



# FACTORES SOCIOECONÓMICOS Y AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES ACOPLADOS A UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

**Por**

M. en C. Juana Martínez Macedo

## **Comité tutorial**

Dr. Víctor Manuel Luna Pabello

Mtra. en Arq. Loreta Castro Reguera Mancera

Dr. Daniel Revollo Fernández

Dra. Leticia Merino Pérez

## **Jurado**

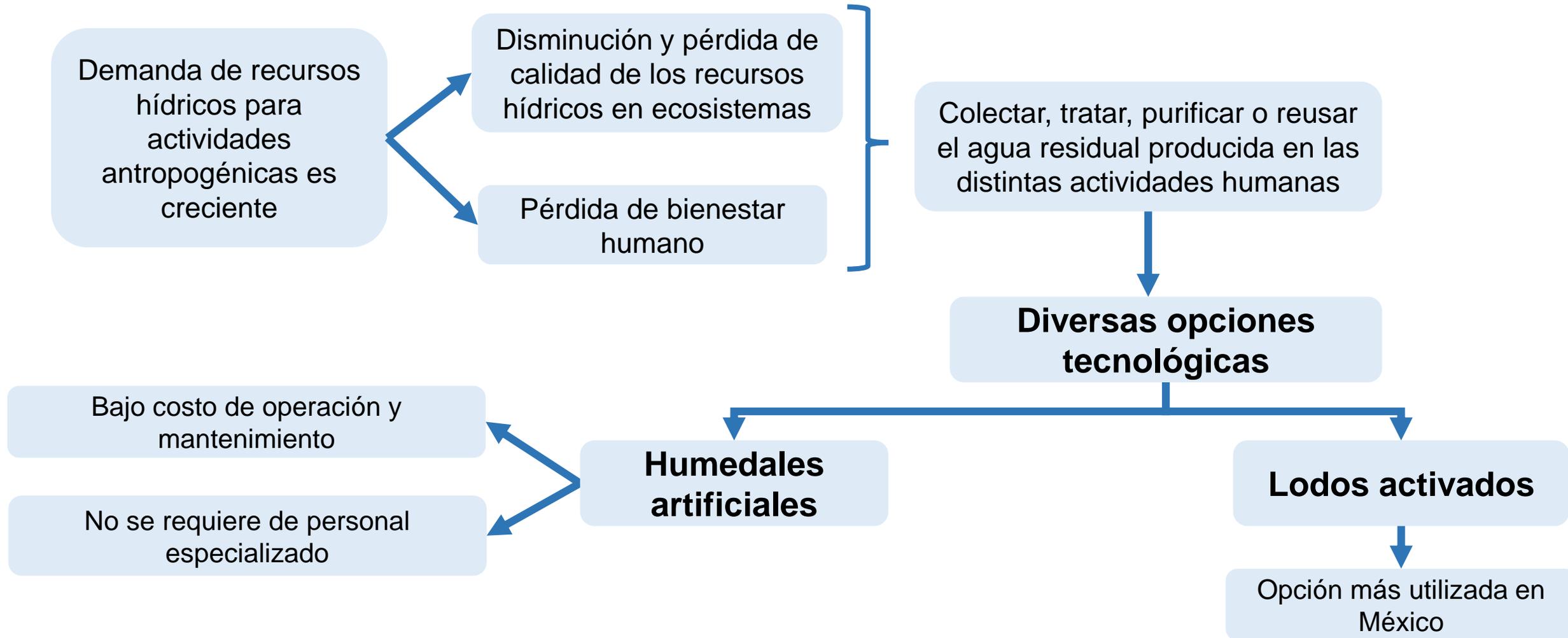
Dra. Alma Chávez Mejía

Dr. Arsenio González Reynoso

Dr. Daniel Revollo Fernández

Dr. Víctor Manuel Luna Pabello

# Introducción: Situación del agua



# Introducción: El agua en México

Artículo 4° constitucional: “(...) *derecho al acceso, disposición y **saneamiento** de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible (...)*”.

Objetivo 6 de los objetivos del desarrollo sostenible “Agua limpia y saneamiento”

Recursos hídricos:  
**Materia concurrente**

Federal

CONAGUA

60% de fondos para construcción de PTAR son federales

Estatal

Comisiones estatales

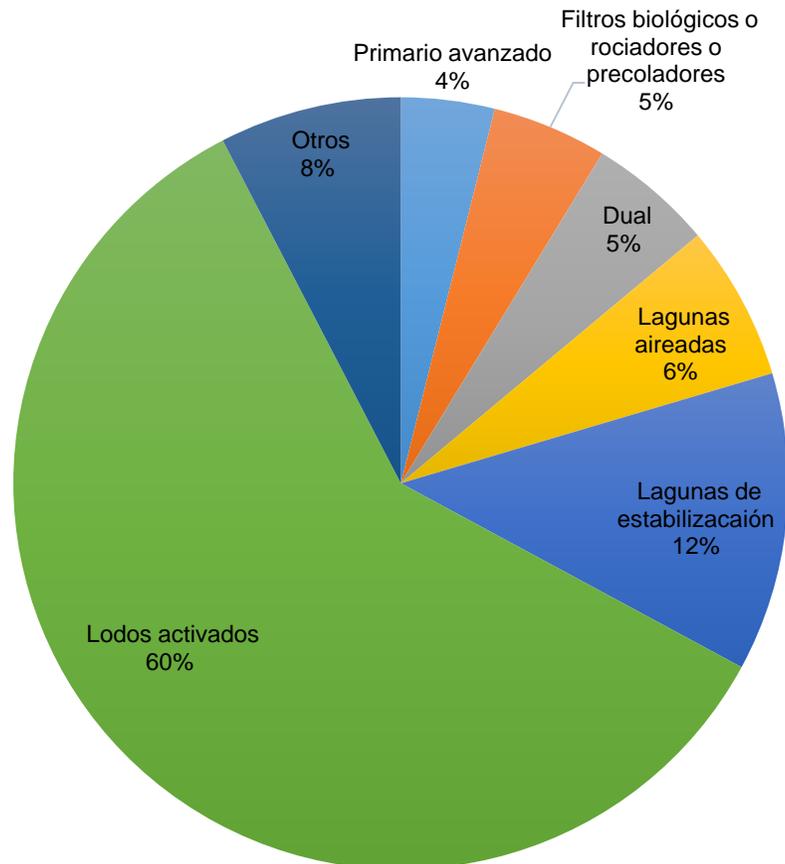
Municipal

Municipios

Art 115 constitucional: “(...)tratamiento y disposición de sus aguas residuales”

# Introducción: El agua en México

Procesos de tratamiento de aguas residuales municipales



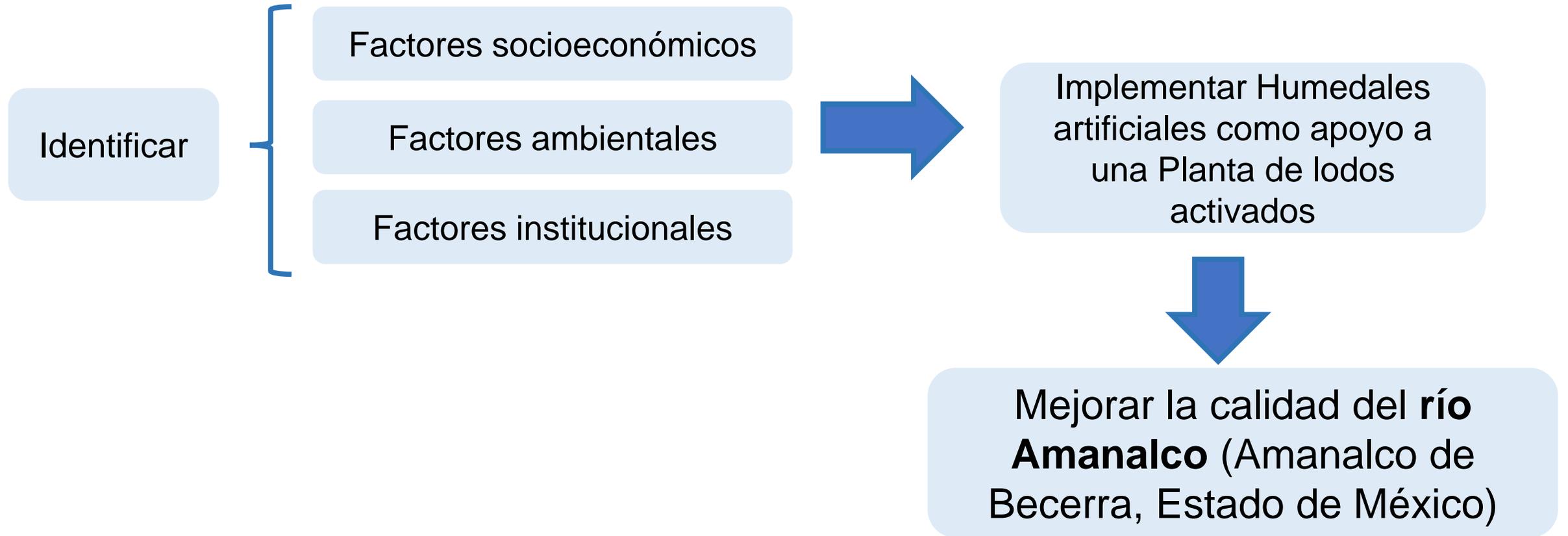
Fuente: CONAGUA, 2015b

47 % del agua colectada no recibe tratamiento

En México, 60% de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) son de lodos activados

20% no opera

# Objetivo general



# Objetivos específicos

---

- Analizar las **causas de la eutroficación** de los cuerpos de agua y las posibles razones por las cuales la PLA no disminuye la contaminación.
- Evaluar la **viabilidad de la implementación de humedales artificiales** teniendo en cuenta los diversos actores sociales, su percepción de los problemas y las alternativas de solución que visualizan, así como su disposición a participar en ellas. **Identificar y evaluar económicamente los servicios ambientales** que proporcionarían los humedales artificiales en el estudio de caso.
- Evaluar el **desempeño económico y ambiental de la combinación de HA con una PLA.**

# Introducción: El agua en la Cuenca Valle de Bravo - Amanalco



Fuente: CONAGUA, 2015b

# Ubicación geográfica del área de estudio



Figura 1.- Zona de estudio



# Ubicación geográfica del área de estudio



Figura 2.- Cuenca de la zona de estudio



# Sistema socio-ambiental

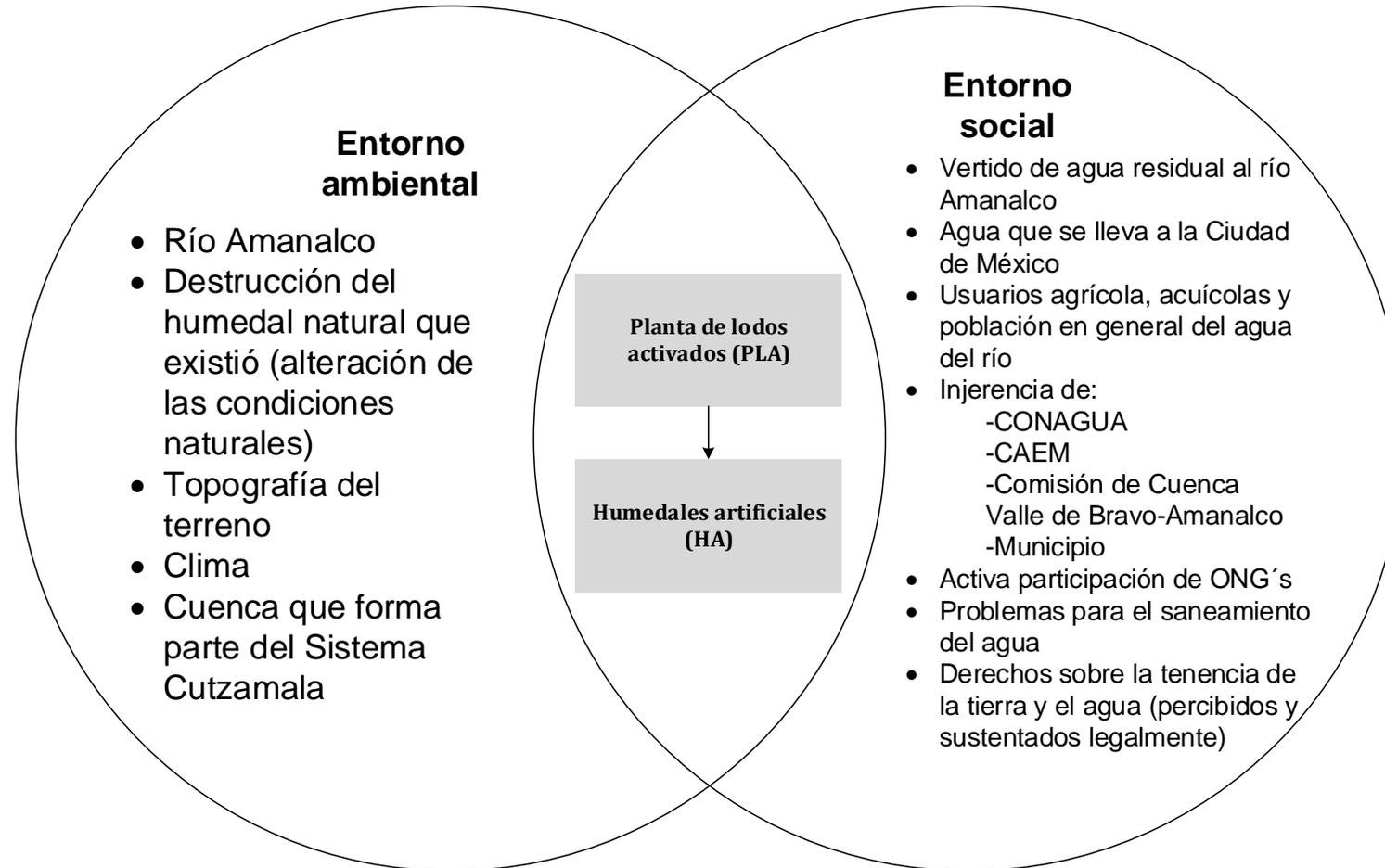


Figura 3.- Sistema socioambiental

# Fotografía aérea del área de estudio

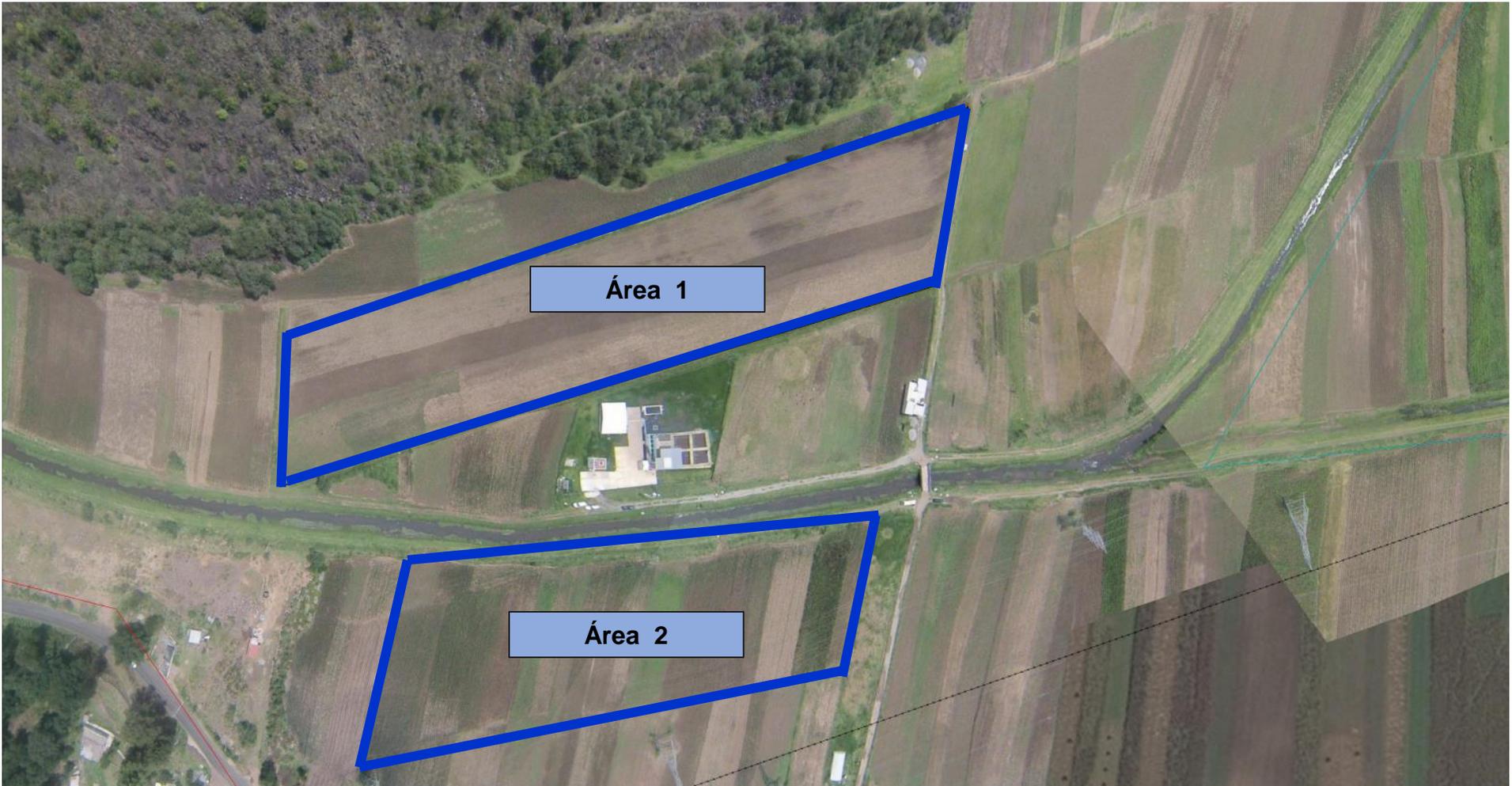


Figura 4.- Área donde se propone la instalación del sistema de humedales artificiales

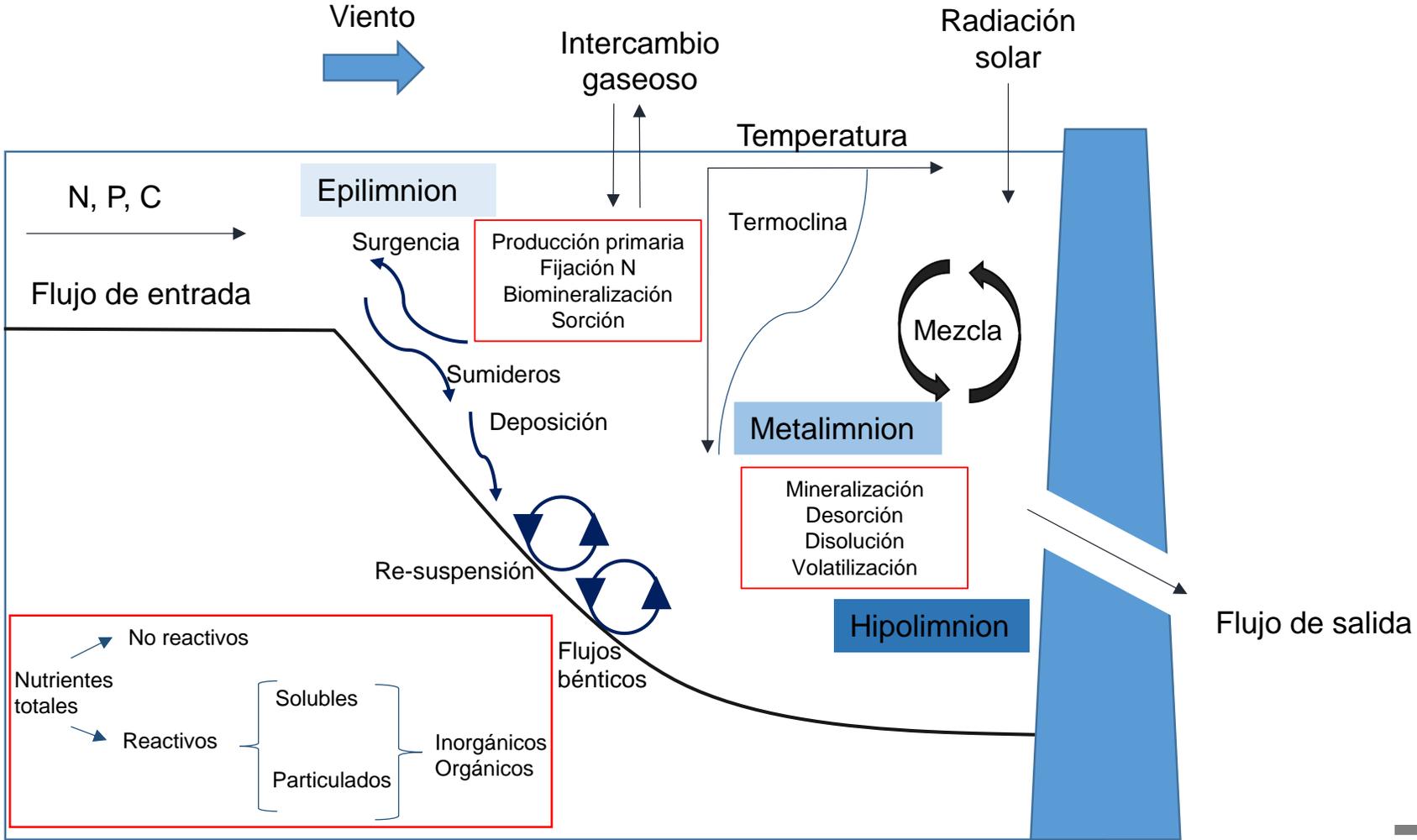
# Área de estudio



Figura 5.- Área de estudio



# Proceso de eutroficación de los cuerpos de agua

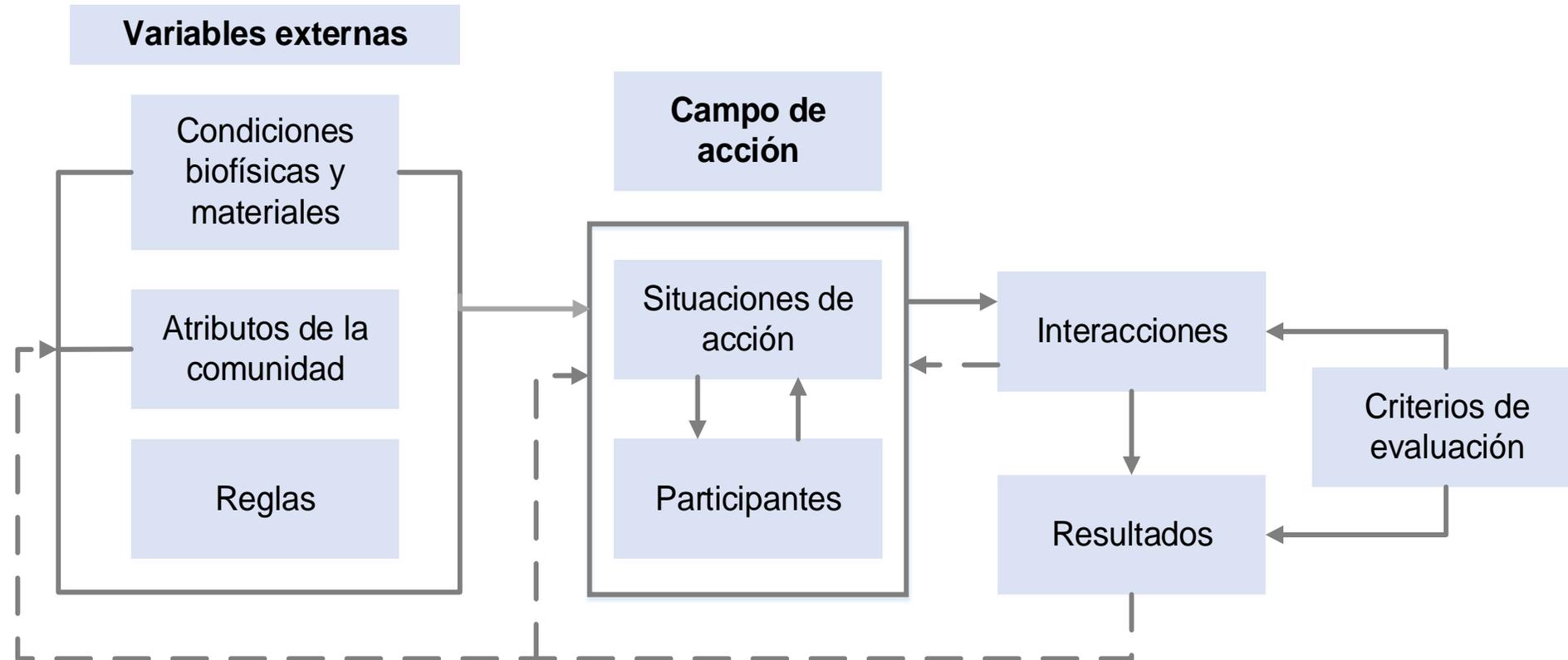


Fuente: Tomado y adaptado de Van Cappellen y Maavara, 2016

# Proceso de eutroficación en la Presa Valle de Bravo

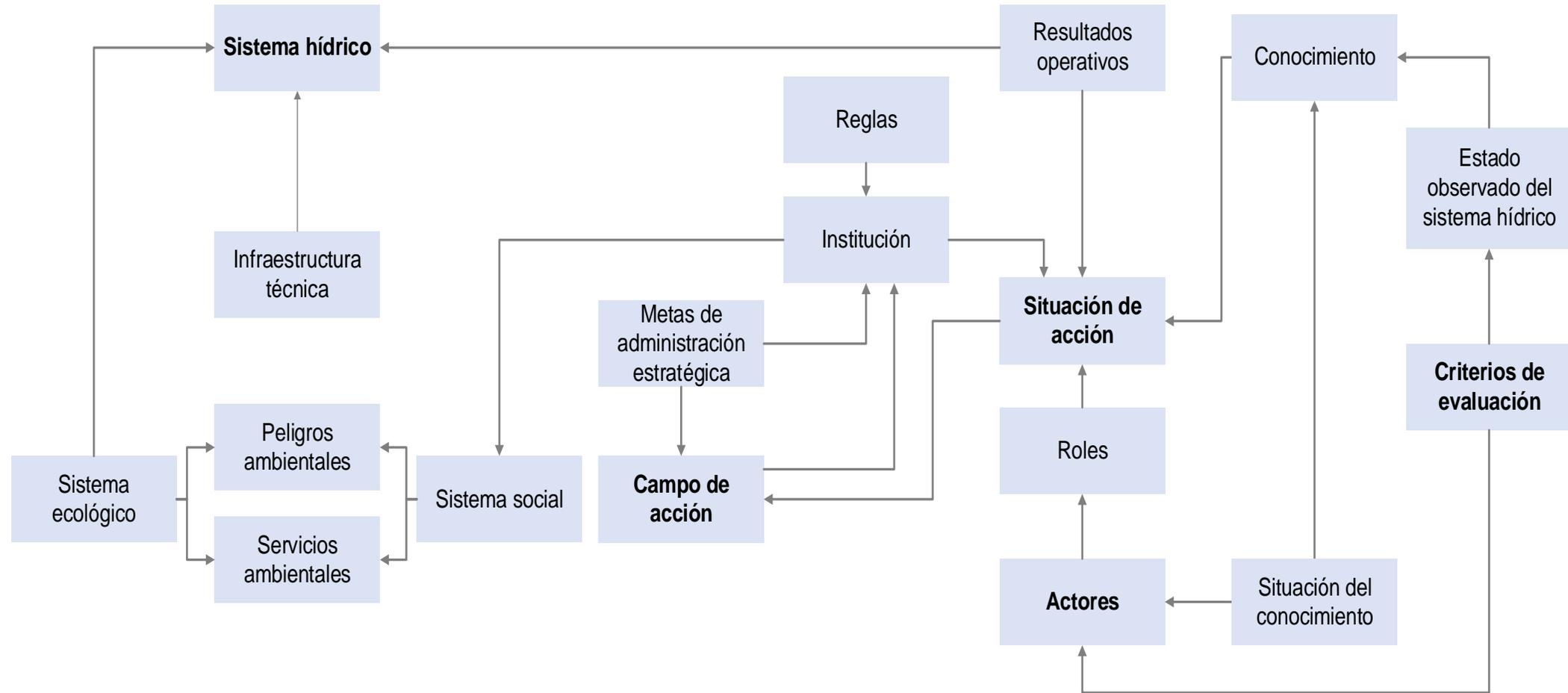


# Marco de Análisis y desarrollo Institucional (IAD)



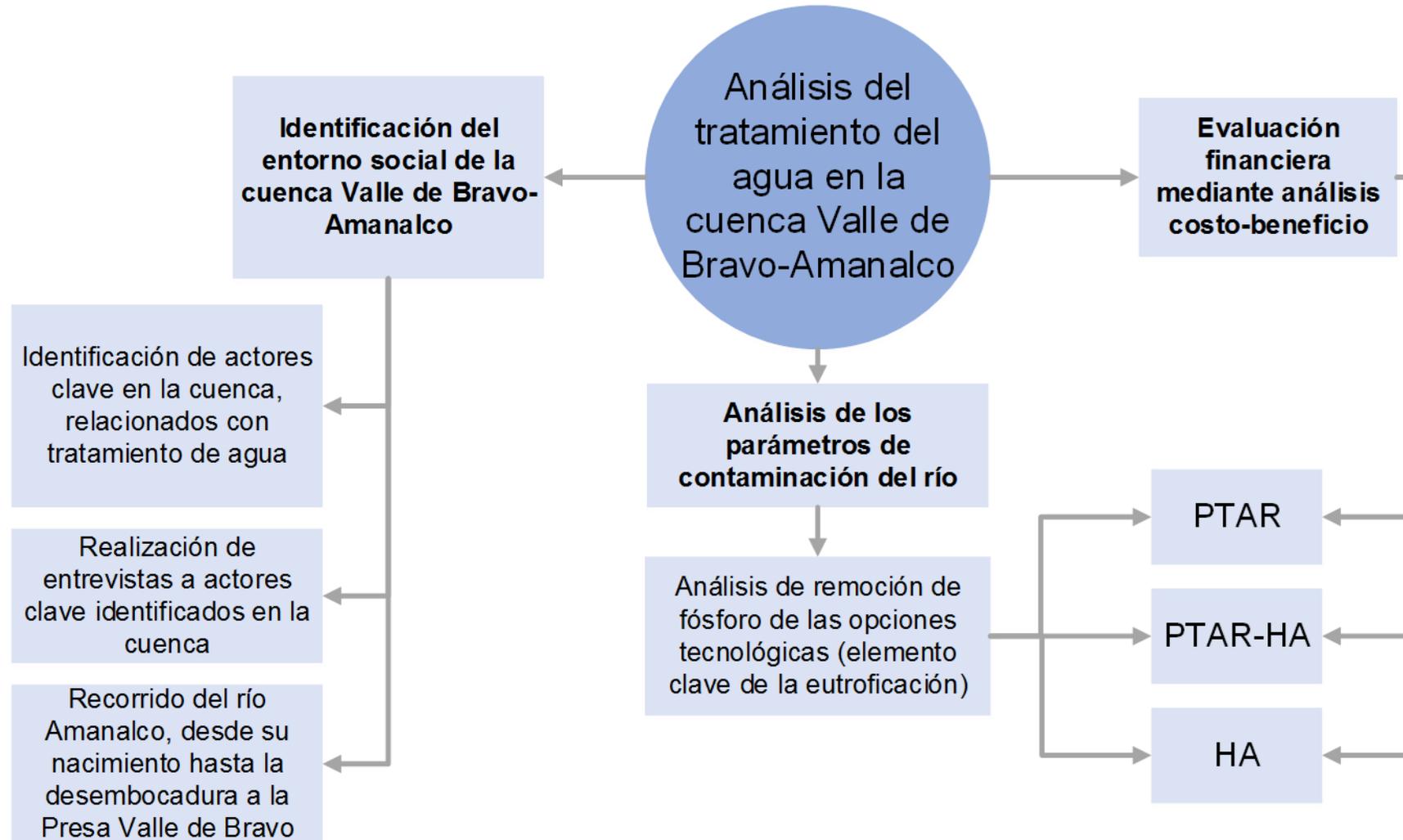
Fuente: Ostrom, 2005

# Marco teórico de administración y transición (MTF)



Fuente: Tomado y adaptado de Pahl-Wostl *et al.*, 2010

# Metodología

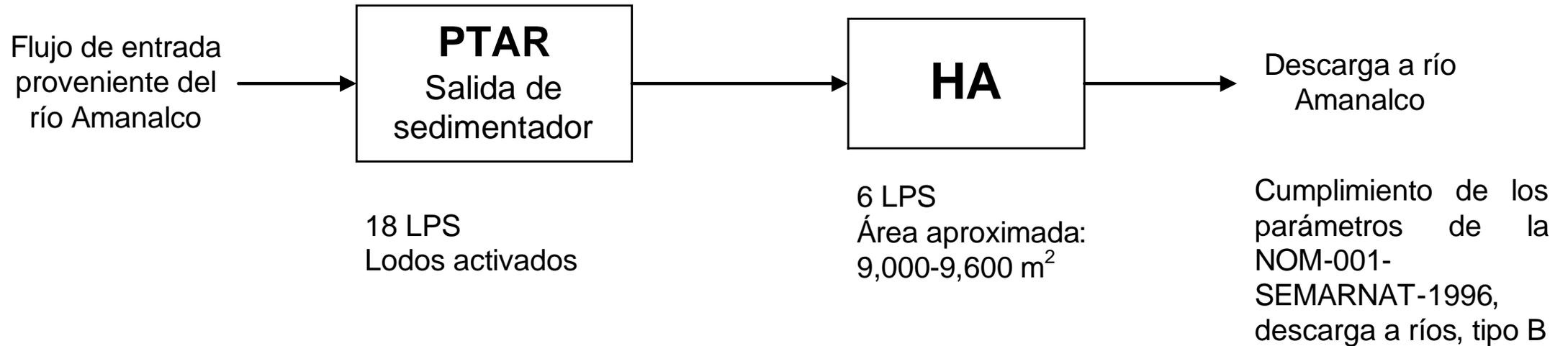


# Estrategia de investigación social

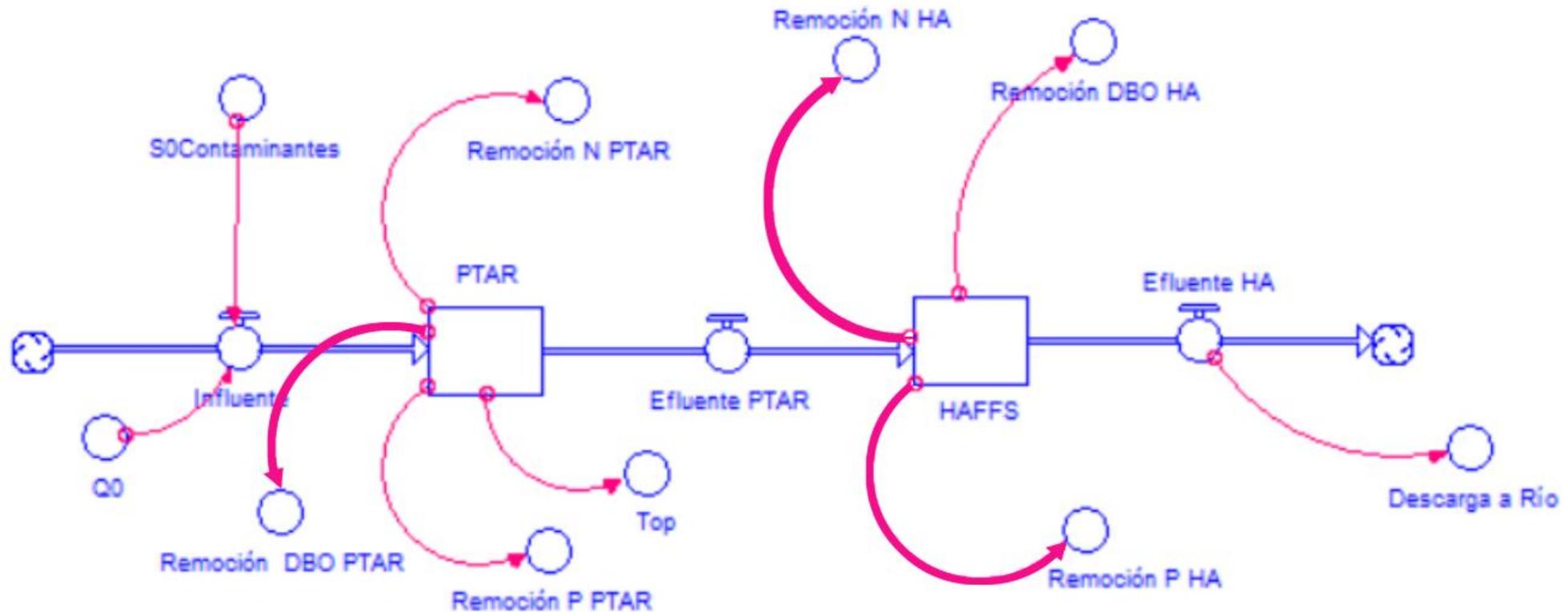
Actores	No. Entrevistas
Presidencia municipal (secretario del Ayuntamiento de Amanalco)	1
Delegado de la localidad de San Mateo	1
Lucía Madrid (Consejo Mexicano para la Silvicultura Sostenible)	1
Ejidatarios-productores agropecuarios	3
Jefes de familia (hombres y mujeres)	2
Operador de la PTAR	1
Funcionarios de CONAGUA	2
Gerente de la Comisión de Cuenca Valle de Bravo-Amanalco	1
Procuenca A.C.	1

Temas	Subtemas
Sistema social	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organización social</li> <li>• Actores clave</li> <li>• Relación entre instituciones</li> <li>• Actividades económicas de subsistencia</li> </ul>
Sistema ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Percepción de condición del sistema hídrico</li> <li>• Disponibilidad de agua</li> <li>• Causas de degradación</li> </ul>
Situaciones de acción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acciones implementadas para hacer frente a causas de degradación</li> <li>• Acciones implementadas en tratamiento de agua</li> </ul>
Criterios de evaluación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis Costo-Beneficio</li> </ul>

# Propuesta técnica



# Conceptualización del funcionamiento PTAR-HA



# Remoción de contaminantes

% Remoción de contaminantes				
Parámetro	Lodos activados		Humedales artificiales	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
<b>DBO</b>	85	95	35	82
<b>Fosfatos</b>	10	25	50	94
<b>Nitratos</b>	10	30	70	75
<b>SST</b>	10	15	80	85

Fuente: CONAGUA, 2007b; Scholz *et al* 2016; Vymazal, 2014

1. El escenario de operación actual, en el que el tratamiento del agua lo realiza únicamente la PTAR (se considera que lo hace de forma continua, porque se desconocen los periodos de funcionamiento, debido a la falta de bitácoras de operación).
2. El escenario en el que se combina PTAR-HA
3. El escenario de operación únicamente con humedales artificiales

# Evaluación económica: ACB

---

1. Definir las opciones existentes para determinado proyecto.
2. Fijar los criterios de decisión.
3. Estimar el costo de las diversas opciones
4. Estimar los beneficios que podría tener el proyecto
5. Comparar los costos y los beneficios, es decir, descontar los beneficios de los costos.
6. Considerar la incertidumbre y el rango de otros posibles resultados (análisis de sensibilidad)
7. Aplicar los criterios del ACB (paso 2) y considerar otras posibles guías relevantes, tales como la regulación ambiental, de uso de suelo, entre otros, para tomar una decisión.

Fuente: Snell, 2011

# Evaluación económica: Costos

Costos de inversión

PTAR



$$Costo_{inv} = 1032.4 * Q_0^{0.6843}$$

PTAR-HA



*Adecuación infraestructura*

HA



*OCAVM*

PTAR



*SAIMEX*

PTAR-HA



*SAIMEX – OCAVM*

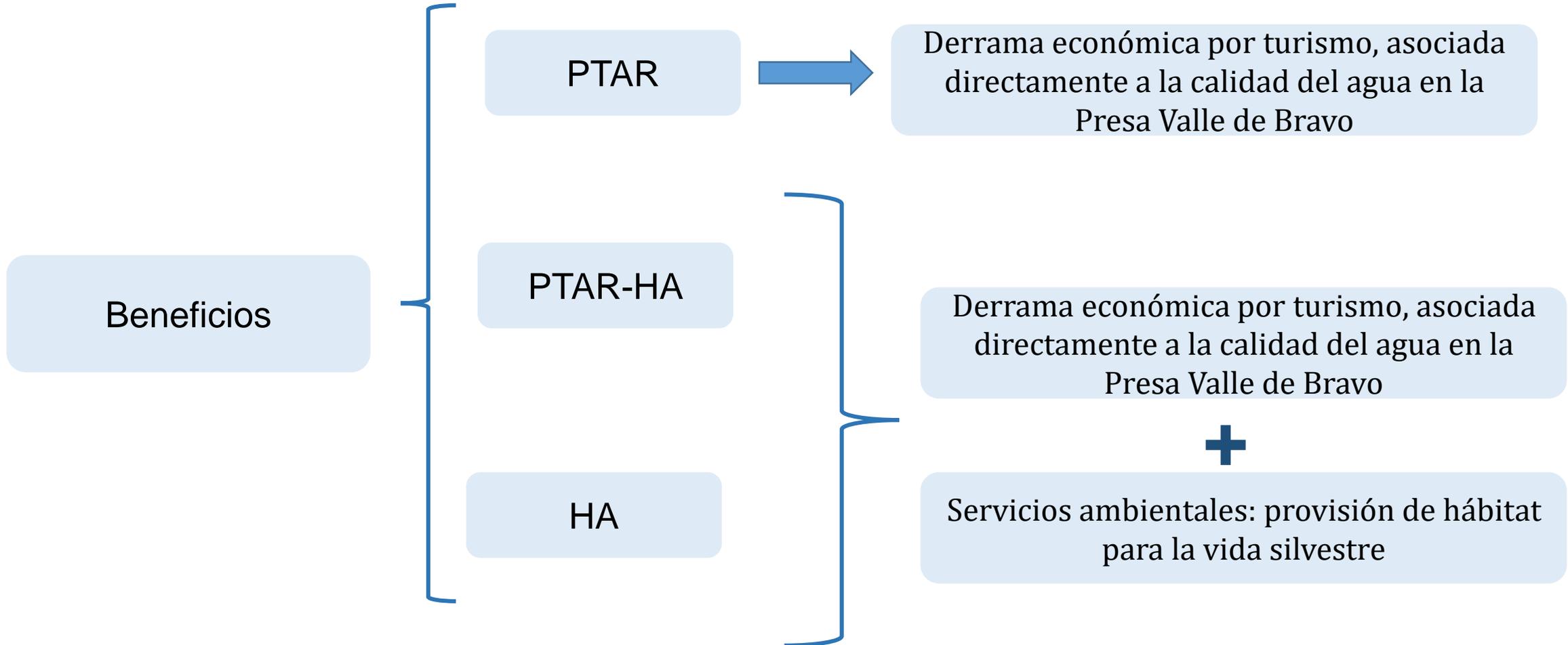
HA



*OCAVM*

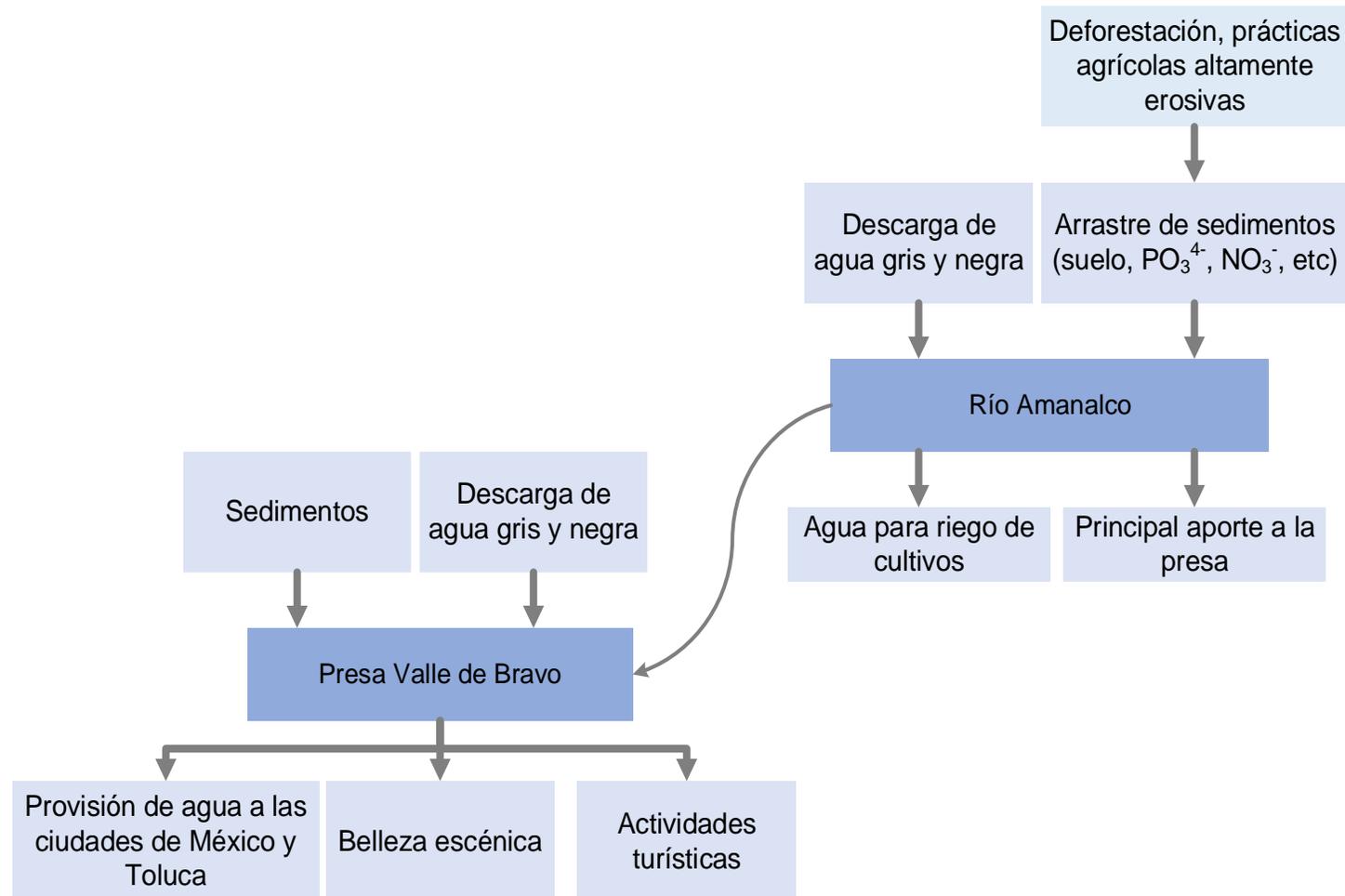
Costos de operación y mantenimiento

# Evaluación económica: Beneficios





# Resultados: sistema ambiental



# Resultados ACB: Remoción de P

El indicador se construyó como se muestra a continuación:

$$IVT = \left( \frac{PT_{CECCA}}{PT_{no\ removido}} \right) (Q_p)(OD_p)(P_Q)$$

Donde:

*IVT*, Indicador de valoración de cada tecnología

*PT<sub>CECCA</sub>*, valor de fósforo permitido en ríos por los CECCA ( $0.1 \frac{mg}{L}$ )

*PT<sub>no removido</sub>*, valor de fósforo no removido por cada tecnología

*Q<sub>p</sub>*, Caudal promedio del río Amanalco

*OD<sub>p</sub>*, Oxígeno disuelto en el río Amanalco (se toma el dato de la desembocadura a la Presa Valle de Bravo)

*P<sub>Q</sub>*, Proporción de tratamiento en flujo de cada tecnología

Valor de los indicadores de remoción de fósforo

Escenario	Valor mínimo	Valor máximo
PTAR	0.0552	0.0662
PTAR-HA	0.0368	0.4416
HA	0.0331	0.3312

# Resultados ACB: Costos

## Costos de inversión de cada escenario

Costos de inversión	
Concepto	Costo 2017 (MXN)
PTAR	22,334,528
PTAR-HA	54,392,848
HA	55,320,396

## Costos de operación de cada escenario

Escenario	Operación mínimo (MXN/año)	Operación máximo	Mantenimiento (MXN/cada 5 años)
PTAR	690,000	1,200,000	400,00
PTAR-HA	906,000	1,416,000	400,00
HA	216,000	216,000	---

# Resultados ACB: Beneficios

## Actualización de la derrama económica hacia el 2017

Derrama económica por recreación		
Año	2014	2017
Beneficio (MXN/anual)	1,527,328,000	1,650,307,488

Fuente: Elaborado con base en SECTUR, 2014

## Pérdida económica asociada directamente al detrimento de la calidad de la Presa Valle de Bravo

Pérdida económica	
Año	Valor (MXN/año)
2012	78,000,000
2014	88,258,960
2017	95,365,517

Fuente: Elaborado con base en El Universal, 2012

**6% del turismo en Valle de Bravo**, se puede asociar directamente a la calidad del agua en la Presa

# Resultados ACB: Servicios ambientales HA

Valor del servicio ambiental considerado para la valoración de beneficios proporcionados por HA en la cuenca

Año	2010	2010	2017	2017
Servicio ambiental	Valor USD/ha/año)	Valor MXN/ha/año)	Valor MXN/ha/año)	Valor HA Amanalco MXN/ha/año)
Provisión de hábitat para la vida silvestre	151,830	1917414.617	2,295,188	2,205,905

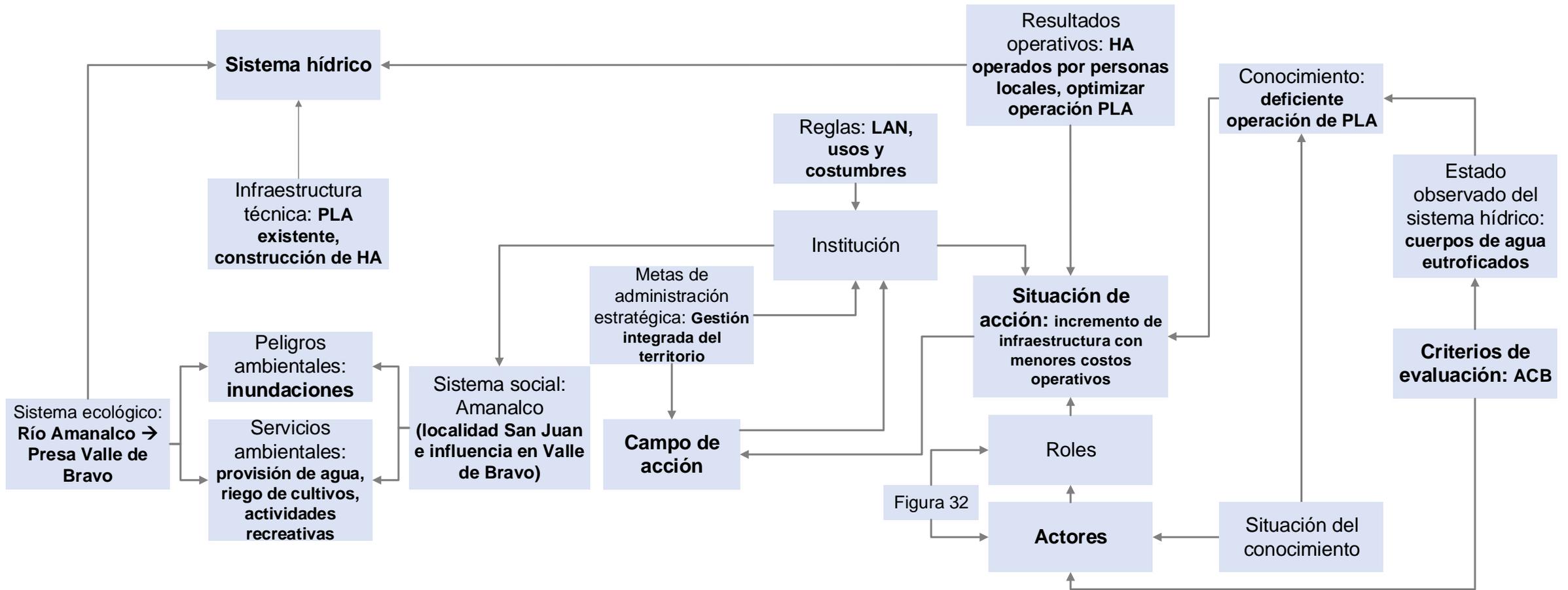
Fuente: Ghermandi, Van Den Bergh, Brander, de Groot, y Nunes, 2010

# Resultados ACB: Servicios ambientales HA

Tabla resumen resultados ACB

Escenario	VAN		TIR	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
PTAR	33,389,183	29,443,876	22.28%	19.69%
PTAR-HA	417,693,438	-2,060,132	78.85%	6.02%
HA	314,637,851	1,758,955	60.89%	6.90%

# Análisis y discusión



# Conclusiones

Diseñar una estrategia de manejo y **gestión integral** de la cuenca

No basta con implementar soluciones diseñadas por ingenieros en las que sólo se consideren aspectos técnicos, los aspectos sociales son los que determinan que una propuesta de ingeniería tenga éxito

Tratamiento del agua es sólo un punto de atención

Apertura al dialogo y trabajo en conjunto (participación) de todos los actores involucrados (por competencia institucional o afectación directa)

Considerar reglas formales e informales

Apropiación de la tecnología

Transparencia total en la ejecución de los recursos económicos

Comunicación adecuada de las acciones implementadas

Factores que permitirán la instalación de HA como una tecnología de tratamiento del agua residual generada en la cuenca.

# Conclusiones

---

## Evaluación económica

La derrama económica por el buen funcionamiento de la Presa, como proveedora de servicios de recreación, permite que sea financieramente factible invertir en tecnologías de tratamiento en la cuenca.

Los HA son tecnologías que brindan servicios ambientales con un costo económico asociado, lo que potencialmente permitiría que se fomente su uso como opción de tratamiento a los cuerpos eutrofizados

# Recomendaciones

---

Política pública en torno al agua sea integral

Aspectos sociales locales y regionales

Entorno ambiental

Condiciones de infraestructura para abastecimiento y saneamiento

Capacidades económicas y técnicas de los municipios

Transparencia de la información

# Referencias

---

Comunicación personal con Lucía Madrid, Luis Gabriel Tenorio Pliego, Salvador de la Cruz Morales, José Manuel Vilchis Vilchis

CONAGUA. (2015). Estadísticas del agua en México. Edición 2015. Consultado el 09 de mayo de 2016. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/EAM2015-ALTA.pdf>

El Universal. (2012). Mantienen compromiso de reabrir presa de Valle de Bravo. Consultado el 20 de abril de 2017. Disponible en: <http://www.eluniversaledomex.mx/otros/nota30391.html>

Pahl-Wostl, C., Holtz, G., Kastens, B., y Knieper, C. (2010). Analyzing complex water governance regimes: the management and transition framework. *Environmental Science & Policy*, 13(7), 571-581.

ONU. (2015). Objetivos de desarrollo sostenible. 17 objetivos para transformar nuestro mundo. Consultado el 16 de abril de 2017. Disponible en: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Ostrom, E. (2005). *Comprender la diversidad institucional*. Primera edición en español, 2015. Fondo de cultura económica.

SECTUR. (2014). Indicadores de competitividad y sustentabilidad de los pueblos mágicos. Estado de México, Valle de Bravo. Consultado el 03 de marzo de 2017. Disponible en: <http://www.sectur.gob.mx/pueblos-magicos/valle-de-bravo-mexico/> Snell, M. (2011). Cost-benefit analysis. A practical guide. Segunda edición. Thomas Telford. Londres.

Van Cappellen, P., y Maavara, T. (2016). Rivers in the Anthropocene: global scale modifications of riverine nutrient fluxes by damming. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 16(2), 106-111.