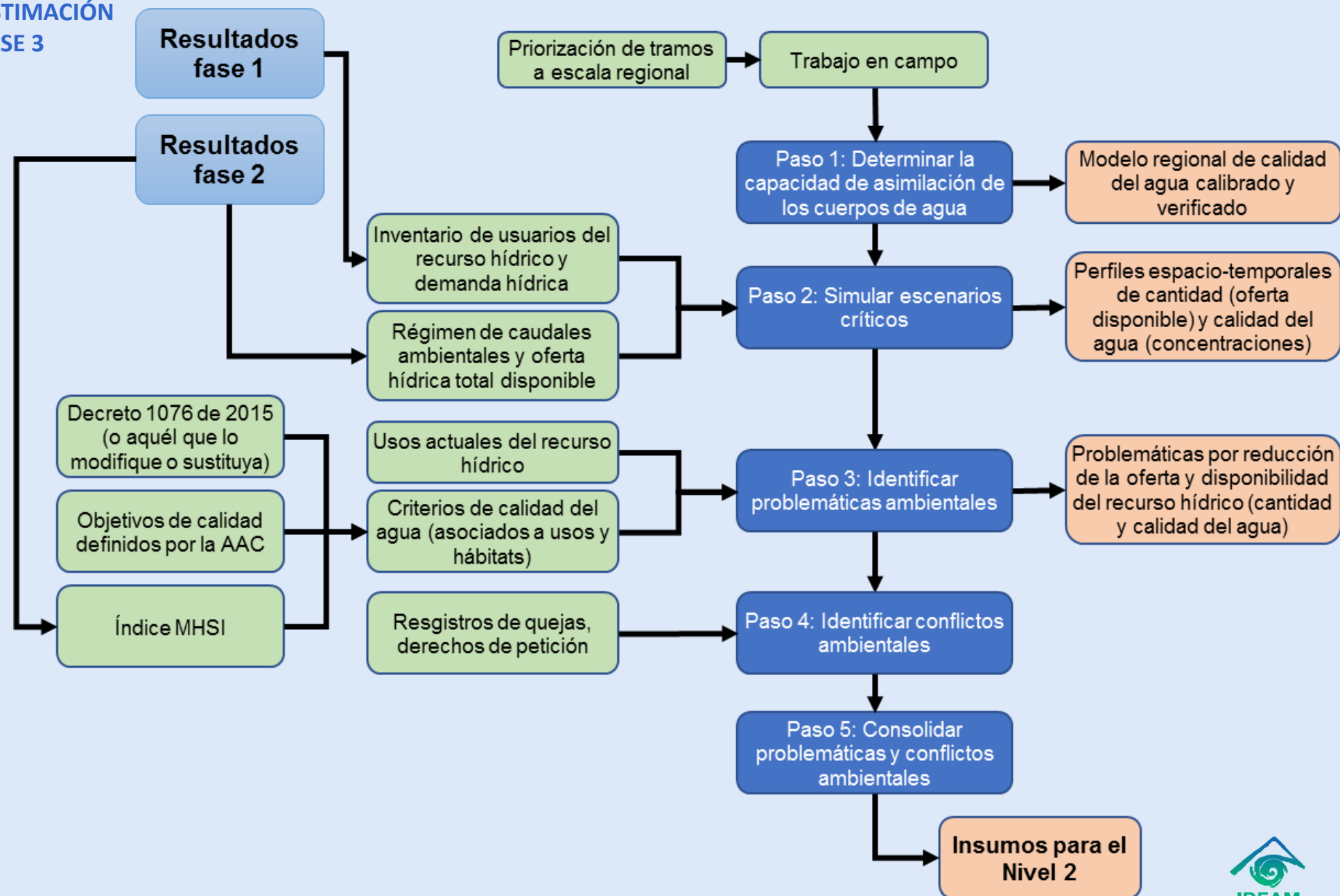


# Nivel 1



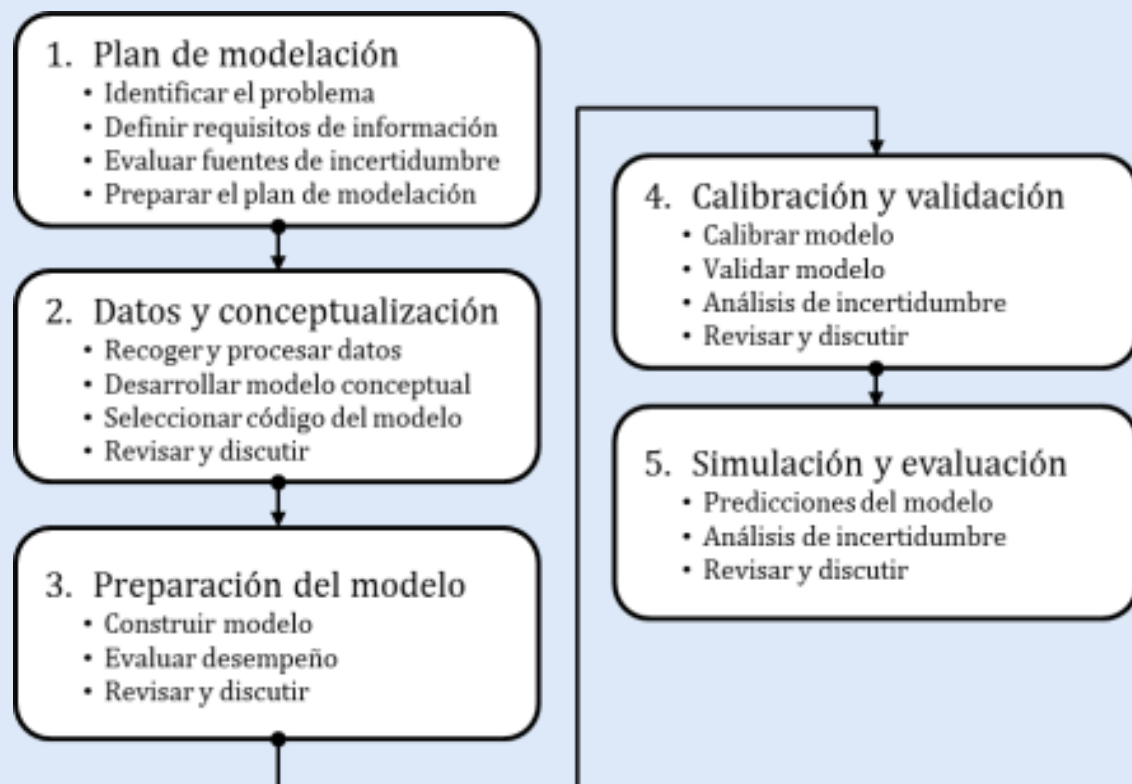


## NIVEL 1: ESTIMACIÓN FASE 3



# Paso 1: Determinación capacidad de asimilación

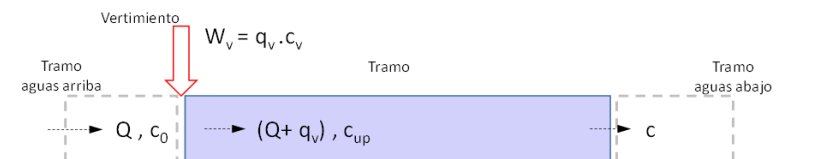
## Simulación de la calidad del agua



Protocolo de modelación. Modificado de  
Refsgaard *et al.* (2007)

Cualquiera sea la estructura conceptual que se emplee, ésta debe considerar:

- Evaluar relaciones causa-efecto en relación con el factor de asimilación a el cual está influenciado por la oferta hídrica, la configuración morfológica de una corriente y la sustancia de interés ambiental



The diagram shows a horizontal river reach. On the left, a dashed box labeled 'Tramo aguas arriba' contains the flow  $Q, c_0$ . A red arrow labeled 'Vertimiento' points down into the river, with the associated load  $W_v = q_v \cdot c_v$ . The main river reach is labeled 'Tramo' and contains the flow  $(Q + q_v), c_{up}$ . On the right, a dashed box labeled 'Tramo aguas abajo' contains the flow  $c$ .

$$c = \frac{1}{a} W$$
$$c_{up} = \frac{W_v + Q c_0}{Q + q_v}$$
$$c = \frac{1}{a} [(Q + q_v) c_{up}]$$

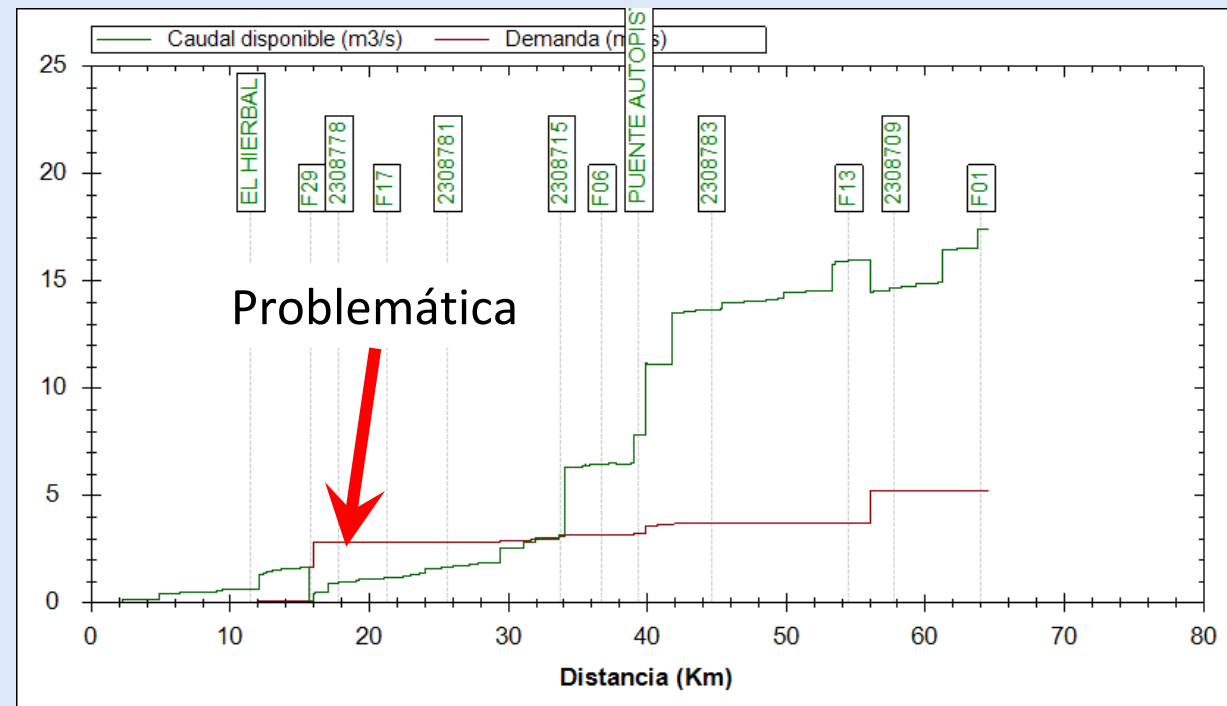
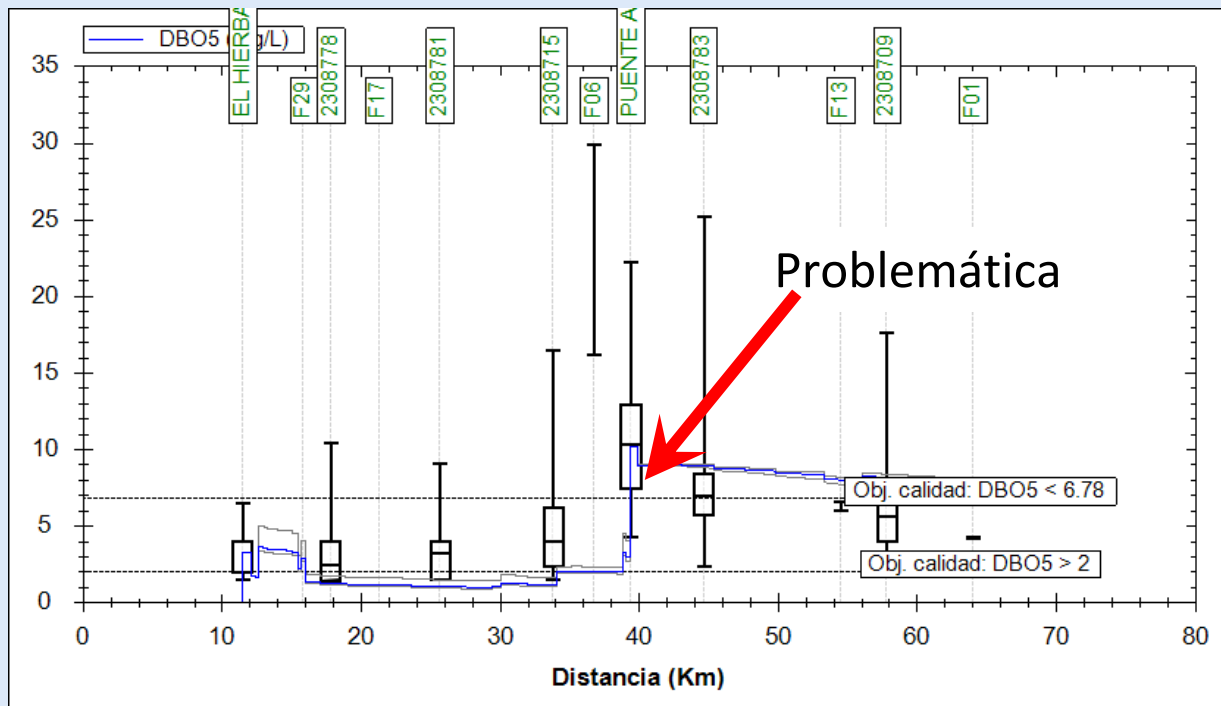
- Impactos acumulativos de cargas contaminantes (vertimientos) y abstracciones/retornos de agua

**CALIDAD DEL AGUA**





## Pasos 3-5: Identificar y consolidar problemáticas y conflictos ambientales



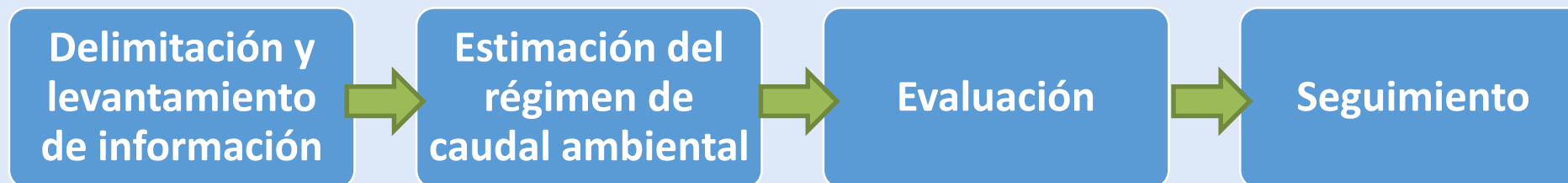
SERVICIOS  
ECOSISTÉMICOS

HIDROLOGÍA

ECOLOGÍA

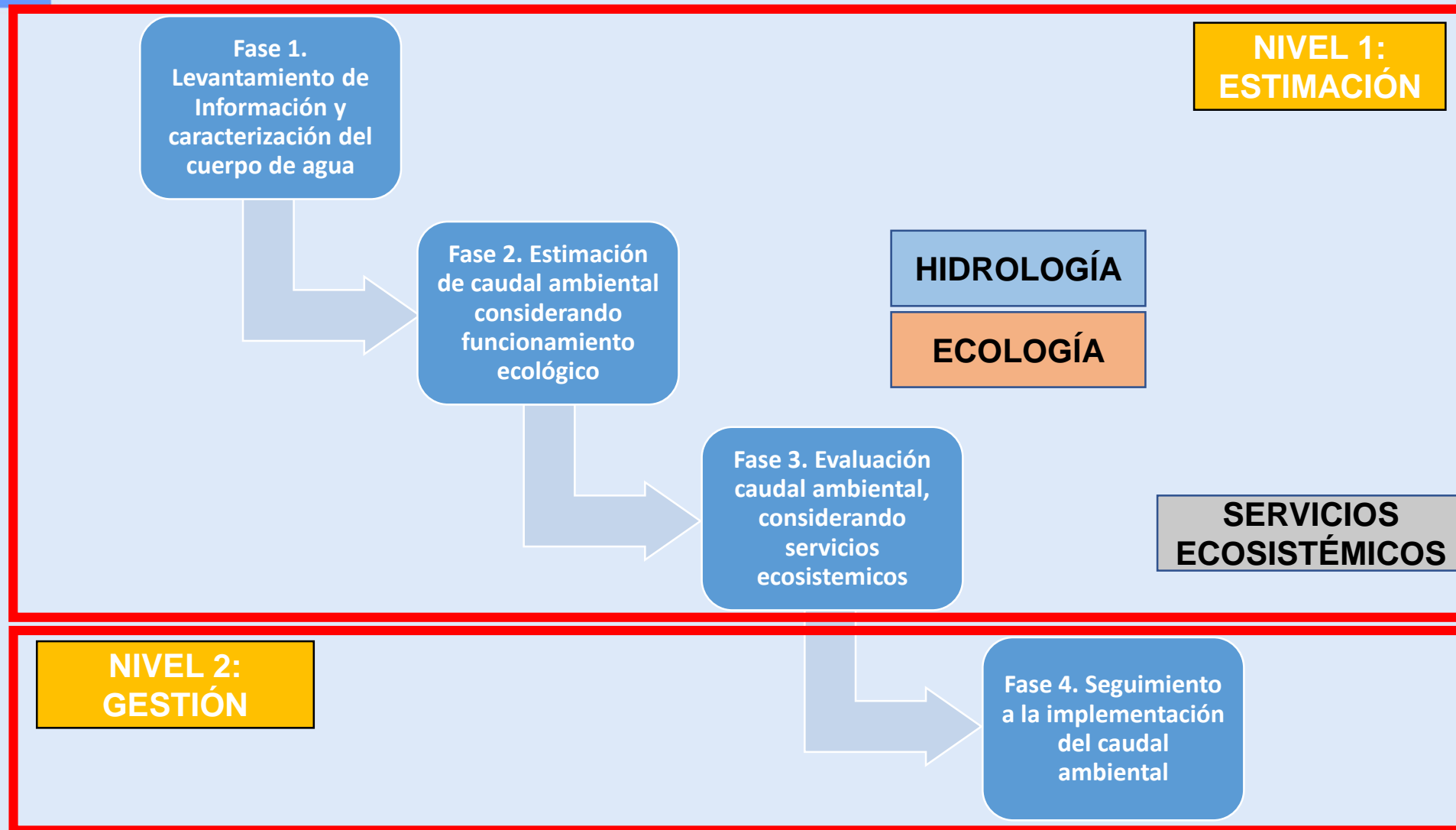
CALIDAD DEL AGUA

## Nivel 1



Implementar las acciones de seguimiento que se deben realizar con el fin de:

- Verificar las hipótesis asumidas durante el proceso de estimación
- Evaluar el efecto de la implementación del régimen sobre aspectos como la morfología del cuerpo de agua, la disponibilidad de hábitats, el componente hidrobiológico y la prestación de servicios ecosistémicos.





El ambiente  
es de todos

Minambiente

# Conclusiones





- El objeto general de la metodología es, “Establecer el enfoque metodológico y los criterios mínimos para la estimación y evaluación de caudales ambientales en el marco de la estimación de la oferta hídrica disponible a escala regional”.
- Se enfoca en el establecimiento de unos criterios mínimos generales a ser desarrollados mediante un marco metodológico aplicable y replicable a nivel nacional, buscando el equilibrio entre el funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas acuáticos continentales y los beneficios que tenemos de ellos los diferentes sectores usuarios.
- La metodología propuesta se articula con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico PNGIRH (2010) y la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos PNGIBSE (2012).



- La metodología propuesta se considera un insumo para aumentar el conocimiento del régimen de caudales que fluye por los cuerpos de agua del país.
- La metodología debe verse como una oportunidad para preparar la planificación de todos los sectores que hacen uso del agua, son miras a reducir los conflictos asociados a dicho uso.
- Se busca orientar un uso sostenible con miras a atender las necesidades humanas, el abastecimiento de agua potable, las actividades económicas, la generación de energía y los requerimientos de los ecosistemas.



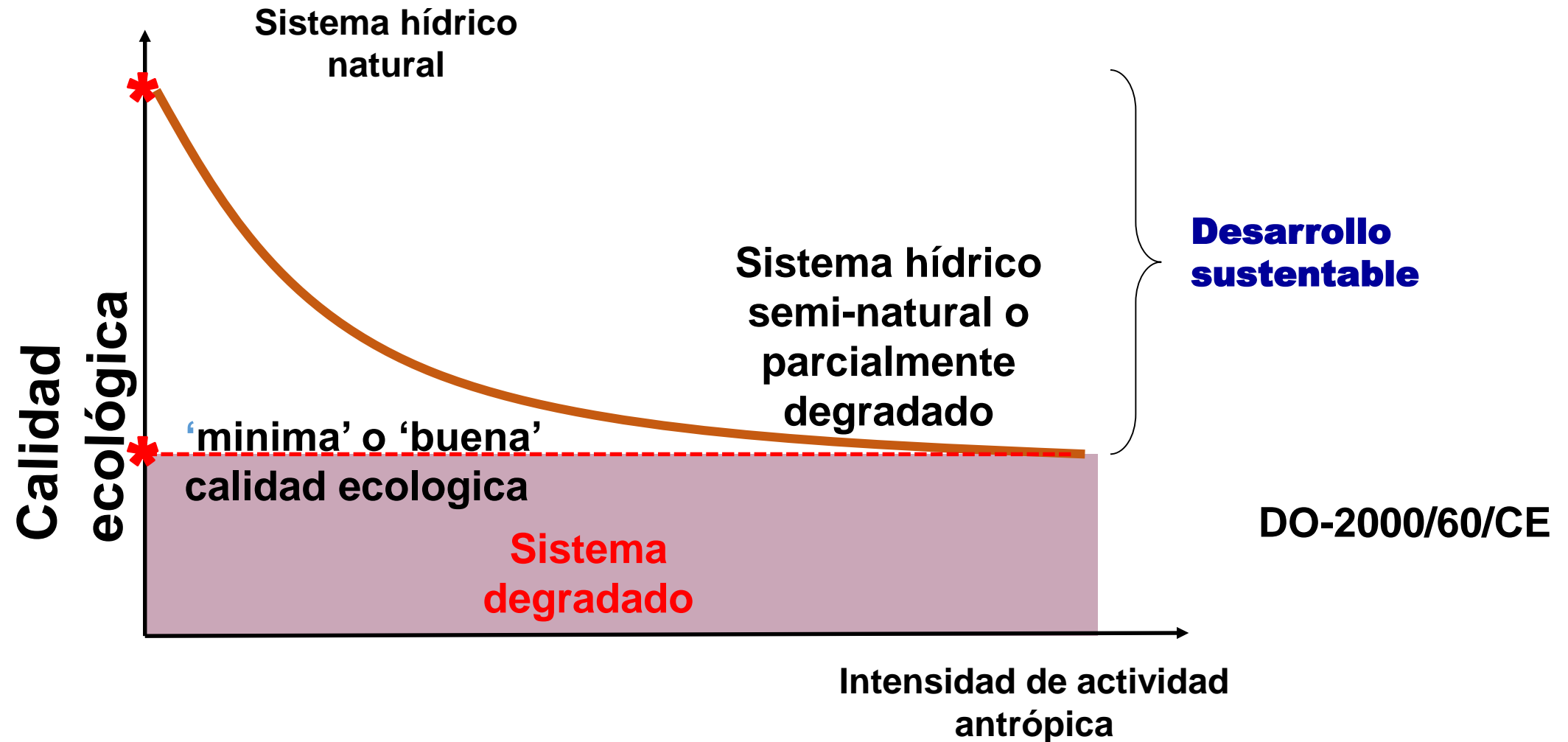
- La implementación de la metodología aportará en la prevención de conflictos por los diferentes usos y evitará que se siga perdiendo hábitat para las especies acuáticas y se altere significativamente el régimen de agua y sedimentos, se mantengan llanuras inundables, entre otros beneficios ambientales.
- Se esperan efectos positivos para la sostenibilidad de las actividades económicas que dependen del agua, teniendo en cuenta la conservación del recurso a futuro.



- La adecuada gestión de los caudales ambientales proporciona los recursos de agua necesarios para mantener los ecosistemas en coexistencia con la agricultura, la industria y los núcleos urbanos.
- La metodología responde a una necesidad nacional de actualizar las metodologías vigentes con base en las necesidades del país
- Ha sido desarrollada con base en una investigación de literatura técnica y normatividad internacional vigente, usando como insumos las metodologías desarrolladas mediante estudios previos en el país.



# RANGOS DE OBJETIVOS DE CALIDAD ECOLÓGICA PARA UN SISTEMA HÍDRICO





El ambiente  
es de todos

Minambiente

# Gracias por su atención

