

## CALIDAD DE AGUAS Y SU VINCULACIÓN CON LOS PROCESOS HIDROLÓGICOS



**Edición 2025**

**Angela Gorgoglione**

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA)  
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

[agorgoglione@fing.edu.uy](mailto:agorgoglione@fing.edu.uy)

# CALIDAD DE AGUAS

---

## Objetivo

Comprender cómo los **procesos hidrológicos a escala de cuenca influyen en la calidad del agua** en cuerpos de agua superficiales.

# CALIDAD DE AGUAS

## Agenda

- ❖ Aspectos introductorios.
- ❖ Fuentes de información y datos disponibles.
- ❖ Procesos hidrológicos que explican la presencia de contaminantes en cuerpos de agua.
- ❖ Métodos de estimación de la carga de contaminantes exportada.
- ❖ Factores claves que afectan la calidad de agua en el tiempo y en el espacio.
- ❖ Complejidades que afectan los vínculos entre las características de la cuenca y la calidad del agua.
- ❖ Estrategias de gestión implementadas en la cuenca del río Santa Lucía.

# CALIDAD DE AGUAS

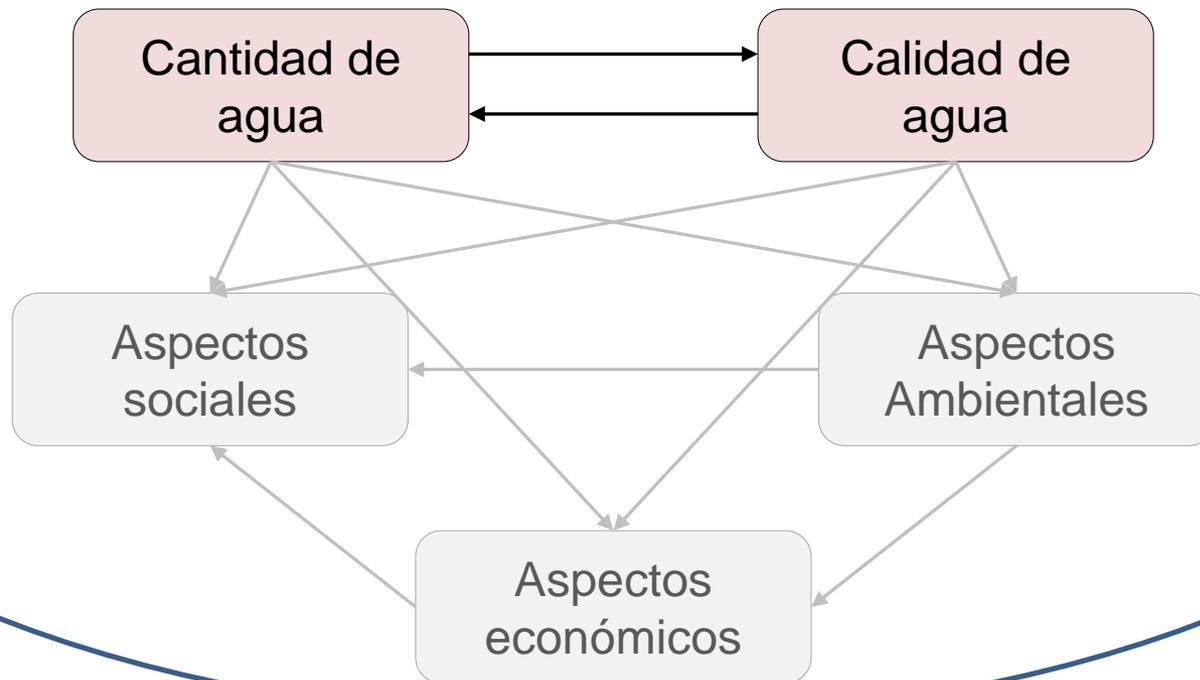
## Agenda

- ❖ Aspectos introductorios.
- ❖ Fuentes de información y datos disponibles.
- ❖ Procesos hidrológicos que explican la presencia de contaminantes en cuerpos de agua.
- ❖ Métodos de estimación de la carga de contaminantes exportada.
- ❖ Factores claves que afectan la calidad de agua en el tiempo y en el espacio.
- ❖ Complejidades que afectan los vínculos entre las características de la cuenca y la calidad del agua.
- ❖ Estrategias de gestión implementadas en la cuenca del río Santa Lucía.

# ASPECTOS INTRODUCTORIOS

## Gestión Integrada del recurso hídrico

un proceso que promueve la **gestión y desarrollo coordinado** del agua, del suelo y de los **recursos relacionados**, con el fin de **maximizar el bienestar social y económico** resultante de manera equitativa, sin comprometer la **sostenibilidad de los ecosistemas**.



**Interdisciplinariedad:** Es un aspecto fundamental para la planificación y la gestión del recurso hídrico.

# ASPECTOS INTRODUCTORIOS

Conceptos e información que ya aprendieron y/o van a aprender en el curso “Calidad de Aguas”:

- ❖ **Marco regulatorio en Uruguay (Decreto 253/79):**
  - Clasificación de cursos de agua según sus usos
  - Estándares de calidad para cada uso
  - Estándares de vertidos de efluentes
  
- ❖ **Parámetros de calidad de agua:**
  - Parámetros físicos
  - Parámetros químicos
  - Parámetros biológicos
  
- ❖ **Eutrofización:**
  - Niveles de estado trófico
  - Factores influyentes
  - Cálculo del Índice de Estado Trófico (IET)

# CALIDAD DE AGUAS

## Agenda

- ❖ Aspectos introductorios.
- ❖ Fuentes de información y datos disponibles.
- ❖ Procesos hidrológicos que explican la presencia de contaminantes en cuerpos de agua.
- ❖ Métodos de estimación de la carga de contaminantes exportada.
- ❖ Factores claves que afectan la calidad de agua en el tiempo y en el espacio.
- ❖ Complejidades que afectan los vínculos entre las características de la cuenca y la calidad del agua.
- ❖ Estrategias de gestión implementadas en la cuenca del río Santa Lucía.

# INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AGUA EN URUGUAY

## MINISTERIO DE AMBIENTE

### Observatorio Ambiental Nacional (OAN):

Es una plataforma de información ambiental, de **libre acceso**, representaciones gráficas e información de variables ambientales y gestión.



Ministerio  
de Ambiente

**OAN**

Observatorio  
Ambiental  
Nacional

<https://www.ambiente.gub.uy/oan/>



Observatorio Ambiental  
CALIDAD AGUA



En el siguiente filtro puede seleccionar de forma independiente el Departamento, Cuenca, Programa y Parámetro. Las fechas se seleccionan de forma dinámica de acuerdo a las últimas muestras para cada parámetro.

Departamento

Seleccione... ▼

Cuenca

Seleccione... ▼

Programa

Seleccione... ▼

Parametro

2,4,5 T  
2,4,5 TP  
2,4 D  
Aceites y grasas  
A... (BAU)

Periodo desde/hasta

09/03/2020 00:00 09/03/2020 00:00

Mostrar

Descargar

A nivel de cuenca, sub-cuenca y departamento se podrán visualizar y descargar datos, para un período de tiempo seleccionado, de diversos parámetros vinculados a la calidad de agua.

# INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AGUA EN URUGUAY

## MINISTERIO DE AMBIENTE

En la web son disponibles **documentos** que describen el monitoreo y/o la evolución de la calidad de agua en las cuencas principales del país.



Ministerio  
de Ambiente

**OAN**  
Observatorio  
Ambiental  
Nacional

<https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos-oan/>

Ministerio de Ambiente | **OAN** Observatorio Ambiental Nacional

Inicio Indicadores Datos abiertos Geoportal Residuos Costero-Marino **Documentos** Evaluación

### DOCUMENTOS-OAN

Observatorio Ambiental  
DOCUMENTOS-OAN

La base de datos documental registra aquellos informes, libros u otros materiales en la temática medio ambiente, agua y cambio climático: **informes de calidad de agua y aire, documentos técnicos, guías y manuales ambientales, entre otros.**

Se pueden ingresar varios términos en la búsqueda, separados por un espacio y la misma recorrerá las etiquetas temáticas, el título y la descripción, mostrando en la parte superior del resultado, aquellos registros que coincidan con la mayor parte de los términos ingresados.

calidad de agua

<b>DCA - Manual de monitoreo de calidad de agua</b> Parte 1: Diseño de una Red de Monitoreo de Calidad de Agua :: Parte 2: Métodos de trabajo de campo y muestreo :: Parte 3 :: Métodos de Análisis de campo :: Parte 4: Procesamiento e interpretación de datos de calidad de agua calidad del agua   manual	
<b>DCA - Monitoreo de Río Cuareim- Informe de datos de calidad de agua superficial 2017 (2017)</b> Monitoreo de calidad del agua río Cuareim. Informe de datos de calidad de agua superficial. MVOTMA- DINAMA Junio, 2017 agua   calidad del agua   Río Cuareim   Calidad Ambiental   DCA   Estado del Ambiente	
<b>DCA - Plan de monitoreo del Río Cuareim. Informe de datos de calidad de agua superficial 2008- 2012 (2013)</b> Junio 2013. División Evaluación de la Calidad Ambiental. Departamento de Evaluación de Calidad de agua . agua   monitoreo   Calidad Ambiental   DCA   Estado del Ambiente	

# INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AGUA EN URUGUAY

## OSE



Obras Sanitarias del Estado

OSE mide calidad de **agua superficial**, en particular:

- ❖ Parámetros básicos del agua bruta asociados a la operación diaria de las plantas potabilizadoras: turbidez, pH, alcalinidad, color y temperatura.
- ❖ Análisis bioquímicos más completos de la fuente de agua:
  - monitoreo periódico,
  - frente a situaciones de alerta.

También OSE mide calidad de **agua subterránea** (nitratos, nitritos, hierro y manganeso).

<http://www.ose.com.uy/transparencia/solicitud-de-informacion-publica>



Más detalle en la clase de calidad de agua subterránea.

# INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AGUA EN URUGUAY

## Intendencia de Montevideo



Programa de monitoreo para evaluar la calidad de los ríos y arroyos de Montevideo:

- ❖ Evaluar la calidad de los cuerpos de agua de Montevideo desde el punto de vista microbiológico, fisicoquímico, ecotoxicológico e hidrodinámico.
- ❖ Identificar los elementos de presión en cada cuenca que puedan impactar en la calidad de los ecosistemas fluviales.
- ❖ Realizar el seguimiento de los resultados, evaluando la evolución de los indicadores de calidad de agua seleccionados, en respuesta a las acciones.

<https://montevideo.gub.uy/monitoreo-de-rios-y-arroyos>

# INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AGUA EN URUGUAY

## Intendencia de Montevideo



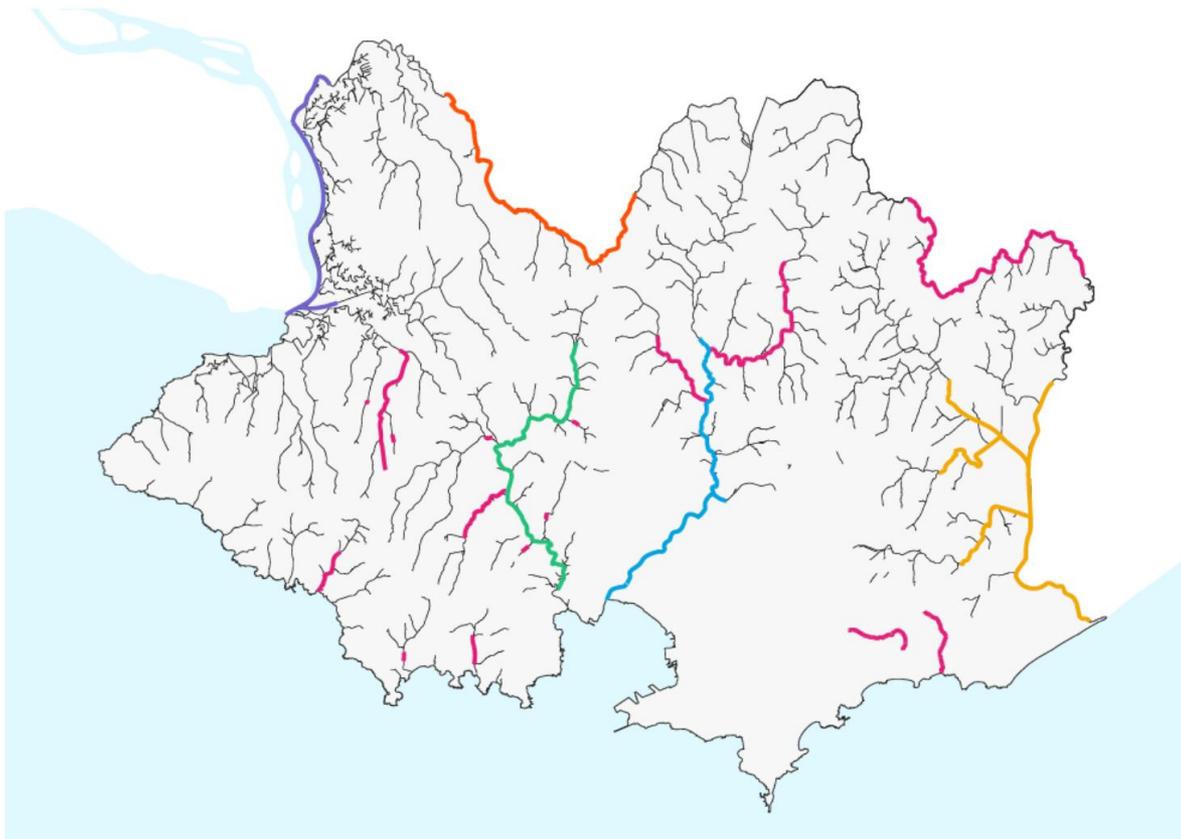
Programa de monitoreo para evaluar la calidad de los ríos y arroyos de Montevideo:

- ❖ **Cursos principales:** arroyos Miguelete, Pantanoso, Las Piedras y cuenca del arroyo Carrasco.
- ❖ **Cuenca baja del Río Santa Lucía**
- ❖ **Cuencas menores:**
  - Tributarios del arroyo Miguelete (arroyo Mendoza, cañada Pajas Blancas y De la Cruz).
  - Tributarios del arroyo Pantanoso (cañadas: Bellaca, Jesús María, Lecocq, De la Higuera).
  - Tributarios del Río de la Plata de la zona Este (arroyos Malvín, Molino y tramo superior del Toledo).
  - Tributarios del Río de la Plata zona Oeste (cañadas: De las Pajas Blancas, Punta Yeguas, Playa Della zoppa y cañada Bélgica).
  - Tributarios del Río Santa Lucía (arroyos Melilla y San Gregorio).

<https://montevideo.gub.uy/monitoreo-de-rios-y-arroyos>

# INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AGUA EN URUGUAY

## Intendencia de Montevideo



### Referencias

-  Arroyo Las Piedras
-  Arroyo Miguelete
-  Arroyo Pantanoso
-  Arroyo Carrasco
-  Río Santa Lucía (tramo inferior)
-  Cuentas Menor

# CALIDAD DE AGUAS

## Agenda

- ❖ Aspectos introductorios.
- ❖ Fuentes de información y datos disponibles.
- ❖ **Procesos hidrológicos que explican la presencia de contaminantes en cuerpos de agua.**
- ❖ Métodos de estimación de la carga de contaminantes exportada.
- ❖ Factores claves que afectan la calidad de agua en el tiempo y en el espacio.
- ❖ Complejidades que afectan los vínculos entre las características de la cuenca y la calidad del agua.
- ❖ Estrategias de gestión implementadas en la cuenca del río Santa Lucía.

# CALIDAD DE AGUA EN URUGUAY

Dada la importancia del problema de eutrofización a nivel nacional, en esta clase nos enfocamos particularmente en los **solidos suspendidos** y **nutrientes** por las siguientes razones:

❖ **Solidos suspendidos:**

- impacto físico (reducción transparencia e inhibición de fotosíntesis);
- impacto químico (adsorción de otros contaminantes y su transporte a los cuerpos de agua receptores).

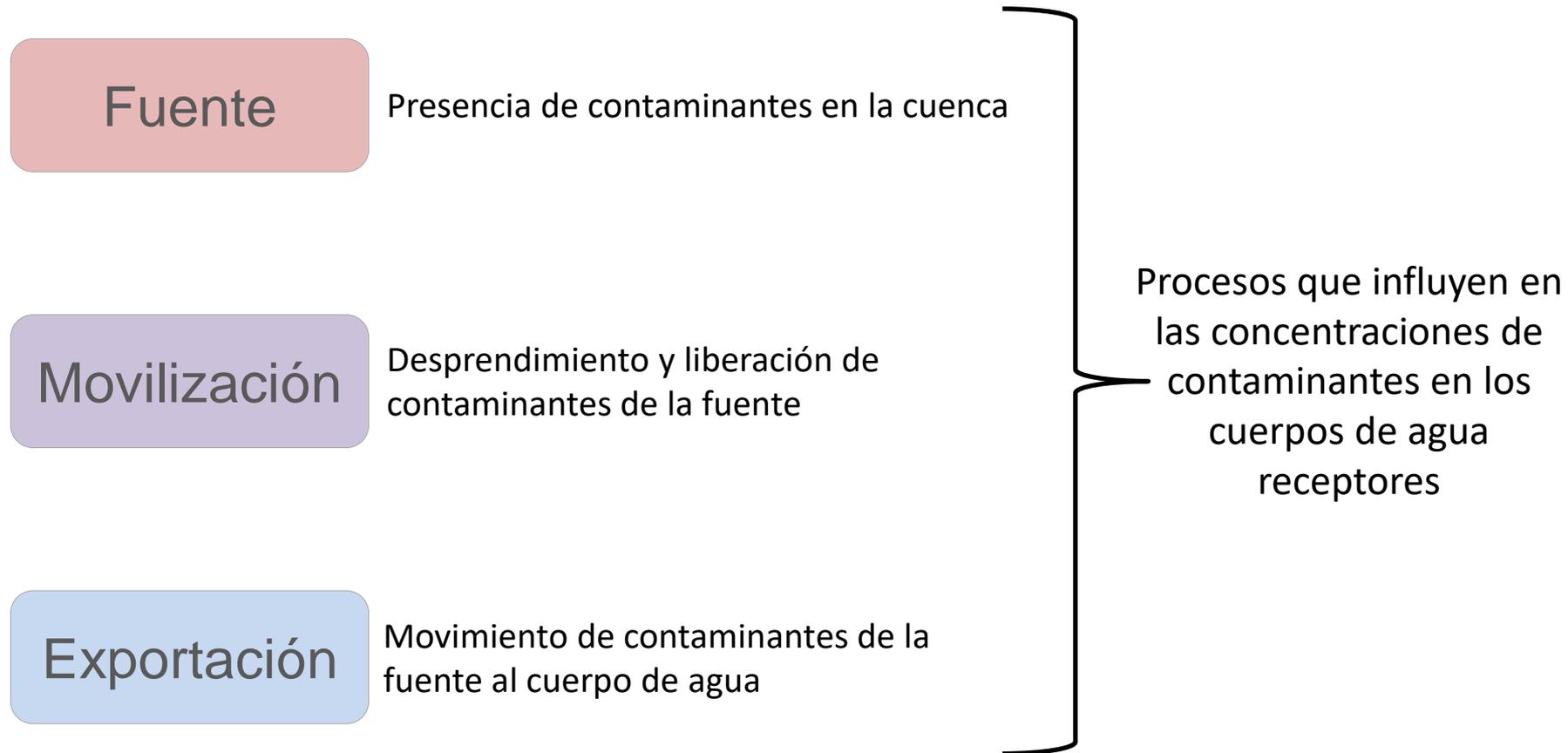
❖ **Nutrientes:**

- su exceso da lugar al proceso de eutrofización.

(Ejemplos otros contaminantes)

# PROCESOS PRINCIPALES

Procesos que explican la presencia de contaminantes en cuerpos de agua:



# PROCESOS PRINCIPALES



## Fuente

### Puntual

Es un punto específico de descarga de contaminantes en un lugar estratégico, a través de alcantarillados o tuberías a cuerpos de aguas superficiales.

Ejemplos:

fabricas, plantas de tratamiento, minas, tambos, encierros a corral (feedlot).

### No puntual o Difusa

Es formada por la sumatoria de pequeños aportes individuales desde sitios diversos y que se repiten periódicamente por períodos largos de tiempo. Su impacto tiende a afectar toda una cuenca hidrográfica.

Ejemplos:

Escorrentía superficial, infiltración.

# PROCESOS PRINCIPALES



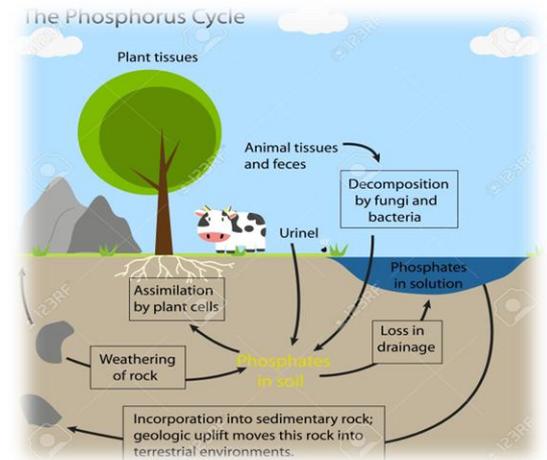
## Movilización

### Desprendimiento

Incluye procesos mecánicos con alta energía.

Ejemplos:

- Erosión,
- deslizamiento de tierra.



### Liberación

Incluye procesos químicos con baja energía.

Ejemplos:

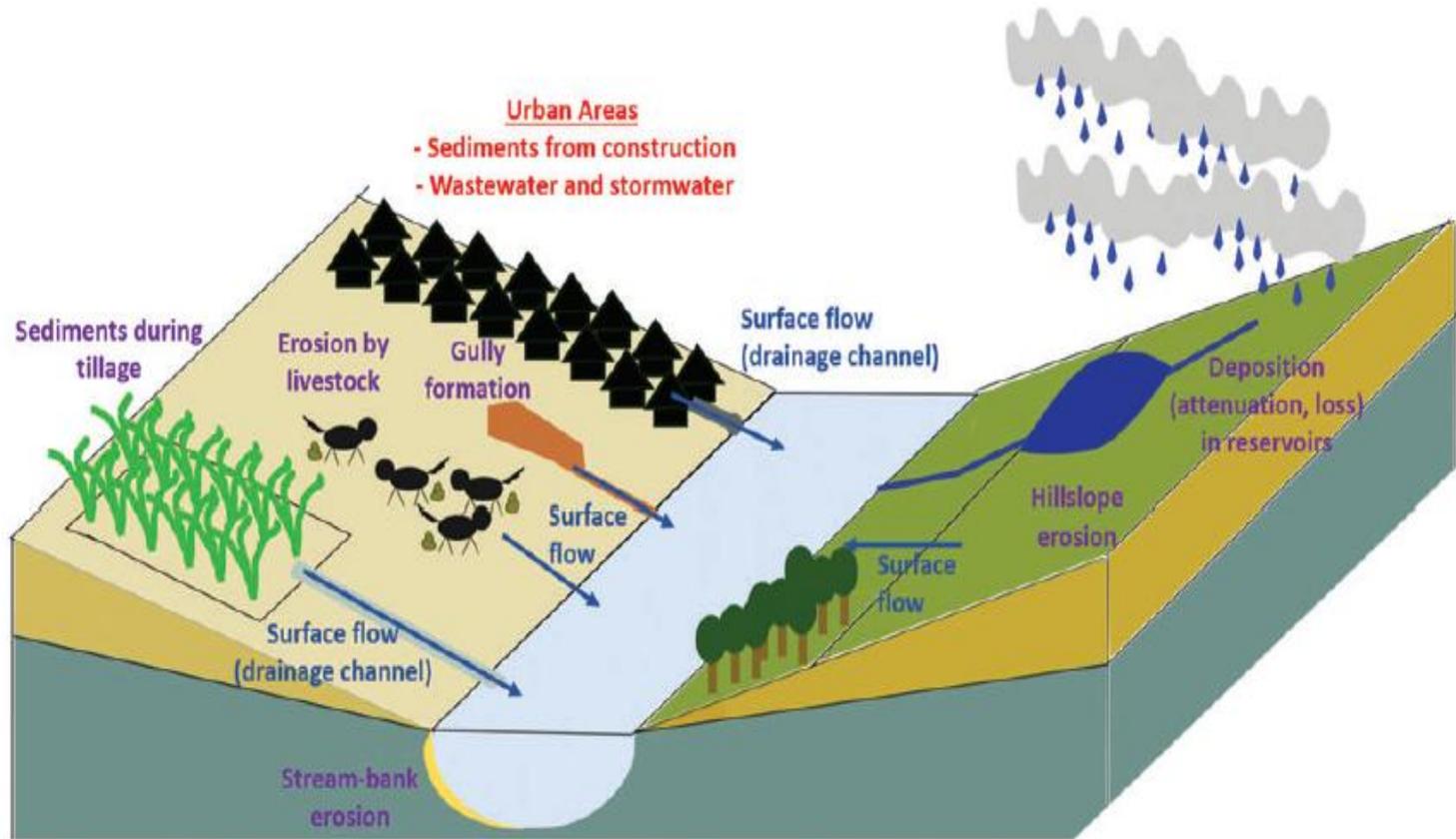
- Mineralización,
- ciclo de nutrientes.

# PROCESOS PRINCIPALES

## Sedimentos

### Leyenda:

- Fuentes
- Movilización (desprendimiento)
- Exportación

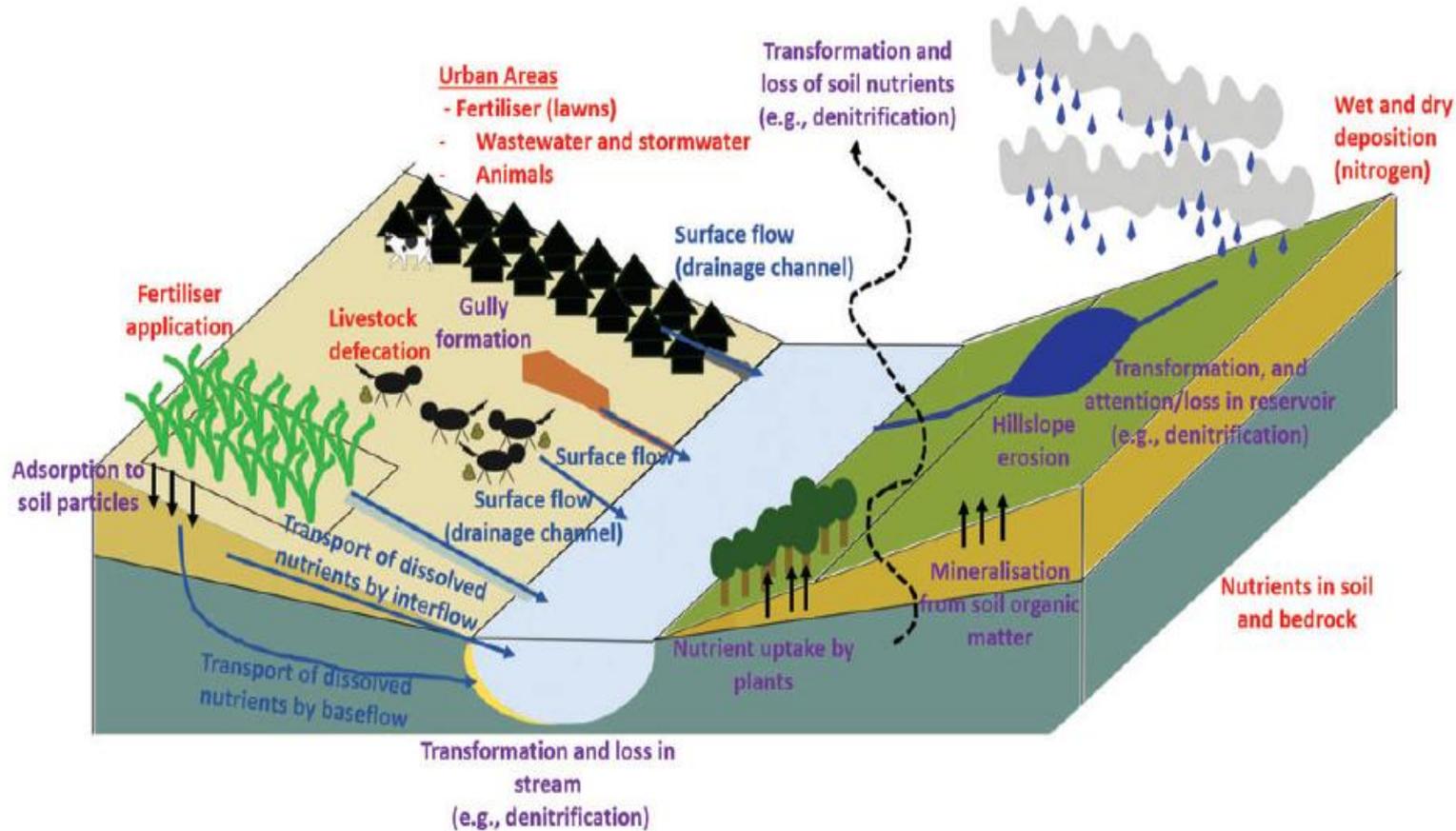


# PROCESOS PRINCIPALES

## Nutrientes

### Leyenda:

- Fuentes
- Movilización  
(desprendimiento y liberación)
- Exportación



# CALIDAD DE AGUAS

## Agenda

- ❖ Aspectos introductorios.
- ❖ Fuentes de información y datos disponibles.
- ❖ Procesos hidrológicos que explican la presencia de contaminantes en cuerpos de agua.
- ❖ **Métodos de estimación de la carga de contaminantes exportada.**
- ❖ Factores claves que afectan la calidad de agua en el tiempo y en el espacio.
- ❖ Complejidades que afectan los vínculos entre las características de la cuenca y la calidad del agua.
- ❖ Estrategias de gestión implementadas en la cuenca del río Santa Lucía.

# ESTIMACIÓN CARGA DE CONTAMINANTES EXPORTADA

## Fuentes puntuales: saneamiento e industrias

La metodología para la estimación de carga de contaminación es la misma para:

- ❖ planta de tratamiento de cloacales (sector domestico-saneamiento),
- ❖ Industrias (sector industrial).

$$CC = C_{efl} \cdot Q$$

$CC$  carga de contaminación [kg/día]

$C_{efl}$  concentración del contaminante en el efluente [mg/L]

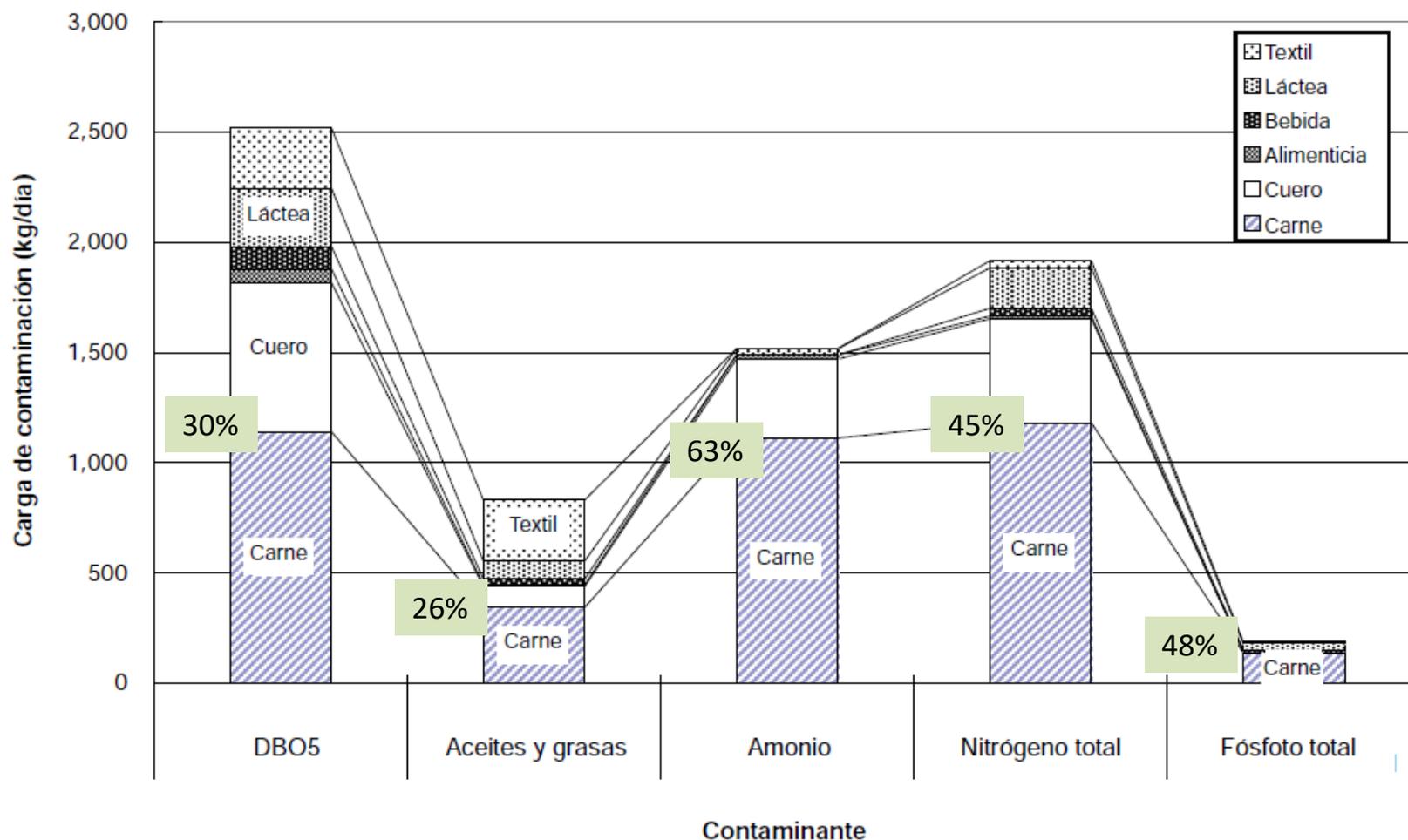
$Q$  tasa de flujo del efluente [m<sup>3</sup>/día]

} **Saneamiento:**  
Datos DINACEA+OSE

} **Industria:**  
Datos DINACEA.

# ESTIMACIÓN CARGA DE CONTAMINANTES EXPORTADA

## Carga de contaminación estimada por tipo de industria - Santa Lucía



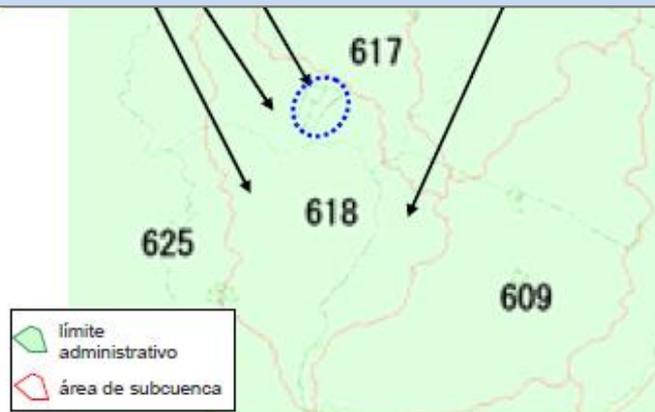
# ESTIMACIÓN CARGA DE CONTAMINANTES EXPORTADA

## Fuentes puntuales: origen domestico

$$CC = P \cdot UCC \cdot E_r$$

- $CC$  carga de contaminación [kg/día]  
 $P$  población  
 $UCC$  unidad de carga de contaminación [g/día/p]  
 $E_r$  eficiencia de remoción [%]

Existen datos de población para cada área



Datos INE: censo población.

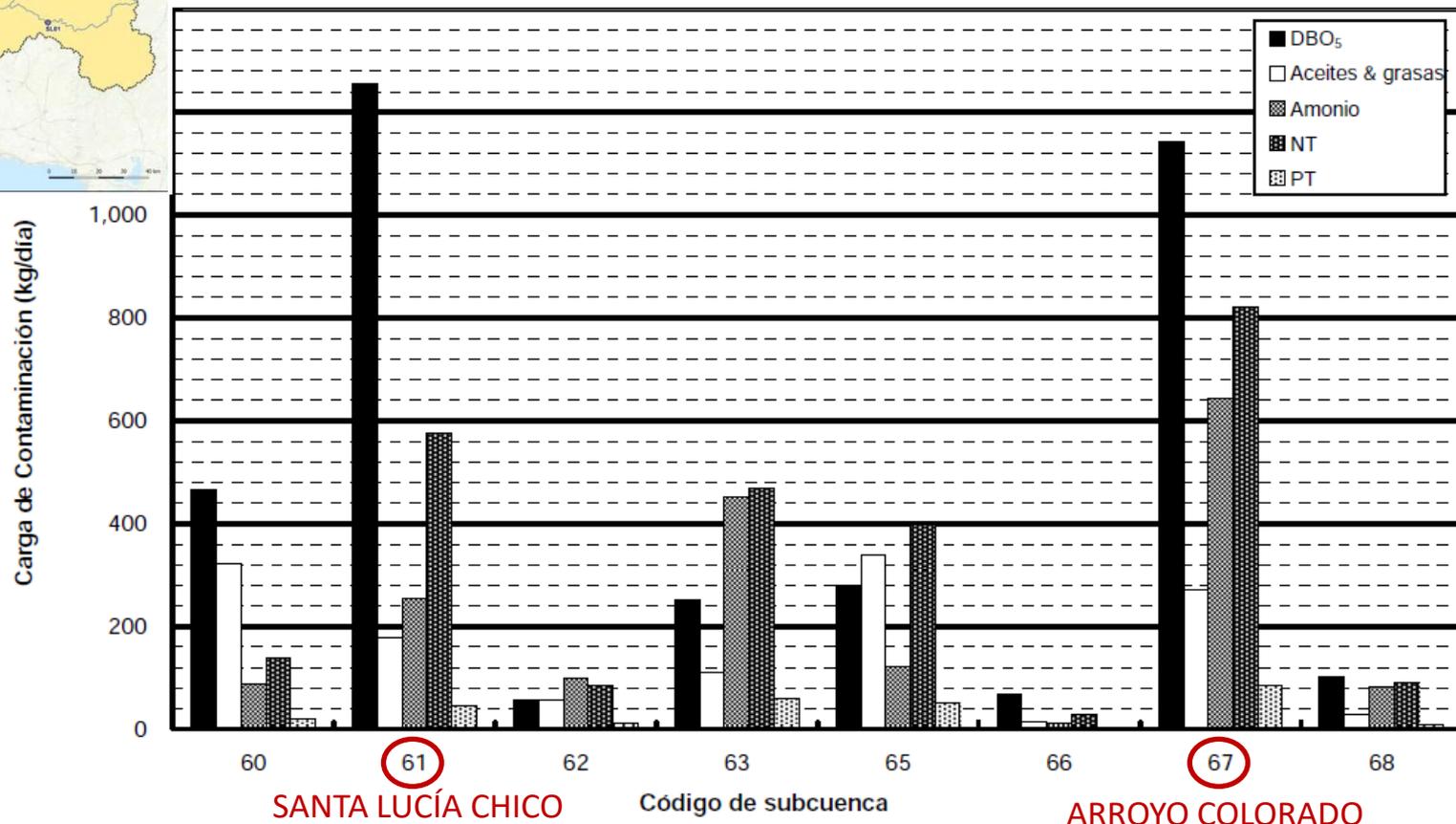
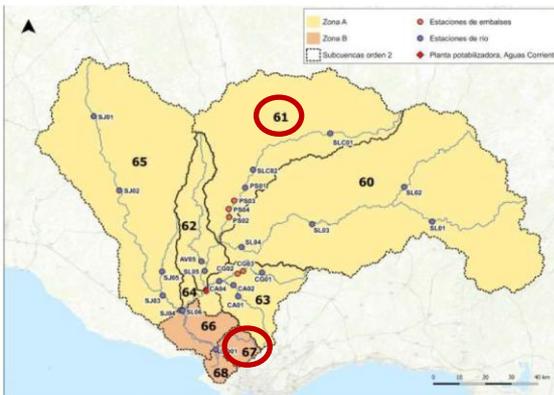
Parámetro	Unidad de carga de contaminación [g/día/p]	Eficiencia de remoción (barométrica)
DBO <sub>5</sub>	54	35%
N-NTK	9,5	7,5%
F-Total	1,1	10%

Datos OSE.

Datos OMS.

# ESTIMACIÓN CARGA DE CONTAMINANTES EXPORTADA

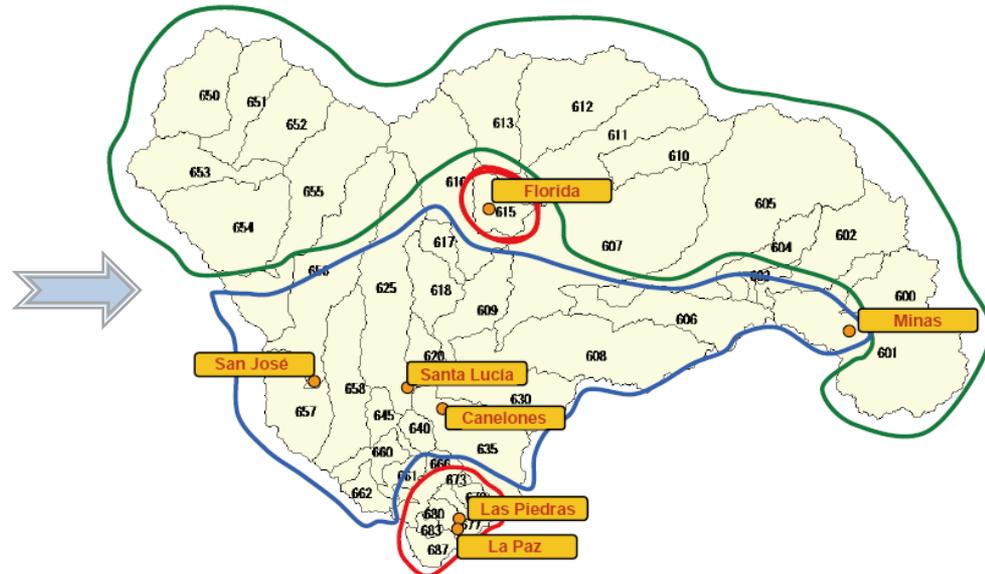
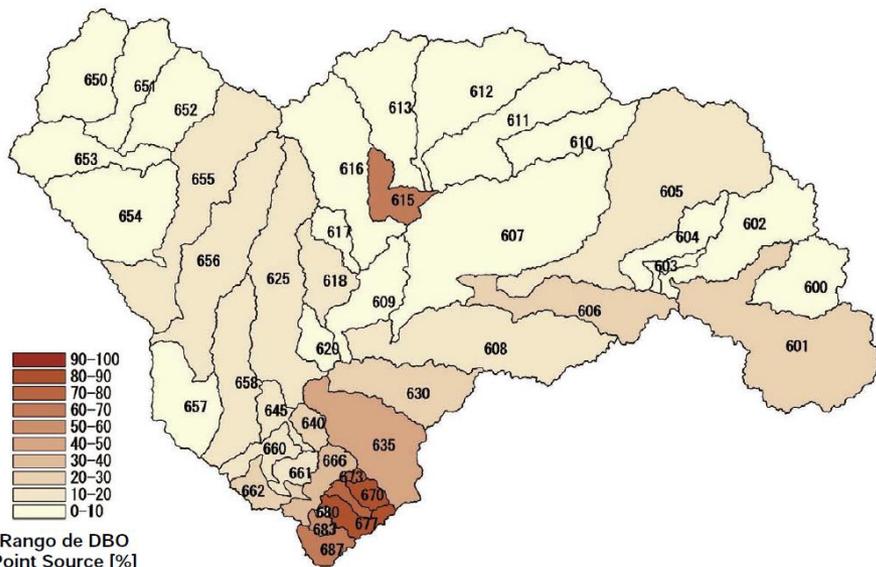
## Fuentes puntuales por subcuenca - Santa Lucía



# ESTIMACIÓN CARGA DE CONTAMINANTES EXPORTADA

## ¿Por qué hacer este cálculo a nivel de subcuenca?

- ❖ Identificar áreas y sectores importantes de **fuentes de contaminación** a ser controladas.
- ❖ Preparar datos cuantitativos para desarrollar estrategias de dirección del control de la contaminación y **políticas de gestión ambiental** y para comprender la eficiencia en la reducción de la carga de contaminación.



# ESTIMACIÓN CARGA DE CONTAMINANTES EXPORTADA

## Fuentes difusas

$$CC_{cuenca} = \sum_{UDS=1}^n (A_{UDS} \cdot C_{exp})$$

$CC_{cuenca}$

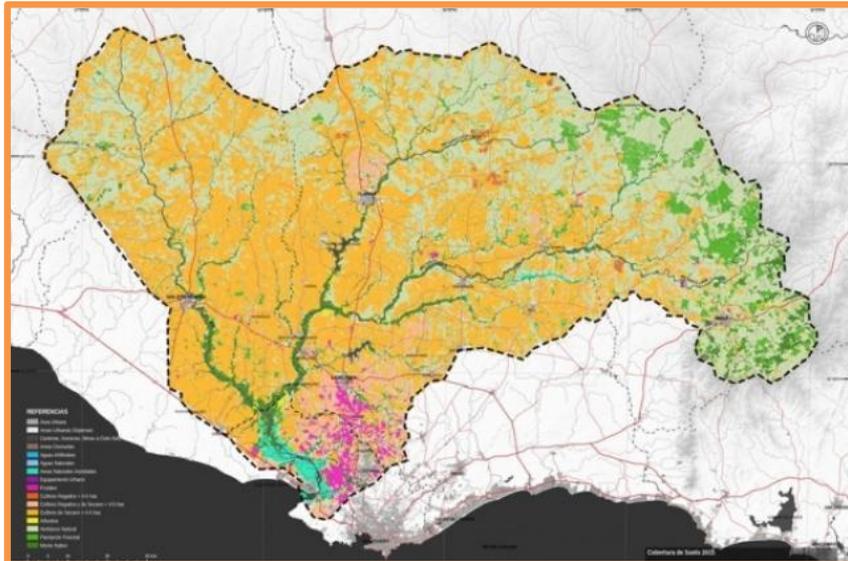
carga de contaminación para toda la cuenca [kg/año]

$A_{UDS}$

área de un tipo de uso del suelo ( $UDS$ ) [ha]

$C_{exp}$

coeficiente de exportación por tipo de contaminante y  $UDS$  [kg/ha/año]



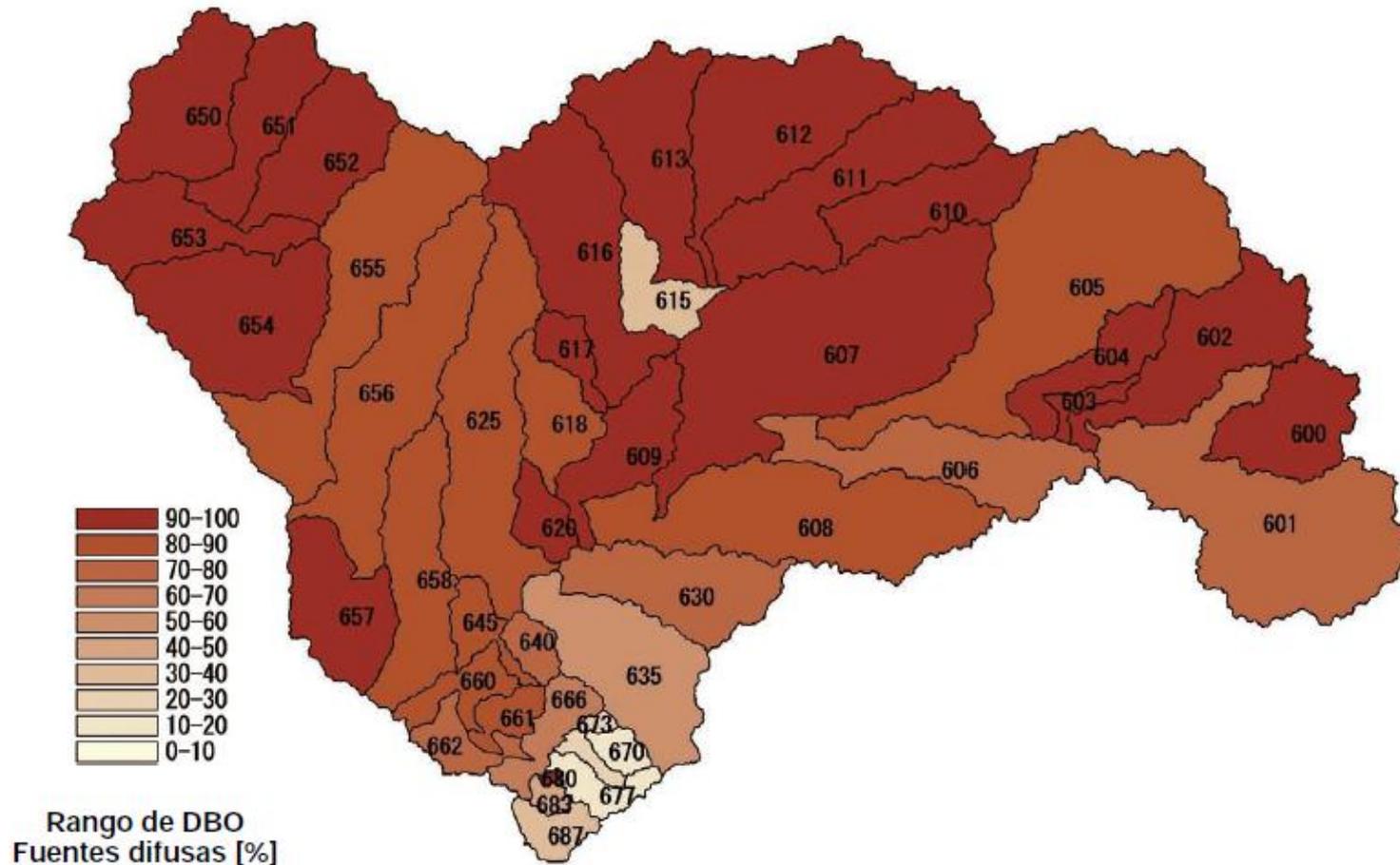
MGAP y OAN.

$C_{exp}$	DBO	N-T	P-T
Agricultura	16,8	11	0,75
Pastura	16,8	4	0,4
Residencial (bajo)	9,9	5	0,5
Residencial (medio)	47,2	7,9	2,2
Urbano	56	9	2,2
Industrial	56	11,1	5,3
Forestal	5,6	3,4	0,1
Suelo desnudo	3,4	2,2	0,2
Cuerpo de agua	15,7	5,6	0,2

DINAMA y JICA, 2011.

# ESTIMACIÓN CARGA DE CONTAMINANTES EXPORTADA

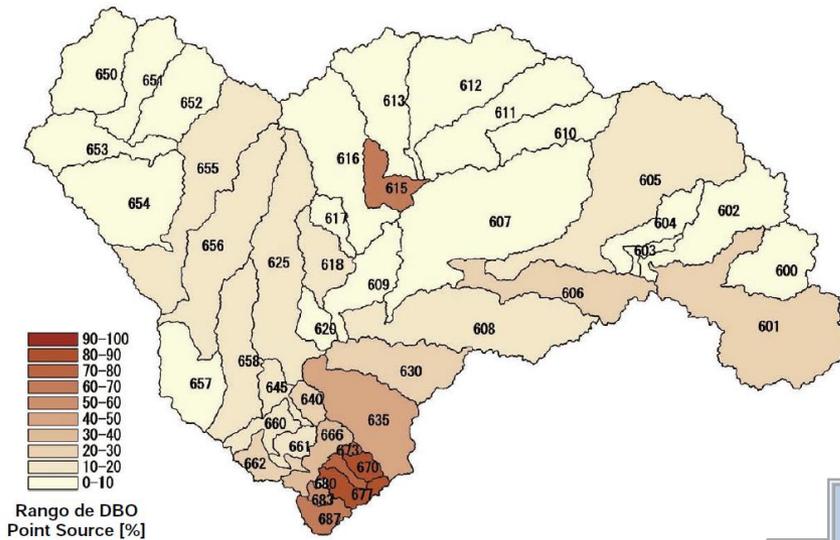
## Fuentes difusas por subcuenca - Santa Lucía



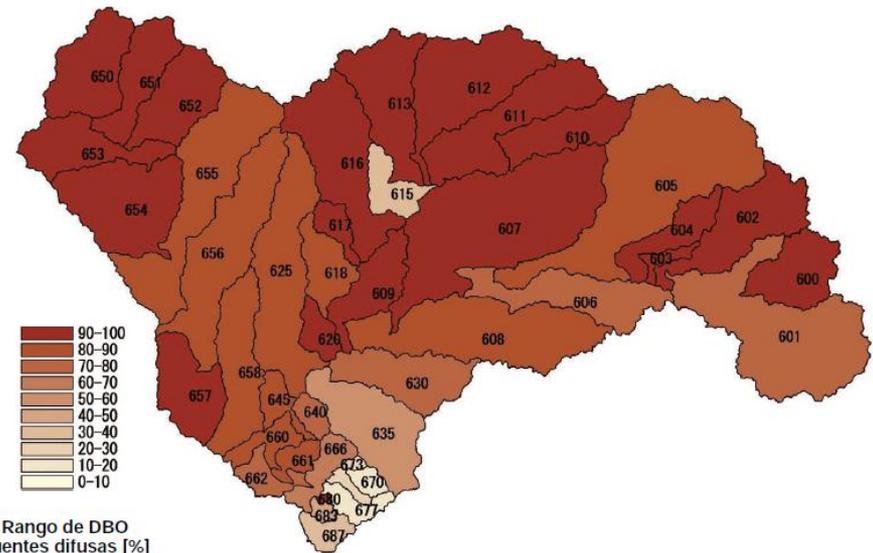
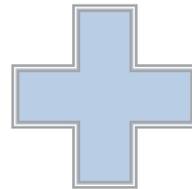
# ESTIMACIÓN CARGA DE CONTAMINANTES EXPORTADA

## Fuentes de contaminación - Santa Lucía

∇ contaminante



FUENTES PUNTUALES



Rango de DBO Fuentes difusas [%]

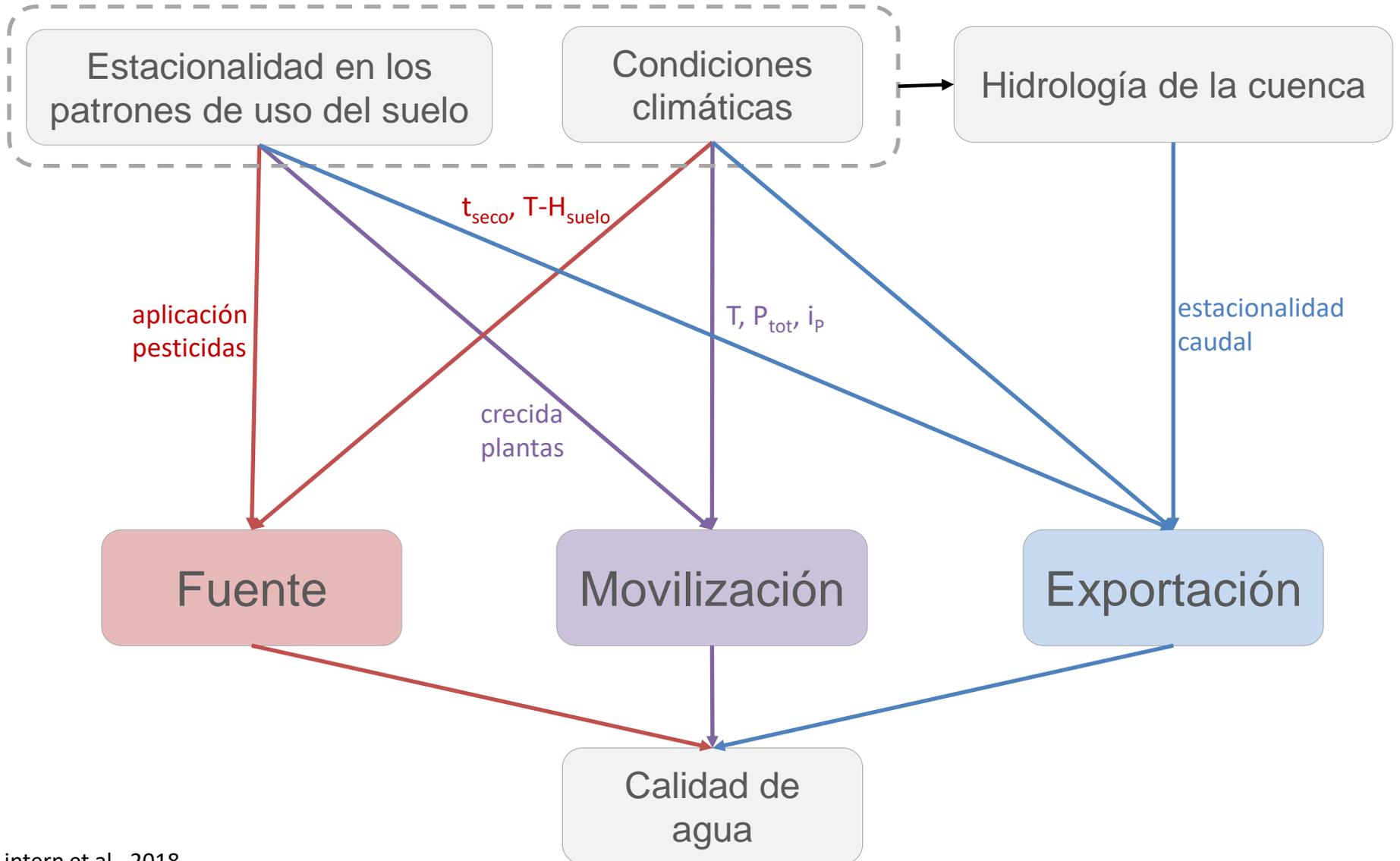
FUENTES DIFUSAS

# CALIDAD DE AGUAS

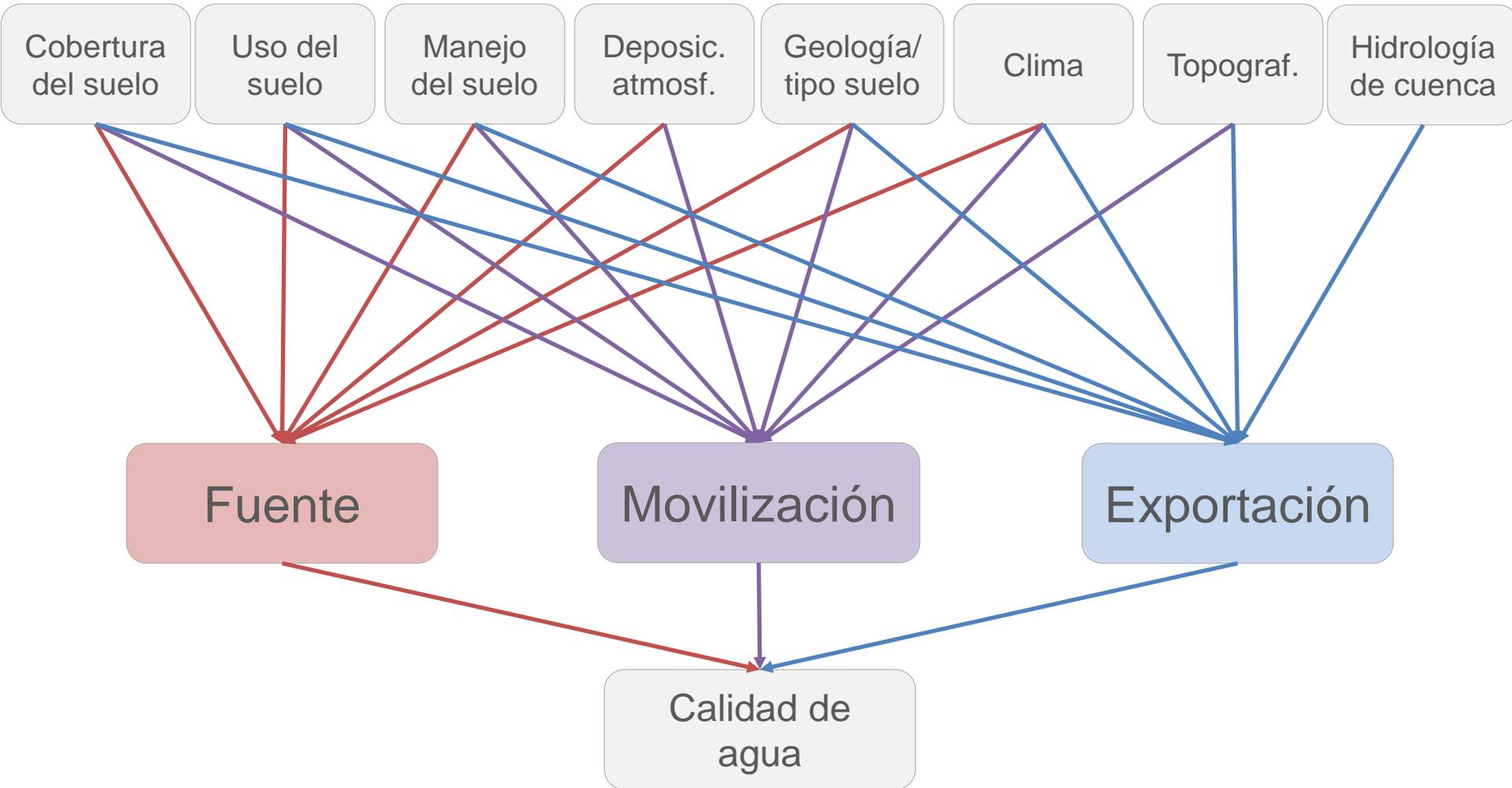
## Agenda

- ❖ Aspectos introductorios.
- ❖ Fuentes de información y datos disponibles.
- ❖ Procesos hidrológicos que explican la presencia de contaminantes en cuerpos de agua.
- ❖ Métodos de estimación de la carga de contaminantes exportada.
- ❖ Factores claves que afectan la calidad de agua en el tiempo y en el espacio.
- ❖ Complejidades que afectan los vínculos entre las características de la cuenca y la calidad del agua.
- ❖ Estrategias de gestión implementadas en la cuenca del río Santa Lucía.

# VARIABILIDAD TEMPORAL

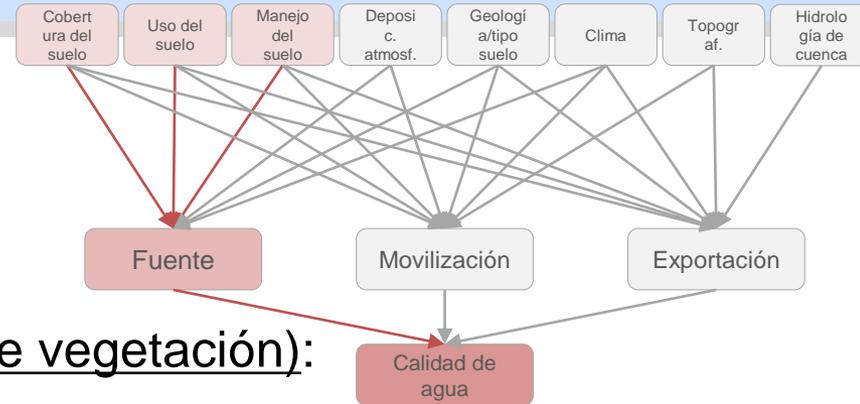


# VARIABILIDAD ESPACIAL



# VARIABILIDAD ESPACIAL: FACTORES DE INFLUENCIA

## Influencia de uso/cobertura/manejo del suelo en las fuentes



### Cobertura del suelo (cantidad y tipología de vegetación):

- ❖ Afecta la cantidad de nutrientes presentes en la cuenca.
- ❖ La tasa de asimilación de nutrientes depende de edad y tipo de vegetación.

### Uso del suelo (extensión y tipología de actividades humanas):

- ❖ La presencia de vegetación, que afecta el aporte de nutrientes, es influenciada por el uso del suelo.
- ❖ Aporte significativo de sedimentos.

### Prácticas de manejo del suelo:

- ❖ Métodos no-estructurales para reducir la contaminación (cuencas urbanas y agrícolas).

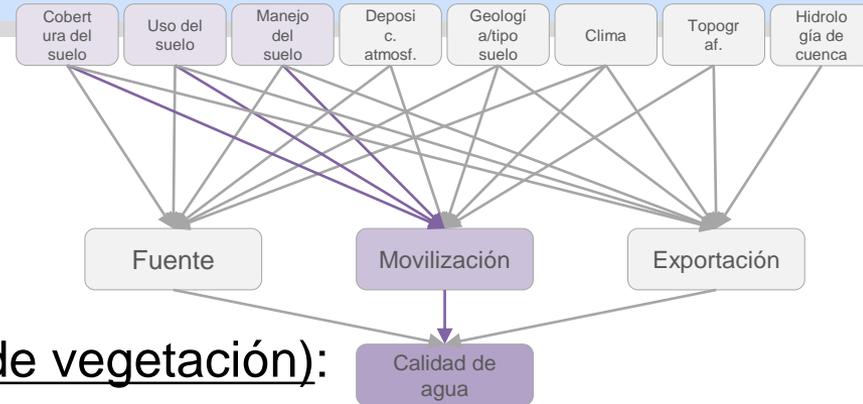
# VARIABILIDAD ESPACIAL: ESTRATEGIAS DE GESTIÓN

**TABLE 2** | Land Management Strategies in Agricultural and Urban Areas Used for Limiting the Sources and Mobilization of Constituents

Process	Target Constituent	Management Strategy	Effect of Management Strategy on Constituent Generation
Source	Sediments, particulate and dissolved nutrients, (Para cuencas urbanas)	Street sweeping	Street sweeping can reduce the amount of pollution on urban surfaces that can be mobilized and delivered by overland runoff to receiving waters. This is generally effective in removing large particles. <sup>172</sup>
	Particulate and dissolved nutrients (Para cuencas rurales)	Reduce stock access to waterways	Livestock can directly deposit nutrients into waterways by urinating and defecating. <sup>75</sup>
		Reduce fertilizer application rates and manage fertilizer application method and timing	Reduction in fertilizer application (optimizing to the crop requirements) and timing (apply during plant growth periods) and method of application (surface vs subsurface, liquid vs solid forms) can reduce the leaching of excess nutrients. <sup>173,174</sup>
		Implement crop rotations using nitrogen fixing crops	Implementing crop rotation systems (e.g., planting legumes, which can fix nitrogen) can improve soil quality, reducing the need for fertilizer application. <sup>89,90,175</sup>
Mobilization	Sediments and nutrients (particulate)	Increase vegetation cover (including the use of winter cover crops, crop residue retention)	Presence of vegetation reduces impact of rainfall on soil and soil erosion. <sup>90</sup> In addition, vegetation on gully walls and streambanks reduces erosion. <sup>91</sup>
Delivery	Sediments, particulate and dissolved nutrients,	Vegetate and preserve riparian zones	Vegetated riparian buffer zones can remove particulate compounds from overland runoff, and dissolved compounds from subsurface flows. <sup>177,178</sup>
		Implement water sensitive urban design (WSUD) or low-impact design (LID) technologies	The implementation of WSUD or LID technologies such as permeable pavements, infiltration systems, biofilters, constructed wetlands, and rainwater tanks both decrease overall runoff volumes and can lead to reduced constituent concentrations in surface and subsurface runoff. <sup>96,179-182</sup>

# VARIABILIDAD ESPACIAL: FACTORES DE INFLUENCIA

## Influencia de uso/cobertura/manejo del suelo en la movilización



### Cobertura del suelo (cantidad y tipología de vegetación):

- ❖ Afecta la cantidad de sedimentos movilizados (raíces).
- ❖ Por lo tanto, afecta la cantidad de nutrientes en forma adsorbida (P).

### Uso del suelo (extensión y tipología de actividades humanas):

- ❖ Afecta la cantidad de sedimentos movilizados (actividad de construcción, preparación del campo para cultivos, erosión debido al ganado, etc.).
- ❖ Por lo tanto, afecta la cantidad de nutrientes en forma adsorbida (P).

### Prácticas de manejo del suelo:

- ❖ Métodos para reducir la movilización de contaminantes (cuencas urbanas y agrícolas).

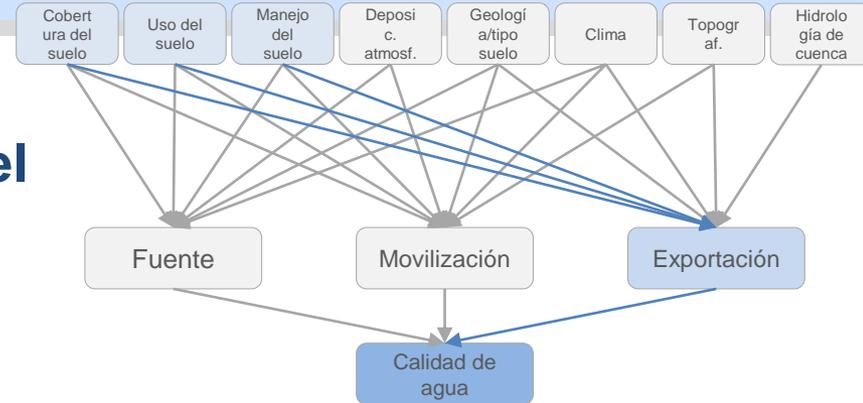
# VARIABILIDAD ESPACIAL: ESTRATEGIAS DE GESTIÓN

**TABLE 2** | Land Management Strategies in Agricultural and Urban Areas Used for Limiting the Sources and Mobilization of Constituents

Process	Target Constituent	Management Strategy	Effect of Management Strategy on Constituent Generation
Source	Sediments, particulate and dissolved nutrients,	Street sweeping	Street sweeping can reduce the amount of pollution on urban surfaces that can be mobilized and delivered by overland runoff to receiving waters. This is generally effective in removing large particles. <sup>172</sup>
		Reduce stock access to waterways	Livestock can directly deposit nutrients into waterways by urinating and defecating. <sup>75</sup>
		Reduce fertilizer application rates and manage fertilizer application method and timing	Reduction in fertilizer application (optimizing to the crop requirements) and timing (apply during plant growth periods) and method of application (surface vs subsurface, liquid vs solid forms) can reduce the leaching of excess nutrients. <sup>173,174</sup>
		Implement crop rotations using nitrogen fixing crops	Implementing crop rotation systems (e.g., planting legumes, which can fix nitrogen) can improve soil quality, reducing the need for fertilizer application. <sup>89,90,175</sup>
Mobilization	Sediments and nutrients (particulate)	Increase vegetation cover (including the use of winter cover crops, crop residue retention)	Presence of vegetation reduces impact of rainfall on soil and soil erosion. <sup>90</sup> In addition, vegetation on gully walls and streambanks reduces erosion. <sup>91</sup>
Delivery	Sediments, particulate and dissolved nutrients,	Vegetate and preserve riparian zones	Vegetated riparian buffer zones can remove particulate compounds from overland runoff, and dissolved compounds from subsurface flows. <sup>177,178</sup>
		Implement water sensitive urban design (WSUD) or low-impact design (LID) technologies	The implementation of WSUD or LID technologies such as permeable pavements, infiltration systems, biofilters, constructed wetlands, and rainwater tanks both decrease overall runoff volumes and can lead to reduced constituent concentrations in surface and subsurface runoff. <sup>96,179-182</sup>

# VARIABILIDAD ESPACIAL: FACTORES DE INFLUENCIA

## Influencia de uso/cobertura/manejo del suelo en la exportación



### Cobertura y uso del suelo:

- ❖ Afecta la cantidad de contaminantes particulados y disueltos transportados (rugosidad).
- ❖ En particular, las superficies impermeables transportan una significativa cantidad de sedimentos (< Tc, < sedimentación, < desnitrificación, > escorrentía, < infiltración).

### Prácticas de manejo del suelo:

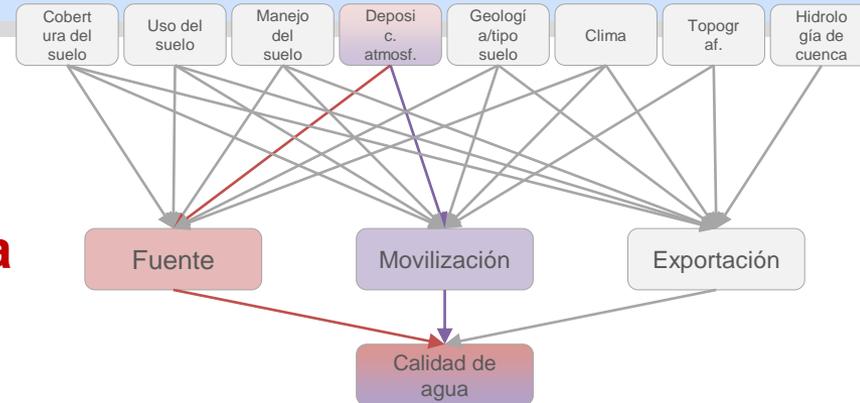
- ❖ Métodos para reducir la exportación de contaminantes (cuencas urbanas y agrícolas).

# VARIABILIDAD ESPACIAL: ESTRATEGIAS DE GESTIÓN

**TABLE 2** | Land Management Strategies in Agricultural and Urban Areas Used for Limiting the Sources and Mobilization of Constituents

Process	Target Constituent	Management Strategy	Effect of Management Strategy on Constituent Generation	
Source	Sediments, particulate and dissolved nutrients,	Street sweeping	Street sweeping can reduce the amount of pollution on urban surfaces that can be mobilized and delivered by overland runoff to receiving waters. This is generally effective in removing large particles. <sup>172</sup>	
		Particulate and dissolved nutrients	<p>Reduce stock access to waterways</p> <p>Reduce fertilizer application rates and manage fertilizer application method and timing</p> <p>Implement crop rotations using nitrogen fixing crops</p>	<p>Livestock can directly deposit nutrients into waterways by urinating and defecating.<sup>75</sup></p> <p>Reduction in fertilizer application (optimizing to the crop requirements) and timing (apply during plant growth periods) and method of application (surface vs subsurface, liquid vs solid forms) can reduce the leaching of excess nutrients.<sup>173,174</sup></p> <p>Implementing crop rotation systems (e.g., planting legumes, which can fix nitrogen) can improve soil quality, reducing the need for fertilizer application.<sup>89,90,175</sup></p>
	Mobilization	Sediments and nutrients (particulate)	Increase vegetation cover (including the use of winter cover crops, crop residue retention)	Presence of vegetation reduces impact of rainfall on soil and soil erosion. <sup>90</sup> In addition, vegetation on gully walls and streambanks reduces erosion. <sup>91</sup>
			Delivery	Sediments, particulate and dissolved nutrients,

# VARIABILIDAD ESPACIAL: FACTORES DE INFLUENCIA



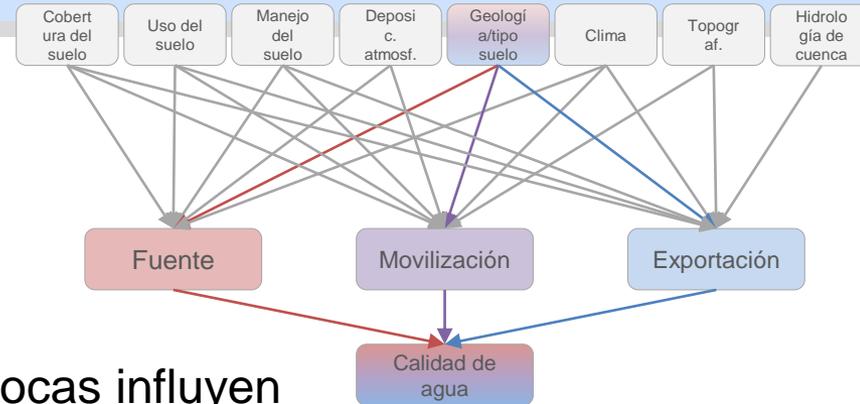
## Influencia de la deposición atmosférica en las fuentes

- ❖ Depositiones húmedas y secas son fuentes de nitrógeno.
- ❖ Alta variabilidad espacial de nitrógeno que depende del uso del suelo (combustión de combustibles fósiles, emisiones agropecuarias).

## Influencia de la deposición atmosférica en la movilización

- ❖ Las sustancias químicas contenidas en las deposiciones húmedas y secas movilizan los nutrientes de suelos y rocas.
- ❖ En particular, nitrógeno se moviliza del suelo con el incremento de la acidez de la lluvia (lluvia ácida).

# VARIABILIDAD ESPACIAL: FACTORES DE INFLUENCIA



## Influencia de la geología/tipo de suelo en las fuentes

- ❖ Las características químicas de suelos y rocas influyen en la magnitud de nutrientes.
- ❖ Estas características están determinadas por la edad del material y la deposición atmosférica antecedente de contaminantes.

## Influencia de la geología/tipo de suelo en la movilización

- ❖ Erodibilidad y capacidad de sorción de un suelo o roca influyen en la movilización de sedimentos y nutrientes en forma particulada.

## Influencia de la geología/tipo de suelo en la exportación

- ❖ El transporte de nutrientes disueltos es afectado por las características hidrológicas del suelo (conductividad hidráulica).

# VARIABILIDAD ESPACIAL: FACTORES DE INFLUENCIA

## Influencia del clima en las fuentes

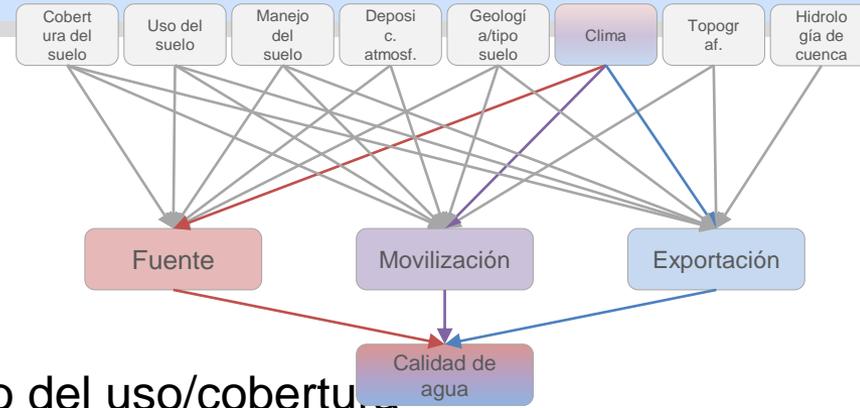
- ❖ El aumento de temperatura provoca la disminución de nutrientes en la cuenca.
- ❖ Efecto indirecto sobre la calidad, por medio del uso/cobertura del suelo (correlación cruzada).

## Influencia del clima en la movilización

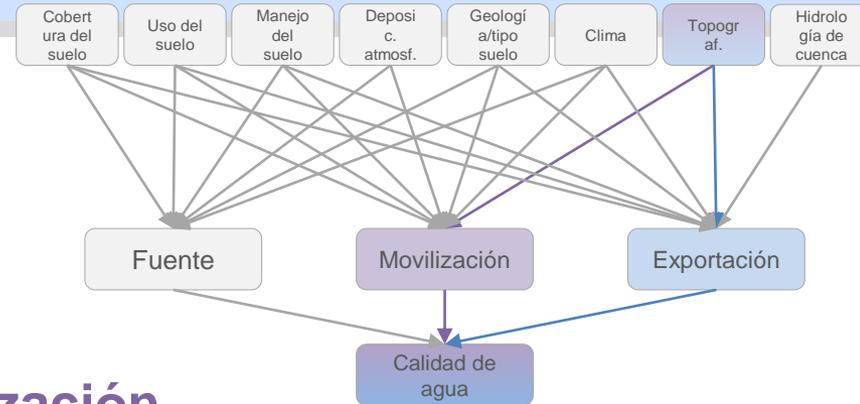
- ❖ Temperaturas extremas aumentan la movilidad de los sedimentos y los nutrientes particulados.
- ❖ El aumento de intensidad y volumen de precipitación incrementa la movilidad de partículas.

## Influencia del clima en la exportación

- ❖ El transporte de contaminantes particulados y disueltos es afectado por la escorrentía superficial (nivel, velocidad y volumen).



# VARIABILIDAD ESPACIAL: FACTORES DE INFLUENCIA



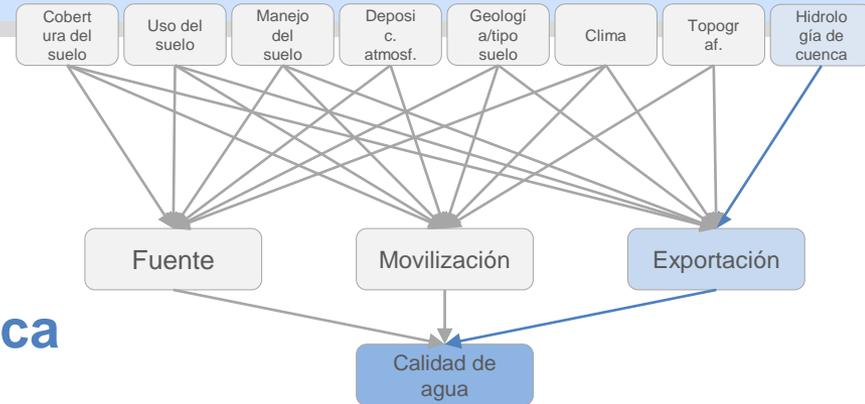
## Influencia de la topografía en la movilización

- ❖ Una pendiente elevada afecta positivamente la movilización de partículas.

## Influencia de la topografía en la exportación

- ❖ Una pendiente elevada influye en el transporte de contaminantes disueltos y particulados.

# VARIABILIDAD ESPACIAL: FACTORES DE INFLUENCIA



## Influencia de la hidrología de la cuenca en la exportación

- ❖ La contribución del flujo base a la descarga total de la cuenca influye en el transporte de contaminantes disueltos.
- ❖ Escorrentía superficial exporta sedimentos.
- ❖ Flujo subsuperficial exporta nutrientes disueltos y partículas más finas.
- ❖ Flujo subterráneo exporta nutrientes disueltos.
- ❖ La presencia de reservorios disminuye la carga de sedimentos (reducción de flujo y aumento de concentración).

# CALIDAD DE AGUAS

## Agenda

- ❖ Aspectos introductorios.
- ❖ Fuentes de información y datos disponibles.
- ❖ Procesos hidrológicos que explican la presencia de contaminantes en cuerpos de agua.
- ❖ Métodos de estimación de la carga de contaminantes exportada.
- ❖ Factores claves que afectan la calidad de agua en el tiempo y en el espacio.
- ❖ Complejidades que afectan los vínculos entre las características de la cuenca y la calidad del agua.
- ❖ Estrategias de gestión implementadas en la cuenca del río Santa Lucía.

# COMPLEJIDADES

## Complejidades que afectan los vínculos entre las características de la cuenca y la calidad del agua

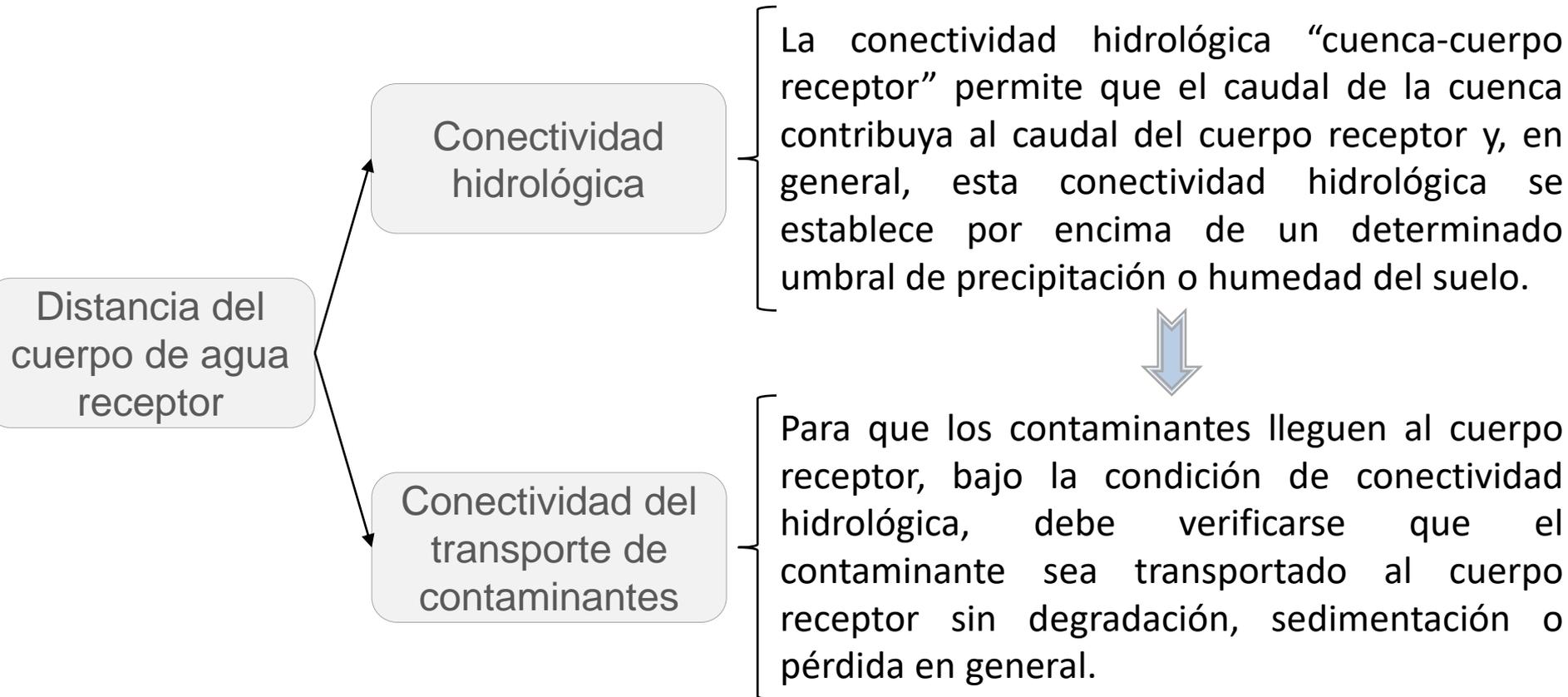
### ❖ Distancia:

Donde tiene que ser ubicada la fuente para que **NO** afecte la calidad del cuerpo de agua receptor?

### ❖ Correlación cruzada:

Correlación cruzada entre las características de la cuenca y climáticas.

# COMPLEJIDADES: DISTANCIA



# COMPLEJIDADES: CORRELACIÓN CRUZADA

**TABLE 3** | Cross Correlations between Landscape Characteristics

	Land Cover	Land Use	Geology/Soil Type	Climate	Topography
Land use	Where there is more anthropogenic land use such as urban/agricultural land uses, forest cover, or vegetation cover are generally lower. <sup>262</sup>				
Geology/ Soil type	The nutrients and minerals contained in soils as well as the water holding capacity of soil will affect vegetation cover in the catchment, with more dense vegetation in regions with fertile soils with greater water holding capacity. <sup>263,264</sup>	Agricultural land use often occurs where soil has more nutrients and organic matter. <sup>14</sup>			
Climate	More vegetation growth occurs in locations with warmer temperatures and higher rainfall. <sup>265,266</sup>	Agricultural land uses are more common in areas where there is higher rainfall and warmer temperatures. <sup>136</sup>	Soil salinity tends to be lower with higher rainfall. Weathering and erosion is affected by climate (e.g., wind, rain, and temperature changes). <sup>267</sup> Soil nutrient levels (especially nitrogen) can be influenced by temperature and soil moisture, through effects on vegetation growth, carbon and microbial communities in soils, and hence, biogeochemical processing. <sup>32,120,268</sup>		
Topography	There tends to be more forested land cover or vegetation on steeper slopes and at higher elevations in the catchment. <sup>269</sup>	There tends to be less agriculture, grazing, and urban development at higher elevations and steep slopes. <sup>14,137</sup>	Topography can be influenced by the geology (e.g., resistance of bedrock to erosion) of the region. <sup>270</sup> Conversely, topography influences soil removal rates (soil depth is less on steep slopes) and soil water content. <sup>271</sup>	Higher rainfall and lower temperatures occur at elevations high in the catchment. <sup>272</sup>	
Hydrology	In areas with greater vegetation cover, there tends to be lower levels of total runoff. <sup>273</sup> As stated in Mao et al. <sup>273</sup> This can however depend on the type of vegetation (leaf area index, roughness), the soil water holding capacity, and the climatic characteristics of the site.	Greater levels of overland runoff occur in urban and agricultural lands. <sup>16,72</sup> Subsurface drainage can be more rapid where artificial drainage is installed or less rapid where landscapes have been cleared of forests and replaced with impervious surfaces. <sup>72</sup>	Geology and soil influences runoff and runoff pathways. It determines how fast water moves via subsurface flow into receiving streams. <sup>274</sup> Soil depth influences the amount of groundwater recharge (subsurface flows).	Greater levels of runoff occur when there is high rainfall and less evapotranspiration. Seasonality and rainfall intensity are also a factor. <sup>147</sup>	Runoff flows more quickly and baseflow travels more quickly down steep slopes in the catchment. <sup>228</sup>

# CALIDAD DE AGUAS

## Agenda

- ❖ Aspectos introductorios.
- ❖ Fuentes de información y datos disponibles.
- ❖ Procesos hidrológicos que explican la presencia de contaminantes en cuerpos de agua.
- ❖ Métodos de estimación de la carga de contaminantes exportada.
- ❖ Factores claves que afectan la calidad de agua en el tiempo y en el espacio.
- ❖ Complejidades que afectan los vínculos entre las características de la cuenca y la calidad del agua.
- ❖ Estrategias de gestión implementadas en la cuenca del río Santa Lucía.

# ESTRATEGIAS DE GESTIÓN EN UY: SANTA LUCÍA

## Plan de acción para la Protección de la Calidad Ambiental y Disponibilidad de las fuentes de Agua Potable en la Cuenca del río Santa Lucía:

### OBJETIVO

Formular y ejecutar las acciones que permitan **controlar, detener y revertir el proceso de deterioro de la calidad de agua** en la cuenca hidrográfica del río Santa Lucía, y **asegurar la calidad y cantidad** para el uso sustentable como abastecimiento de agua potable.

# ESTRATEGIAS DE GESTIÓN EN UY: SANTA LUCÍA

## Plan de acción para la Protección de la Calidad Ambiental y Disponibilidad de las fuentes de Agua Potable en la Cuenca del río Santa Lucía:

**Diminución aporte fuentes puntuales**

Sector industrial

Saneamiento

Feedlots

Lodos potabilización Aguas Corrientes

Tambos

**Diminución aporte fuentes difusas**

Control de aplicación de plaguicidas y fertilizantes en padrones rurales en zona A de la cuenca

**Medidas de protección**

Restricción del ganado a abrevar directo sobre las fuentes

Zona buffer en la zona A de la cuenca

Restauración del monte nativo

Conservación de ecosistemas

...entre otras medidas.

# ESTRATEGIAS DE GESTIÓN EN UY: SANTA LUCÍA

**Puntos de Monitoreo SANTA LUCÍA**

**REFERENCIAS:**

● Puntos monitoreo

**ZONAS SL**

A

B

World Reference Overlay



ZONA A

CUENCAS: 60, 61, 62, 63, 64, 65

ZONA B

CUENCAS: 66, 67, 68

Extensión: GERENCIA INFORMACIÓN, PLANIFICACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL- (G.I.A.) División Información Ambiental.

Fecha: 13/9/2018	Proyección: UTM 21S	Lamina: <b>1</b>
Escala: 1:1.000.000	Datum: WGS_1984	

Fuente: MVOTMA-DINAMA 2018.

**ZONA A**

cuyo objetivo de uso preponderante es fuente de agua potable.

**ZONA B**

tiene por objetivo central la conservación de la flora y fauna hídrica.



# DIMINUCIÓN APORTES FUENTES PUNTUALES

## Sector industrial:

Implementación de un **programa sectorial de mejora** de cumplimiento ambiental de **vertimientos de origen industrial** en toda la cuenca hidrográfica del río Santa Lucía y exigir la reducción del nivel de DBO, nitrógeno y fósforo.

## Saneamiento:

Implementación de un **programa sectorial de mejora** del cumplimiento ambiental de **vertimientos de origen doméstico** en toda la cuenca hidrográfica del río Santa Lucía y exigir la reducción del nivel de nitrógeno y fósforo.



Actividad de control de industria.

# DIMINUCIÓN APORTES FUENTES DIFUSAS

## Planes de uso y manejo responsable del suelo:

En el marco de la ley N° 15.239 y sus decretos reglamentarios, se estableció que el MGAP exigirá a los productores agropecuarios la presentación de un Plan de Uso, que tenga en cuenta:

- ❖ los suelos del predio,
- ❖ las prácticas de manejo,
- ❖ la secuencia de cultivos,
- ❖ la erosión tolerable (modelo USLE/RUSLE\*).



**Objetivo:**  
Prevenir la erosión hídrica  
de los suelos

Variable	Valor
Área total cuenca (km <sup>2</sup> )	13494.75
Área declarada para agricultura secano (km <sup>2</sup> )	1079.58 (1293 planes)
Porcentaje	8%

# DIMINUCIÓN APORTES FUENTES DIFUSAS

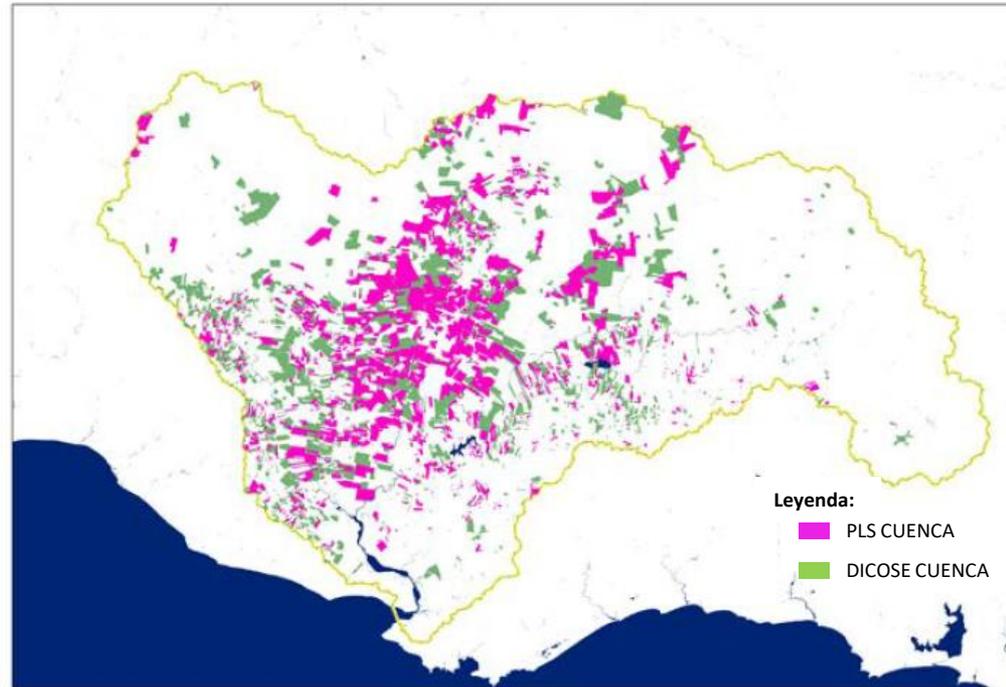
## Planes de lechería sostenible (PLS):

- ❖ Consiste en determinar una rotación, o sucesión de cultivos asociados a la producción lechera en una unidad de producción, que no genere pérdidas de suelo por erosión estimadas por encima de la tolerancia para ese suelo.
- ❖ Implica elaborar un programa de manejo de la fertilización química y orgánica, como medida para controlar el nivel de fósforo en el suelo.



### Objetivo:

Prevenir la erosión hídrica de los suelos



Variable	Valor
Área lechera (km <sup>2</sup> )	2803
Área PLS (km <sup>2</sup> )	1579.08
Porcentaje de superf. lechera bajo PLS	56%

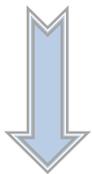
# MEDIDAS DE PROTECCIÓN

## Zonas de amortiguación o buffer:

Instaurar una zona buffer en la cuenca hidrográfica declarada zona A sin laboreo de la tierra y uso de agroquímicos.

### Franjas:

- ❖ 40m – cursos de agua principales (río Santa Lucía, río San José),
- ❖ 20m – afluentes de primer orden (p.e., Arroyo Canelón Grande),
- ❖ 100m – embalses.



### Objetivo:

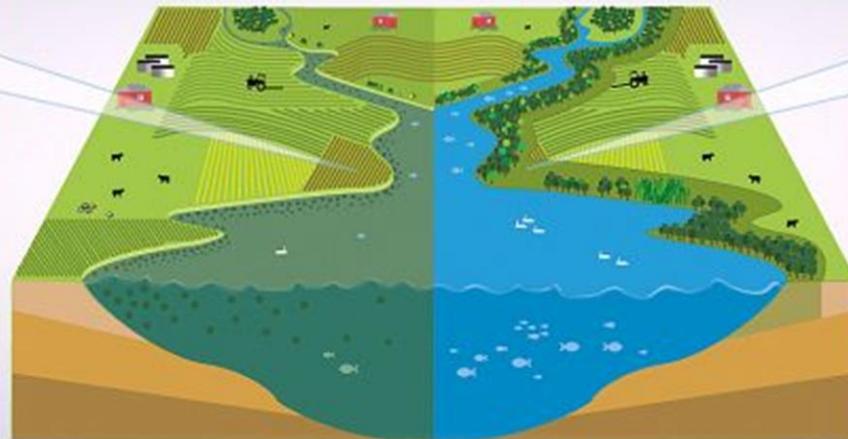
Conservación y restitución del monte ribereño

Zonas de amortiguación entre áreas productivas y los cursos de agua de la cuenca del Santa Lucía

#### **Sin zonas de amortiguación**

El avance de actividades productivas hasta los cursos de agua y la falta de vegetación natural que oficie de barrera agrava los procesos de erosión y pérdida de suelo.

Más nutrientes y contaminantes pesan del suelo al agua por escurrimiento superficial afectando la calidad de la misma.



#### **Con zonas de amortiguación**

La vegetación natural ayuda a mantener la estructura del suelo y evita la erosión que favorece el traslado de agroquímicos por escurrimiento superficial al curso de agua. Al tiempo que oficia de barrera natural disminuyendo los nutrientes como fósforo y nitrógeno que llegan al agua.

# MEDIDAS DE PROTECCIÓN

## Alambrados de embalses:

- ❖ Restringir el acceso directo del ganado a abreviar en los cursos de la cuenca hidrográfica declarada zona A.
- ❖ Construir un perímetro de restricción en el entorno de los embalses de Paso Severino, Canelón Grande y San Francisco.
- ❖ El acceso al agua se realizará en forma indirecta mediante toma de agua.

**TOTALMENTE EJECUTADO**



Alambrados en Paso Severino.

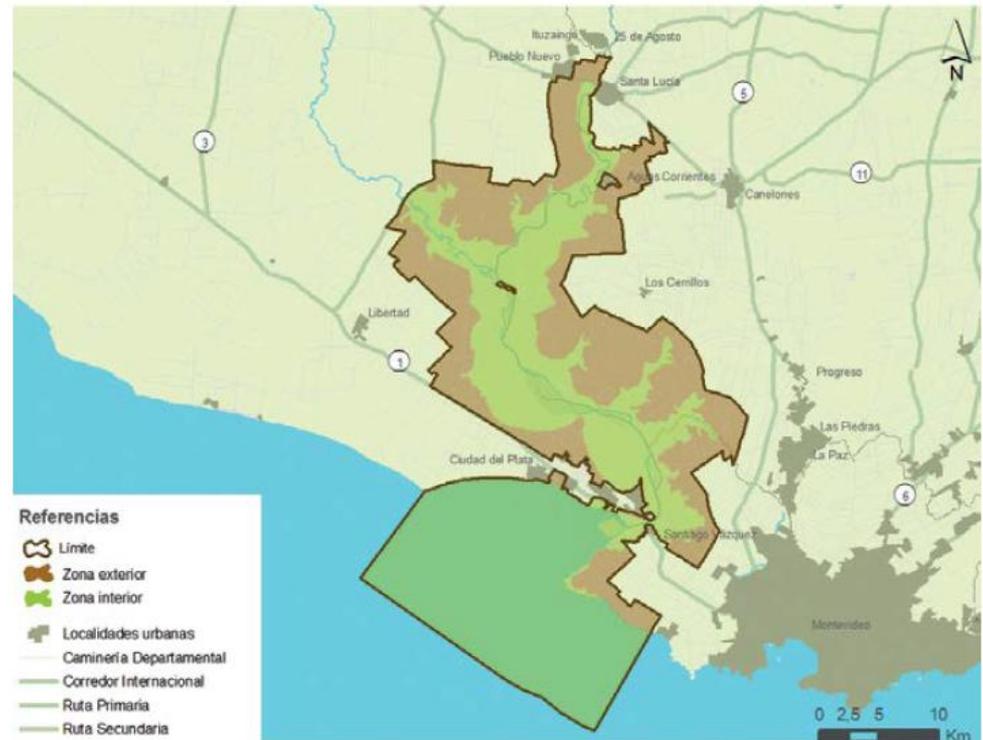
# MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Más detalles sobre esta temática, en la próxima clase.

## Conservación de ecosistemas:

2015: Ingreso de Humedales del Santa Lucía al Sistema Nacional de áreas Protegidas (SNAP) → medida de protección zona B.

- ❖ Relevancia ecológica
- ❖ Relevancia económica
- ❖ Relevancia cultural



# BIBLIOGRAFÍA

- ❖ DINAMA y JICA, 2011. Proyecto sobre control de contaminación y gestión de la calidad de agua en la cuenca del río Santa Lucía. Informe final del Proyecto.
- ❖ Lintern A, et al. Key factors influencing differences in stream water quality across space. WIREs Water 2018.
- ❖ MVOTMA. Plan Nacional de Aguas, 2017, p.93-98. ISBN: 978-9974-658-31-8. <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/publicaciones/plan-nacional-aguas>
- ❖ Secretaría Nacional de Ambiente, Agua y Cambio Climático (SNAACC), 2018. Plan de acción para la protección de la calidad ambiental de la cuenca del río Santa Lucía.