



**El ambiente
es de todos**

Minambiente



El ambiente
es de todos

Minambiente

Metodología para la estimación del caudal ambiental en Colombia

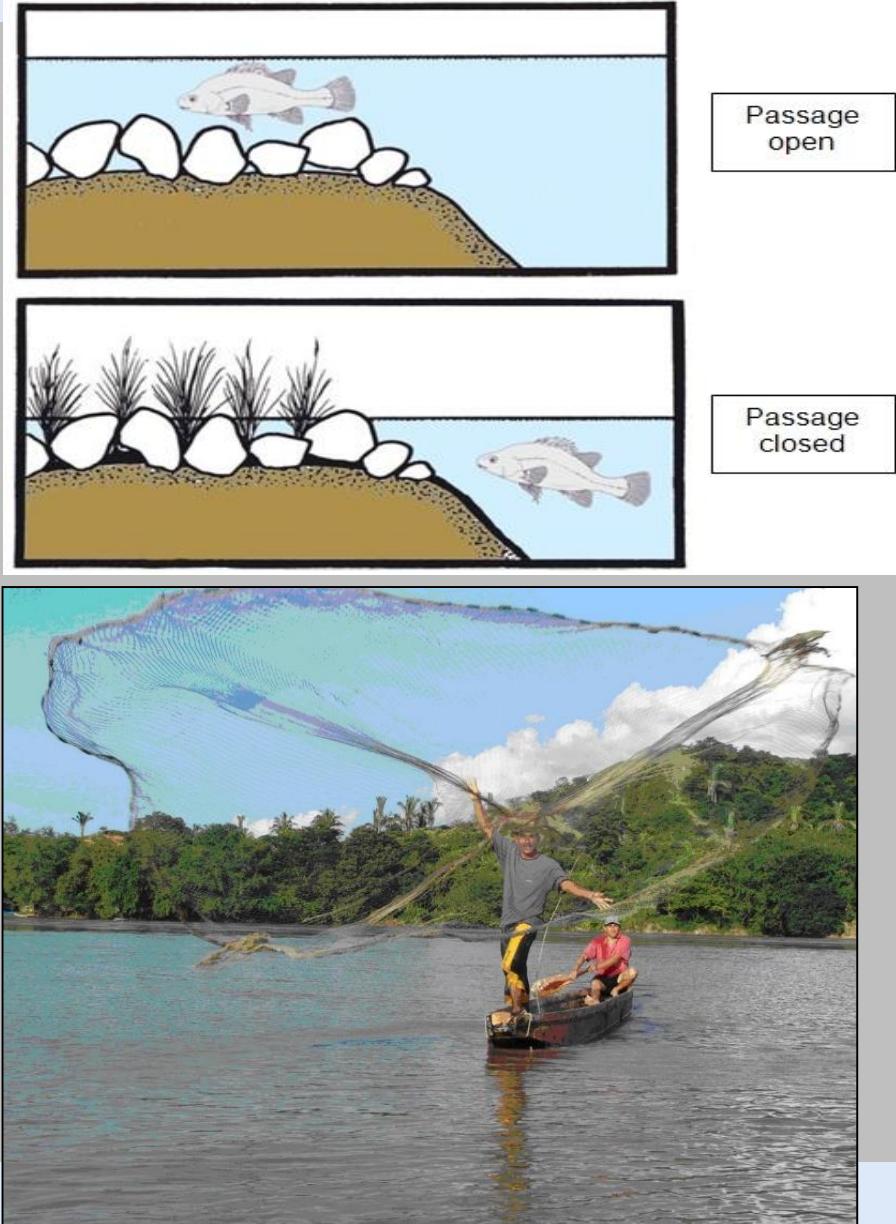
Bogotá D.C., 19 de marzo de 2019



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

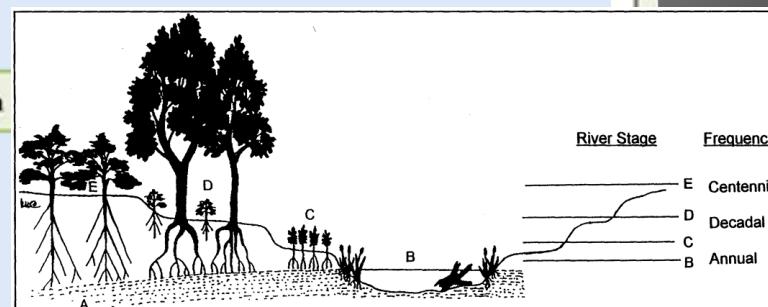
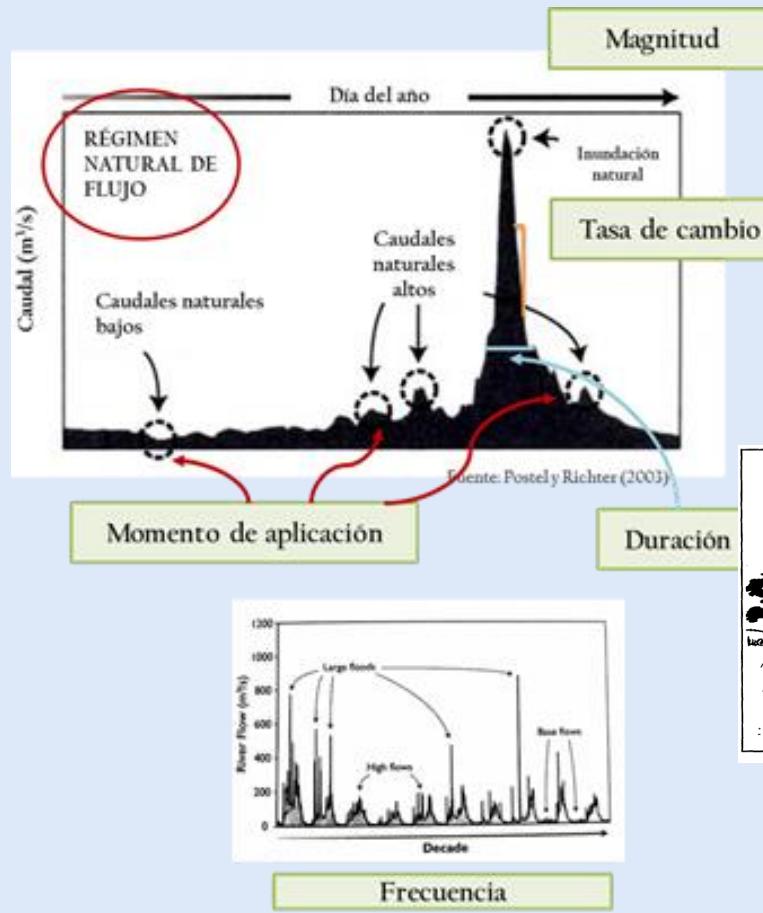
*Los caudales ambientales son los **flujos de agua**, el **momento de aplicación** y la **calidad** del agua precisos para **mantener los ecosistemas de agua dulce** y estuarinos, así como los **medios de subsistencia y bienestar de las personas** que dependen de tales ecosistemas”.*

Decreto 050 de 2018

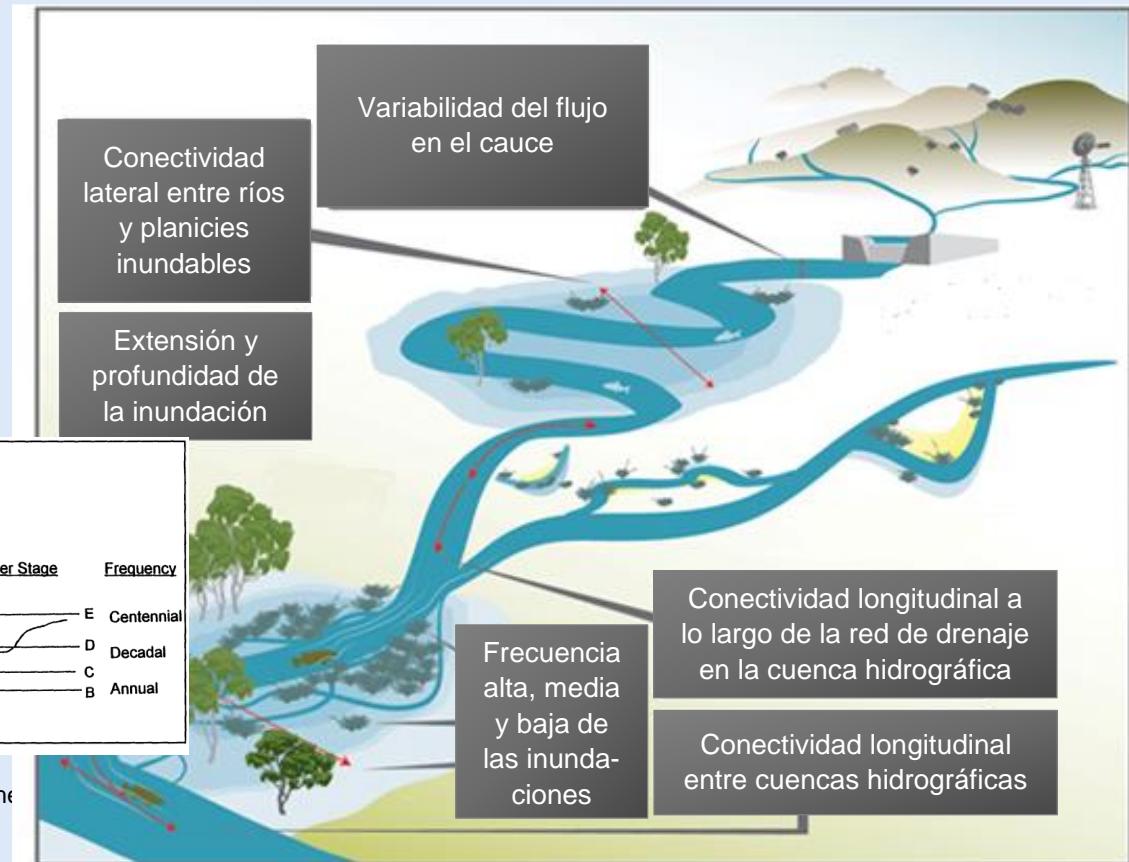
*“Volumen de agua por unidad de tiempo, en términos de **régimen** y **calidad**, requerido para mantener el **funcionamiento** y **resiliencia** de los **ecosistemas acuáticos** y su **provisión de servicios ecosistémicos**”.*

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

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

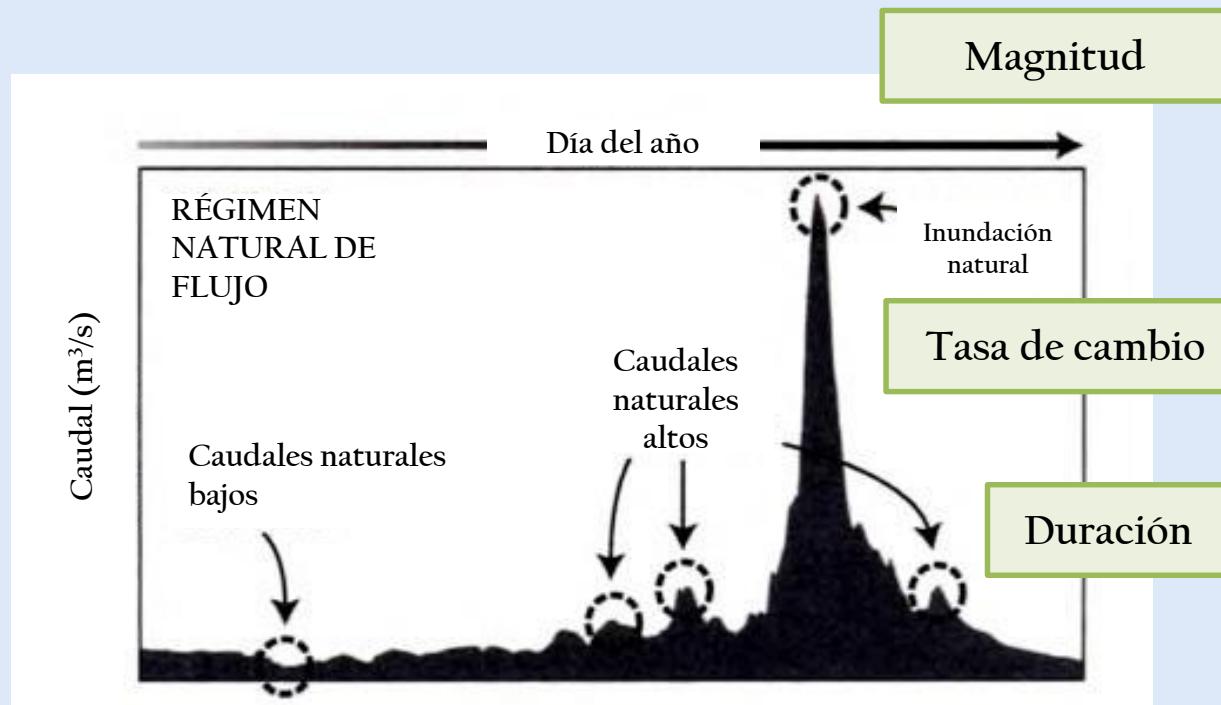


Poff et al. (1997) : The natural flow regime



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**.



Momento de aplicación

Frecuencia

TODO EL RÉGIMEN DE CAUDALES IMPORTA

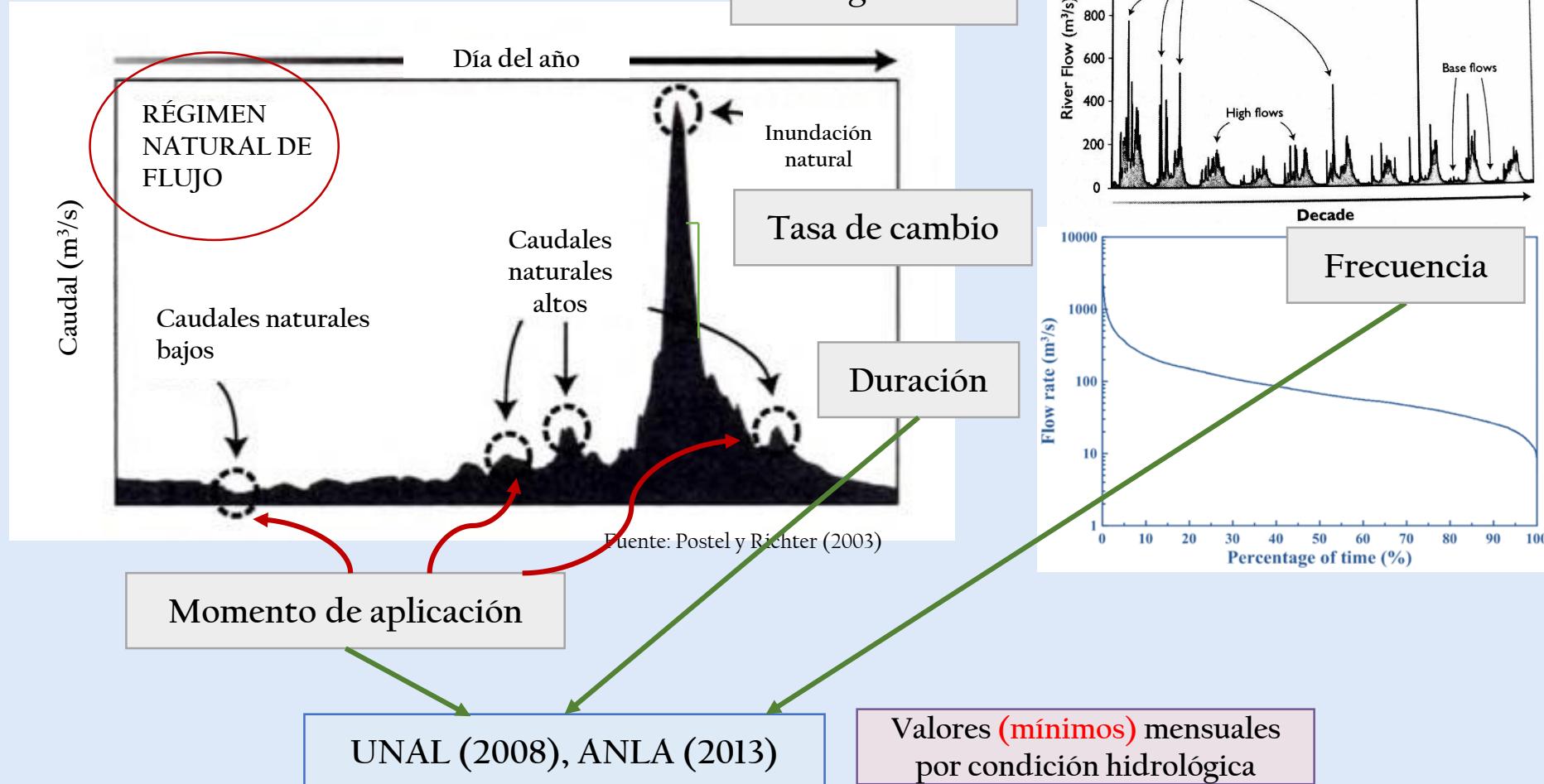
El caudal ambiental **NO ES** un valor mínimo ni constante en un mes o un año

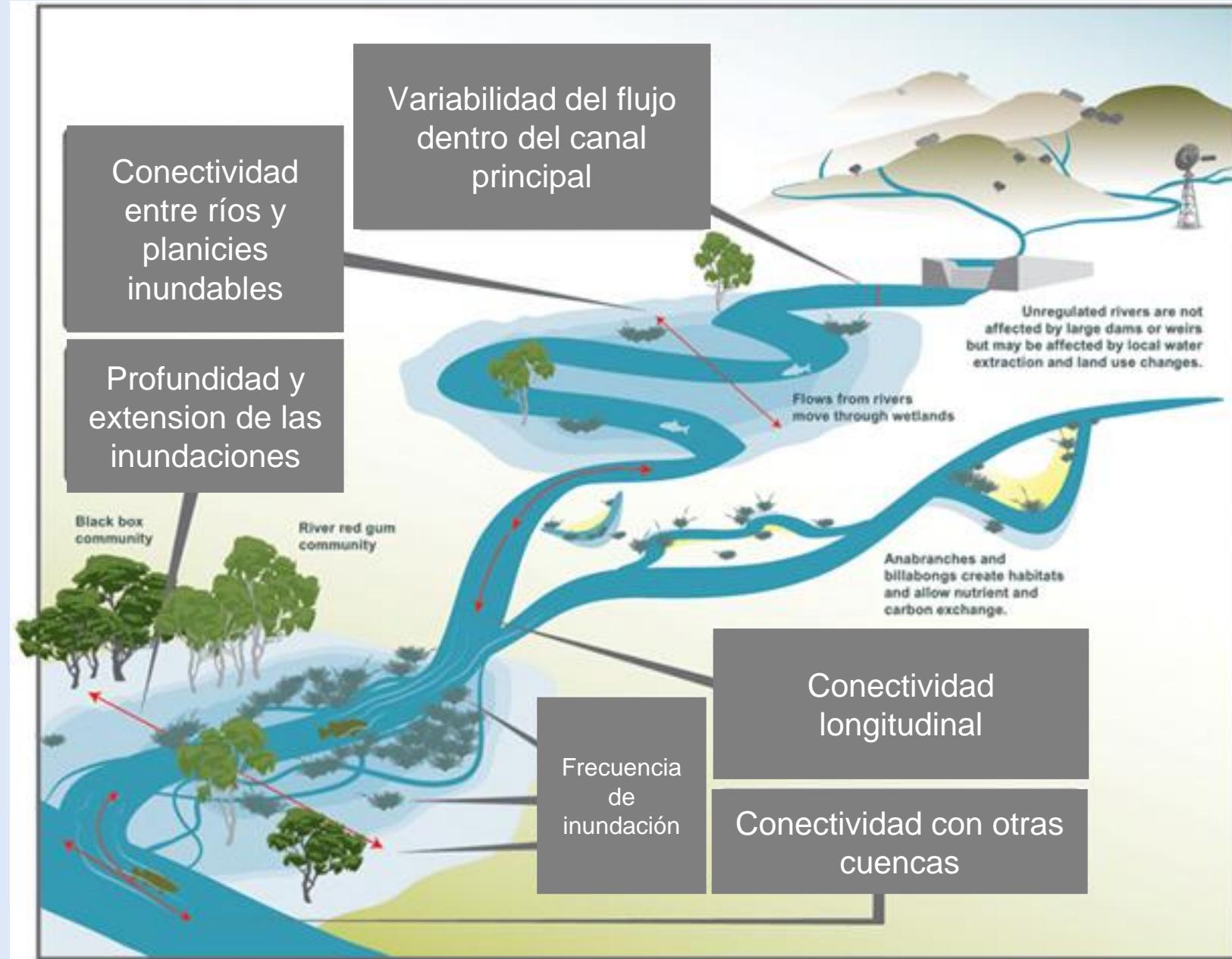
Tampoco es una proporción fija del caudal medio de una corriente de agua

DEFINICIONES

IDEAM (2000, 2010, 2013, 2014)
MAVDT (2004)

Valor (mínimo)
constante en el año







DEFINICIONES

¡TODO EL RÉGIMEN DE CAUDALES IMPORTA!

Extremos altos

Altos

Medios

Bajos

Extremos bajos

¿Para qué
importa?

Ciclo
hidrológico

Estructura y
funcionamiento de los
ecosistemas

Bienestar
humano

Objetivos ecológicos en la cuenca

Proteger la biodiversidad

Mantener los servicios ecosistémicos

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



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)

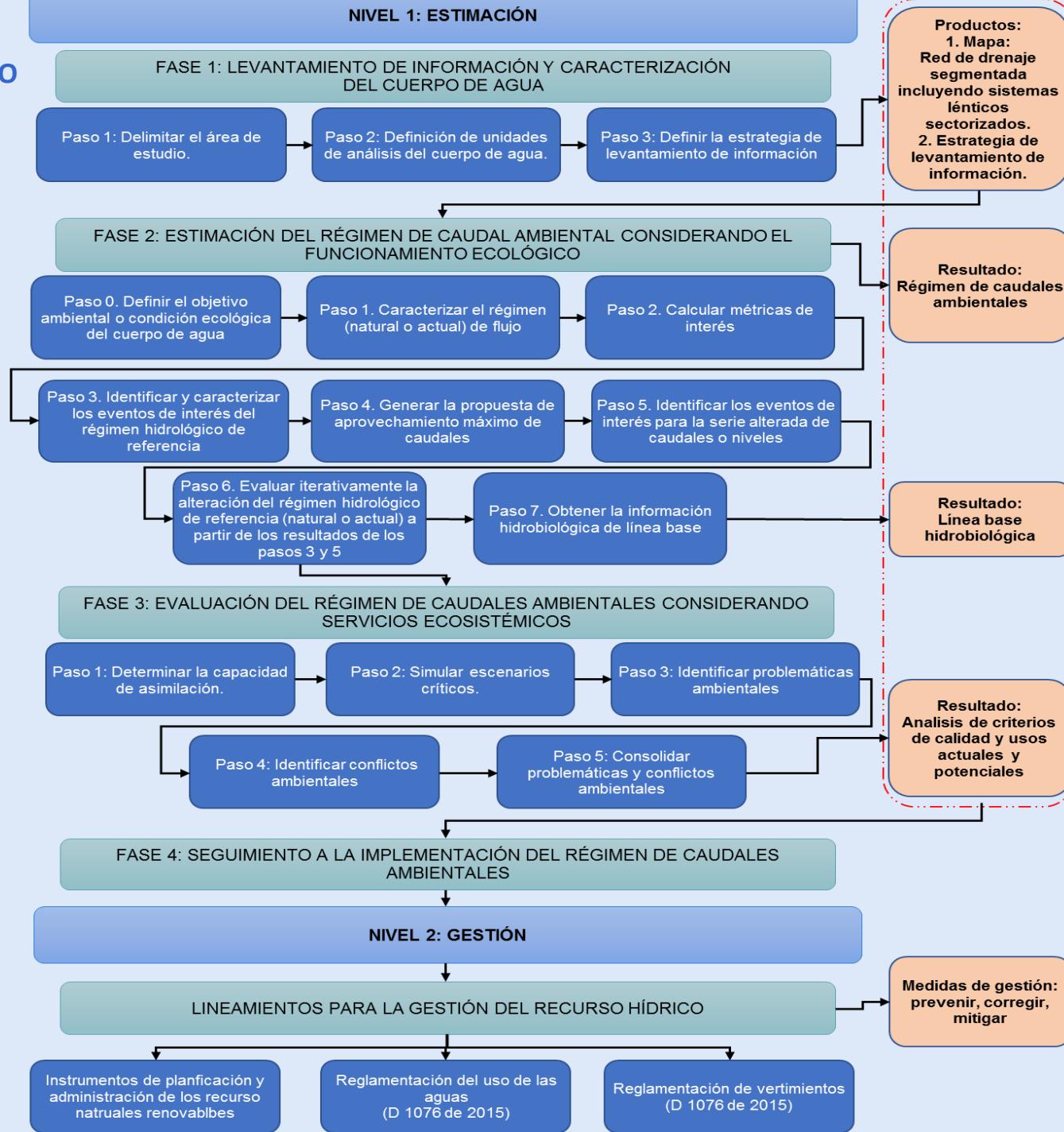
- Existencia de biota nativa o endémica
- Presencia de especies migratorias
- Presencia de fauna o flora en alguna categoría de amenaza
- Caudal ambiental en cuerpos de agua en áreas protegidas

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

NIVEL 1: ESTIMACIÓN

FASE 1: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CUERPO DE AGUA

Paso 1: Delimitar el área de estudio.

Paso 2: Definición de unidades de análisis del cuerpo de agua.

Paso 3: Definir la estrategia de levantamiento de información

Productos:

1. Mapa: Red de drenaje segmentada incluyendo sistemas léticos sectorizados.
2. Estrategia de levantamiento de información.

FASE 2: ESTIMACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL CONSIDERANDO EL FUNCIONAMIENTO ECOLÓGICO

Paso 0. Definir el objetivo ambiental o condición ecológica del cuerpo de agua

Paso 1. Caracterizar el régimen (natural o actual) de flujo

Paso 2. Calcular métricas de interés

Paso 3. Identificar y caracterizar los eventos de interés del régimen hidrológico de referencia

Paso 4. Generar la propuesta de aprovechamiento máximo de caudales

Paso 5. Identificar los eventos de interés ecológico para la serie alterada de caudales o niveles

Resultado:
Régimen de caudales ambientales

FASE 3: EVALUACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES AMBIENTALES CONSIDERANDO SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Paso 1: Determinar la capacidad de asimilación.

Paso 2: Simular escenarios críticos.

Paso 3: Identificar problemáticas ambientales

Paso 4: Identificar conflictos ambientales

Paso 5: Consolidar problemáticas y conflictos ambientales

Resultado:
Línea base hidrobiológica

Resultado:
Análisis de criterios de calidad y usos actuales y potenciales

FASE 4: SEGUIMIENTO A LA IMPLEMENTACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES AMBIENTALES

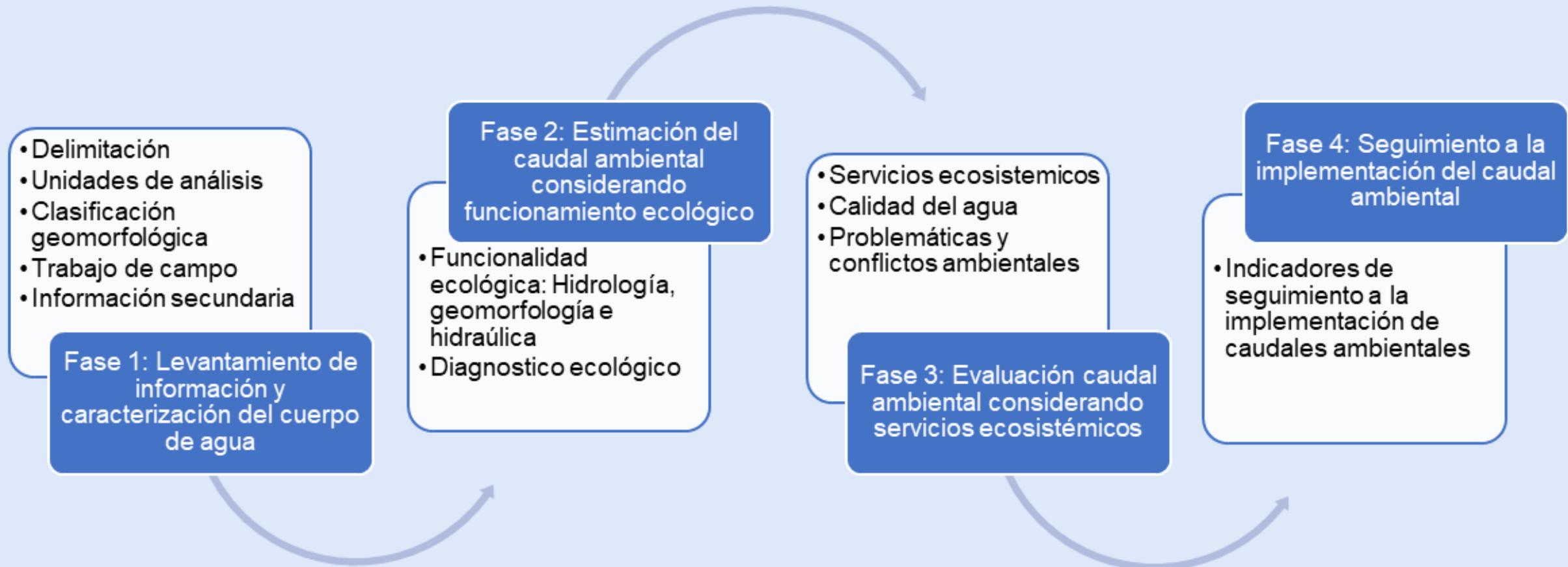


El ambiente
es de todos

Minambiente

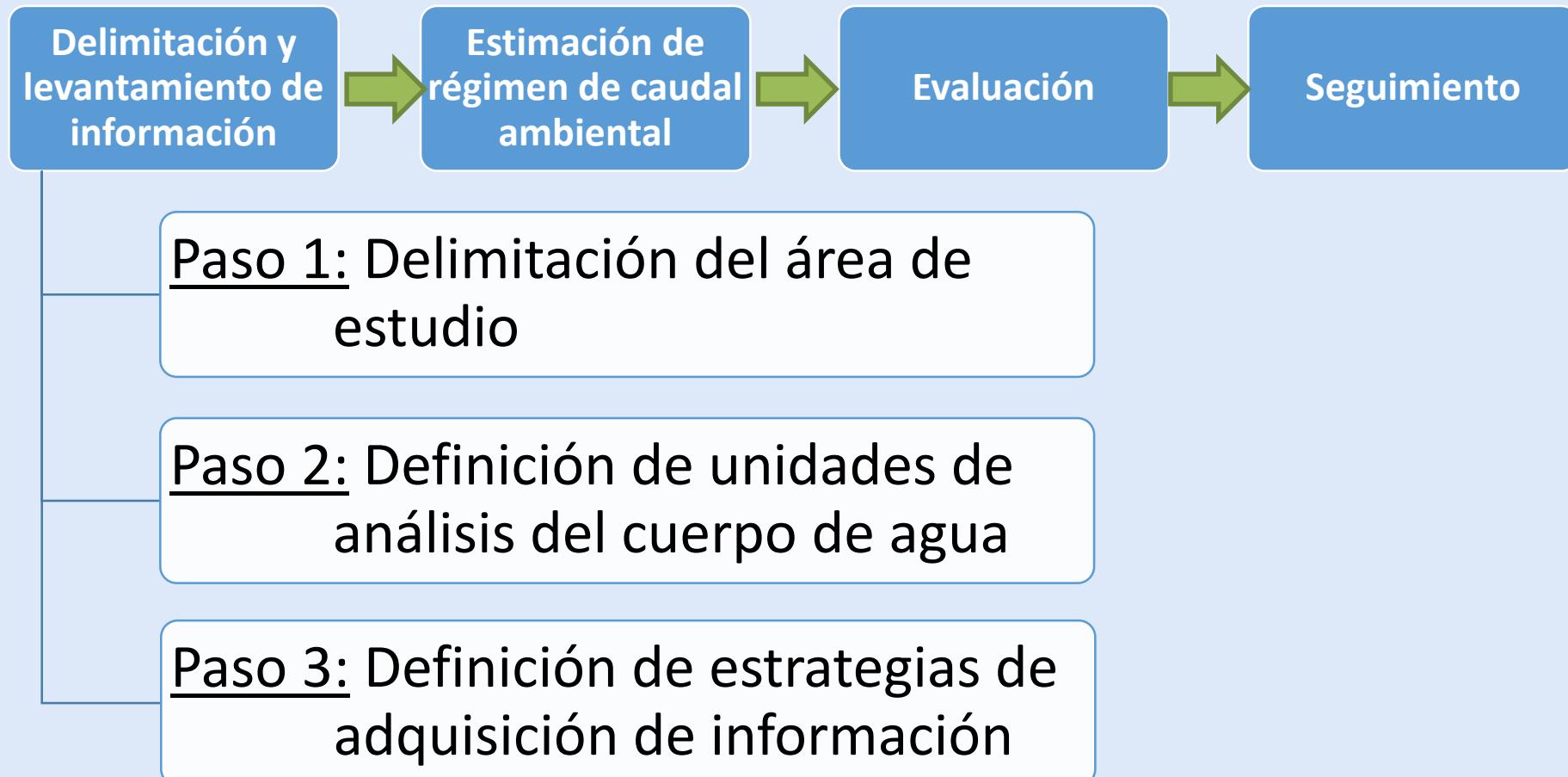
Nivel 1: Estimación del caudal ambiental

NIVEL 1: ESTIMACIÓN



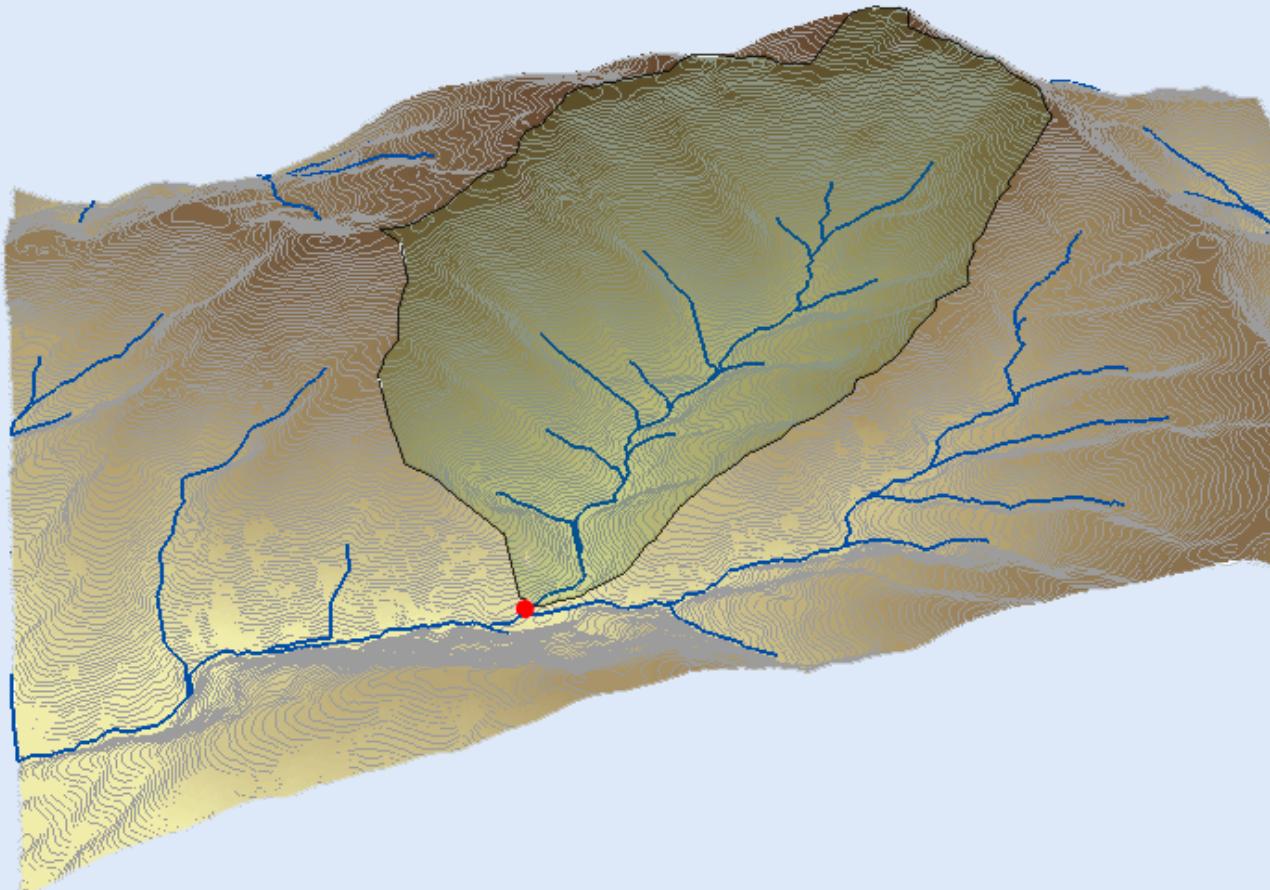


Nivel 1

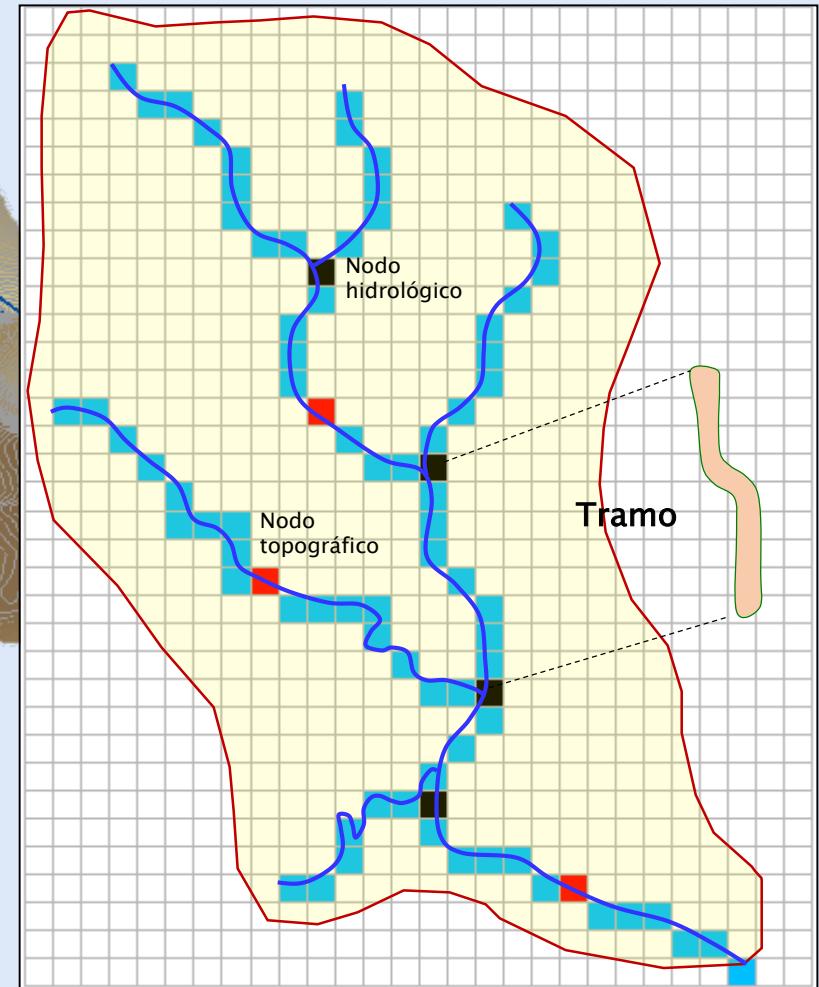




Paso 1: Delimitación del área de estudio

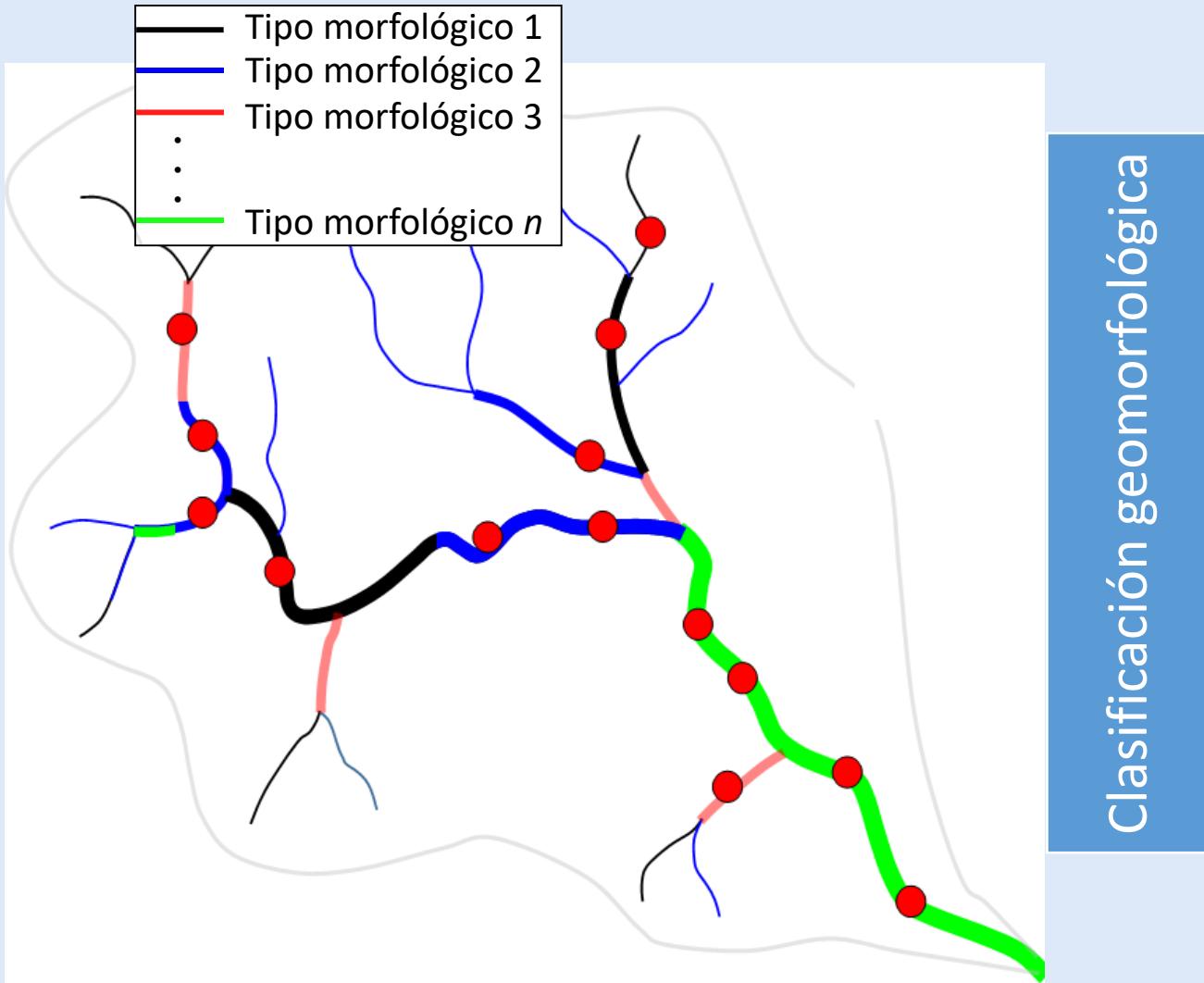


Fuente: <http://i0.wp.com/acolita.com/wp-content/uploads/2011/11/Delimitar-una-cuenca-hidrografica.png>



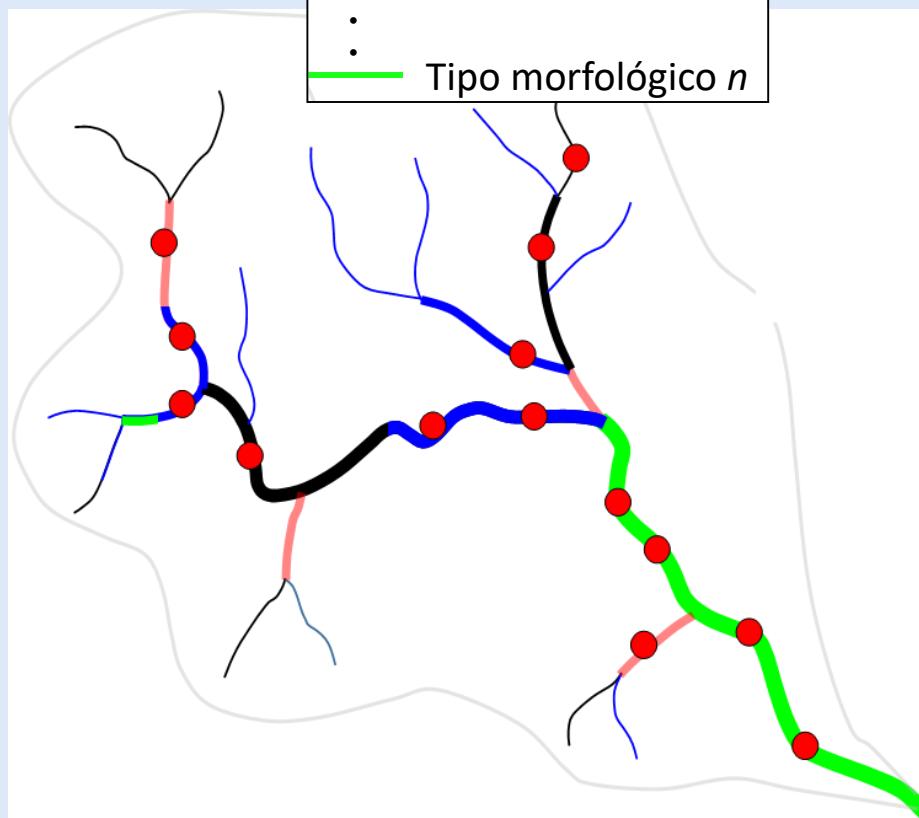
Fuente: UNAL-GOTTA (2015)

Paso 2: Definición de unidades de análisis

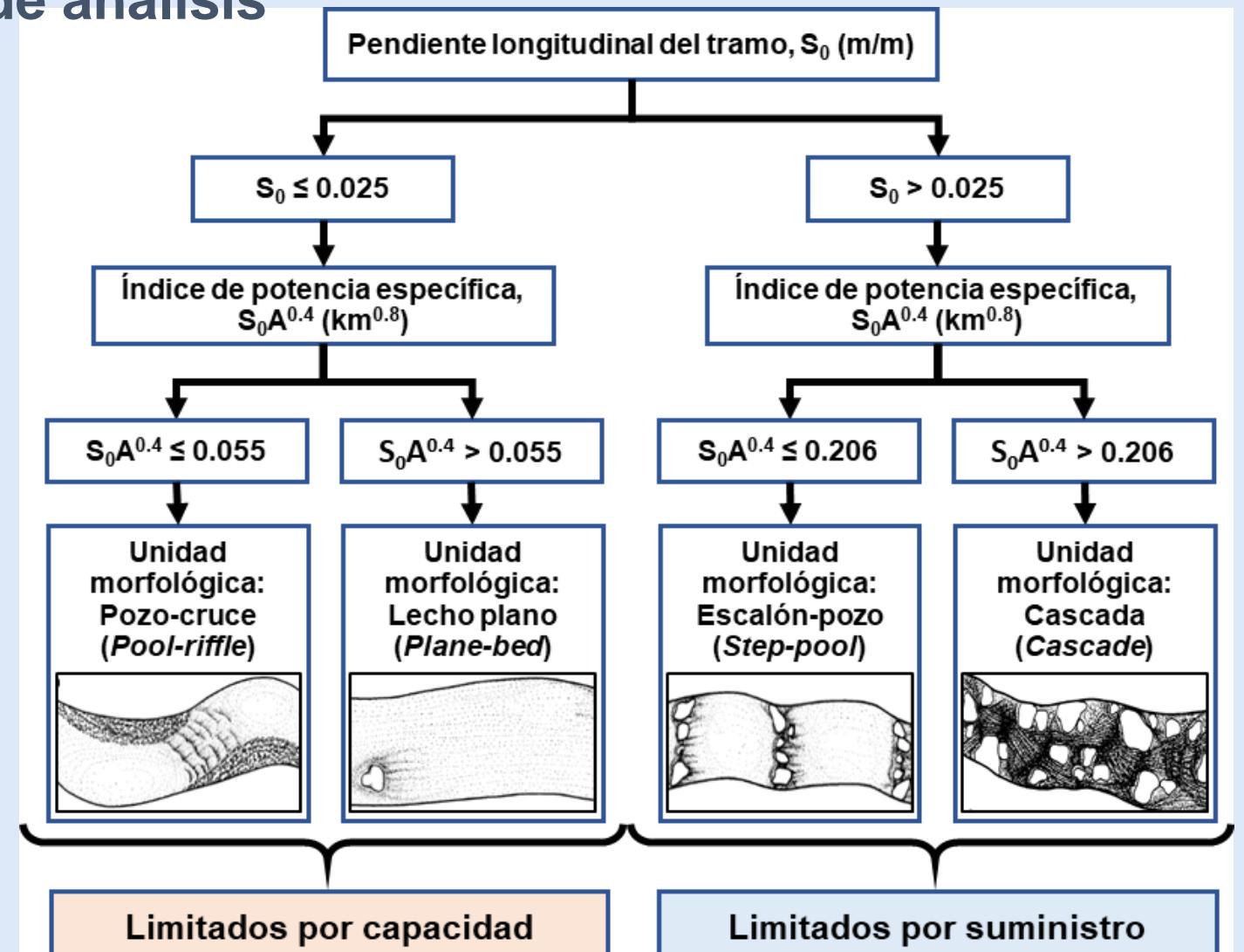


- Orienta levantamiento de información
- Permite identificar sitios en los que se requieren esfuerzos adicionales
- Base para plantear y verificar hipótesis de regionalización
- Permite enlazar hidrología, hidráulica y ecología
- Orienta acciones de seguimiento
- Permite analizar interacciones entre 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



- Tipo morfológico 1
- Tipo morfológico 2
- Tipo morfológico 3
- ⋮
- Tipo morfológico n





Recopilar

Redes de monitoreo

Obras de infraestructura

Vertimientos puntuales

Información hidrométrica

Servicios ecosistémicos

Información de usos y usuarios

Información de problemáticas y
conflictos ambientales

Redes de monitoreo

Obras de infraestructura

Vertimientos puntuales

Información hidrométrica

Servicios ecosistémicos

Información de usos y usuarios

Información de problemáticas y
conflictos ambientales

Redes de monitoreo

Obras de infraestructura

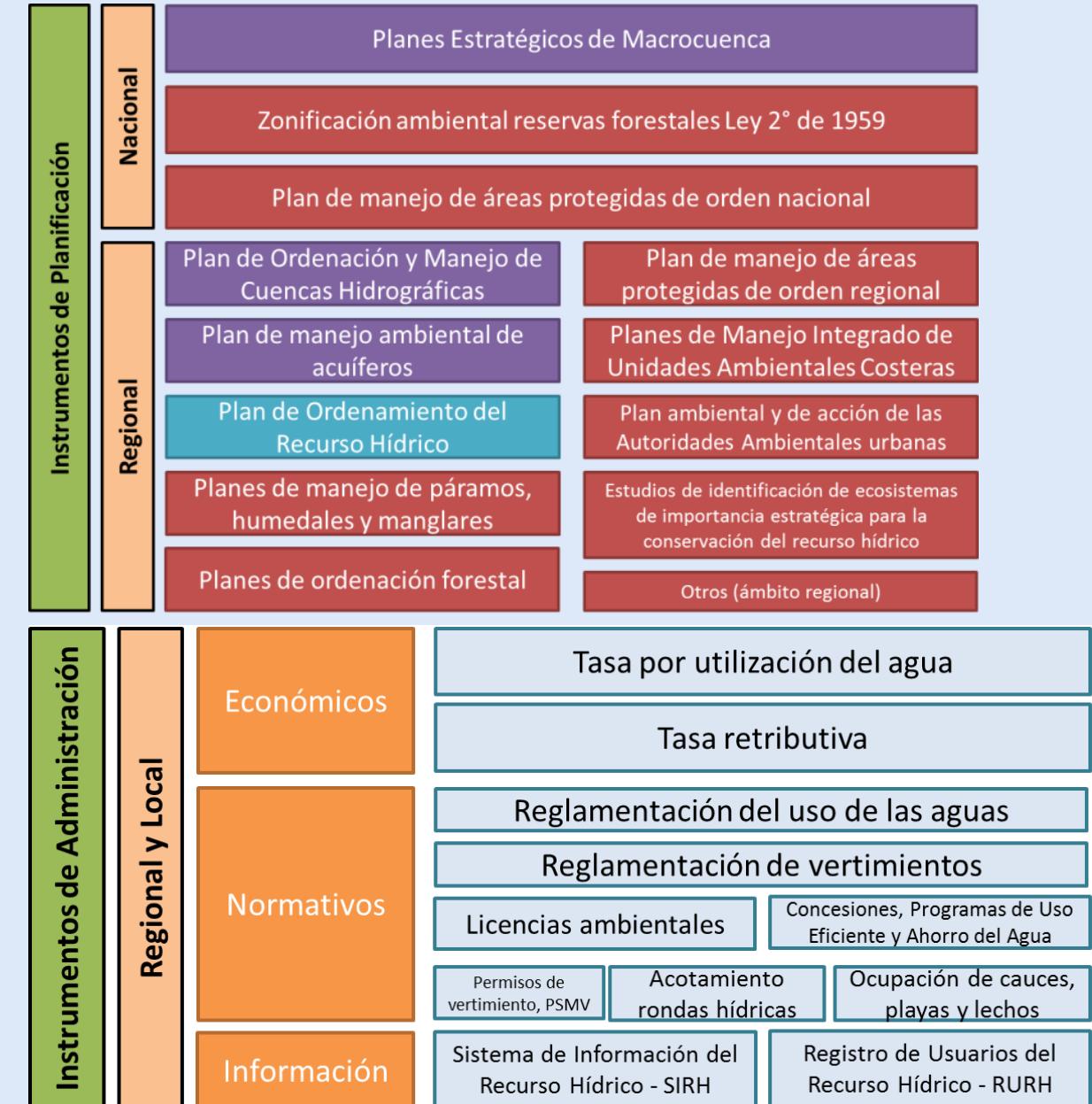
Vertimientos puntuales

Información hidrométrica

Servicios ecosistémicos

Información de usos y usuarios

Información de problemáticas y
conflictos ambientales

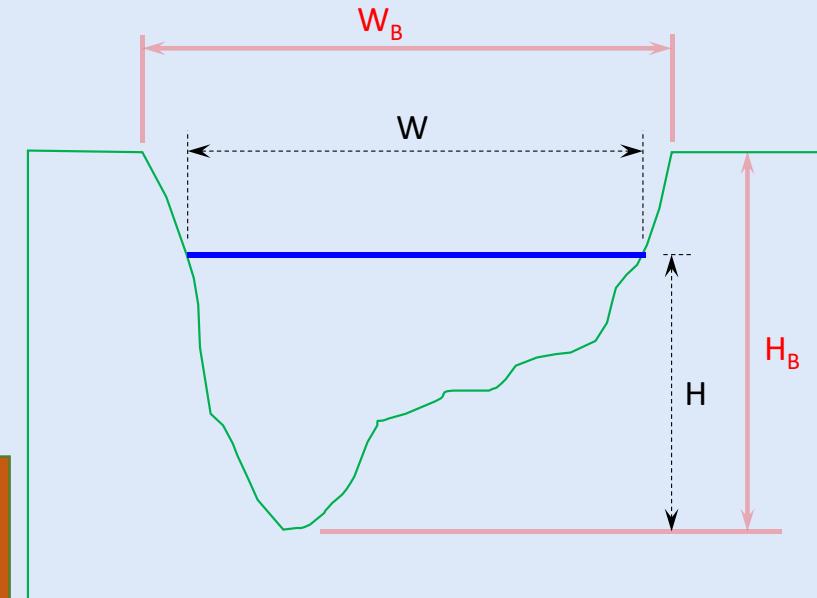


Paso 3: Estrategias de adquisición de información

Trabajo de campo



Fuente: MADS CORNARE
UNAL-GOTTA (2015)

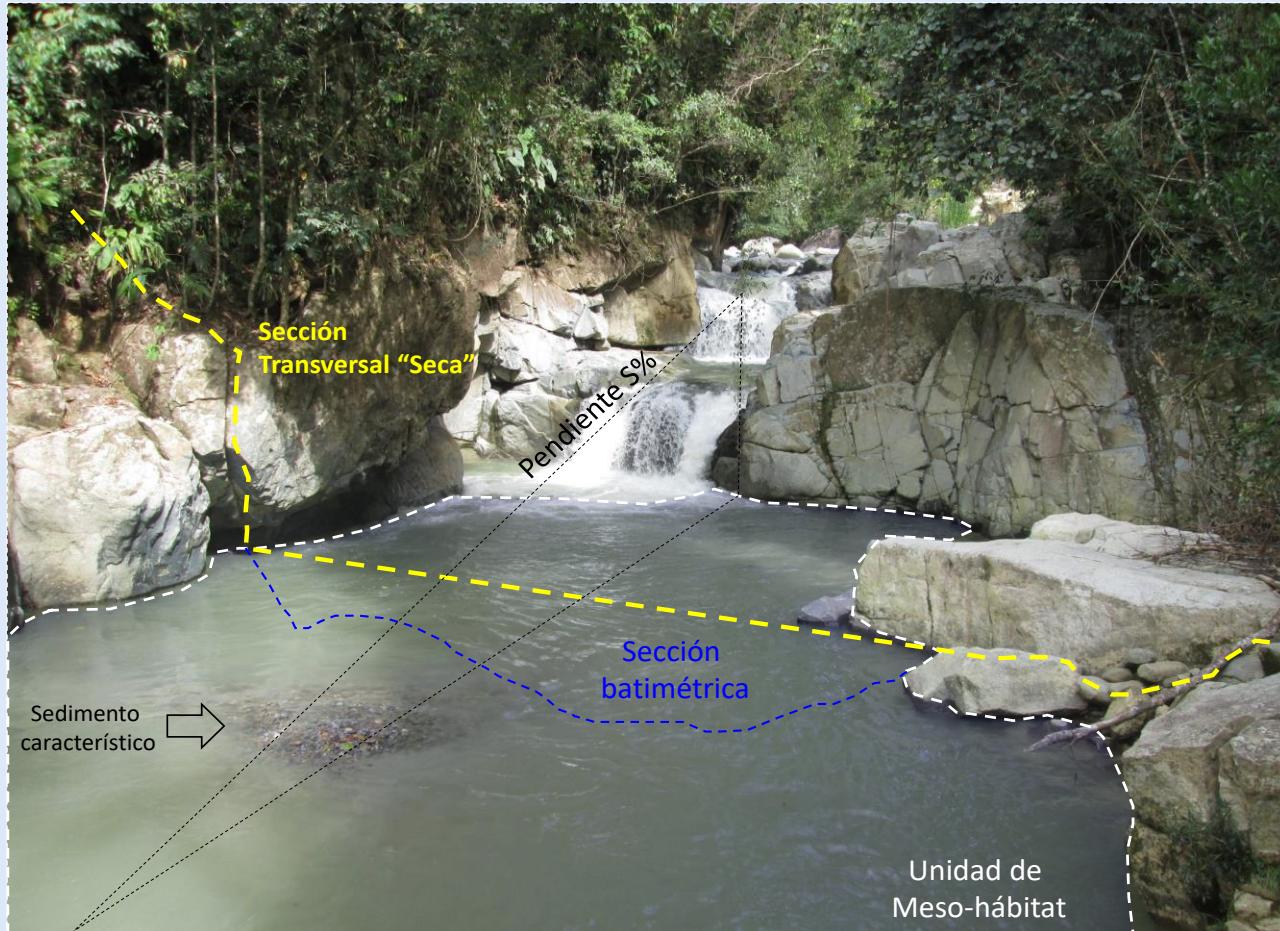


¡Siempre midiendo caudal!

¡Caracterizar tramos!

Paso 3: Estrategias de adquisición de información

Trabajo de campo

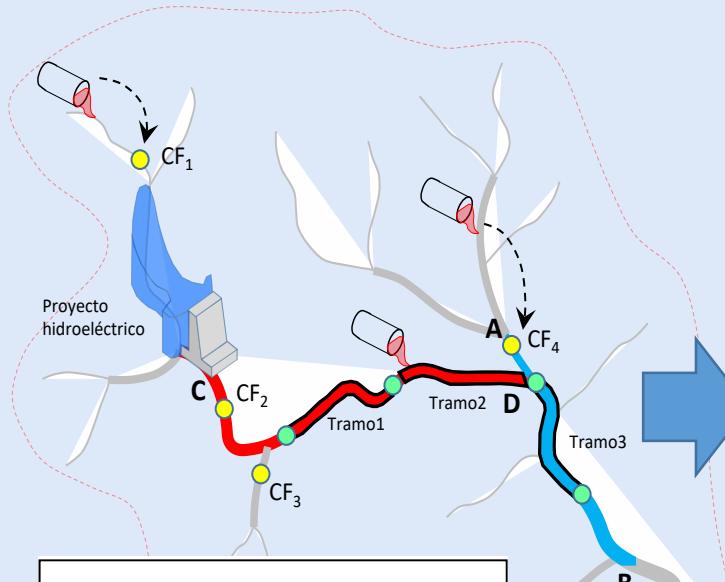


Variable	Descripción
$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	Caudal
$A \text{ (m}^2)$	Área de flujo
$Y_{\max} \text{ (m)}$	Profundidad máxima
$Y_{\text{media}} \text{ (m)}$	Profundidad media
$V_{\text{media}} \text{ (m/s)}$	Velocidad media
$V_{\max} \text{ (m/s)}$	Velocidad máxima
$W \text{ (m)}$	Ancho de flujo
F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

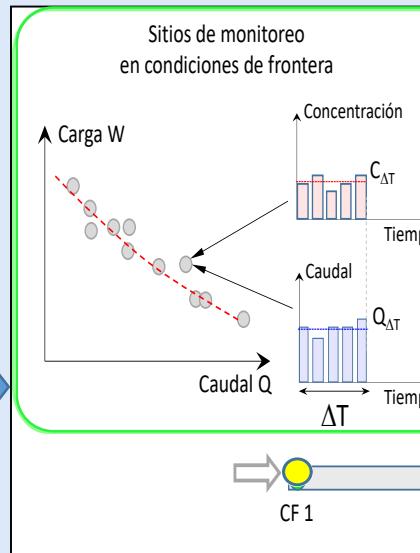
^a No es necesariamente representativa en la escala de tramo, pero es un proxy en ausencia de información.

Paso 3: Estrategias de adquisición de información

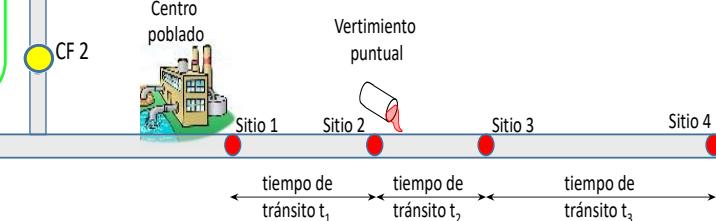
Trabajo de campo



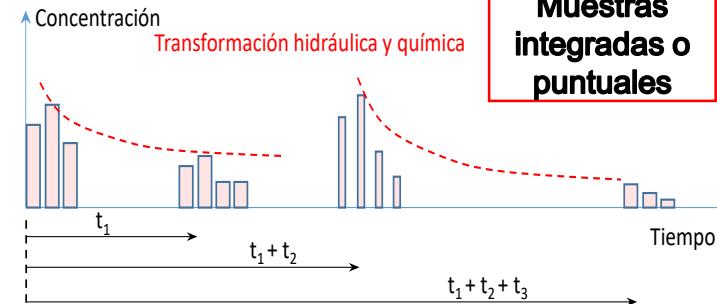
- Sitios de monitoreo en tramos
- Sitios de monitoreo en condiciones de frontera
- Simulación de efectos hacia aguas abajo
- Generadores de vertimiento



Muestras compuestas

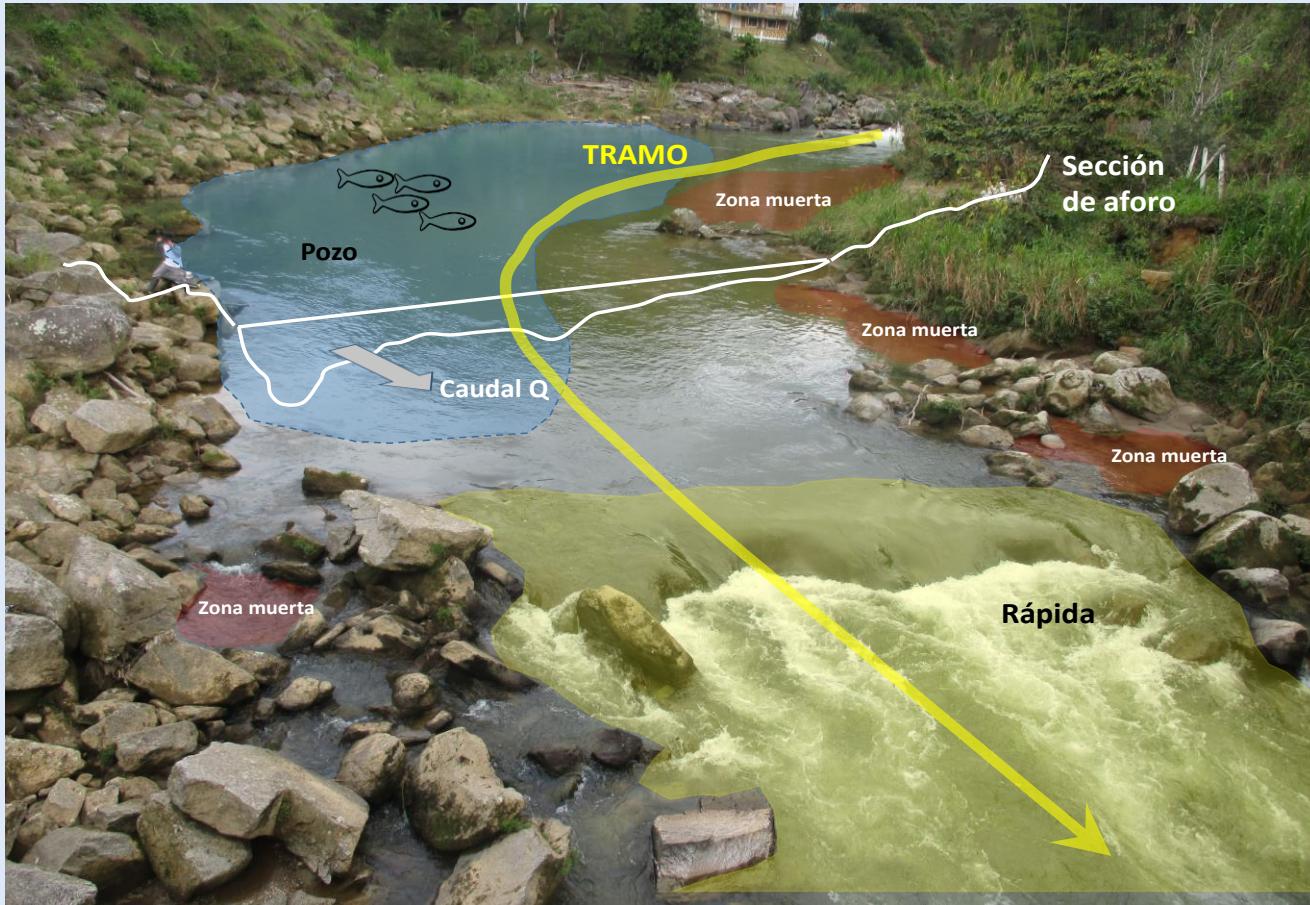


Sitios de monitoreo en tramos experimentales



Muestras integradas o puntuales

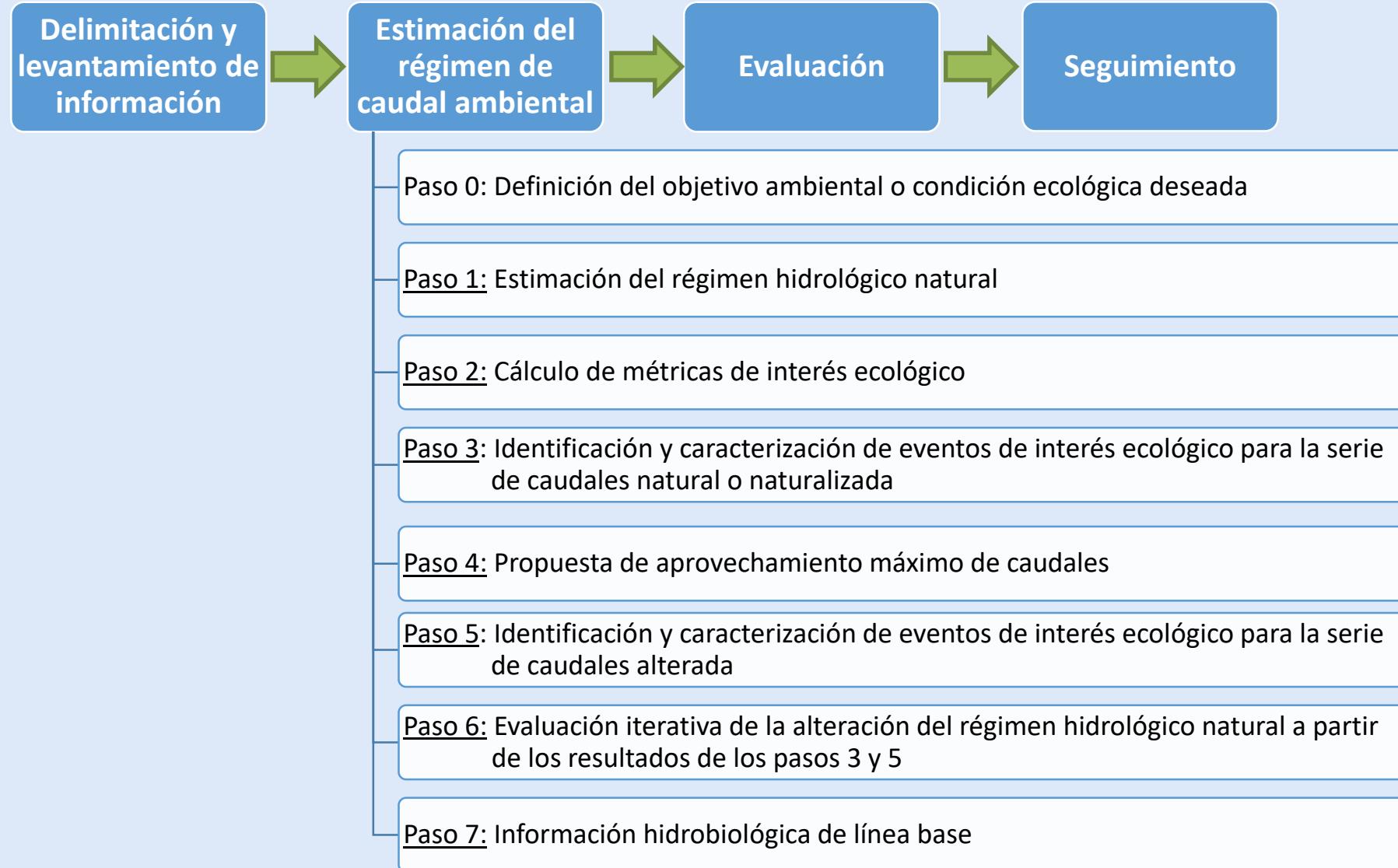
Paso 3: Estrategias de adquisición de información hidrobiológica - Trabajo de campo



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



Nivel 1





Paso 0: Definición del objetivo ambiental o condición ecológica deseada

Servicios ecosistémicos asociados:

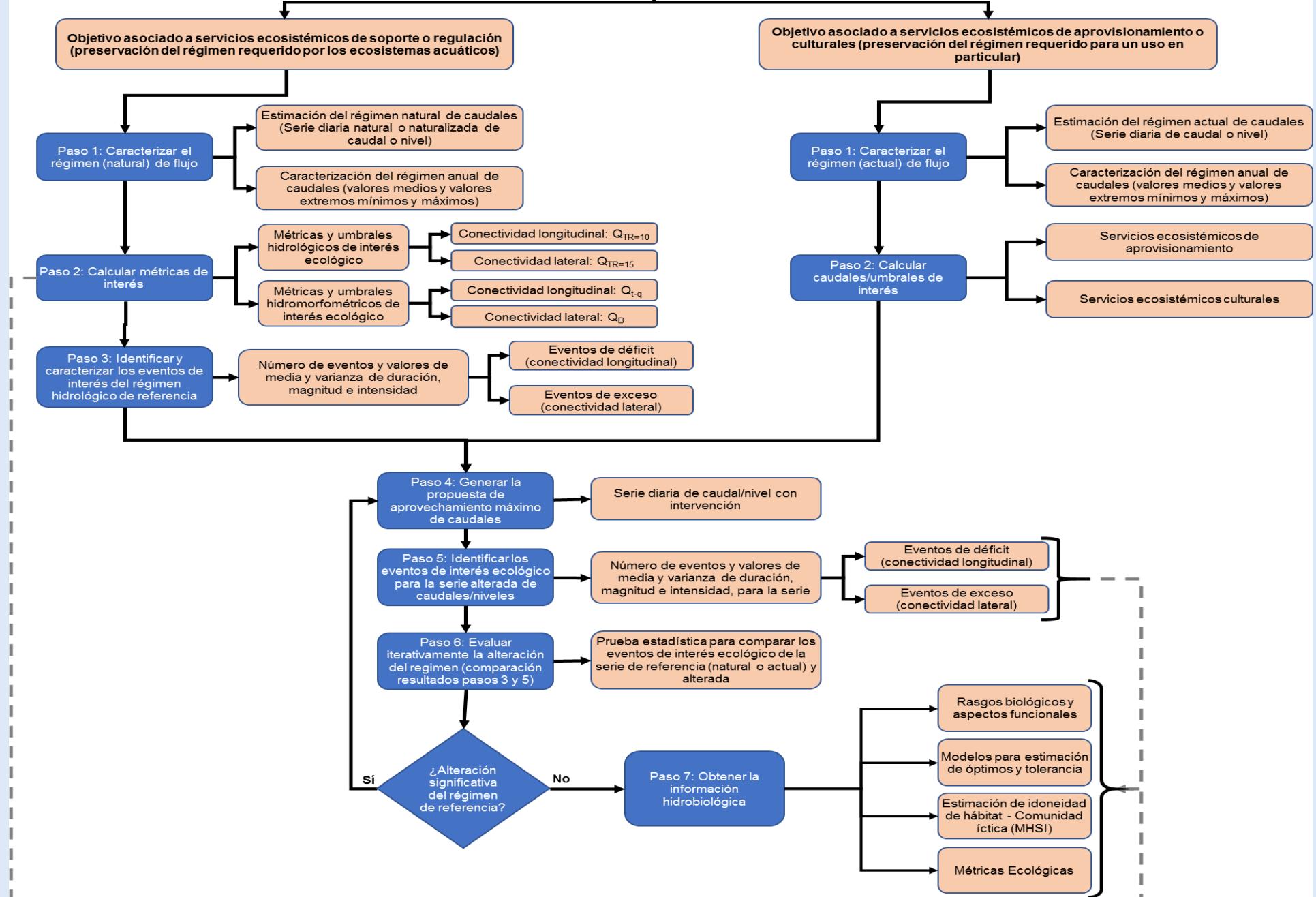
- **SSEE de soporte o regulación:** asociados con estrategias ambientales para la preservación o restauración del régimen natural de flujo.
- **SSEE de aprovisionamiento o culturales:** asociados con usos para el abastecimiento de las demandas de sectores usuarios, incluidos recreación, ritos, etc.

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

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**.



Paso 0: Definir el objetivo ambiental o condición ecológica del cuerpo de agua





NIVEL 1: ESTIMACIÓN FASE 2

Paso 0: Definir el objetivo ambiental o condición ecológica del cuerpo de agua

Objetivo asociado a servicios ecosistémicos de soporte o regulación (preservación del régimen requerido por los ecosistemas acuáticos)

Objetivo asociado a servicios ecosistémicos de aprovisionamiento o culturales (preservación del régimen requerido para un uso en particular)

Paso 1: Caracterizar el régimen (natural) de flujo

Estimación del régimen natural de caudales (Serie diaria natural o naturalizada de caudal o nivel)

Caracterización del régimen anual de caudales (valores medios y valores extremos mínimos y máximos)

Métricas y umbrales hidrológicos de interés ecológico

Conectividad longitudinal: $Q_{TR=10}$

Conectividad lateral: $Q_{TR=15}$

Métricas y umbrales hidromorfométricos de interés ecológico

Conectividad longitudinal: Q_{t-q}

Conectividad lateral: Q_B

Paso 2: Calcular métricas de interés

Paso 3: Identificar y caracterizar los eventos de interés del régimen hidrológico de referencia

Número de eventos y valores de media y varianza de duración, magnitud e intensidad

Eventos de déficit (conectividad longitudinal)

Eventos de exceso (conectividad lateral)

Paso 1: Caracterizar el régimen (actual) de flujo

Estimación del régimen actual de caudales (Serie diaria de caudal o nivel)

Caracterización del régimen anual de caudales (valores medios y valores extremos mínimos y máximos)

Servicios ecosistémicos de aprovisionamiento

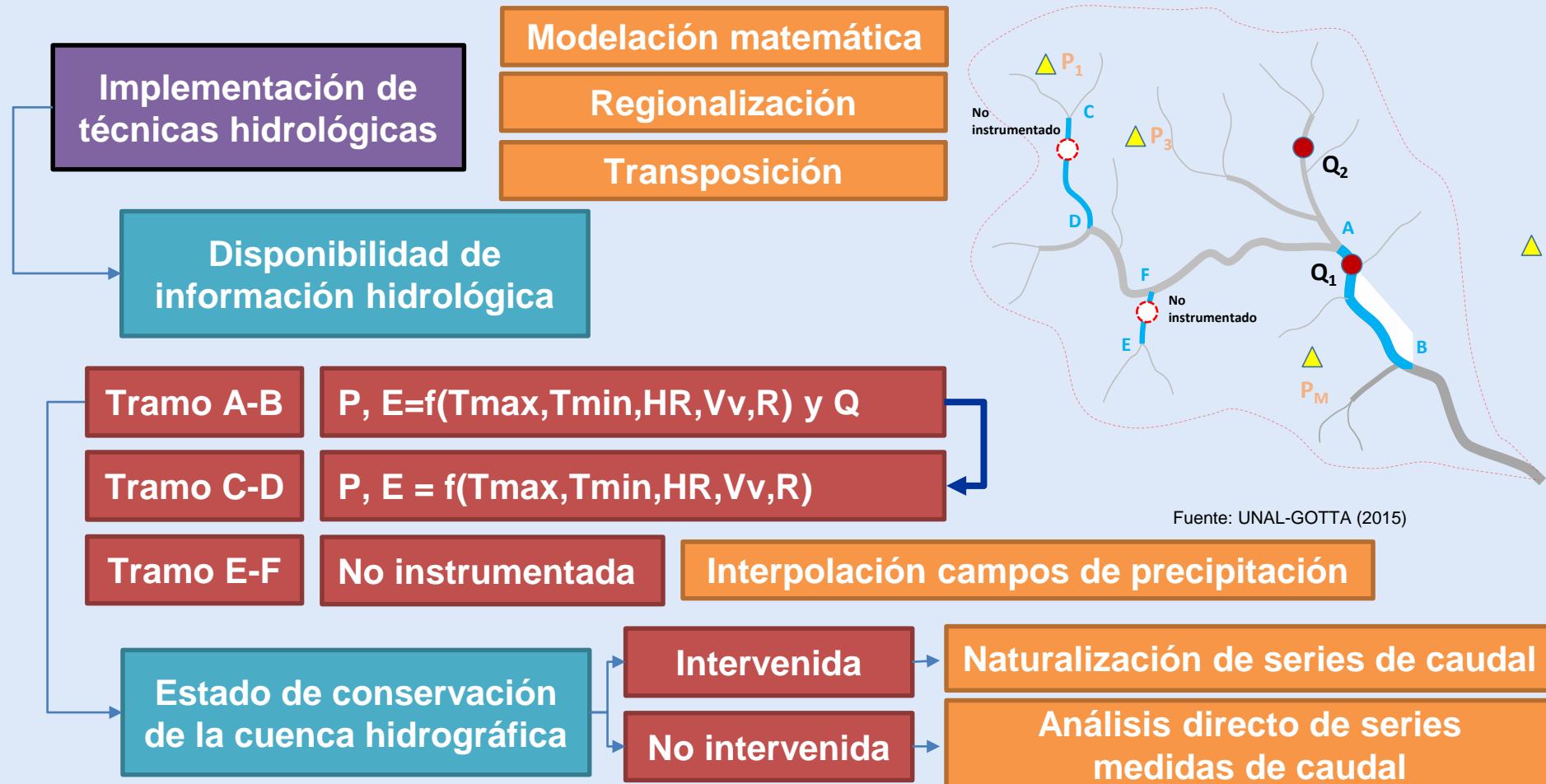
Servicios ecosistémicos culturales

Paso 2: Calcular caudales/umbrales de interés

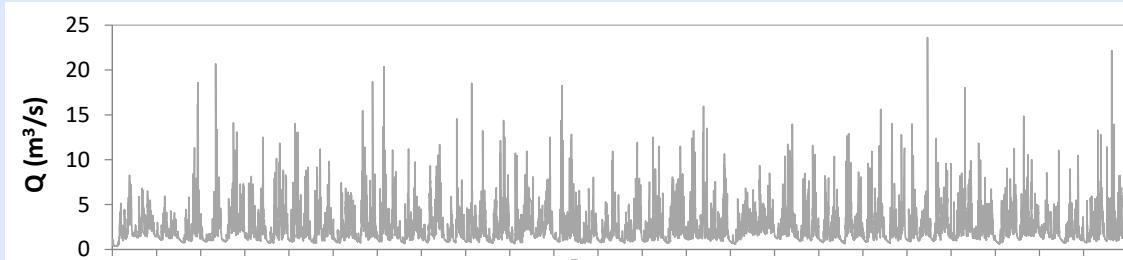
Paso 4: Generar la propuesta de aprovechamiento máximo de caudales

Serie diaria de caudal/nivel con intervención

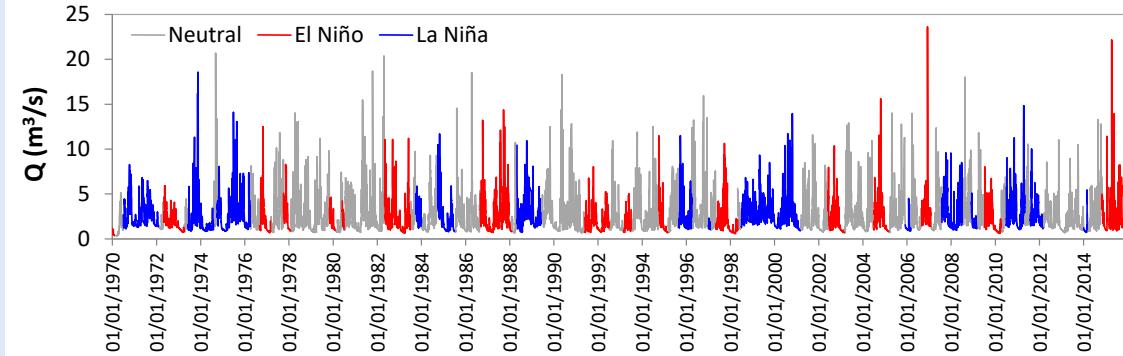
Paso 1a: Estimación del régimen hidrológico (natural o actual)



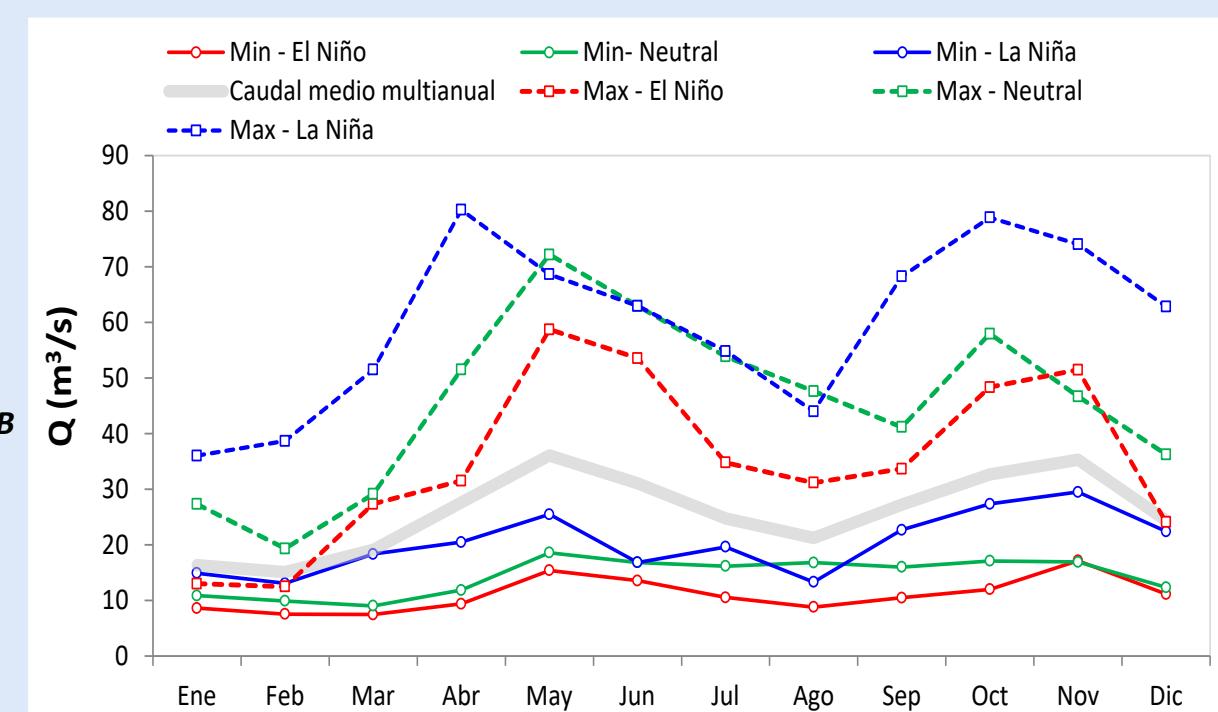
Paso 1b: Caracterización del régimen anual de caudales (natural o actual)



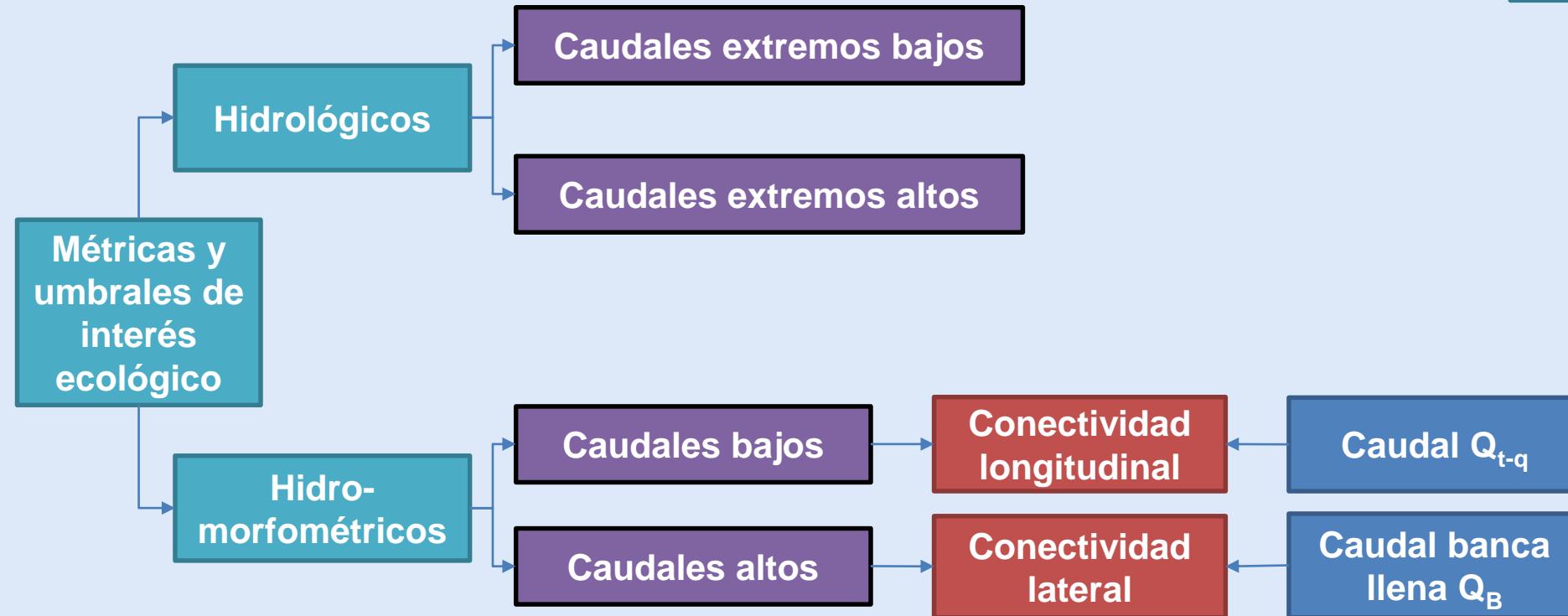
ONI, SOI, MEI, Otros



HIDROLOGÍA



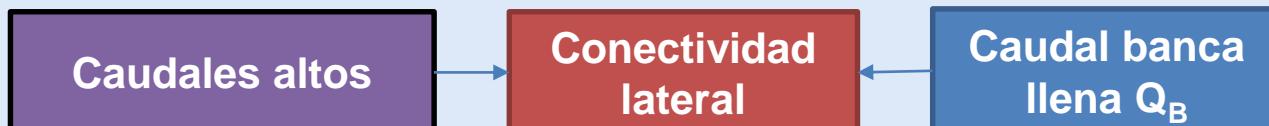
Paso 2: Métricas y umbrales de interés ecológico



Paso 2b: Métricas y umbrales hidromorfométricos de interés ecológico



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



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).



Fuente: www.eltiempo.com



ECOLOGÍA

SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS

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

Magnitud (D)

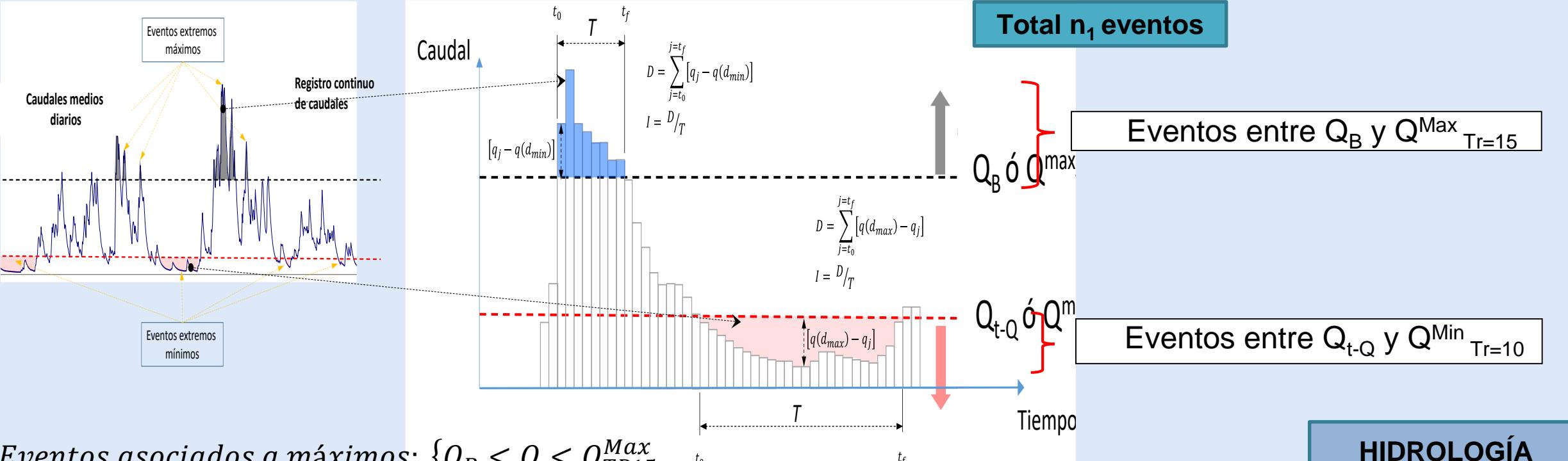
Duración (T)

Intensidad (I)

Media \bar{X}_1 Varianza S_1^2

Año i

Mes j

 $n_{j,i}$ Eventos

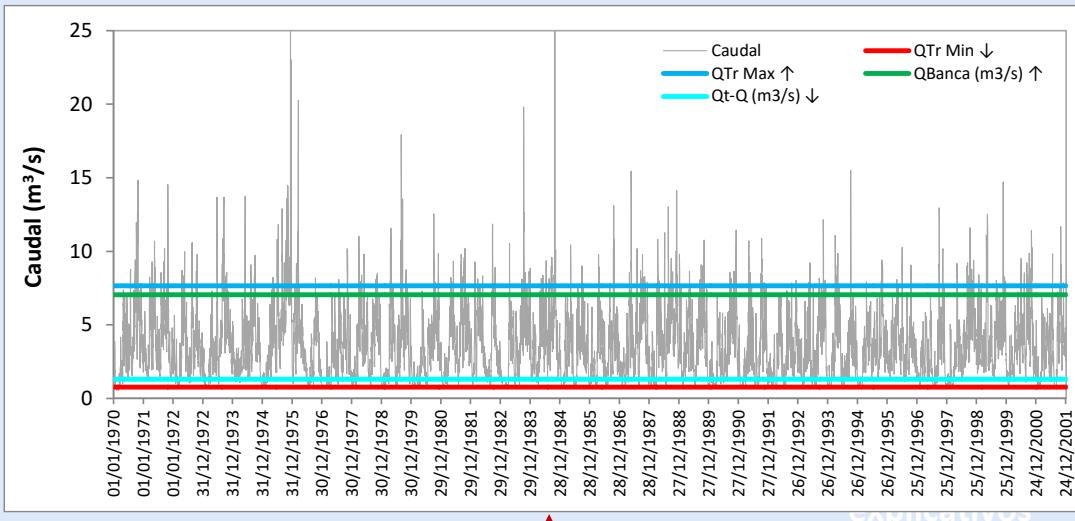
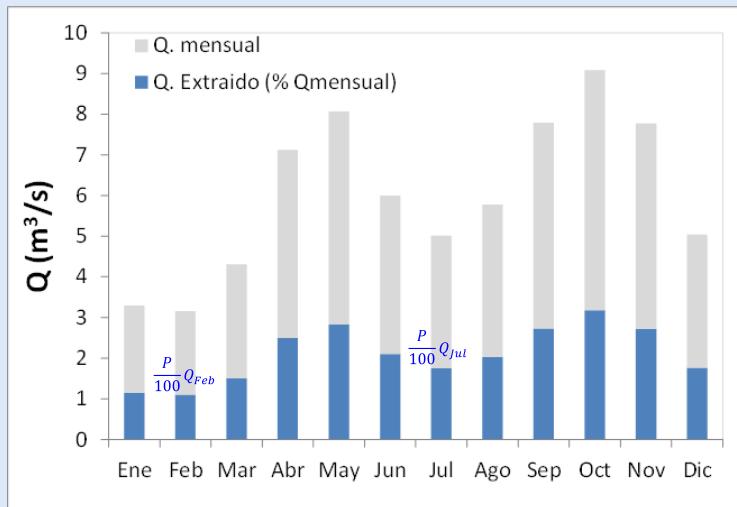
Eventos asociados a máximos: $\{Q_B < Q < Q_{TR15}^{Max}$

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

HIDROLOGÍA

ECOLOGÍA

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



Porcentaje de aprovechamiento
 P

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

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)

Media \bar{X}_2

Duración (T)

Varianza S_2^2

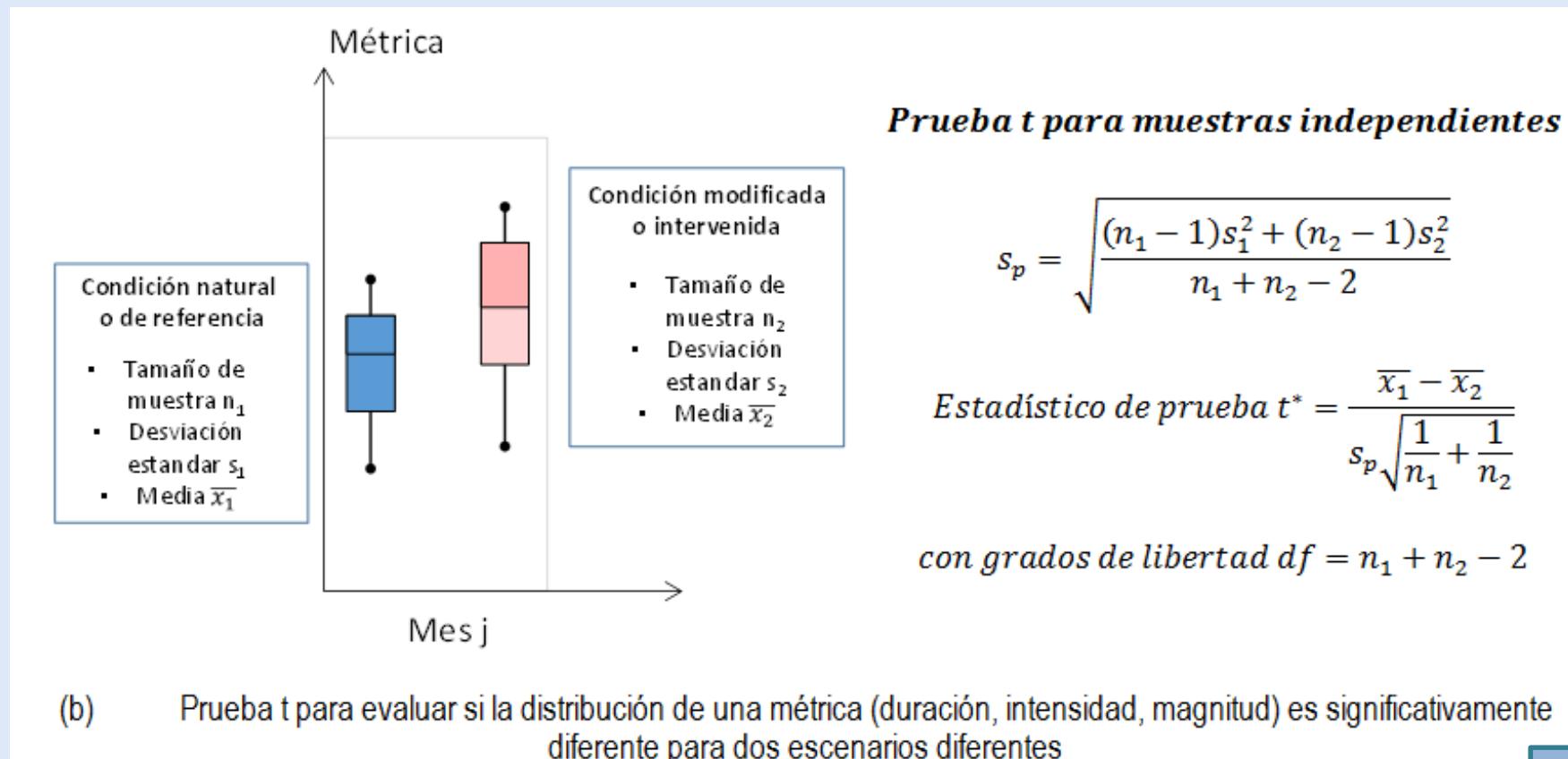
Intensidad (I)

Total n_2 eventos

HIDROLOGÍA

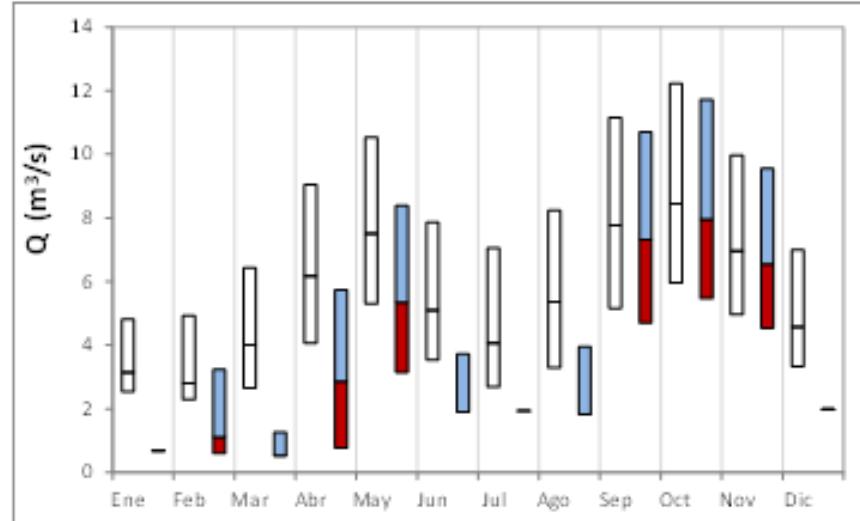
ECOLOGÍA

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

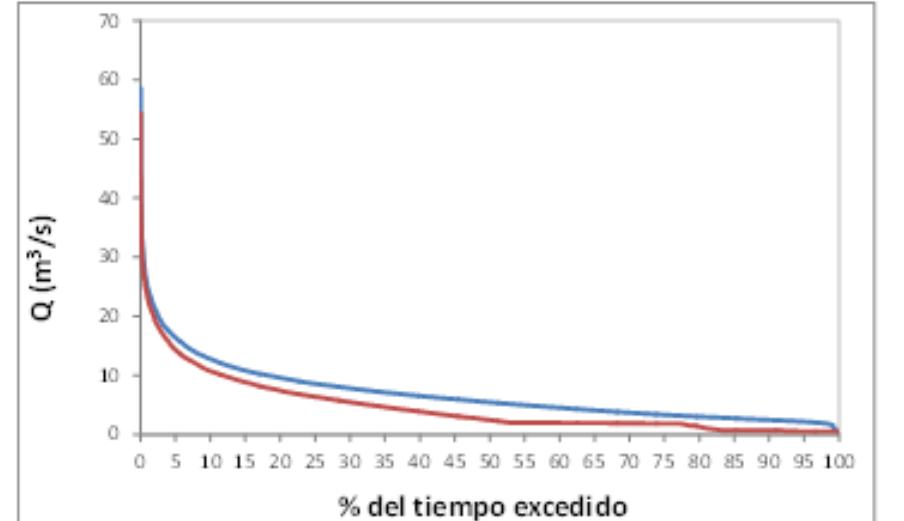
**HIDROLOGÍA****ECOLOGÍA**



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 $Q_B \uparrow$; $Q_{Tr=15} \uparrow$; $Q_{t-q} \downarrow$; $Q_{Tr=10} \downarrow$



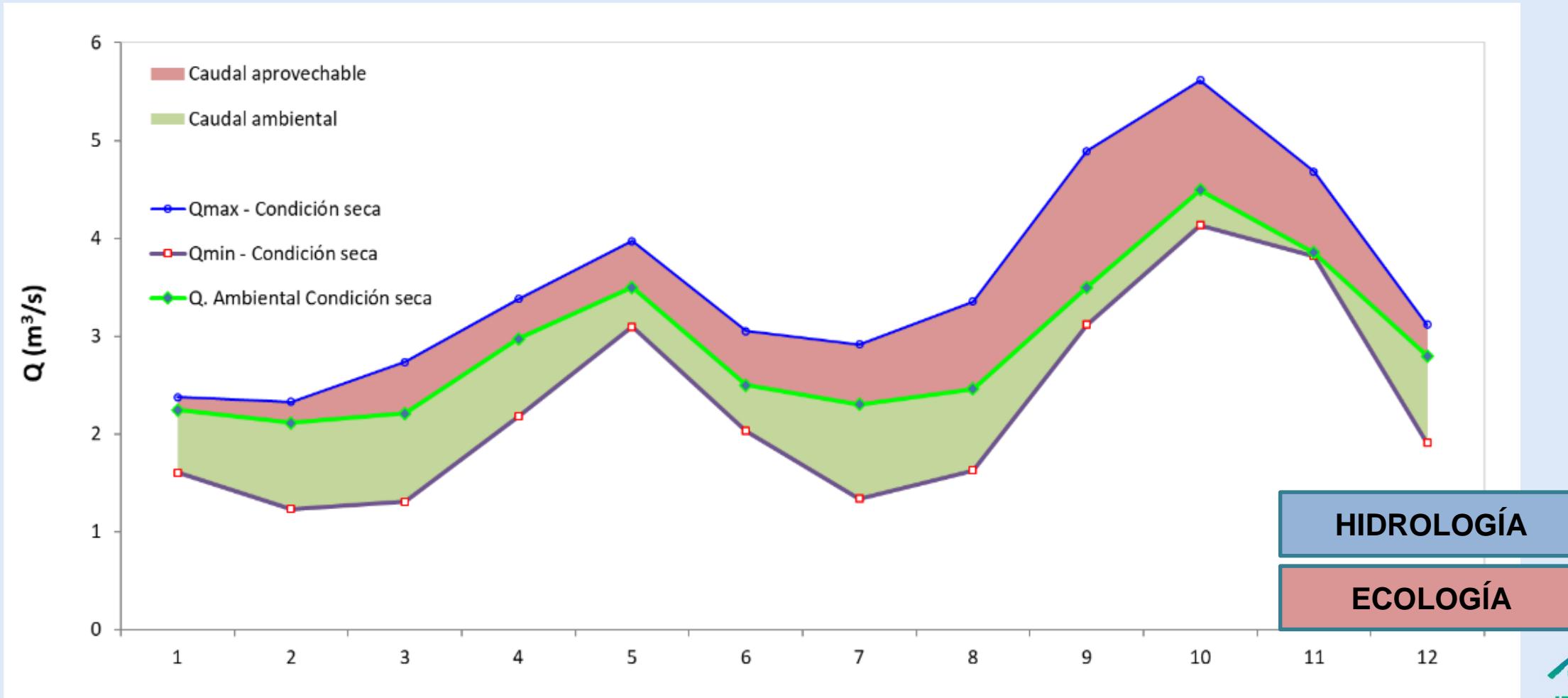
(d) Curvas de duración en condición natural (azul) y luego del aprovechamiento máximos considerando el régimen de los componentes del régimen.

HIDROLOGÍA

ECOLOGÍA

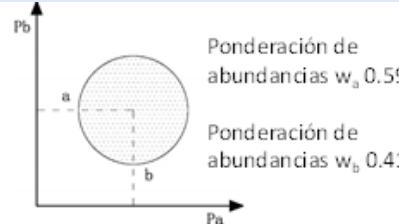


Paso 6: Evaluación de la alteración del régimen hidrológico natural (iterativo)



Paso 7: Línea base hidrobiológica

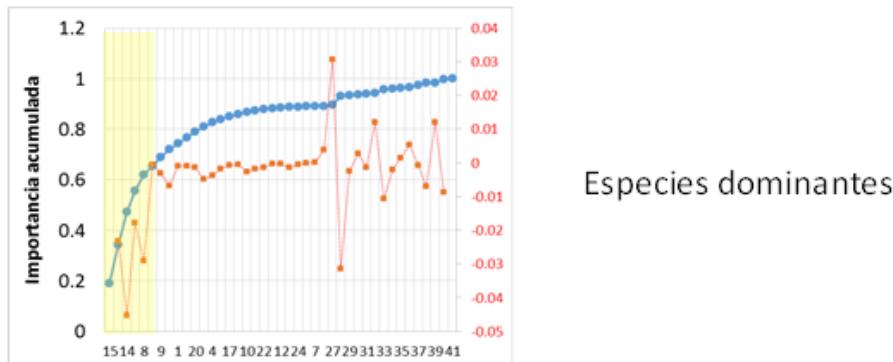
Índice de idoneidad del hábitat multi-especie –MHSI (Zhao et al. , 2015)-



Factor de importancia de la especie i

$$I_i = w_a a_i + w_b b_i$$

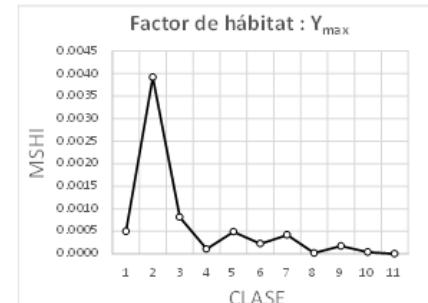
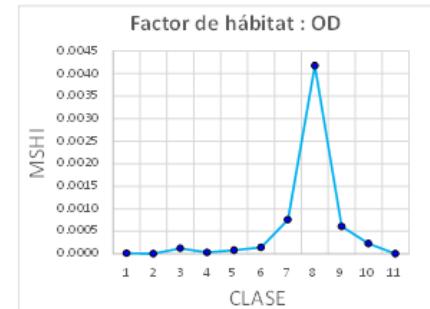
(a) Valoración de la importancia de cada especie de acuerdo con su abundancia y biomasa



(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

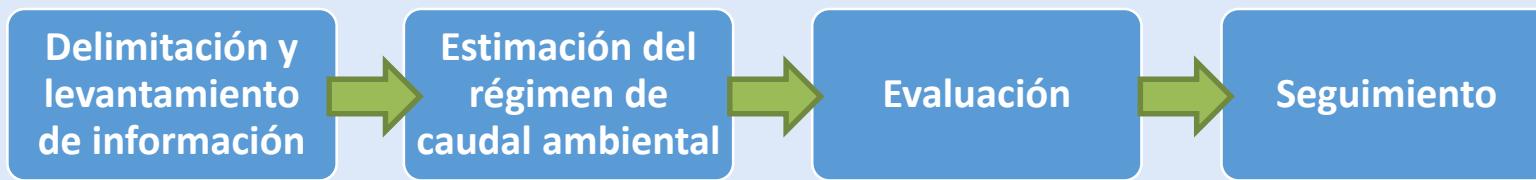


Paso 7: Línea base hidrobiológica

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



Paso 1: Determinar la capacidad asimilativa del sistema

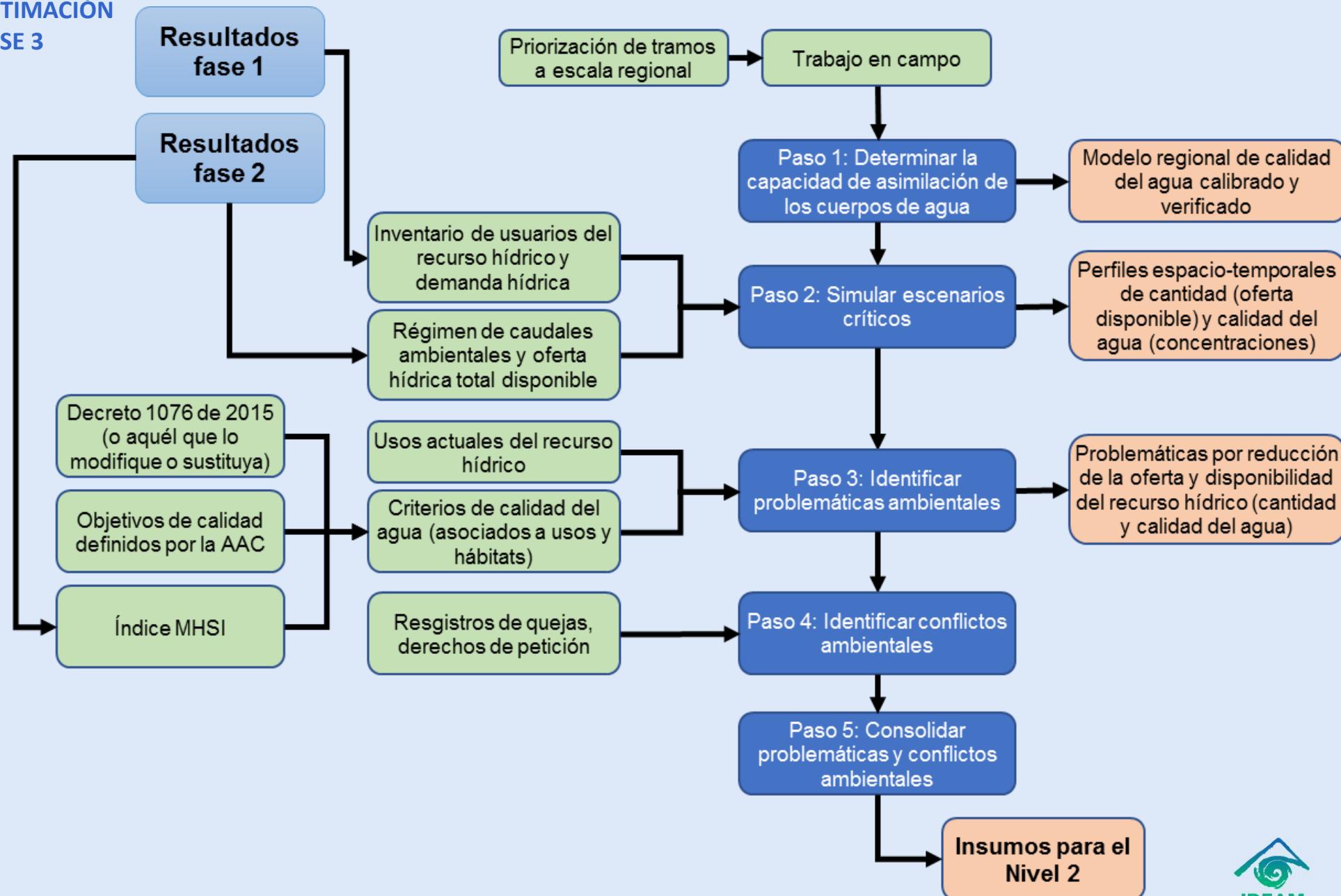
Paso 2: Simular escenarios

Paso 3: Identificar problemáticas ambientales

Paso 4: Identificar conflictos ambientales

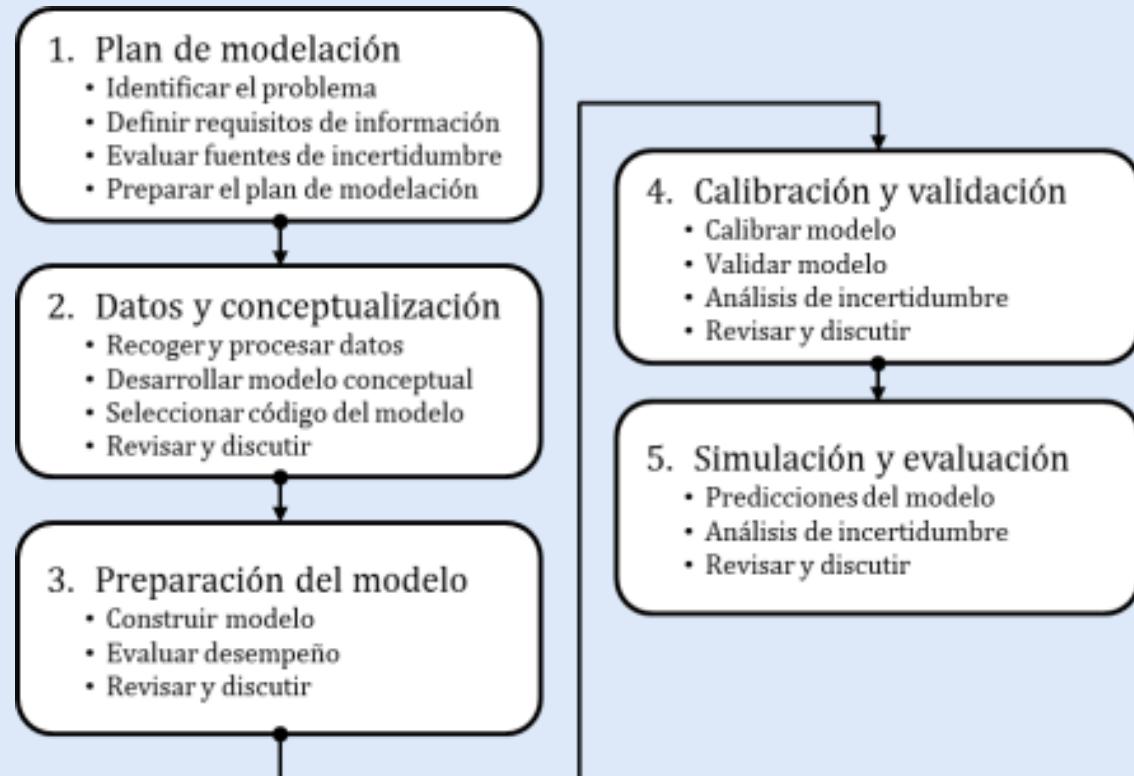
Paso 5: Consolidado de problemáticas y conflictos ambientales

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

Vertimiento

Tramo aguas arriba

Tramo

Tramo aguas abajo

$W_v = q_v \cdot c_v$

$c = \frac{1}{a} W$

$c_{up} = \frac{W_v + Qc_0}{Q + q_v}$

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

Q, c_0

$(Q + q_v), c_{up}$

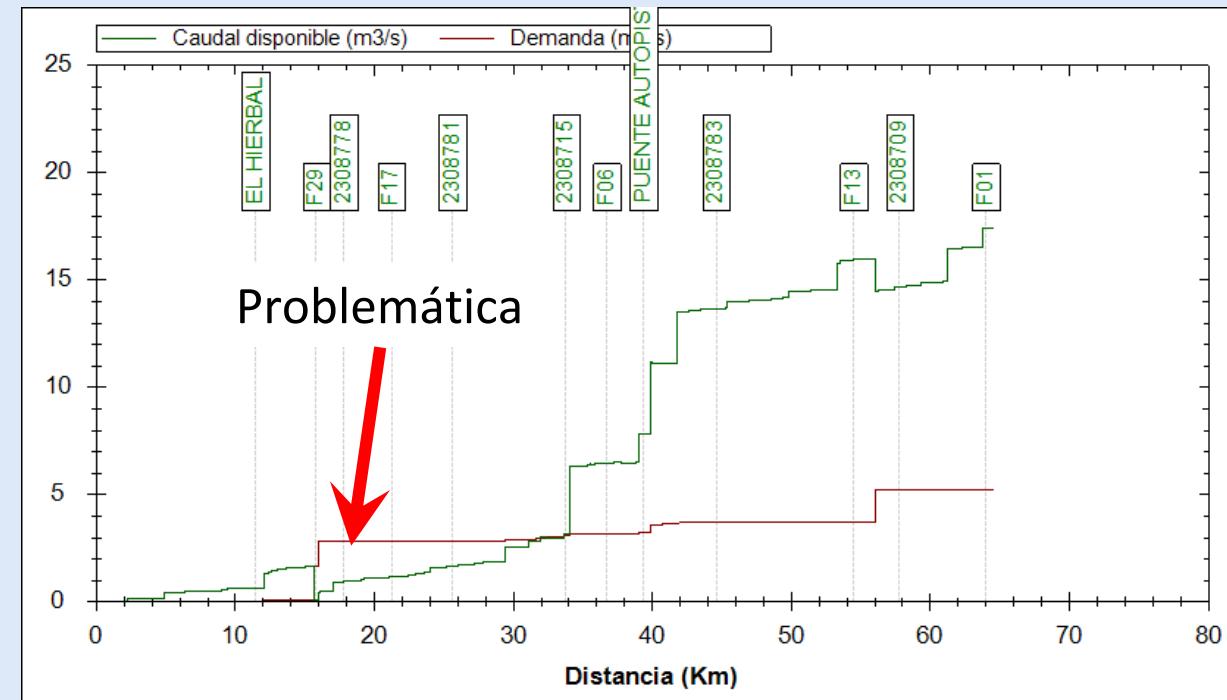
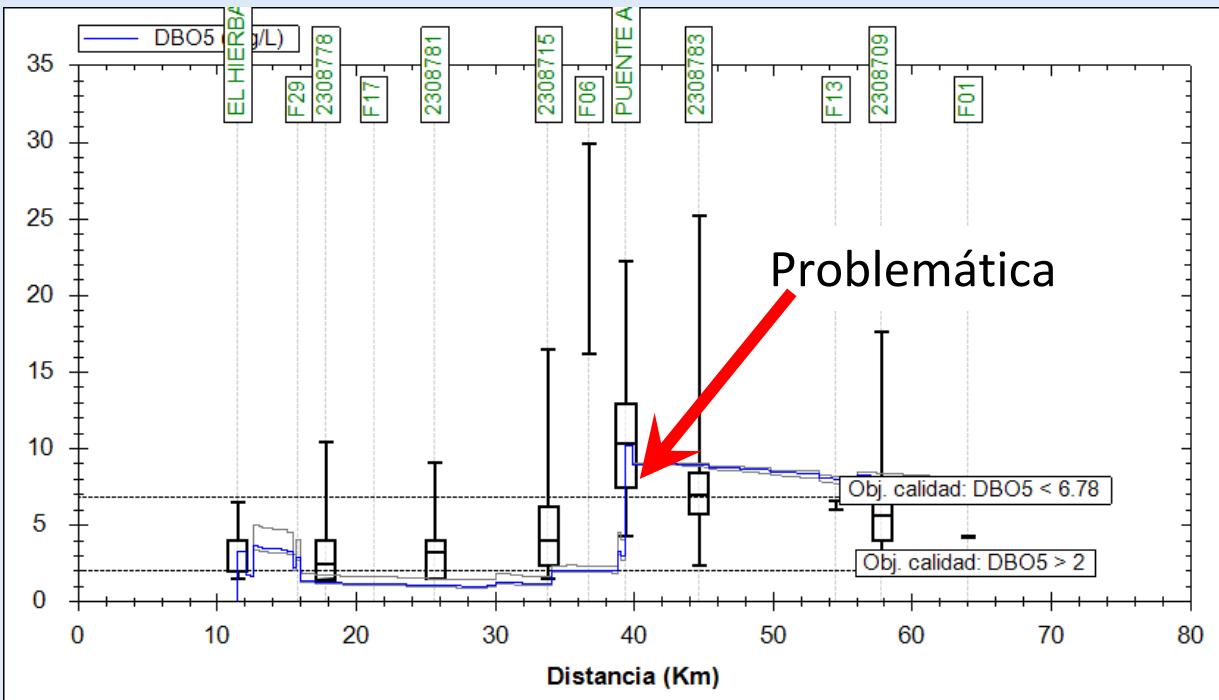
c

- 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**

ECOLOGÍA

HIDROLOGÍA

CALIDAD DEL AGUA

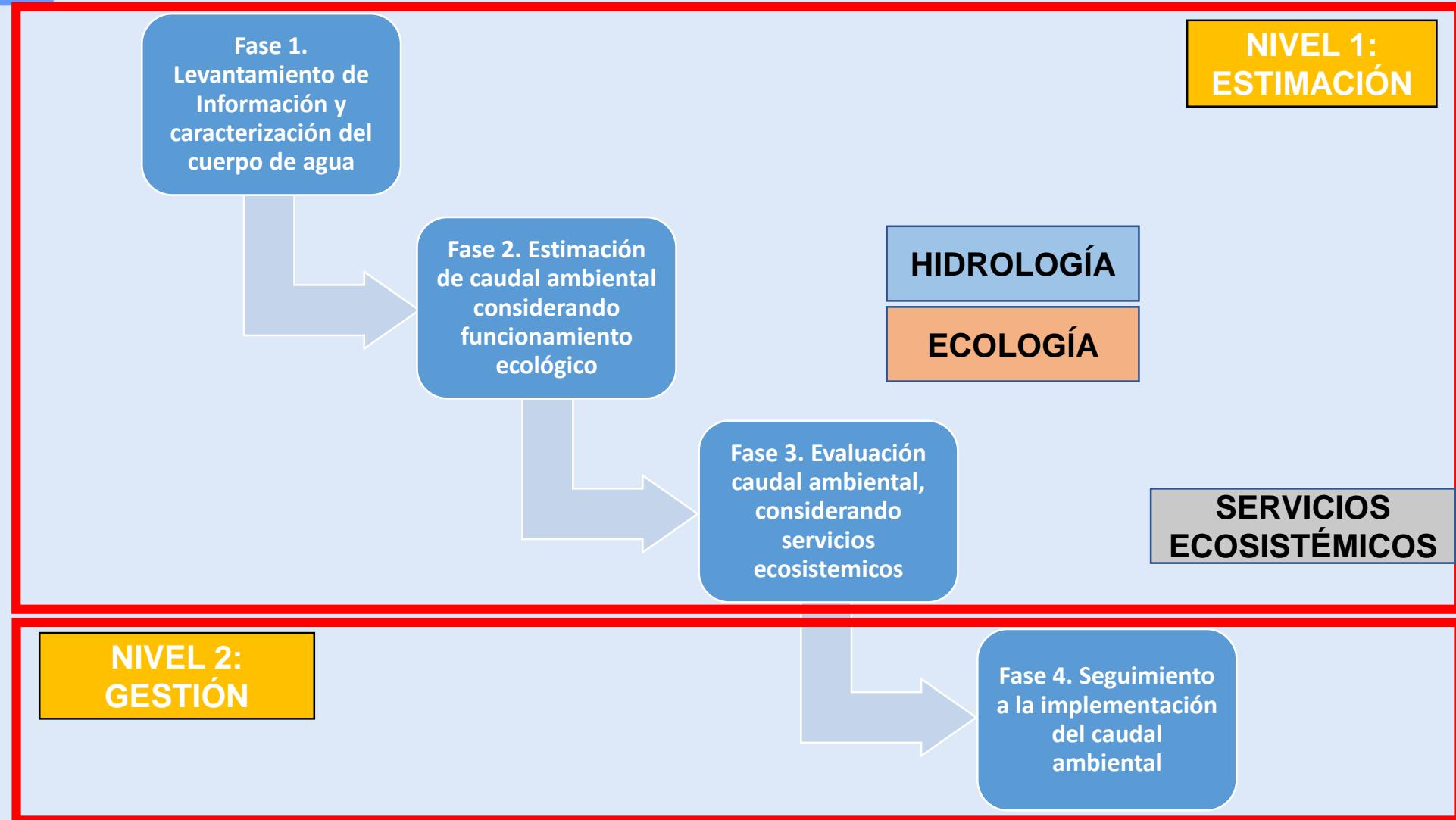


Nivel 1



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.

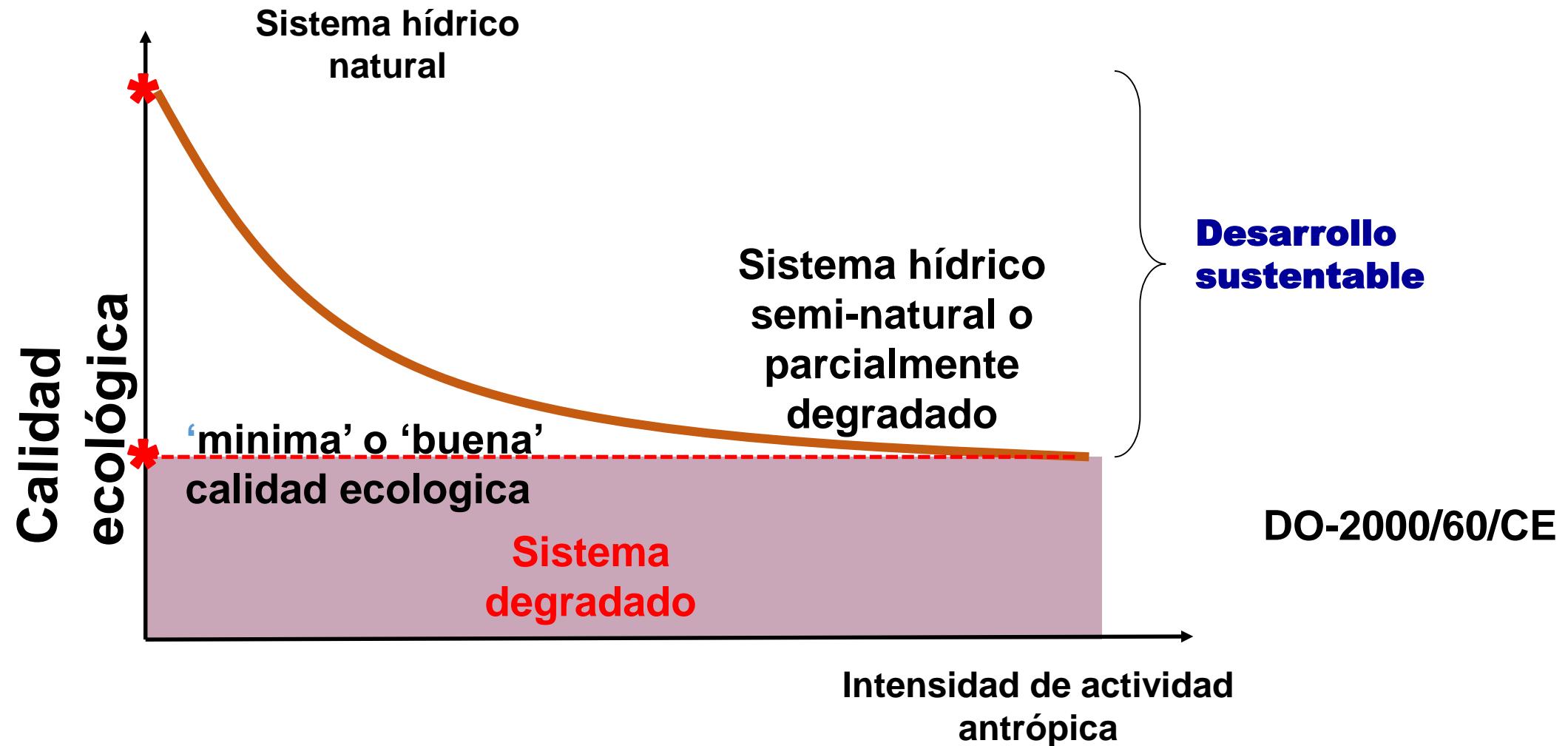


- La implementación de la metodología aportará en la prevención de conflictos por los diferentes usos y evitará que se siga perdiendo hábitat para las especies acuáticas y se altere significativamente el régimen de agua y sedimentos, se mantengan llanuras inundables, entre otros beneficios ambientales.
- 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