



**¿En qué punto estamos a nivel país
para entender/modelar la
biogeoquímica del fósforo?**

CURSO DE POSGRADO

**Eutrofización y
Biogeoquímica
Ambiental del Fósforo**

8 de abril de 2023

Msc. Florencia Hastings

Índice

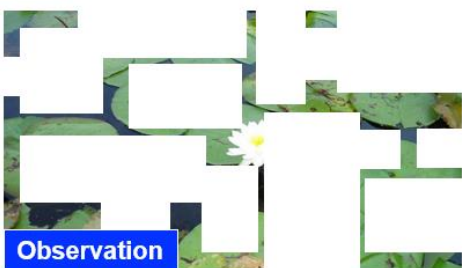
1. Modelos de fósforo
2. Los modelos en la GIRH
3. Grupo de modelación Integrada de Cuencas (GMIC)
4. Modelo SWAT
5. Análisis de resultados
6. Desarrollo de Escenarios
7. ¿En qué punto estamos a nivel país para entender/modelar la biogeoquímica del fósforo?

¿Para qué usar modelos?

- El monitoreo y la modelación se complementan.
- Los modelos no son la verdad, su desempeño responde a sus objetivos.
- Hay que considerar las incertidumbres del modelo para la toma de decisiones.



Truth



Observation

Incomplete access to a natural phenomenon where spatial and temporal resolution is a compromise



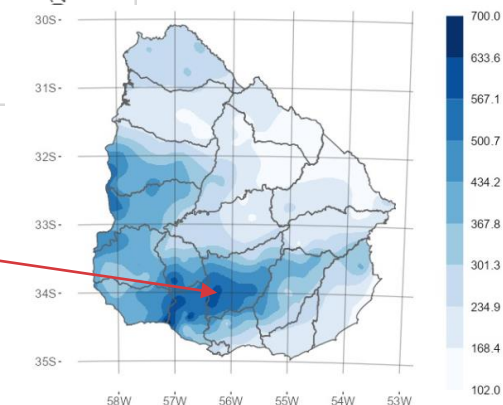
Model

A basic spatial and temporal resolution, but incomplete representation of processes and components of a natural system

Fuente: Deltares



Precipitación acumulada marzo 2024 aprox. 500mm



Coeficientes de exportación

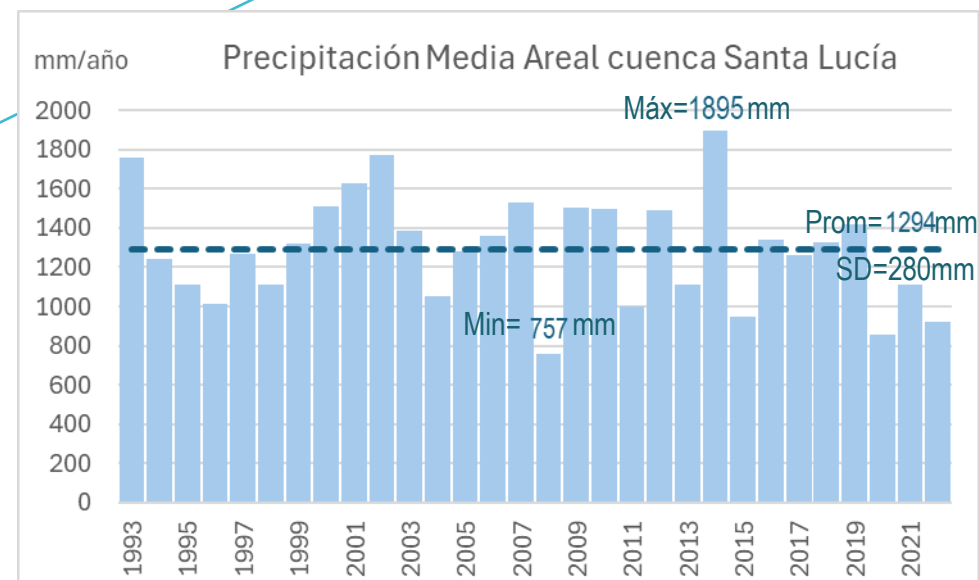
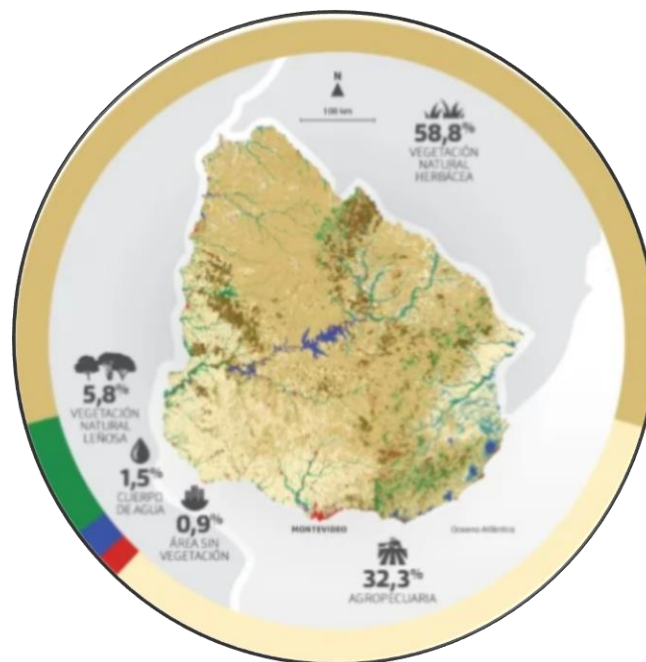
Carga potencial de P que puede alcanzar los cursos de agua

- Modelo simple
- Ampliamente utilizado desde los '80
- Valor promedio anual
- Diferenciado por uso del suelo
- Basado en bibliografía internacional y nacional

Limitación: No está asociado a las condiciones meteorológicas del año de estudio

Clase uso del suelo	Coef. Exp. (kg P/ha/año)
Agricultura de secano, verano	4.11/1.1
Rastrojo	1.1
Campo Natural	0.24/0.70
Bosque Nativo	0.01/0.6

$$Carga \left(\frac{kgP}{año} \right) = Coef \times Area$$



Aquatool

- Frecuencia: Mensual
- Conceptualización: Nodos
- Datos de entrada:
 - Caudales
 - Cargas difusas (coeficientes de exportación)
 - Cargas puntuales

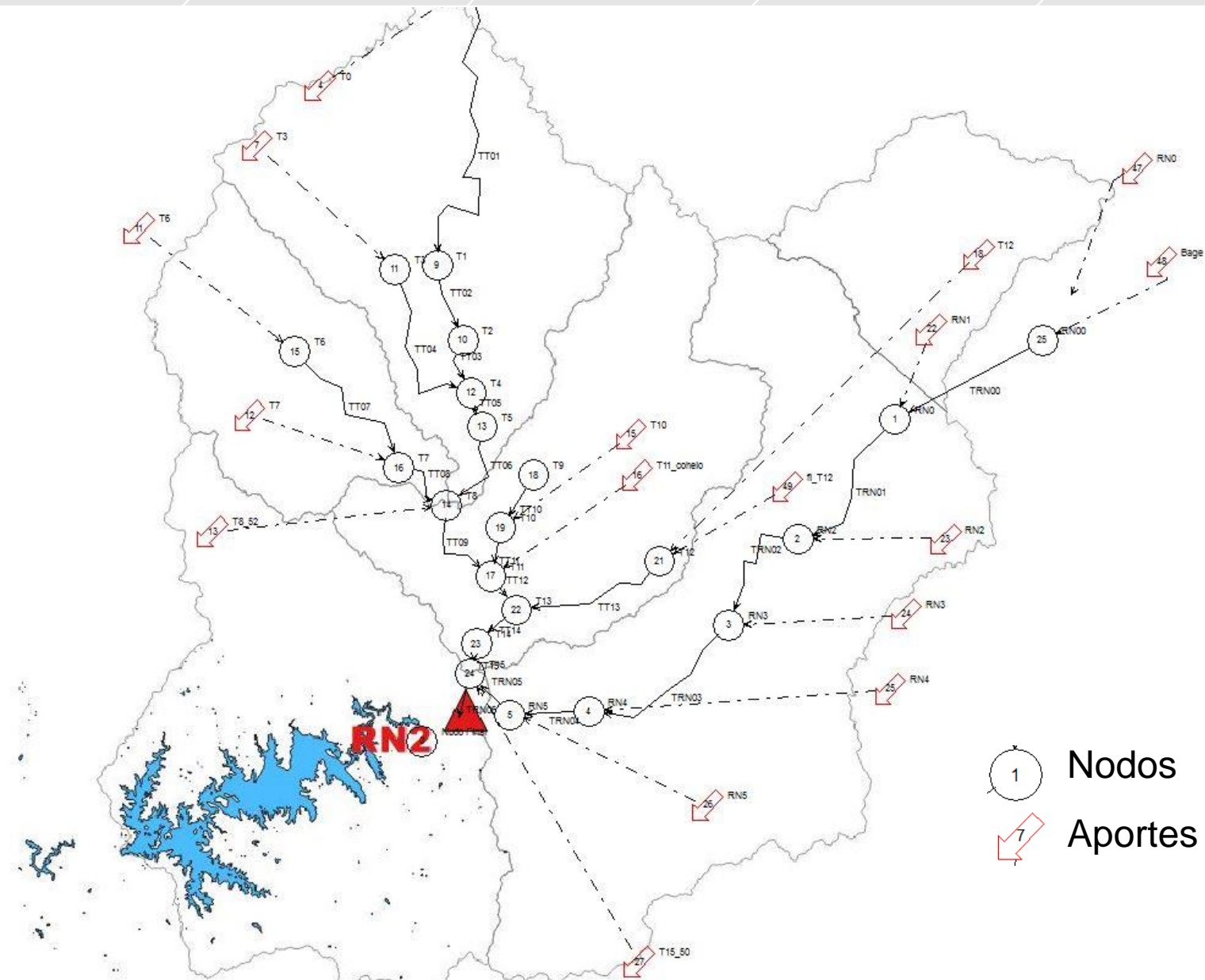
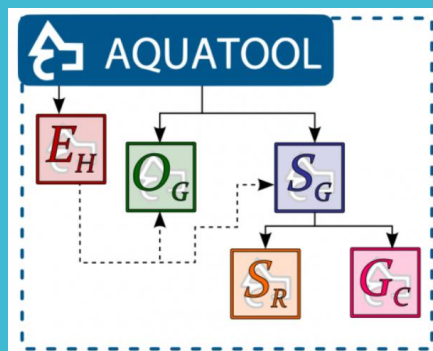
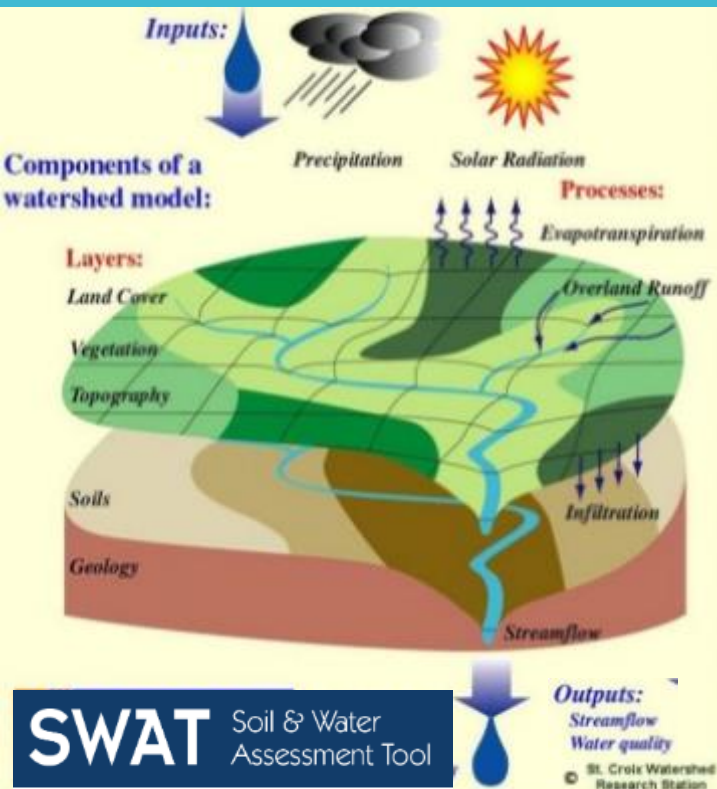


Diagrama modelo Aquatool - cuenca alta del Río Negro

Modelo Soil & Water Assessment Tool

versión: SWAT 2012
(Arnold et al., 2012)



Modelo Integral, desarrollado para predecir el impacto de las prácticas de uso y manejo del suelo en la cantidad y calidad del agua de cuencas con características complejas.

Modelo hidrológico continuo (diario) y espacialmente semi-distribuido.

Componentes (sub-modelos): balance hídrico; crecimiento de cultivos, exportación de los sedimentos, ciclo y exportación de los nutrientes (P y N), transporte y transformaciones en el curso de agua

Producto de 40 años de I+D entre USDA/NRCS y la Texas A&M University.

Interface open-source (QGIS + QSWAT).

Soporte activo del USDA-ARS, en Uruguay grupo interinstitucional de usuarios SWAT (GMIC).

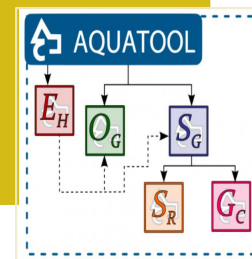
Aceptado internacionalmente como una herramienta interdisciplinaria de modelación de cuencas y con un fuerte respaldo de publicaciones.

- Valor promedio anual
- Diferenciado por uso del suelo
- Basado en bibliografía internacional y nacional

Coeficientes
exportación

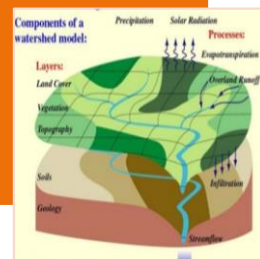
- Paso mensual
- Necesita datos de entrada de escorrentía
- P y N como contaminantes arbitrarios
- Aporte difuso estático en el tiempo
- Variables de salida: caudal y contaminantes
- Salidas solo en el cauce principal

AQUATOOL



- Paso diario
- Modelación lluvia - escorrentía
- Modelación del ciclo de P y N
- Variación temporal del uso del suelo: rotaciones y manejos de cultivos
- Variables de salida: caudal, nutrientes, sedimentos, plaguicidas
- Salidas: HRU, subcuenca, curso de agua

SWAT

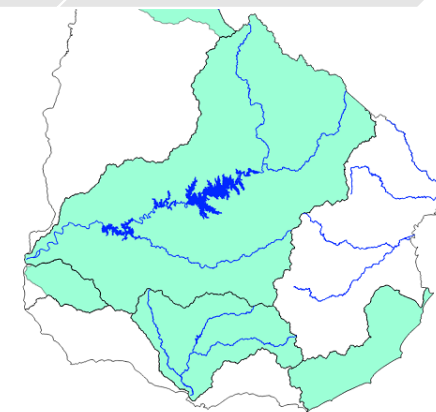


Modelación de calidad de agua para mejorar la gestión del ambiente

Objetivos principales:

- Desarrollar herramientas de soporte para la planificación y gestión del uso del suelo, que permita evaluar e incorporar en la toma de decisiones los impactos en la cantidad y calidad del agua a nivel de cuenca hidrográfica
- Gestionar de manera integral los recursos hídricos con la información existente
- Identificar las necesidades de mejora en la obtención y flujo de datos e información
- Predecir las modificaciones asociadas a las intervenciones (escenarios futuros, instalación de nuevos emprendimientos, nuevas actividades, medidas de gestión, etc.)

Evolución temporal de la modelación en DINACEA-MA



2017

Modelación de cuenca **Santa Lucía**
AQUATOOL:
Análisis de escenarios

2018

AQUATOOL: alto RN, SS, Cuareim
SWAT: subcuenca 60 SL (grupo interinstitucional, GMIC)

2019

SWAT:
subcuenca 60 SL discusión de escenarios, procesamiento de datos

2020

SWAT A° Casupá
EIA, Biodiversidad
SWAT cuenca SL (nutrientes) escenarios, objetivos de calidad de agua

2022

SWAT cuenca Río Negro (nutrientes) escenarios, objetivos de calidad de agua

2023

SWAT cuenca Laguna del Sauce
colaboración interinstitucional con SARAS y FING

Modelación cuenca del **Canelón en AQUATOOL**

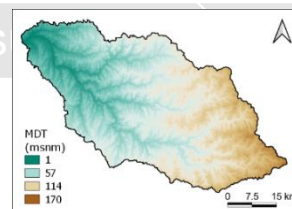
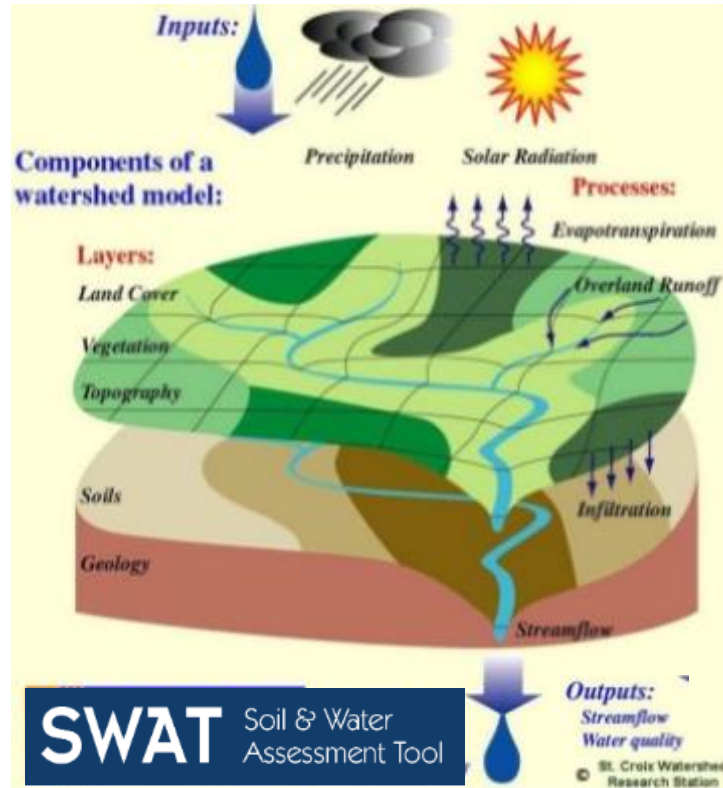


Grupo interinstitucional de herramientas de modelación para la gestión de la cantidad y calidad de agua está formado por investigadores y técnicos de varias instituciones como el IMFIA(Fing), Ministerio de Ambiente, MGAP, IRI, INIA, ORT y la Universidad de Sídney(AU).

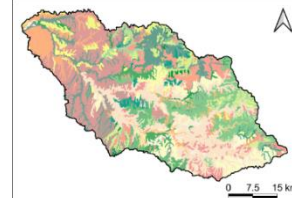
- <https://proyectoinia-iri-usyd.github.io/GmicUy/antecedentes.html>

Entradas

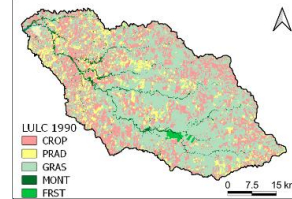
- Suelos y topografía
- Uso del suelo y manejo
- Clima
- Fuentes puntuales
- Monitoreo caudales y calidad de agua



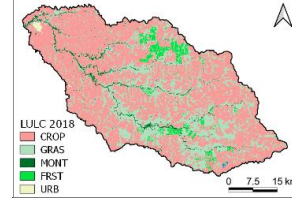
Modelo Digital del Terreno (IDEUY, 2019)



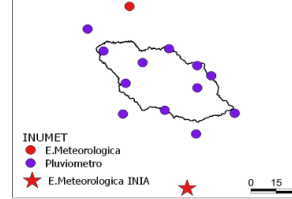
Cartografía suelos esc.1:40.000 (DGRN-MGAP)



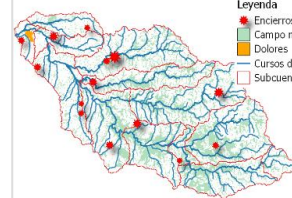
Mapa uso del suelo 1990 (Hastings et al., 2020)
- Manejo: 2 rotaciones agrícolas



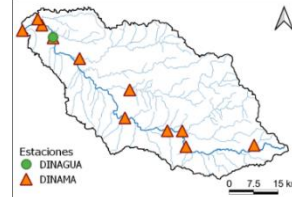
Mapa uso del suelo 2018 (Petraglia et al., 2019)
- Manejo: 5 rotaciones agrícolas



Clima:
E.M. y Pluv. 1985-2022 (INUMET, INIA)



Fuentes puntuales:
-Efluentes domésticos
-Tambos
-Encierros engorde corral
-Cargas directas

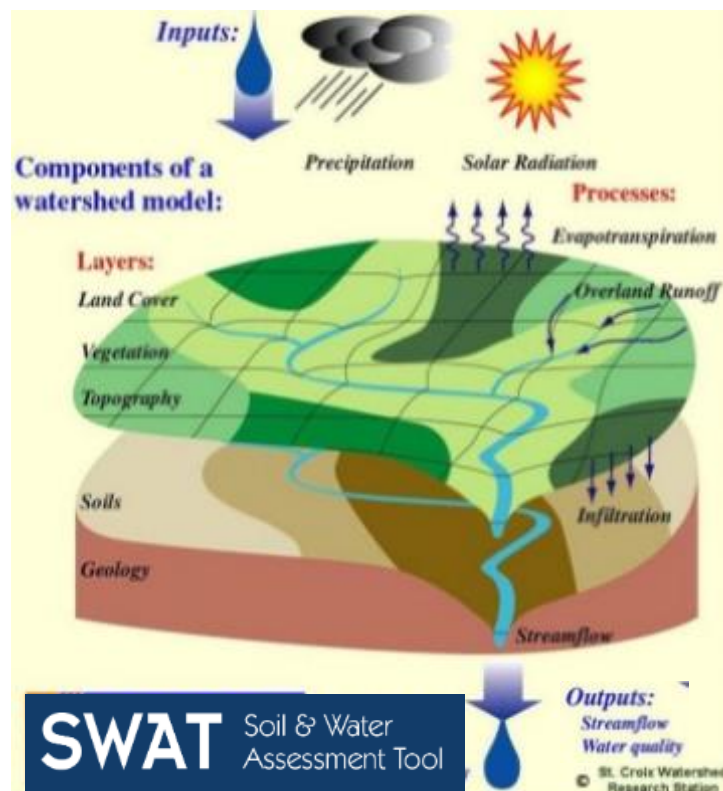


Monitoreo
-Caudales 1990-2000 (DINAGUA)
-Calidad 2014-2022 (OAN, Innovagro)

Modelo Soil & Water Assessment Tool

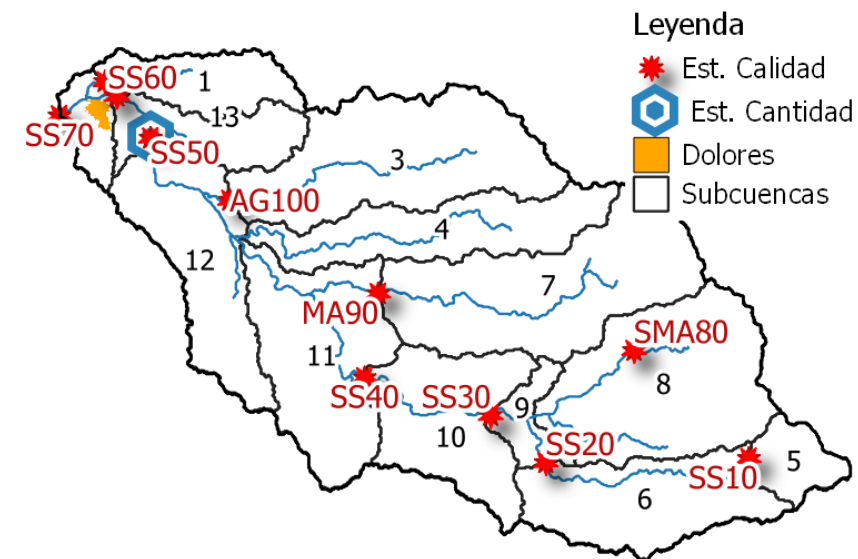
Entradas

- Clima
- Suelos y topografía
- Uso del suelo y manejo
- Fuentes puntuales
- Monitoreo caudales y calidad de agua



Conceptualización

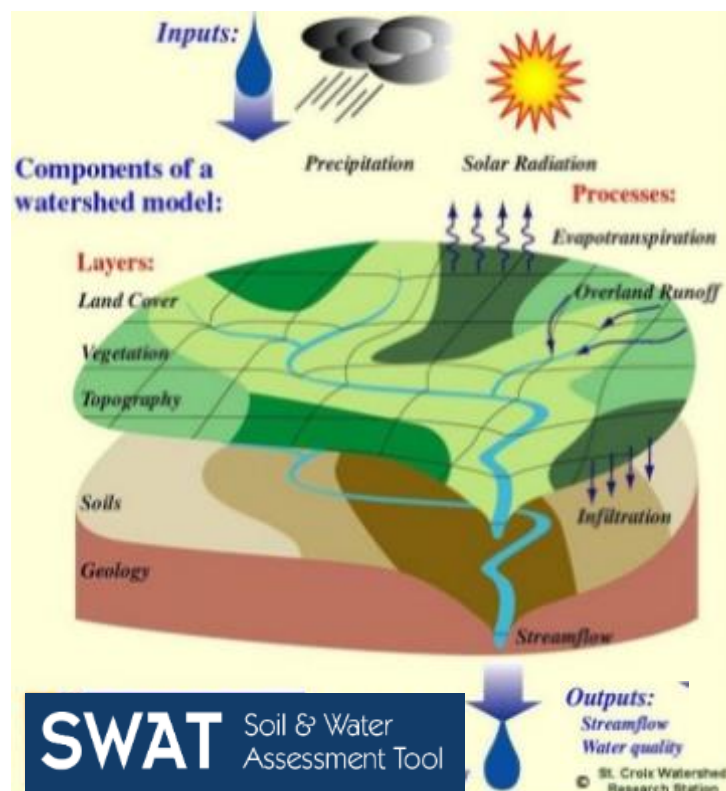
- Subdivisión por subcuencas
- Curso de agua por tramos



Modelo Soil & Water Assessment Tool

Entradas

- Clima
- Suelos y topografía
- Uso del suelo y manejo
- Fuentes puntuales
- Monitoreo caudales y calidad de agua

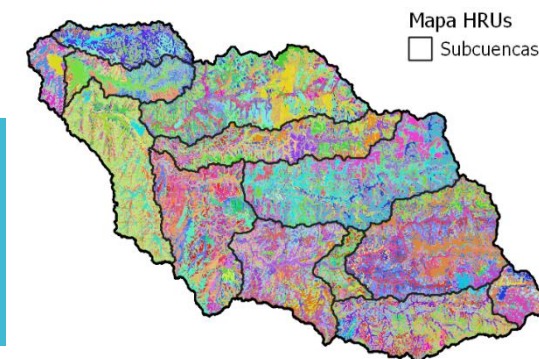


Conceptualización

- Subdivisión por subcuencas
- Curso de agua por tramos

HRU

- Suelo
- Uso de Suelo
- Rango de pendiente
- Subcuenca



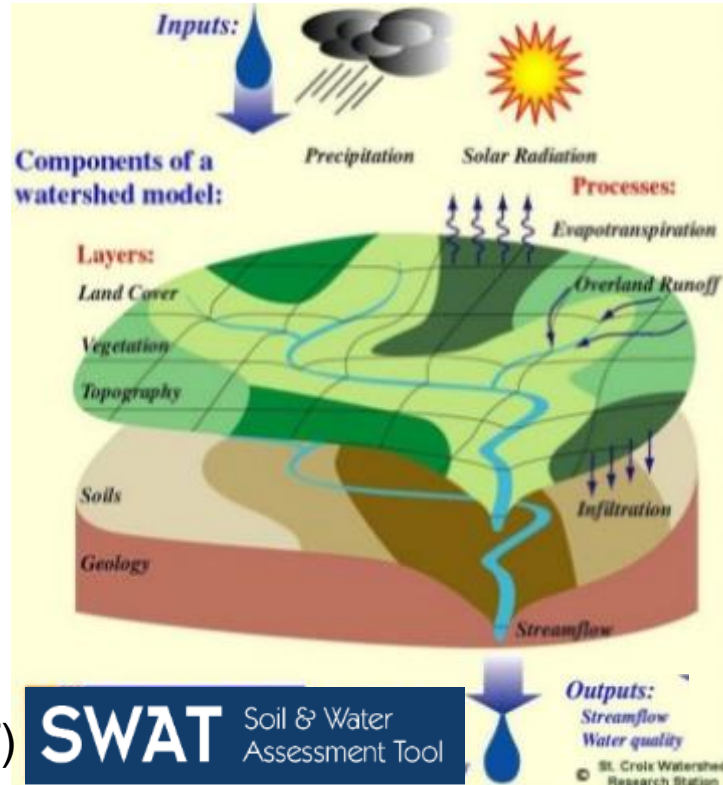
Modelo Soil & Water Assessment Tool

Entradas

- Clima
- Suelos y topografía
- Uso del suelo y manejo
- Fuentes puntuales
- Monitoreo caudales y calidad de agua

Salidas

- Caudales
- Erosión
- Exportación de nutrientes
- Calidad de agua (sólidos, NT, PT)

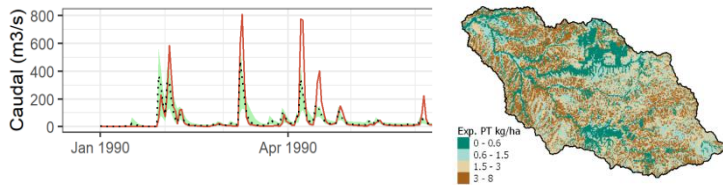


Conceptualización

- Subdivisión por subcuencas
- Curso de agua por tramos

HRU

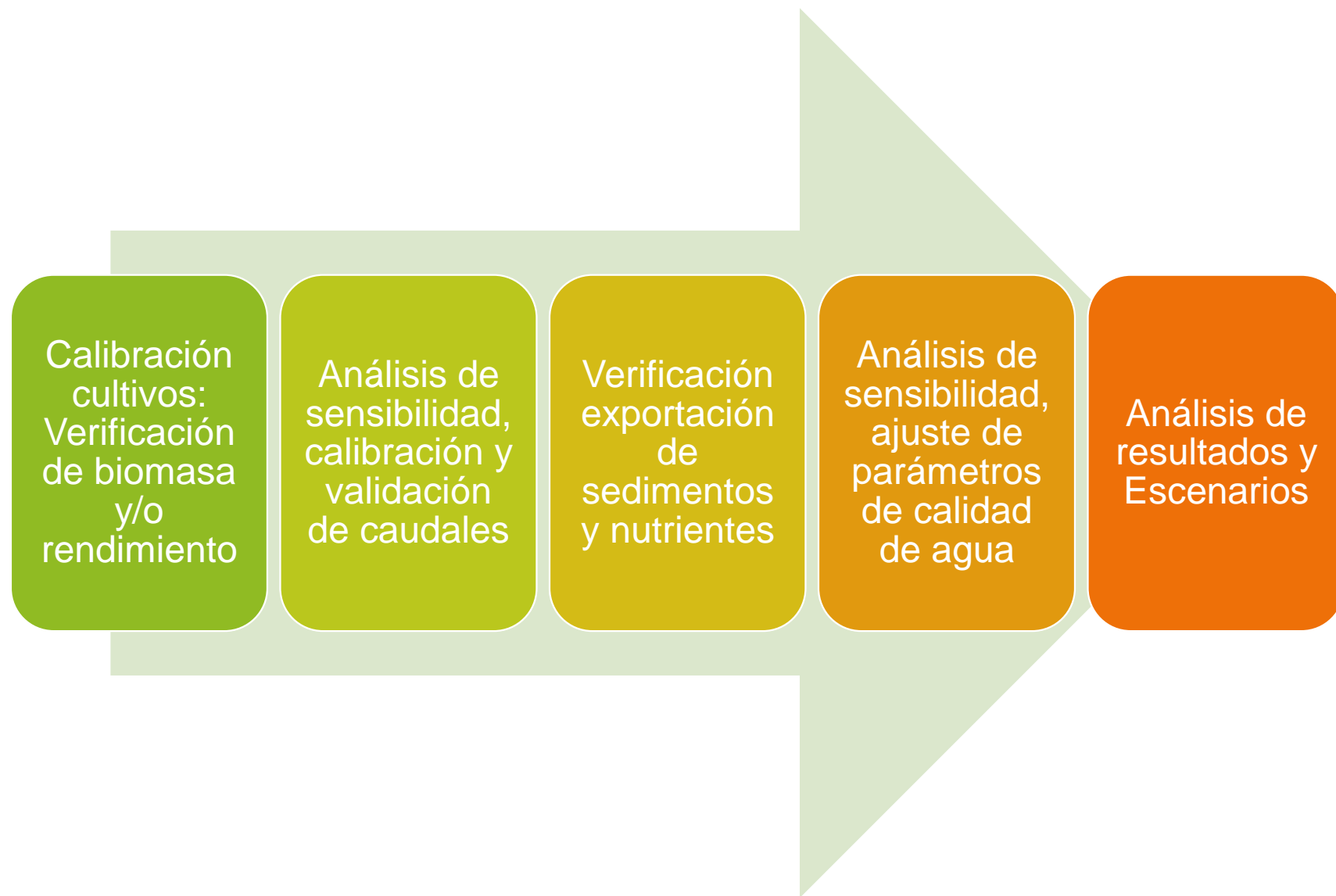
- Suelo
- Uso de Suelo
- Rango de pendiente
- Subcuenca



Modelo Soil & Water Assessment Tool

Estrategia de calibración y validación o verificación.

Calibración "rigurosa" y "blanda" (hard & soft calibration)
(Nelson et al., 2018, Arnold, 2016).



Exportación de nutrientes

La exportación incluye las formas P particulado y disuelto

Exportación de PT (kg/ha/año)

LANDUSE	Referencia ¹	Simulado San Salvador	Simulado Río Negro
Agricultura irrigada	---	2.93	---
Agricultura secano	4.11 (0.32-16.71)	2.16	1.78
Agricultura con pastura	1.79 (0.15-7.06) ²	2.97	1.18
Forestación	0.29 (0.03-0.65)	0.18	0.56
Bosque native	0.01	0.08	0.37
Campo natural ³	0.24 (0.03-0.62)	1.26	0.61

1. Perdomo (2013)

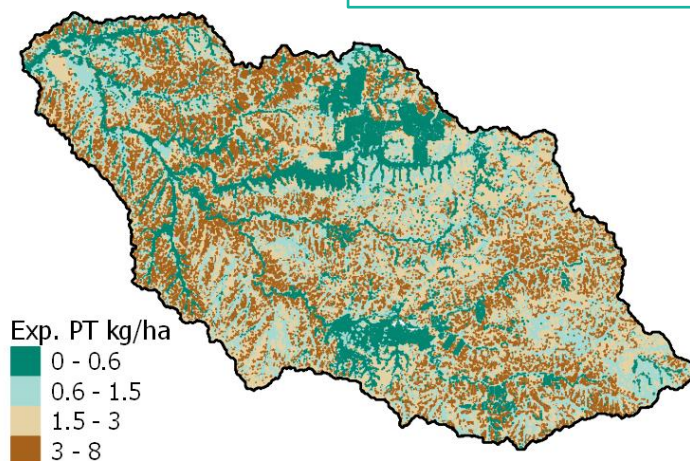
2. Calculado a partir del valor para pastura y agricultura.

3. Barreto (2008)

San Salvador

1.81 kg P/ha/año

31% campo natural
62% cultivos

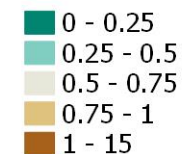


Río Negro

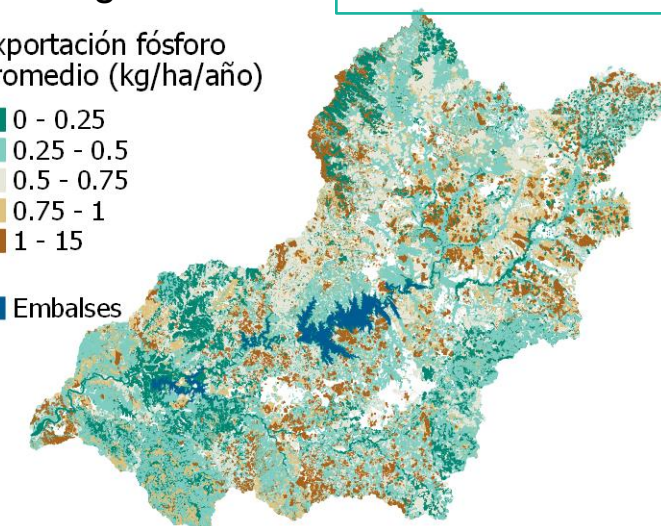
0.77 kg P/ha/año

55% campo natural
22% cultivos

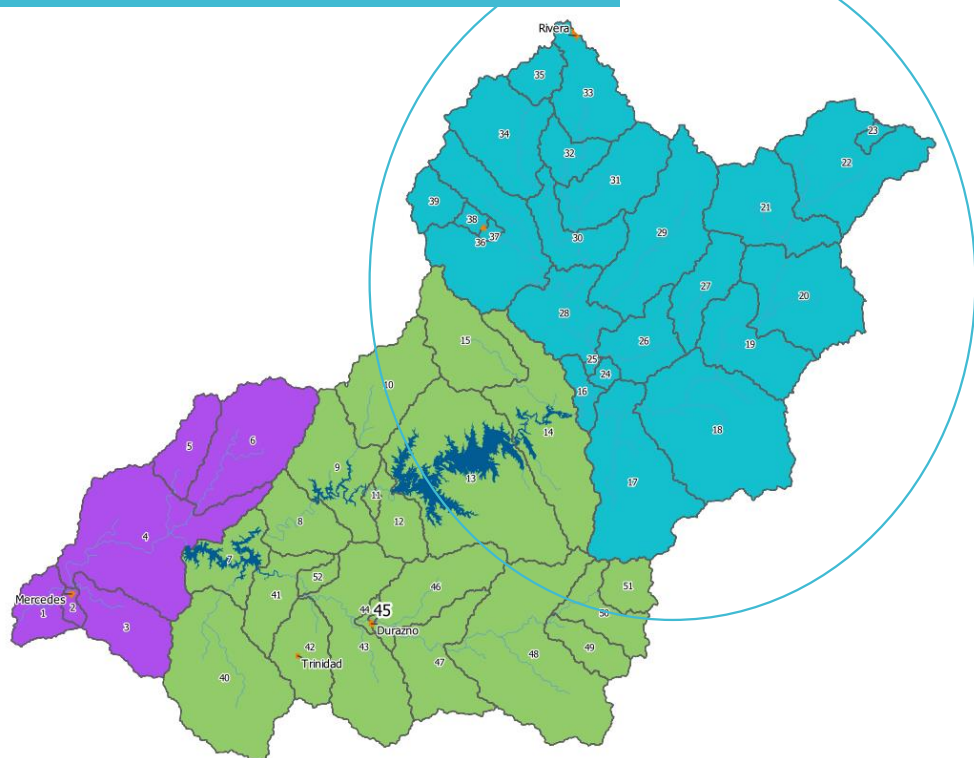
Exportación fósforo promedio (kg/ha/año)



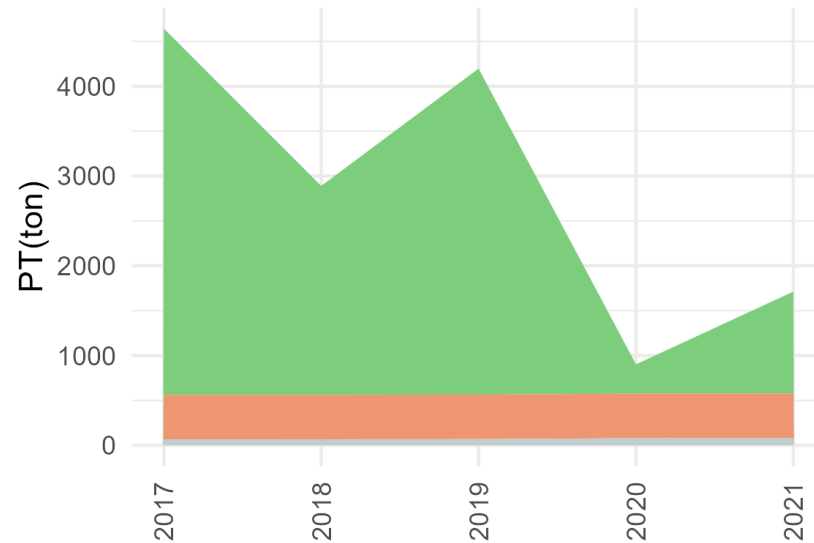
■ Embalses



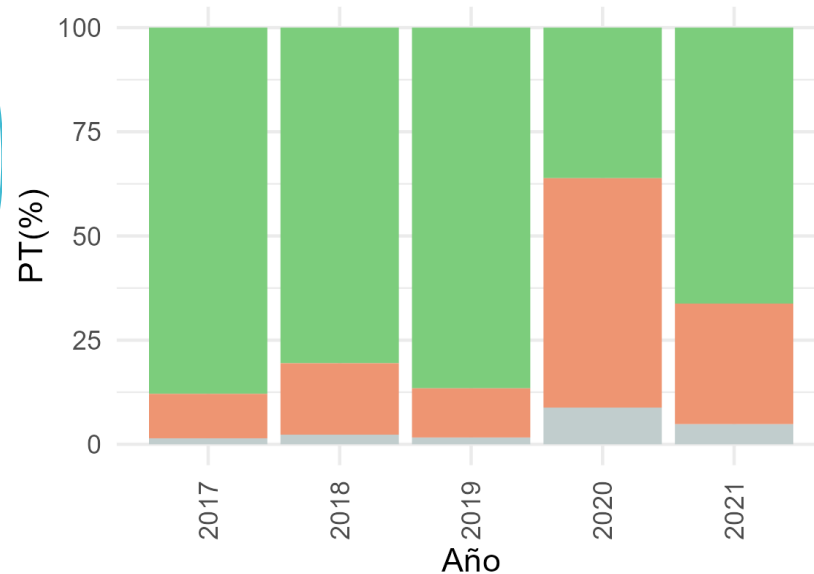
Resultados Río Negro



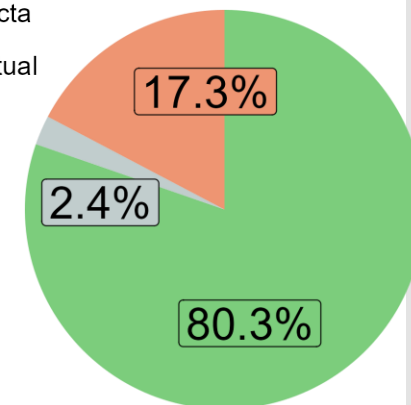
Entradas de PT a cursos de agua



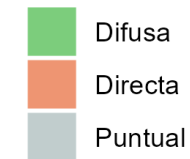
Entradas de PT a cursos de agua



CargaAporte



CargaAporte

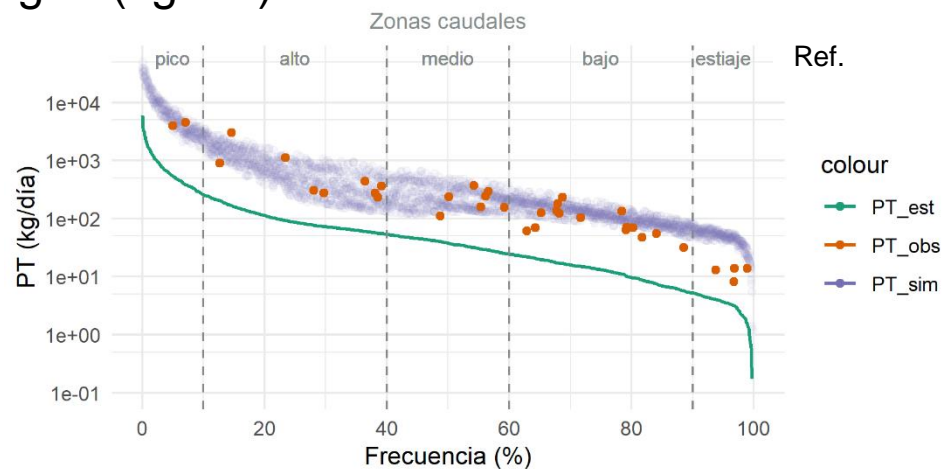


Análisis de resultados

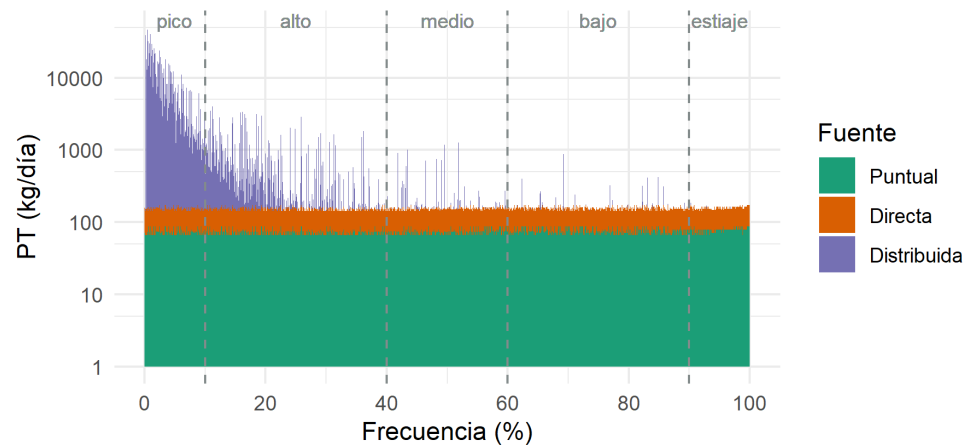
en Paso Ramos,
en base a
US EPA (2007)

FÓSFORO

Cargas de salida de PT en los cursos de agua (kg/día)



Cargas de entradas de PT a los cursos de agua (kg/día)



Cargas de entrada de nutrientes a los cursos de agua

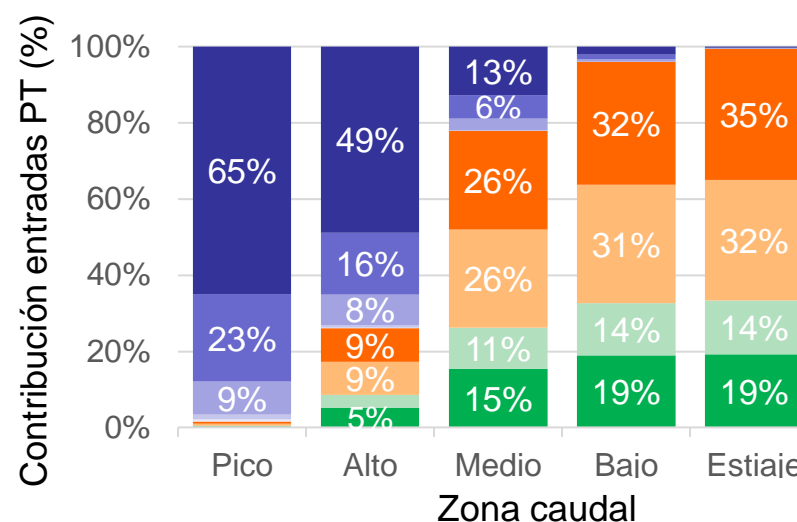
- **Difusa**: Exportación desde las HRU's.
- **Directa**: Eyecciones directas a cursos de agua del ganado pastoreo.
- **Puntual**: Efluentes de tambos y encierros engorde a corral.

Análisis de resultados

en Paso Ramos,
en base a
US EPA (2007)

FÓSFORO

Entradas de cargas PT a
cursos de agua,
contribución relativa por
fuente y zona de caudales



Fuentes:

DIFUSAS

- Agricultura continua
- Campo natural
- Agricultura con pastura
- Agricultura regada
- Otros

DIRECTAS

- Ganadería campo natural
- Ganadería pasturas

PUNTUALES

- Encierros engorde a corral
- Lechería

Oportunidad de
implementar y
priorizar medidas

Control de la erosión

Fuentes	Zona caudal				
	Pico	Alto	Medio	Bajo	Estiaje
Agricultura continua	Alta	Alta	Baja		
Campo natural	Media	Baja			
Agricultura con pastura					
Agricultura regada					
Otros					
Ganadería campo natural			Media	Media	Media
Ganadería pasturas			Media	Media	Media
Lechería			Baja	Baja	Baja
Encierros engorde a corral			Baja	Baja	Baja

Fertilizar en
profundidad

Zonas buffer

Restricción del ganado
a cursos de agua.

Tratamiento de
efluentes /
Aplicación a terreno

Categorías

Alta: 40-100%

Media: 20-40%

Baja: 20-10%

Escenarios de riego San Salvador

Simulación: 1992-2021

Calentamiento : 1989-1991



Escenario base: modelo calibrado, validado y/o verificado

Escenario 1: desarrollo del riego

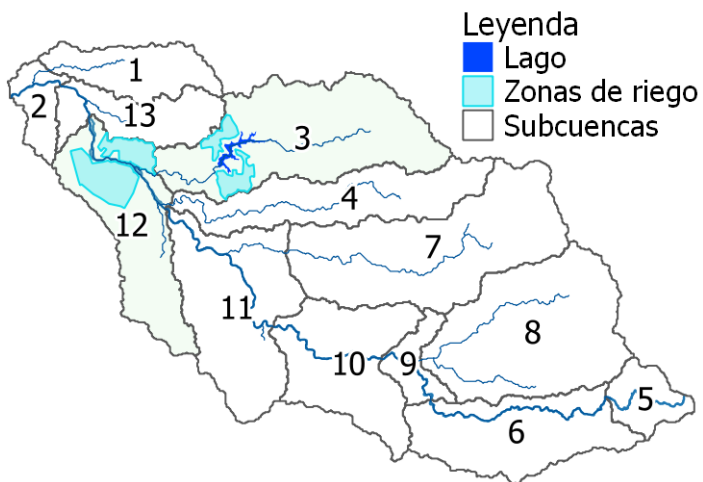
- Impactos en los caudales
- Rendimientos en grano y riego complementario



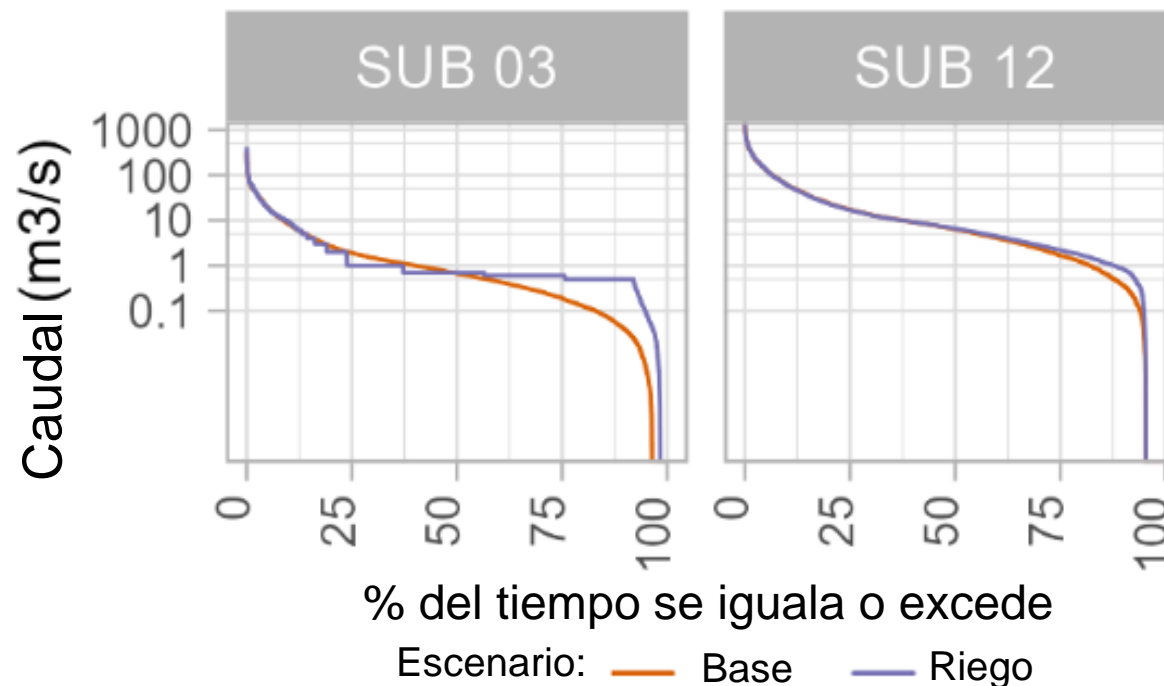
Escenario 2: desarrollo del riego + zonas buffer

- Exportación de sedimentos y nutrientes
- Impactos en la calidad del agua

Resultados escenarios: Impacto en los caudales



Curvas de excedencia de caudales

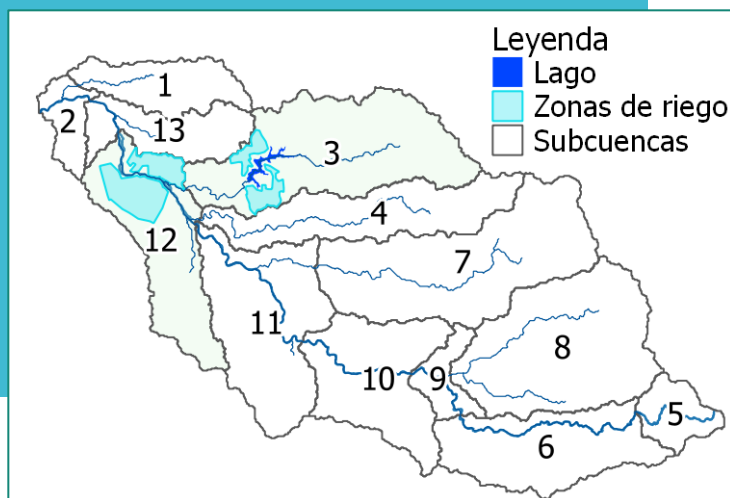


- ❖ Impacto local del embalse en la subcuenca 3:
 - ✓ “achataamiento”, rango intercuartil disminuyó de 1.9 a 0.4 m³/s
 - ✓ Caudal ambiental y caudal para regar en la subcuenca 12
- ❖ En la subcuenca 12:
 - ✓ Leve aumento de los caudales bajos (probabilidad >75%)

Resultados escenarios:

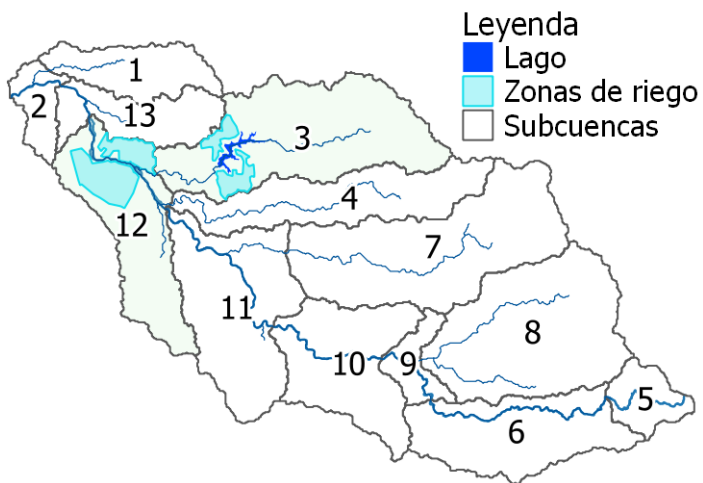
Exportación de nutrientes y sedimentos

- ✓ En el Esc1. la exportación de sedimentos, fósforo y nitrógeno aumentó el 2.3%, **5.6%**, and 2.4%, respectivamente.
- ✓ En Esc1y2 hay una retención en el embalse (subcuenca3), para el Esc1. tiene un valor de: 94% sedimentos, **25% PT**, 17% NT.
- ✓ En el Esc2. eficiencia del buffer es de: 74% sedimentos, **51% PT**, 58% NT

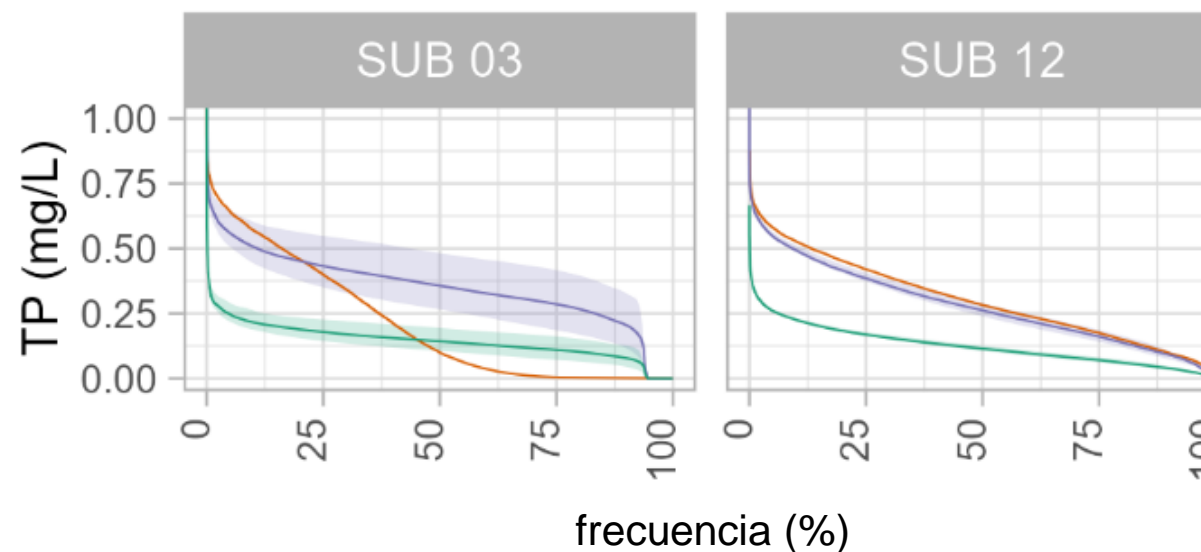


Resultados escenarios:

Calidad de agua:
fósforo total en
agua



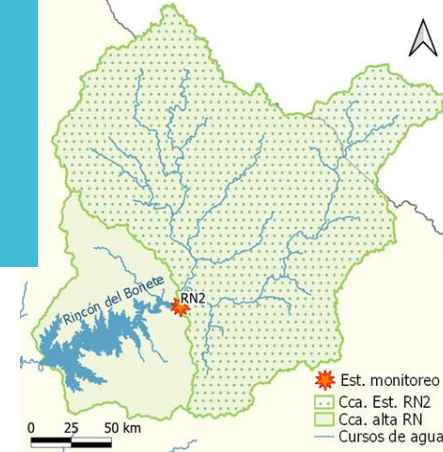
Curvas de excedencia fósforo total en agua



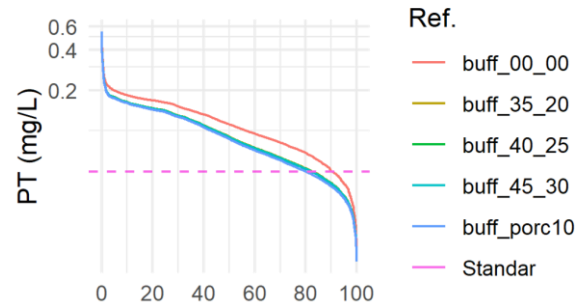
Escenario: — Base — Riego — Riego+Buffer

- ❖ Impacto local del embalse en la subcuenca 3:
 - ✓ Esc.1, la concentración de PT $\left\{ \begin{array}{l} \text{aumenta, frec. 25-100\%} \\ \text{disminuye, frec. 0-25\%} \end{array} \right.$
 - ✓ Cambio en las cargas de nutrientes y en los caudales
 - ✓ Concentración promedio PT 0.10, 0.36 y 0.14 mg/L en los escenarios base, 1 y 2 respectivamente, riesgo de embalse eutrófico (Salas & Martino, 1990, Meerhoff, 2022).

Escenarios en cuenca alta de Río Negro

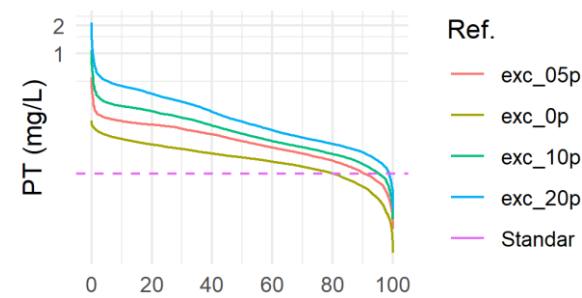


1. Zonas buffer



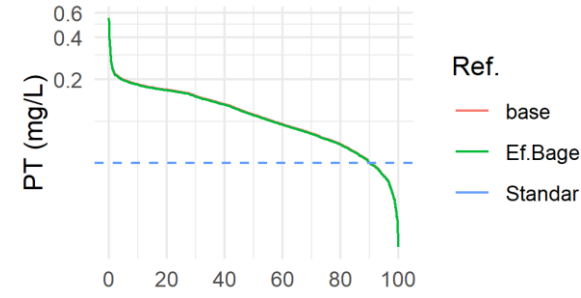
Con zonas buffer aplicada a cuencas >10 km²), se reducen las cargas 25% de PT

2. Excretas del ganado directo a cursos de agua



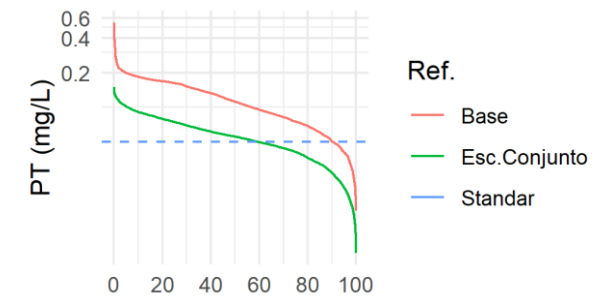
Si se elimina el aporte directo del ganado se reducen las cargas: 16% de PT

3. Vertido efluente Bagé



Se reducen las cargas: 1,1% de PT. Mayor impacto luego de Bagé, inicialmente reduce 23% de PT.

4. Escenario conjunto



Combinando los tres escenarios anteriores se reducen las cargas: 41% de PT.

Oportunidades para reducir las incertidumbres de los modelos

Monitoreo de caudales;

Campañas de monitoreo de calidad de agua continuo en sitios estratégicos;

Medir el aporte directo del ganado a los cursos de agua;

Medir/mejorar estimaciones de la descarga de los almacenamientos de efluentes de tambos y encierros de engorde a corral.

El modelo es una representación de la realidad construida a partir de la mejor información disponible en un momento dado.

Actualización

¿En qué punto estamos a nivel país para entender/modelar la biogeoquímica del fósforo?

- ✓ Se han utilizado exitosamente modelos con diferentes grados de complejidad.
- ✓ Se han verificado los resultados con los monitoreos u otros datos existentes, lográndose buena concordancia.
- ✓ Se han modelado varias cuencas, las cuales cubren más del 50% del territorio uruguayo.
- ✓ Se identifican las principales fuentes de contaminación por cuenca y según la condición de caudales/escorrentía.
- ✓ Se han evaluado escenarios para cuantificar el impacto de medidas correctivas / buenas prácticas agrícolas.
- ✓ Se identifican oportunidades de mejora en la modelación.
- ✓ Sinergia entre instituciones para alcanzar objetivos.

¡Gracias!

Florencia Hastings

florencia.hastings@ambiente.gub.uy

ing.fhastings@gmail.com



¿Preguntas o
comentarios?