Herramientas del campo del aprendizaje automático para la gestión de la cantidad de agua en escenarios de competencia por el recurso e incremento de la variabilidad de las precipitaciones

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY · CURE · ANII Agencia Nacional de Investigación e Innovación · SARAS² · IH cantabria Instituto de Hidráulica Ambiental Universidad de Cantabria · Facultad de Ciencias UDELAR fcien.edu.uy

CUENCAS VIRTUALES

BASES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY
CURE
ANII AGENCIA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN
SARAS
IH cantabria INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
FACULTAD DE CIENCIAS UDELAR fcien.edu.uy

Proyecto FPTA 384: Capacidades y herramientas para transiciones productivas sostenibles

SARAS²
South American Institute for Resilience and Sustainability Studies

Capacidades y Herramientas para Transiciones Productivas Sostenibles

FPTA
Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria
INIA

PEDECIBA
MEC-UDELAR

FACULTAD DE AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

FACULTAD DE CIENCIAS
UDELAR | fcien.edu.uy

Contenidos

1. Antecedentes y contexto

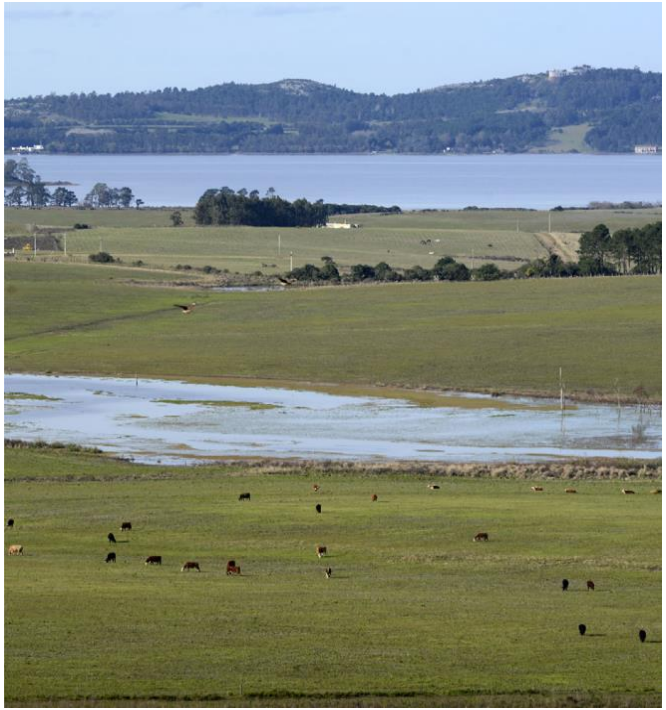
2. Cuencas virtuales: estrategia metodológica para Uruguay

3. Resultados y discusión

01. Antecedentes y contexto

Uruguay transita múltiples cambios del uso del suelo, de bienes y servicios provistos por la naturaleza, de los sistemas de gestión ambiental y gobernanza asociados

La gestión procura superar la fragmentación en el análisis y toma de decisión a través de aproximaciones sistémicas, el fortalecimiento de las capacidades de aprendizaje y la incorporación robusta de la incertidumbre



El deterioro de la calidad del agua asociado a procesos de eutrofización de los principales reservorios destinados al suministro de agua potable, promovió una importante agenda de trabajo y de investigación relacionada con los mecanismos causales y las posibles alternativas de restauración

¿Uruguay cuenta con un sistema robusto de evaluación de la cantidad y calidad del agua de ecosistemas fluviales en la escala nacional?

¿Cuáles son los principales factores de las cuencas de drenaje que condicionan atributos de interés (hidrológicos, niveles de nutrientes, entre otros)?

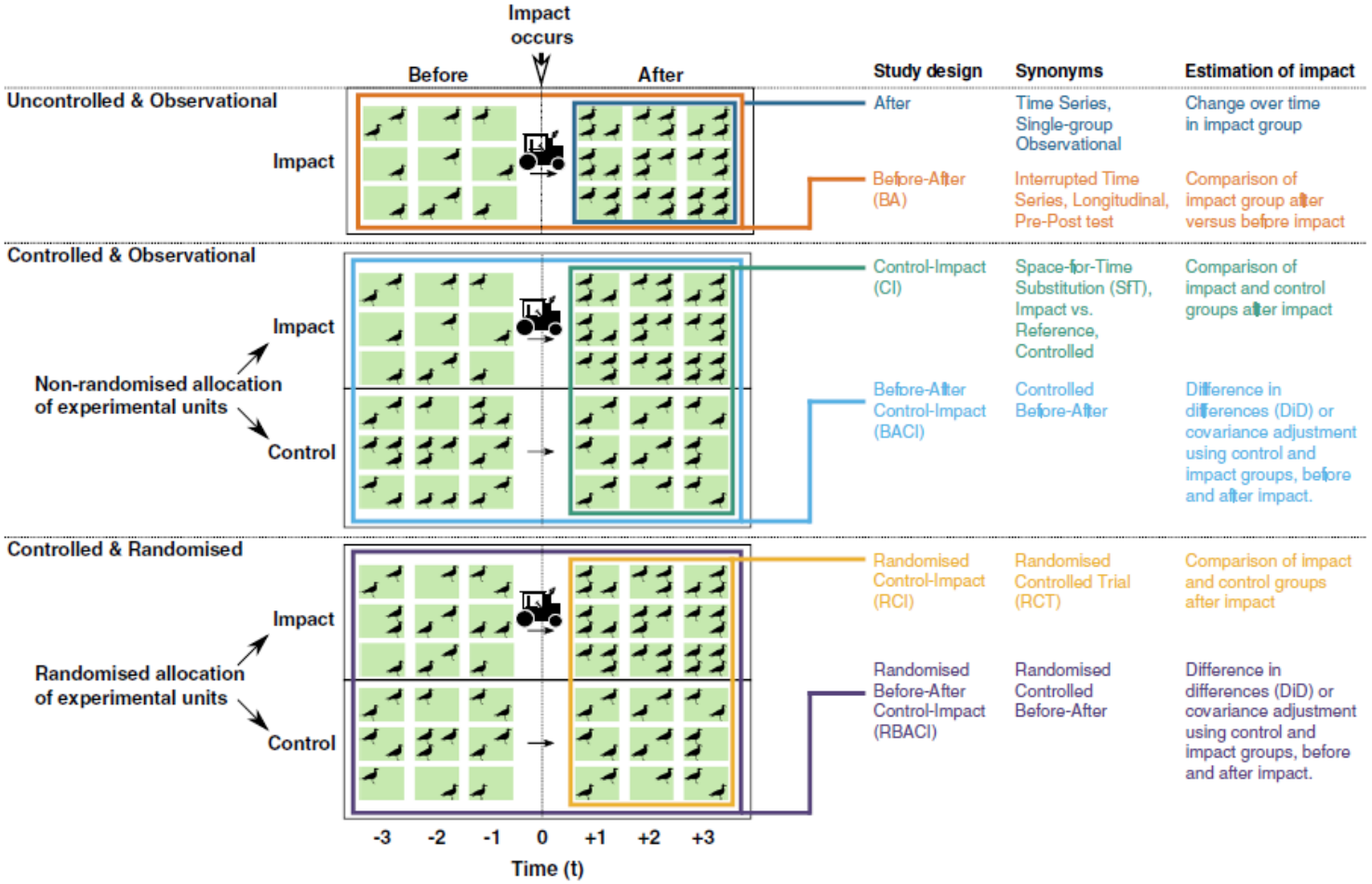
nature COMMUNICATIONS

ARTICLE

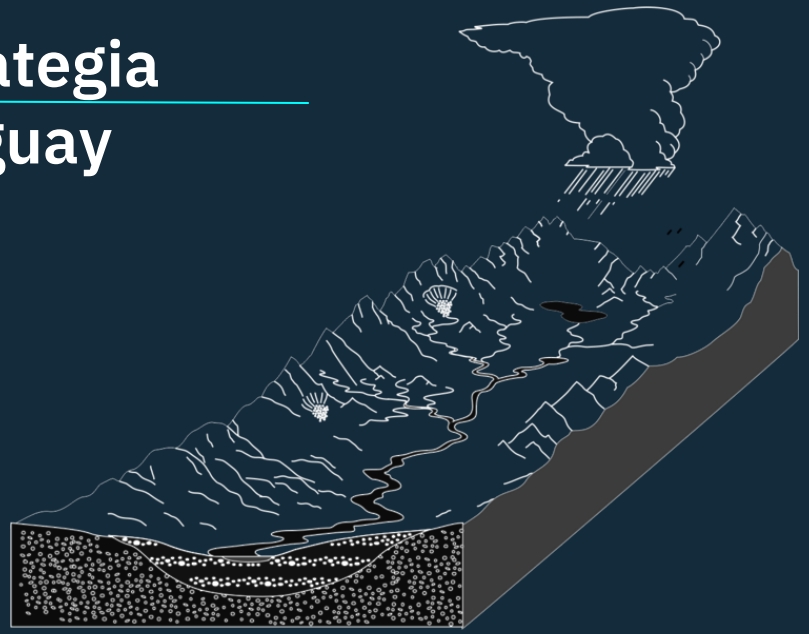
https://doi.org/10.1038/s41467-020-20142-y OPEN

Quantifying and addressing the prevalence and bias of study designs in the environmental and social sciences

Alec P. Christie et al.#


Impact occurs
Before
After
Uncontrolled & Observational
Impact
Controlled & Observational
Impact
Non-randomised allocation of experimental units
Control
Controlled & Randomised
Impact
Randomised allocation of experimental units
Control
-3
-2
-1
0
+1
+2
+3
Time (t)
Study design
Synonyms
Estimation of impact
After
Time Series, Single-group Observational
Change over time in impact group
Before-After (BA)
Interrupted Time Series, Longitudinal, Pre-Post test
Comparison of impact group after versus before impact
Control-Impact (CI)
Space-for-Time Substitution (SfT), Impact vs. Reference, Controlled
Comparison of impact and control groups after impact
Before-After Control-Impact (BACI)
Controlled Before-After
Difference in differences (DiD) or covariance adjustment using control and impact groups, before and after impact.
Randomised Control-Impact (RCI)
Randomised Controlled Trial (RCT)
Comparison of impact and control groups after impact
Randomised Before-After Control-Impact (RBACI)
Randomised Controlled Before-After
Difference in differences (DiD) or covariance adjustment using control and impact groups, before and after impact.

02. Cuencas virtuales: estrategia metodológica para Uruguay



La presente contribución aborda parte del desafío planteado y se construye a partir del marco de cuencas virtuales o paisajes artificiales

Dicha aproximación permite explorar y comprender patrones espaciales de atributos hidrológicos y limnológicos de interés en cursos fluviales, así como su relación con características geológicas, geomorfológicas, tipo y usos de suelo (incluidas coberturas) y presiones antrópicas de las cuencas asociadas.

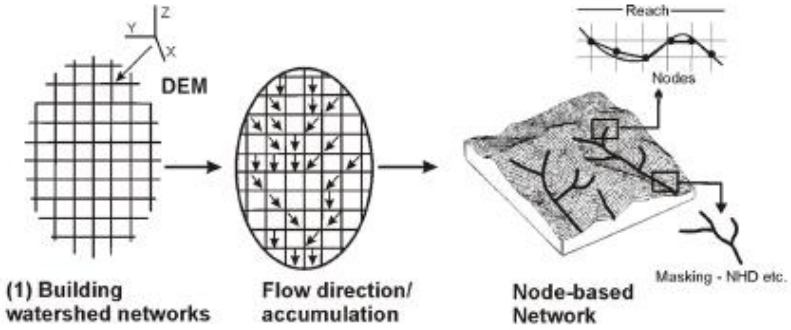
Environmental Management (2016) 57:722–739
DOI 10.1007/s00267-015-0634-6

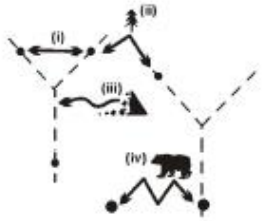
CrossMark

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Building Virtual Watersheds: A Global Opportunity to Strengthen Resource Management and Conservation

Lee Benda[1] · Daniel Miller[1] · Jose Barquin[2] · Richard McCleary[3] · TiJiu Cai[4] · Y. Ji[4]

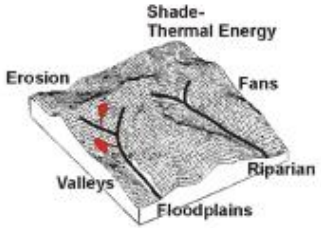




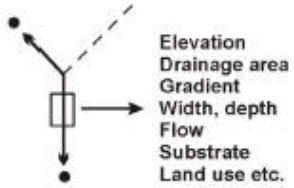
(2) Connecting

(3) Routing

(4) Discretizing



(5) Landforms



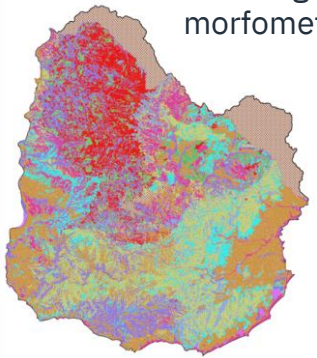
(6) Attributing

A- Información geográfica

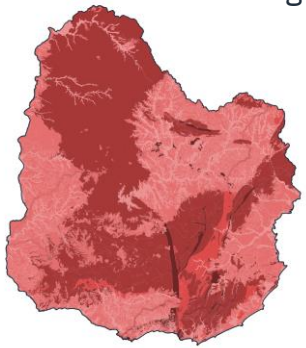
Relevamiento y sistematización de información geográfica

Variables clave de las cuencas que pueden condicionar atributos hidrológicos y de calidad del agua

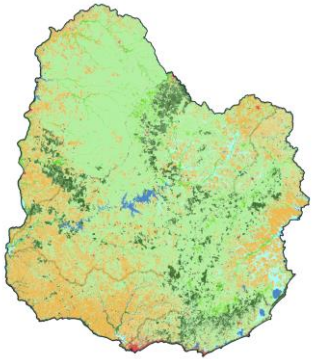
Topografía, Edafología y morfometría



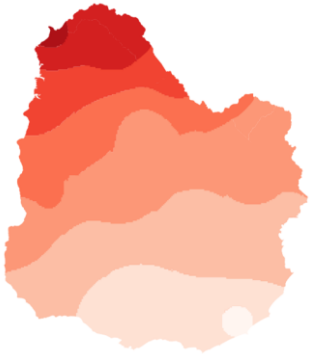
Información Geológica



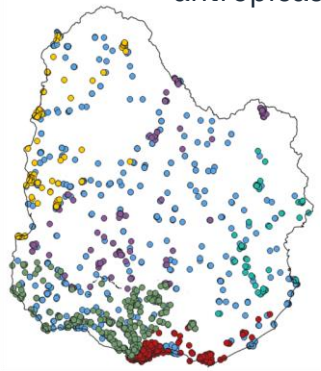
Cobertura del suelo



Información climática



Presiones antrópicas



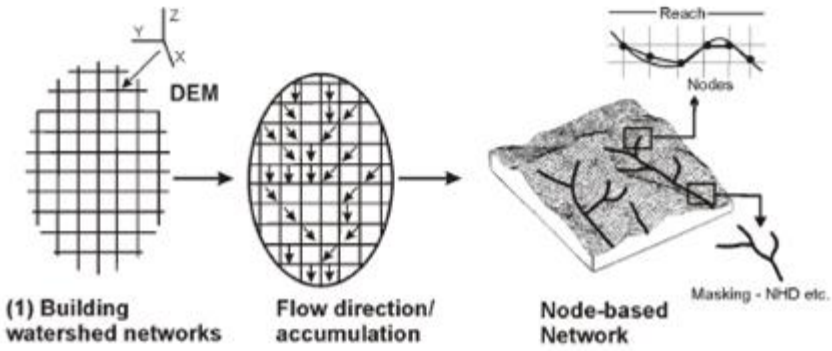
B - Red sintética y derivación de la información

Creación de una red fluvial sintética

Se generaron cuencas virtuales para todo el Uruguay utilizando los **algoritmos del software NetMap**, como herramienta integrada en ArcGIS.

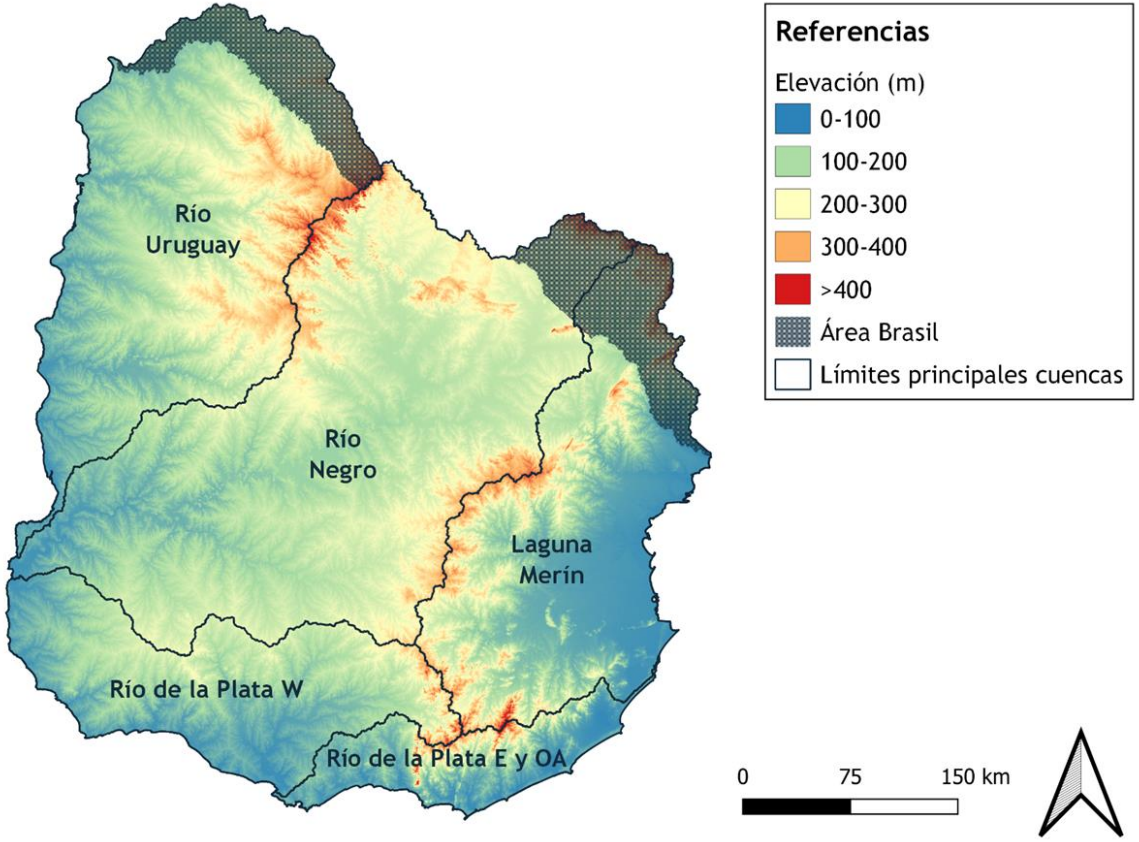
Se creó una **red fluvial sintética** a partir de un Modelo digital de elevación (MDE) con una resolución de 12,5 m (ALOS PALSAR).

Se utilizó una **red fluvial de referencia** para ajustar la red generada, compuesta por la capa de **cursos de agua** generada por la **IDEuy** y las capas de las **Bases Hidrográficas Ottocodificadas** de Brasil (ANA).



Modelo digital de elevación y regiones

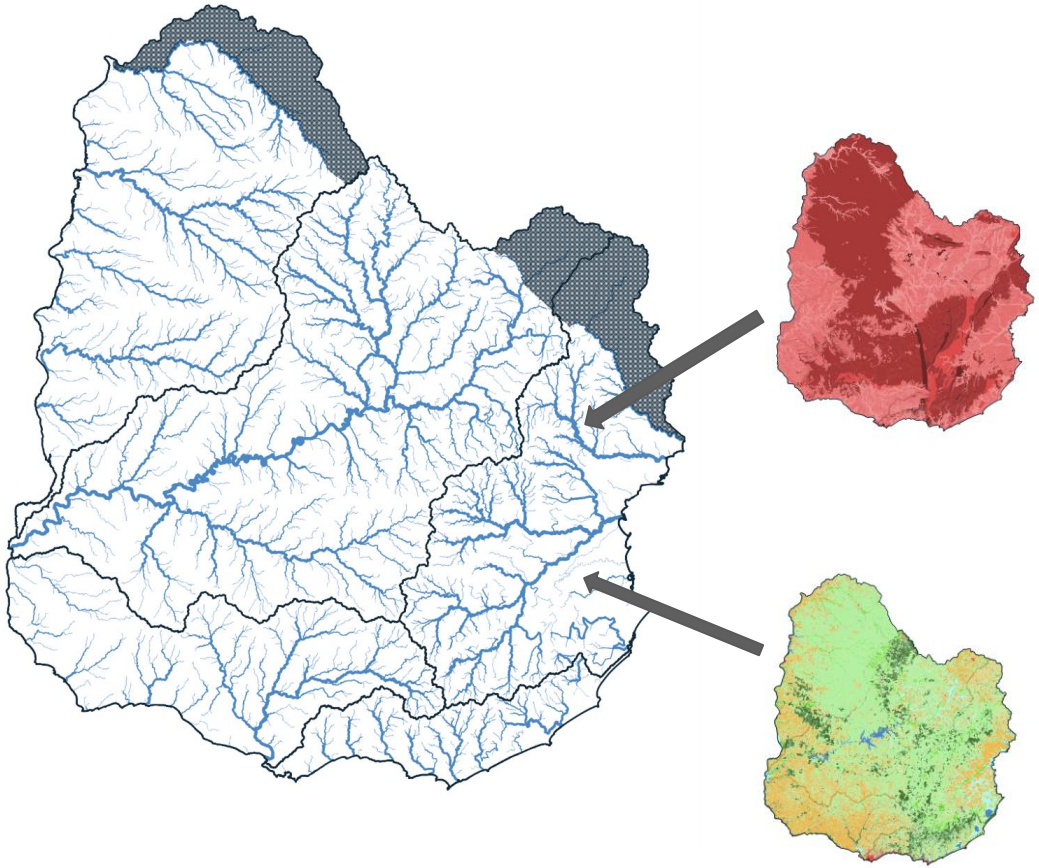
Se dividió el área de estudio en 5 regiones/cuencas



Caracterización de la red sintética

Variables geofísicas y de uso del suelo

- Evapotranspiración potencial (GAIPET, ET0)
- Temperatura (Chelsa V 1.2)
- Precipitación (Chelsa V 1.2)
- Cobertura del suelo (LCCS 2015, reclasificada
- Tipos de suelo (APDN, profundidad y granulometría)
- Geología (reclasificada)
- Presiones



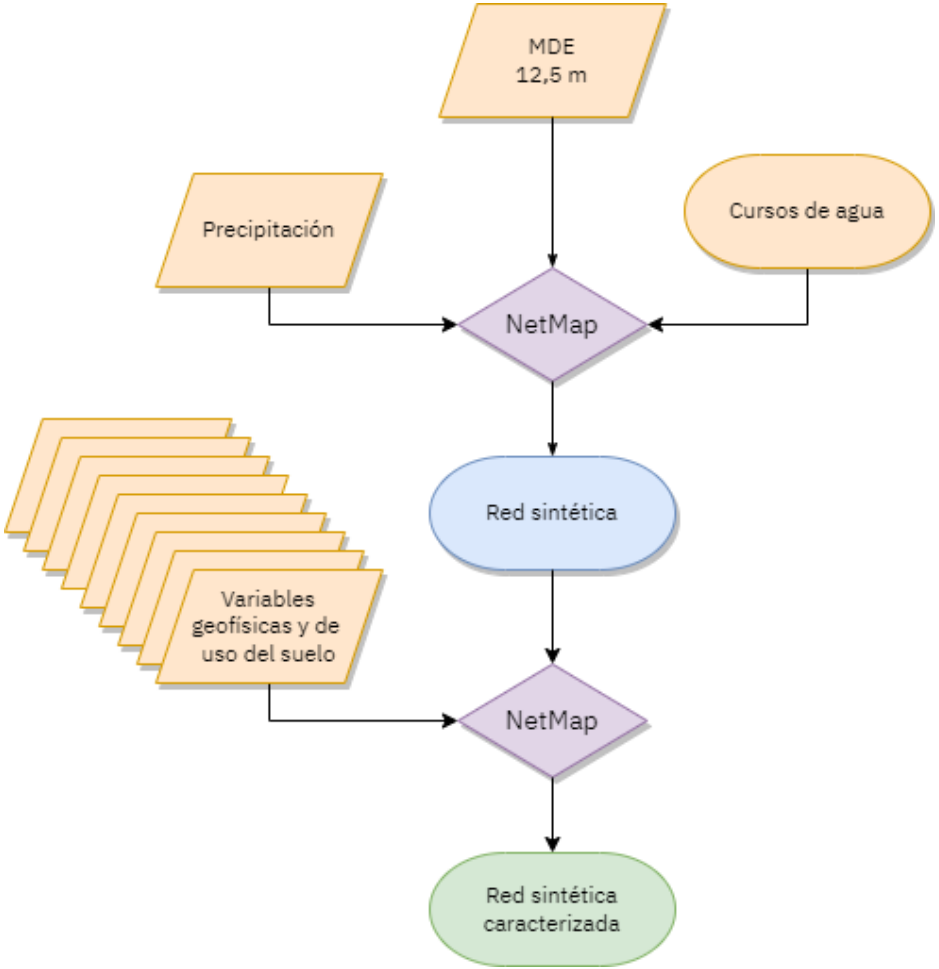
Caracterización de la red sintética

Presiones

Capas incluidas:

- Vertidos puntuales industriales y urbanos
- Establecimientos de engorde a corral (feedlots)
- Carga de ganado (unidades ganaderas por Ha)

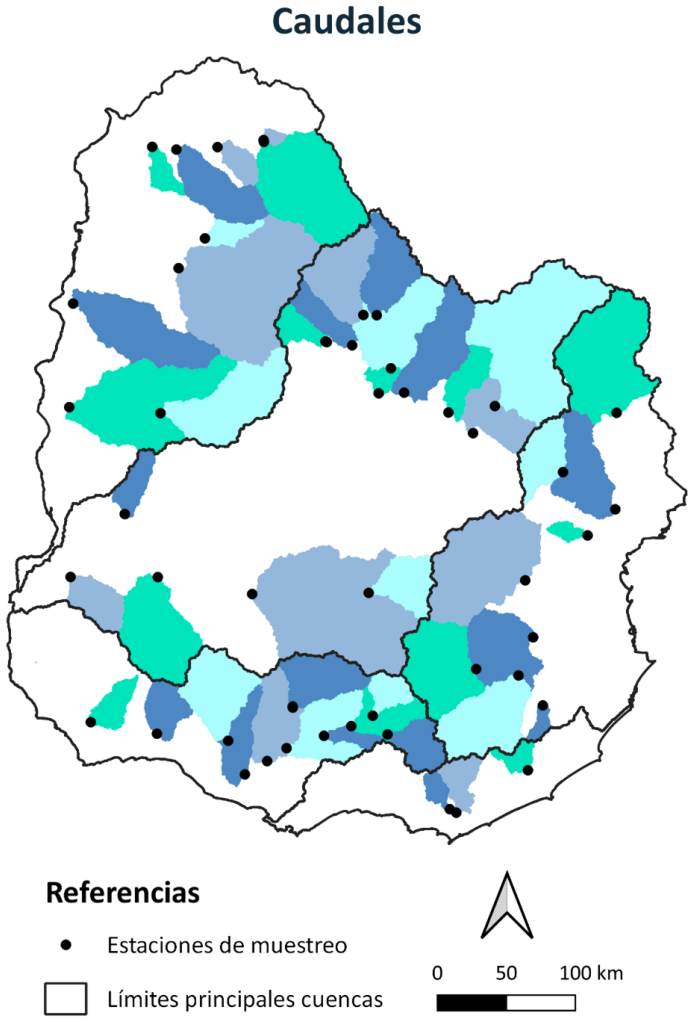
Resumen de la etapa de derivación de cuencas virtuales



C- Índices hidrológicos y “firma hidrológica”

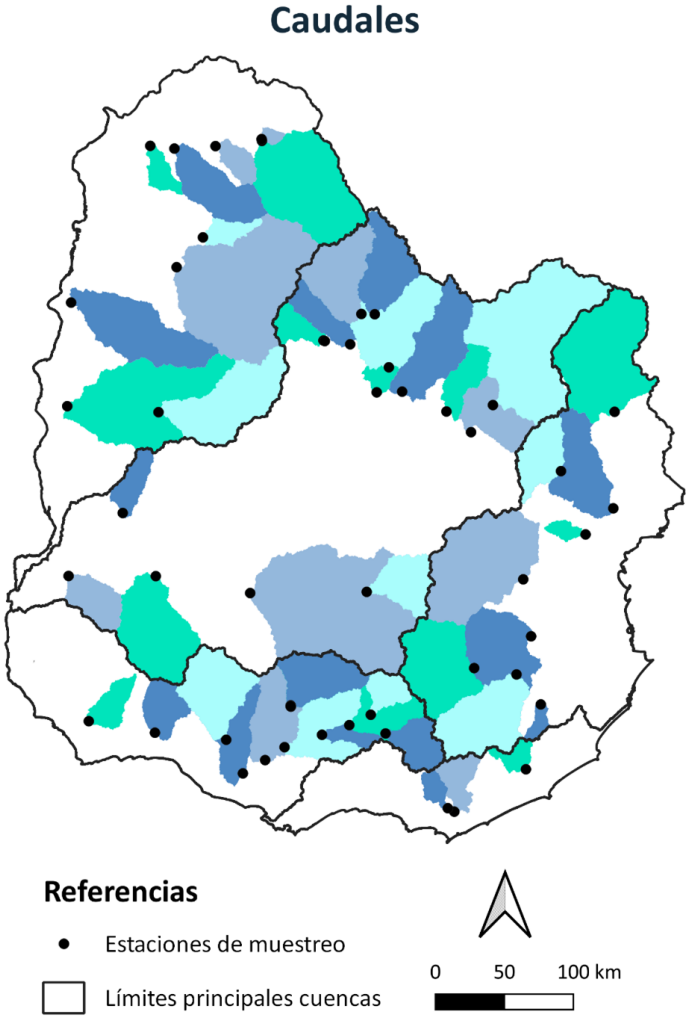
Estaciones de muestreo de caudales seleccionadas para calcular los índices hidrológicos

Estaciones (DIANGUA)			
10,1	57	107	135
14	59,1	109	140
15	64	111,1	141
23	65,1	116	142
44	66	117	155
46,1	73,1	119	163
50	76,1	122	171
51,1	82	122,1	173
52	84	123	174
53	84,1	124	176,1
53,1	96	125,1	180
53,2	97	128	195
55,1	100	133	



Estaciones de muestreo de caudales seleccionadas para calcular los índices hidrológicos

Se aplicaron los siguientes criterios para asegurar la calidad de las series: estaciones no afectadas por embalses importantes; datos disponibles para el período 1980-2020; solo datos para años hidrológicos (abril-marzo) completos; se descartaron las estaciones que presentaron menos de 8 años completos en el período 1980-2020



Índices hidrológicos (IH) calculados

Total = 73

Grupo	Descripción	Código	Coef. de variación
(1) Magnitud de los caudales anuales y mensuales	Momento lineal que representa la varianza de la curva de duración del caudal calculada	l2	
	Momento lineal que representa la asimetría de la curva de duración del caudal calculada	lca	
	Momento lineal que representa la curtosis de la curva de duración del caudal calculada	lkur	
	Caudal mensual promedio anual	Q50	
	Caudal mensual promedio para cada uno de los meses calendario	MA1-12	CV1-CV12
	Caudales mensuales máximos promedios para todos los meses	MH1-12	
	Caudales mensuales mínimos promedios para todos los meses	ML1-12	
(2) Magnitud y duración de los extremos anuales	Magnitud promedia del caudal anual mínimo de 2 meses de duración	M2MIN	V2MIN
	Magnitud promedia del caudal anual mínimo de 3 meses de duración	M3MIN	V3MIN
	Media de los caudales mínimos promedios	ML13	CVL
	Magnitud promedia del caudal con probabilidad de excedencia del 75%	IL2	
	Magnitud promedia del caudal con probabilidad de excedencia del 95% del tiempo	IL	
	Magnitud promedia del caudal anual máximo de 2 meses de duración	M2MAX	V2MAX
	Magnitud promedia del caudal anual máximo de 3 meses de duración	M3MAX	V3MAX
	Media de los caudales máximos promedios	MH13	CVH
	Magnitud del caudal con probabilidad de excedencia del 25%. Pulsos de caudales altos	IH2	
	Magnitud del caudal con probabilidad de excedencia del 5%	IH	
	Porcentaje de años con caudal 0	D1	
(3) Frecuencia y duración de los pulsos altos y bajos	Número de eventos de caudal alto por año utilizando un umbral superior de 3 vez el caudal promedio de todos los años	FQ3x	
	Número de eventos de caudal alto por año utilizando un umbral superior de 5 veces el caudal promedio de todos los años	FQ5x	
	Número de eventos de caudal alto por año utilizando un umbral superior de 7 veces el caudal promedio de todos los años	FQ7x	
	Ráfagas de flujo bajo 1	FQ5	
	Ráfagas de flujo bajo 2	FQ10	

Variable	Acrónimo	Grupo
Área de la cuenca de drenaje	**AREA_SQKM**	Topografía
Altitud media de la zona de drenaje aguas arriba	**MN_ELEV**	
Longitud acumulada del canal aguas arriba hasta el extremo aguas abajo del tramo	**UPCHANLEN**	
Orientación geográfica media del tramo	**AZIMTH_DEG**	
Pendiente media de la zona de drenaje aguas arriba	**MN_GRAD**	
Distancia al punto de inicio del canal	**SRC_DIST**	
Orden del río en el segmento, según Strahler	**STRM_ORDER**	
Precipitación media anual en la zona de drenaje	**MNANPRC_M**	
Gradiente máximo encontrado aguas abajo a través de la red	**MAX_GRAD_D**	
Confluencias por unidad de longitud de canal para todos los canales aguas arriba (Benda et al., WRR 2004)	**CONF_DEN**	
Longitud del canal en kms. por km. cuadrado para el área que contribuye al tramo	**CHAN_DEN**	
Caudal medio anual en el extremo aguas abajo del tramo (NetMap)	**MEANANNCMS**	
Dureza media de las rocas aguas arriba del tramo del río	**MN_DUR**	Geología
Permeabilidad media de las rocas aguas arriba del tramo del río	**MN_PER**	
Temperatura media anual del aire en la cuenca	**MN_tmyr**	Clima
Evapotranspiración potencial (GAIPET, ET0)	**MN_etyr**	

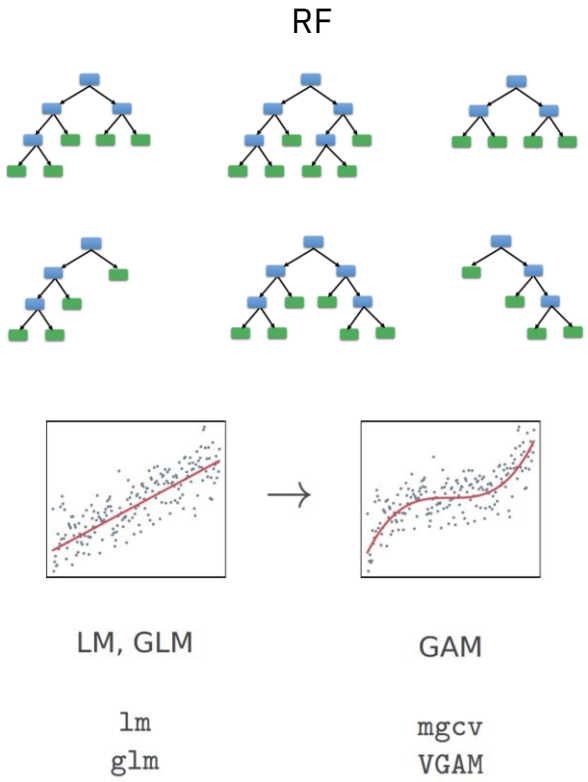
Capacidad media del suelo para retener el agua aguas arriba del tramo del río (Molfino, 2009)	**MN_apdn**	Tipos de suelo
Porcentaje de suelos profundos (CONEAT) aguas arriba del tramo del río	**MN_ppro**	
Porcentaje de suelos superficiales (CONEAT) aguas arriba del tramo del río	**MN_psup**	
Porcentaje de bosque nativo en el área de drenaje	**MN_arna**	Usos del suelo
Porcentaje de bosque nativo en el buffer de 200 m aguas arriba del tramo	**BC_arna**	
Porcentaje de usos agrícolas de la tierra en la zona de drenaje aguas arriba	**MN_agri**	
Porcentaje de vegetación herbácea en el área de drenaje	**MN_herb**	
Porcentaje de vegetación herbácea en el buffer de 200 m aguas arriba del tramo	**BC_herb**	
Porcentaje de forestación con Eucaliptus en la zona de drenaje aguas arriba	**MN_areu**	
Porcentaje de forestación con Eucaliptus en el buffer de 200 m aguas arriba del tramo	**BC_areu**	
Porcentaje de usos del suelo urbano en la zona de drenaje	**MN_edif**	
Cantidad de vertidos (domésticos e industriales) y feedlots aguas arriba del tramo	**COUNT_VF**	Presiones
Distancia al primer segmento donde se localiza un vertido o un feedlot	**Dist_P_seg**	
Tipo de presión encontrada en el segmento más cercano (D,I o F)	**Presion_c**	
Cantidad de vertidos domésticos e industriales aguas arriba del segmento	**COUNT_V**	
Distancia al primer segmento donde se localiza un vertido	**Dist_V_seg**	
Cantidad de feedlots aguas arriba del segmento	**COUNT_F**	
Distancia al primer segmento donde se localiza un feedlot	**Dist_F_seg**	

Modelos para predecir IH individuales

Con el software R se aplicaron diversas técnicas para generar modelos de predicción de las variables respuesta (IH) a partir de variables ambientales disponibles para todos los tramos de la red

Modelos aplicados:

- Random Forest (RF)
- Regresión lineal múltiple (MLR o GLM)
- Modelos aditivos generalizados (GAM)

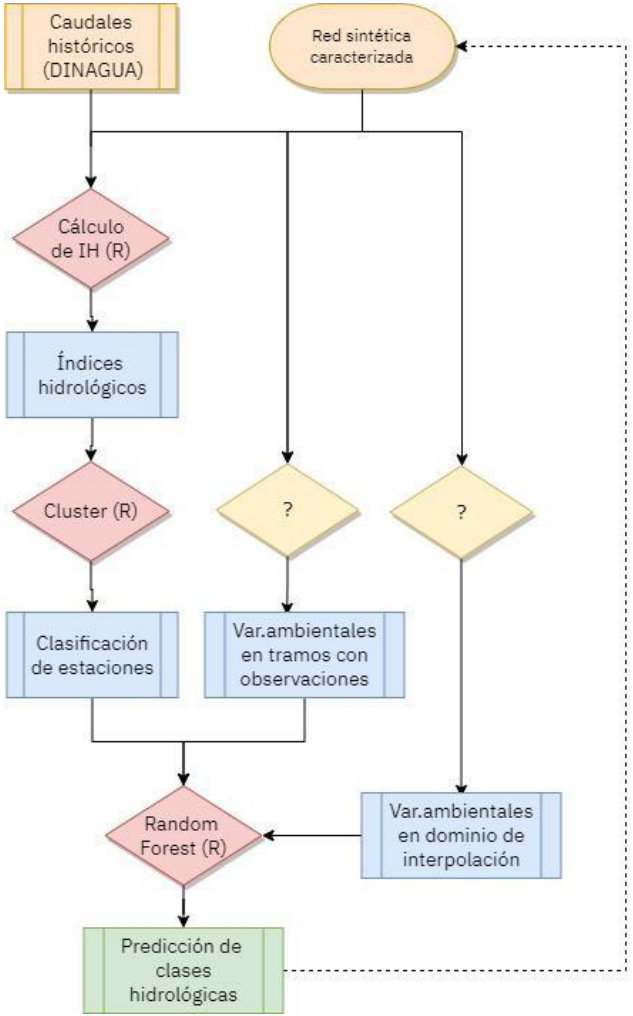


“Firma hidrológica”: Metodología

Estrategia: Primero clasificación, luego predicción.

Procedimiento:

- Clasificación de tipo cluster (PAM y k-means) considerando los IH calculados para los tramos con observaciones de caudales
- Definición de cantidad óptima de clases
- Selección de variables predictoras y generación de modelo RF para predecir las clases
- Predicción a todos los tramos en el dominio de interpolación (dependiendo de los rangos con observaciones de las variables predictoras)



03. Resultados y discusión

Modelos para predecir IH

Variables que dieron mejores resultados de Rsq, en distintas combinaciones:

1. Un conjunto de **topográficas**: AREA_SQKM; CONF_DEN; UPCHANLEN; SRC_DIST, MN_GRAD; MAX_GRAD_D; LC elev

2. Geológicas: MN_PER

3. Climáticas : precipitación promedio anual o promedio de algunos meses y evapotranspiración

4. En algunos **casos aislados**, de **tipo y uso de suelo**: MN_apdn, MN_herb

Grupo de IH	Índice hidrológico	Prom Rsq (RF)	Rsq (MLR)	Rsq (GAM)
(1) Magnitud de los caudales anuales y mensuales	I2	0,923	0,847	0,889
	Ikur	0,010		
	Ica	0,023		
	Q50	0,937		0,958
	MA4			0,842
	MA8			0,939
	MA10			0,848
	MA11			0,853
	MA1			0,846
	MA2			0,710
	MA3			0,858
	CV4			0,863
	CV8			0,911
	CV10			0,816
	CV11			0,769
	CV1			0,837
	CV2			0,722
	CV3			0,801

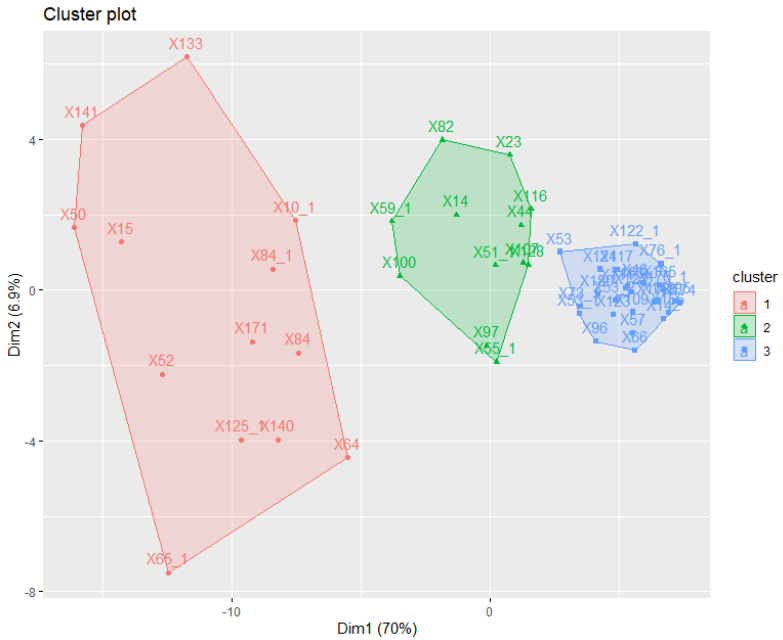
Los **IH de magnitud** se predijeron con muy **buena precisión** en general con las tres técnicas utilizadas (RF, GAM y MLR), con la **excepción de lkur, lca y CVH**.

En contraste, **ninguna técnica fue capaz de desarrollar modelos precisos** para los **IH de frecuencia y duración de los pulsos altos y bajos**.

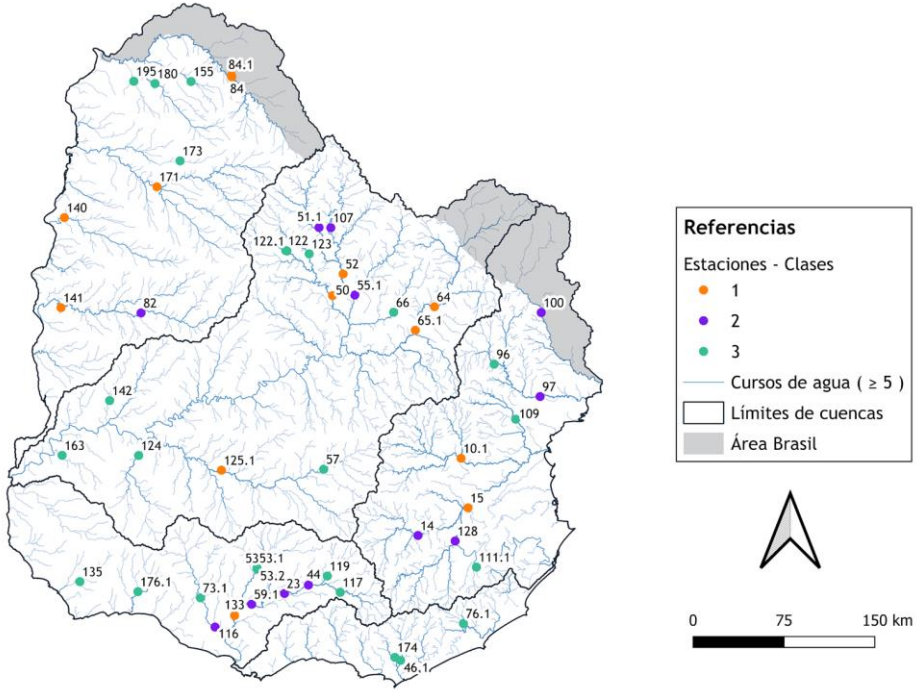
Grupo de IH	Índice hidrológico	Prom Rsq (RF)	Rsq (MLR)	Rsq (GAM)
(2) Magnitud y duración de los extremos anuales	ML13	0,560	0,681	0,681
	IL2	0,833		0,950
	MH13	0,836		0,811
	CVH	0,150		
	IH	0,928		0,933
	IH2	0,925	0,885	0,943
	M2MIN	0,745	0,808	0,902
	M2MAX	0,892	0,867	0,950
	V2MAX	0,812	0,750	0,918
	M3MAX	0,920	0,869	0,925
(3) Frecuencia y duración de los pulsos altos y bajos	FQ5	0,214		
	FQ10	0,121		
	FQ5x	0,032		

Firma hidrológica

Agrupamiento por método cluster PAM, 3 clases



Ubicación de las estaciones asignadas a las distintas clases



CUENCAS VIRTUALES

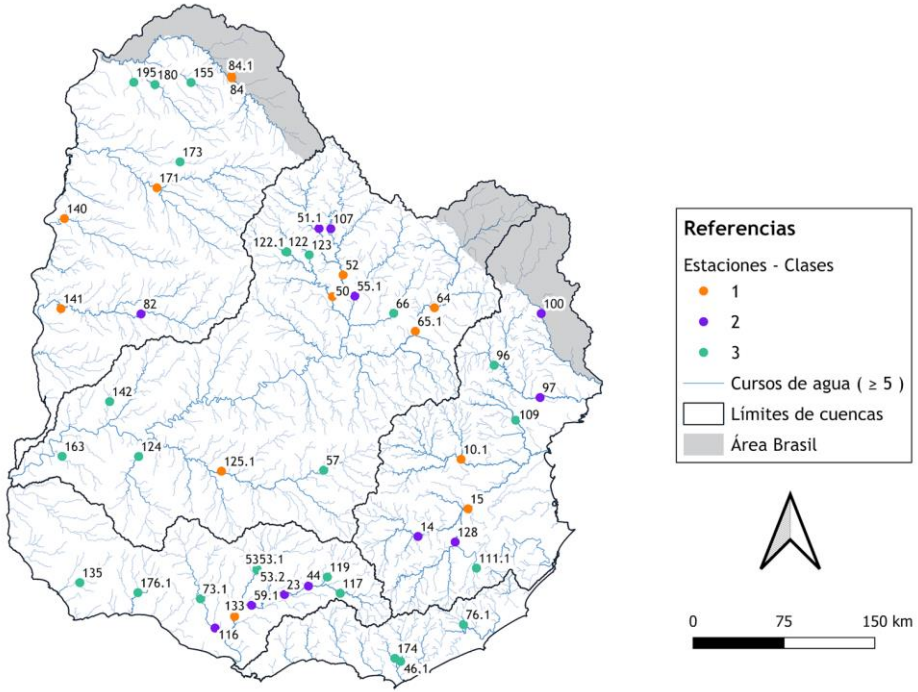
BASES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS

Firma hidrológica

Mediante el análisis cluster por métodos de partición PAM y k-means, se identificaron tres grandes grupos de estaciones de muestreo, que por medio de los dos métodos se agruparon casi de la misma forma (con diferencia de un solo punto)

Los resultados no muestran una regionalización de los grupos

Ubicación de las estaciones asignadas a las distintas clases



CUENCAS VIRTUALES

BASES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS

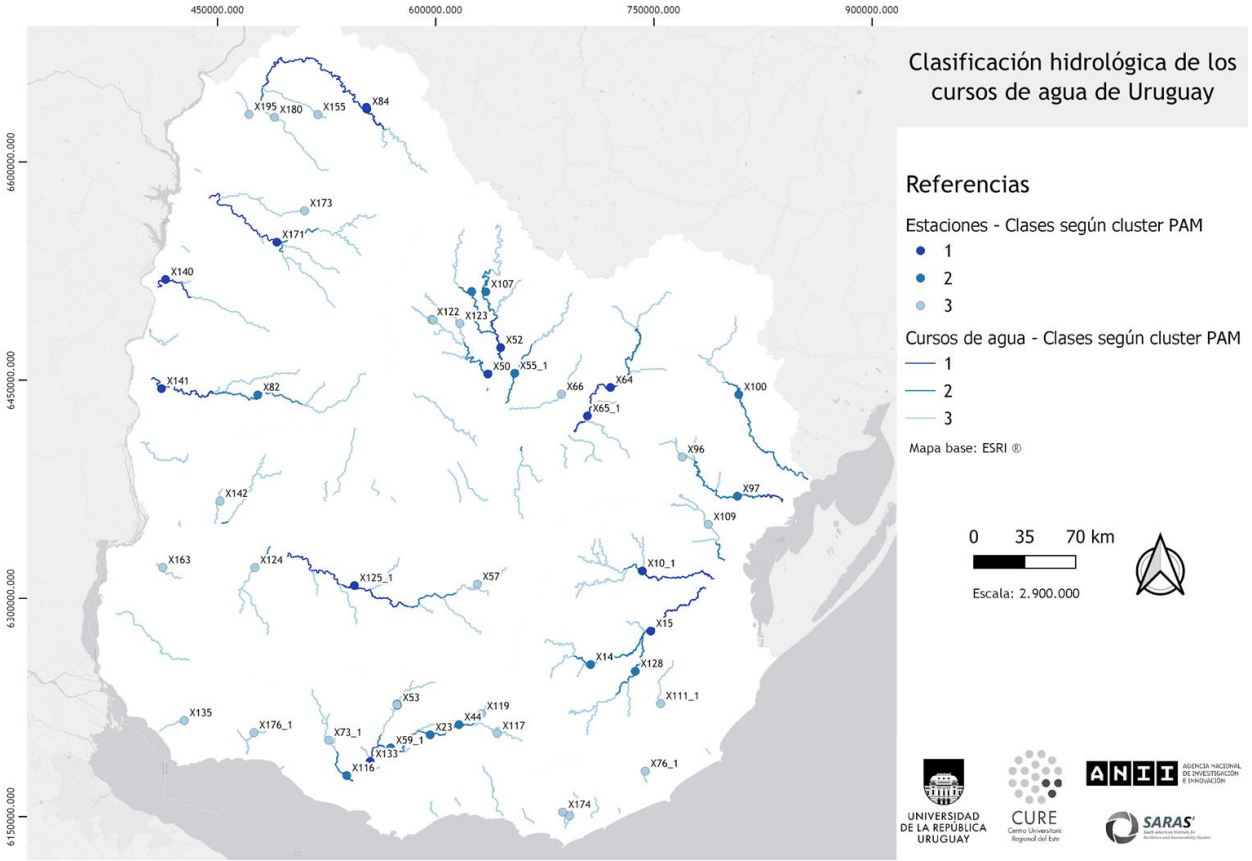
Firma hidrológica

Variables seleccionadas para generar el modelo RF de clasificación:

- **UPCHANLEN** (Longitud acumulada del canal aguas arriba hasta el extremo aguas abajo del tramo)
- **SRC_DIST** (Distancia al punto de inicio del canal)
- **MAX_GRAD_D** (Gradiente máximo encontrado aguas abajo a través de la red)

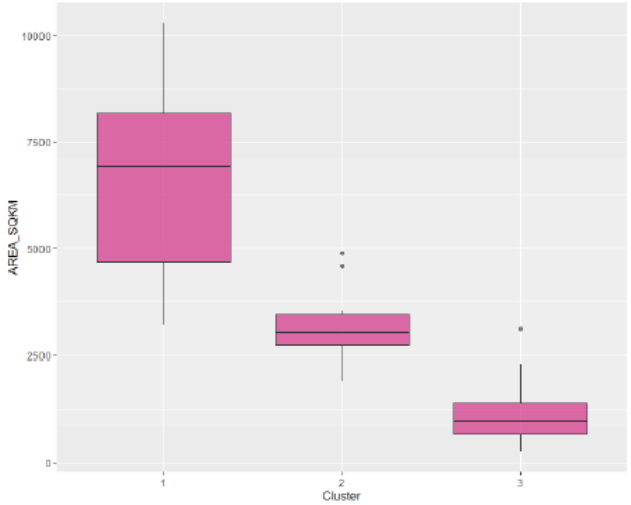
La tasa de error obtenida fue de 7,84%.

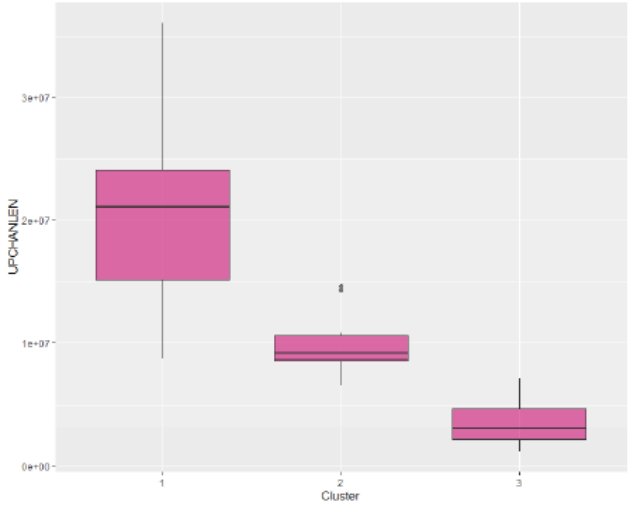
Dominio de interpolación: 15.714 tramos (de entre casi 2.000.000)



CUENCAS VIRTUALES

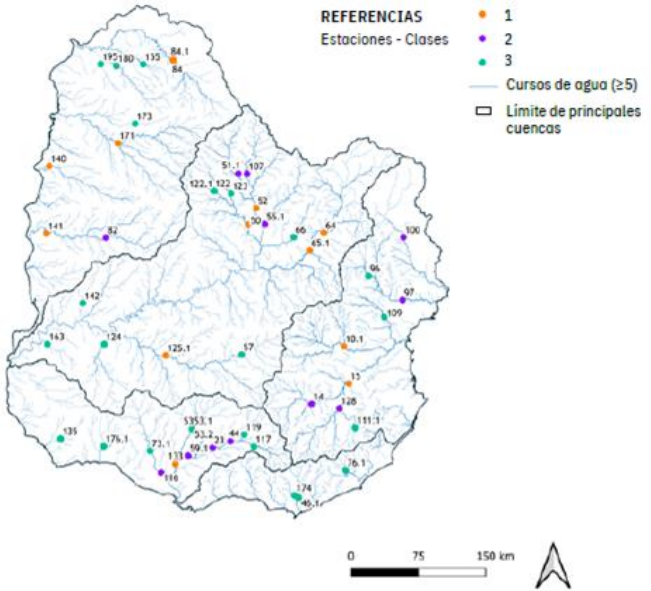
BASES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS


10000
7500
5000
2500
0
AREA_SQKM
1
2
3
Cluster

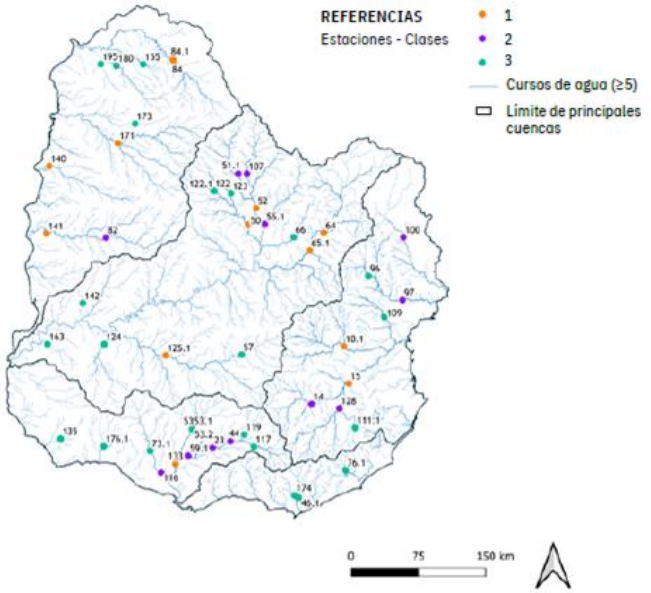

3e+07
2e+07
1e+07
0e+00
LPCHANLEN
1
2
3
Cluster

+ Desde el punto de vista hidrológico, los factores estructurales como el tamaño de la cuenca, topografía, características de la red de drenaje, explican la casi totalidad de las diferencias espaciales en la base de datos construida

+ Contrariamente a lo esperado, el gradiente Sur-Norte del régimen de precipitaciones y evapotranspiración tiene una incidencia menor a lo esperado desde el punto de vista estadístico

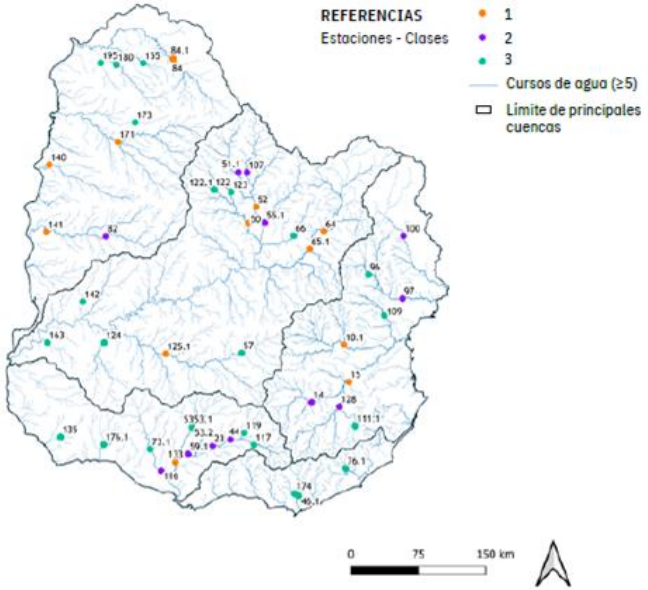


+ Los usos del suelo y presiones antrópicas no presentan una contribución importante (**en la base de datos de entrenamiento considerada**) para comprender las diferencias espaciales en la firma hidrológica del conjunto de estaciones de muestreo actualmente disponible



+ La aproximación de cuencas virtuales permiten avanzar en el conocimiento de los patrones espaciales de atributos claves de los ecosistemas fluviales y de los principales controles (forzantes) asociadas

+ Constituye una contribución complementaria mientras se avanza en otras estrategias de modelación (i.e SWAT models)



environments

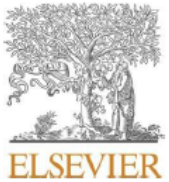
MDPI

Article

Empirical Modeling of Stream Nutrients for Countries without Robust Water Quality Monitoring Systems

Ismael Díaz [1,*], Paula Levrini [2], Marcel Achkar [1], Carolina Crisci [3], Camila Fernández Nion [1], Guillermo Goyenola [2] and Néstor Mazzeo [2,4]

Environmental Science and Policy 154 (2024) 103699



Contents lists available at ScienceDirect

Environmental Science and Policy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/envsci

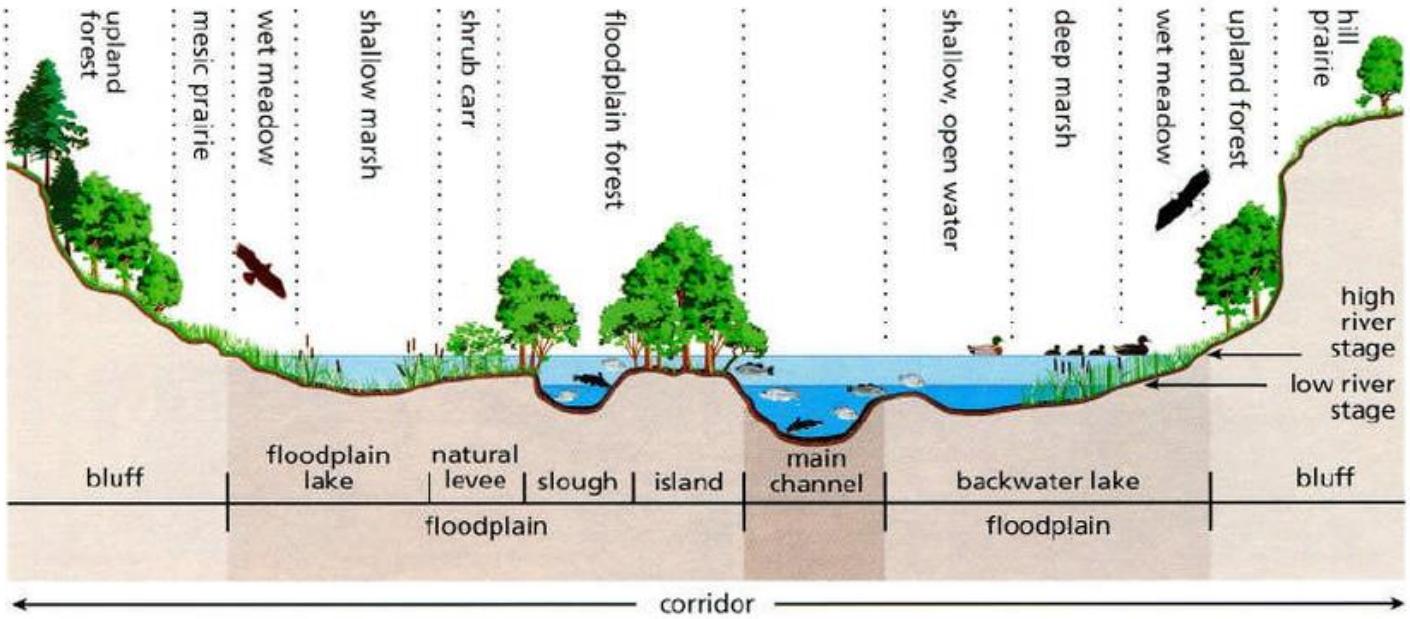
Inter and transdisciplinarity strategies for evaluating and improving water quality monitoring systems: Uruguay as a study case

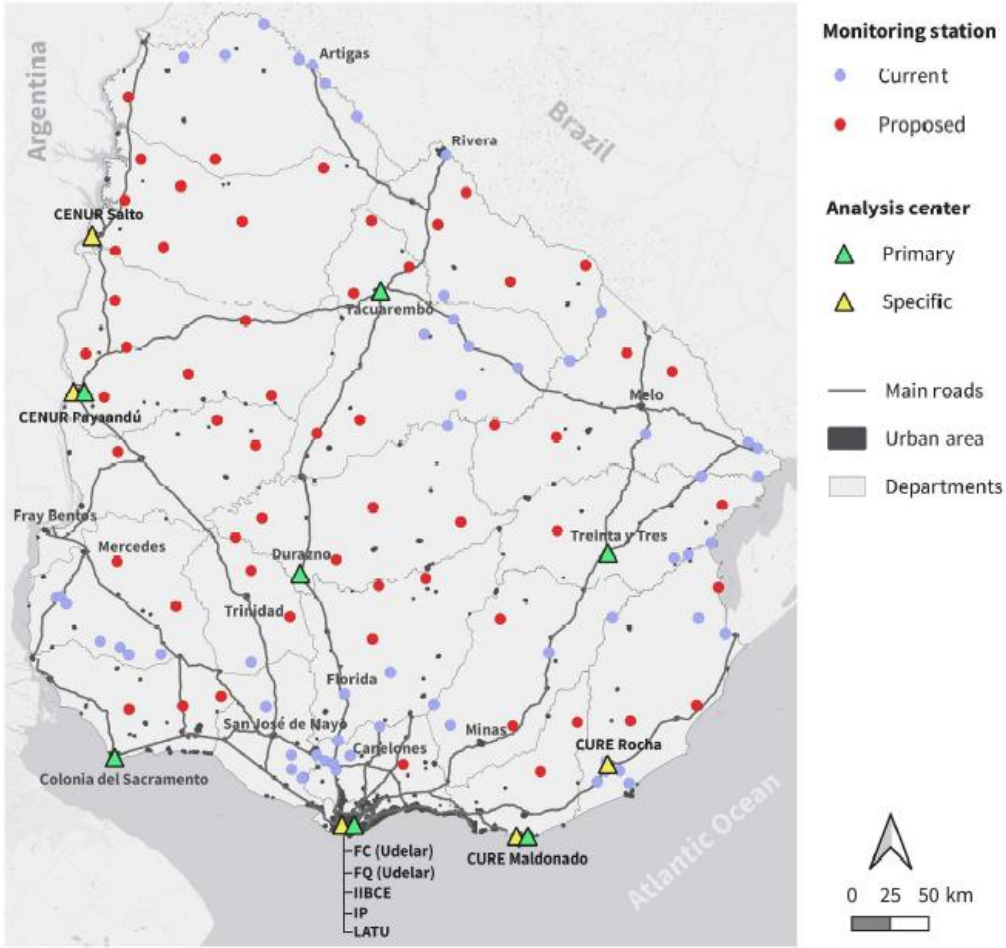
Néstor Mazzeo [a,b], Ana Lía Ciganda [a,c], Camila Fernández Nion [d], Francisco J. Peñas [e], Alexia María González-Ferreras [e], Carolina Crisci [f], Cristina Zurbriggen [b,g], Daniel Pérez [b,h], José Barquin [e], Ismael Díaz [d,*]

¿Uruguay cuenta con un sistema robusto de evaluación de la cantidad y calidad del agua de ecosistemas fluviales en la escala nacional?

No, desde la perspectiva contemporánea del concepto de caudal ecológico (incorporación robusta del regimen del pulsos)

Sin embargo, puede pasar avanzar rápidamente en función de la información espacial y bienes públicos claves (OAN, MA) con los que cuenta


upland forest
mesic prairie
wet meadow
shallow marsh
shrub carr
floodplain forest
shallow, open water
deep marsh
wet meadow
upland forest
hill prairie
high river stage
low river stage
bluff
floodplain lake
natural levee
slough
island
main channel
backwater lake
bluff
floodplain
floodplain
corridor



CUENCAS VIRTUALES

BASES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS

Muchas gracias!

Néstor Mazzeo: mazzeobeyhaut@yahoo.com