

Hidrogeología e Inteligencia Artificial: Cartografías predictivas para mejorar el acceso al agua

Víctor Gómez-Escalonilla Canales

Director: Pedro Martínez Santos

**II Simposio Universitario de Ciencias para
Desarrollo Sostenible**



RENDIMIENTO
PERFORACIÓN

**MACHINE
LEARNING**

POTENCIAL
HIDROGEOLÓGICO

**INTELIGENCIA
ARTIFICIAL**

La IMPORTANCIA DEL ACCESO AL AGUA

- ❖ Los recursos hídricos son fundamentales para el desarrollo de la sociedad humana.

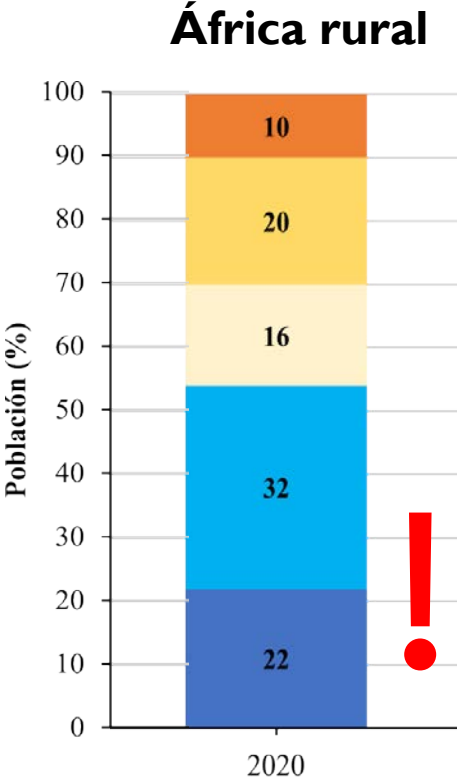
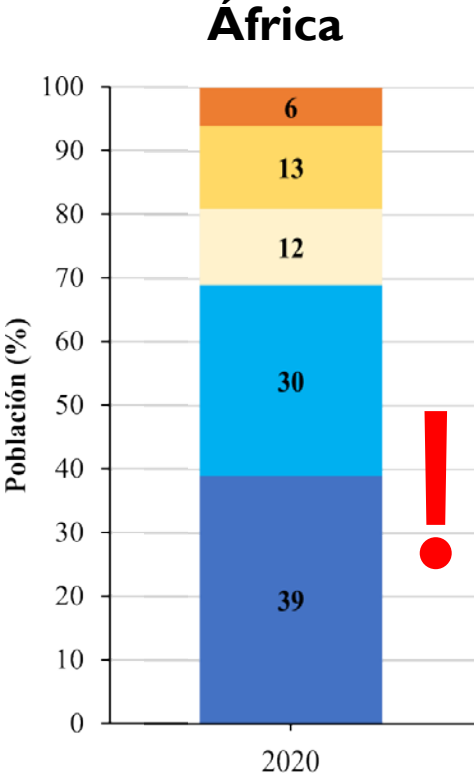
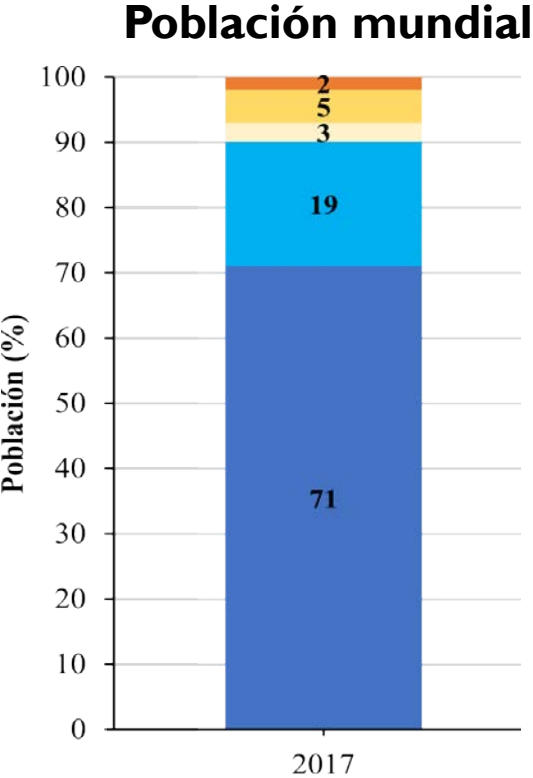


- ❖ El agua tiene un impacto directo en muchos ámbitos:
 - ❖ Higiene, alimentación, hidratación..... → **SALUD**
 - ❖ Actividades económicas
 - ❖ Ropa
 - ❖ Educación

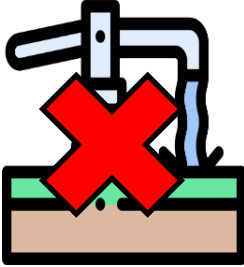
- ❖ En el contexto actual de **cambio climático** es necesario estudiar la disponibilidad de los recursos hídricos.



ACCESO AL AGUA POTABLE



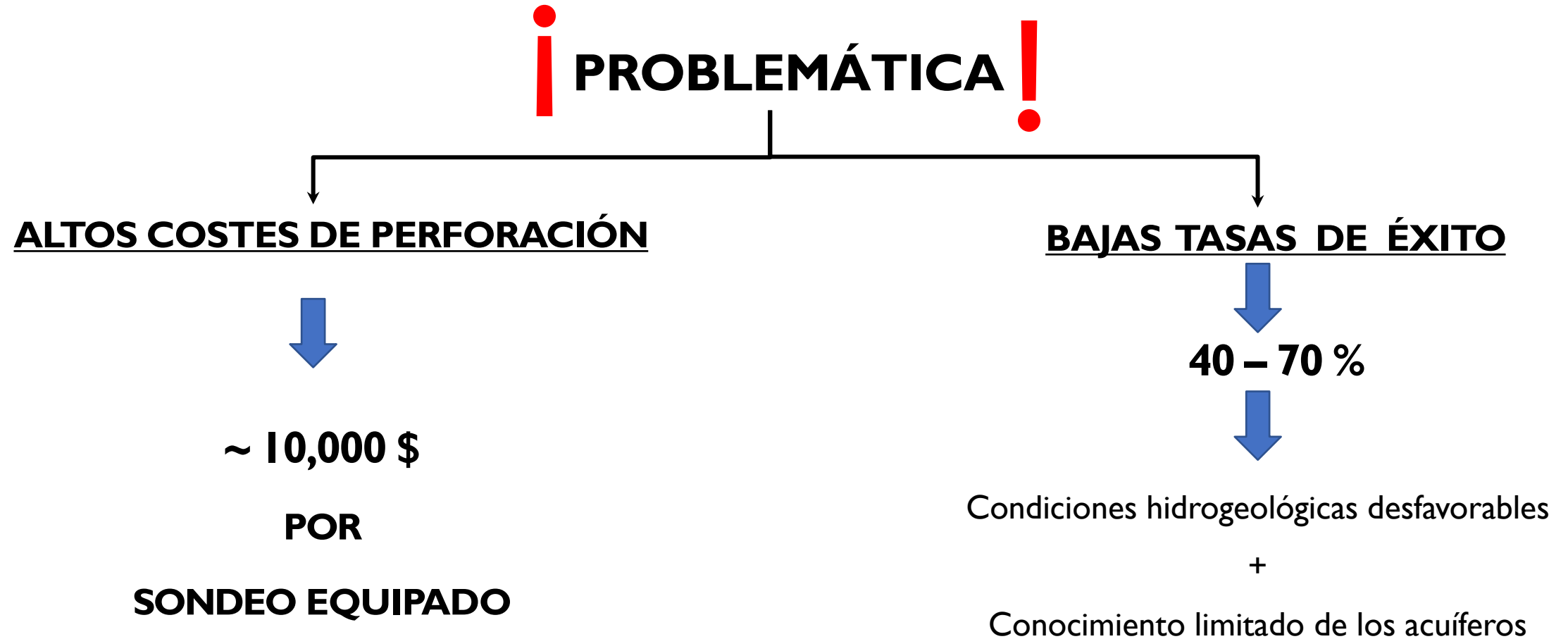
**400 millones
de personas !**



Término en español	Definición
Agua potable gestionada de forma segura	Fuente mejorada accesible en las instalaciones, disponible cuando se necesite y libre de contaminación
Servicios básicos de agua potable	Fuente mejorada dentro de un tiempo de recogida de 30 minutos de ida y vuelta
Servicios limitados de agua potable	Fuente mejorada en un tiempo de recogida de ida y vuelta de más de 30 minutos
Fuentes de agua potable no mejoradas	Un pozo excavado sin protección o un manantial sin protección
Aguas superficiales	Agua potable directamente de un río, presa, lago, estanque, arroyo, canal o acequia

ACCESO AL AGUA POTABLE EN EL SAHEL

- ❖ En los países del Sahel las aguas subterráneas son la principal fuente de agua potable para el 70-90% de la población.



NECESIDAD DE NUEVAS METODOLOGÍAS

- ❖ **Metodologías rentables económicamente** como la cartografía del potencial de las aguas subterráneas (GPM) pueden contribuir a **mejorar el éxito de las perforaciones** al proporcionar predicciones fiables de la presencia de aguas subterráneas.
- ❖ La GPM está ganando reconocimiento como herramienta para apuntalar la **planificación y exploración** de los recursos hídricos subterráneos.

cartografía de potencialidad hidrogeológica

cartografía de potencialidad hidrogeológica

- ❖ Identificación de **zonas favorables** para el **desarrollo y explotación de las aguas subterráneas**
- ❖ Esto puede entenderse como:
 - ❖ **Almacenamiento u ocurrencia** de agua subterránea
 - ❖ Predicción de dónde pueden tener lugar los mayores **rendimientos** de las perforaciones
- ❖ La definición de una GPM positiva o negativa depende de cada caso
- ❖ **Puede inferirse** a partir de factores topográficos, geológicos, climáticos, etc.
- ❖ Tradicionalmente, los estudios utilizaban exclusivamente **técnicas basadas en criterio experto** (ej. procesos de jerarquía analítica, peso de las pruebas, etc.)
- ❖ La **llegada y desarrollo del machine learning (ML)** abre una nueva dimensión metodológica para elaborar cartografías del potencial de las aguas subterráneas (GPM)

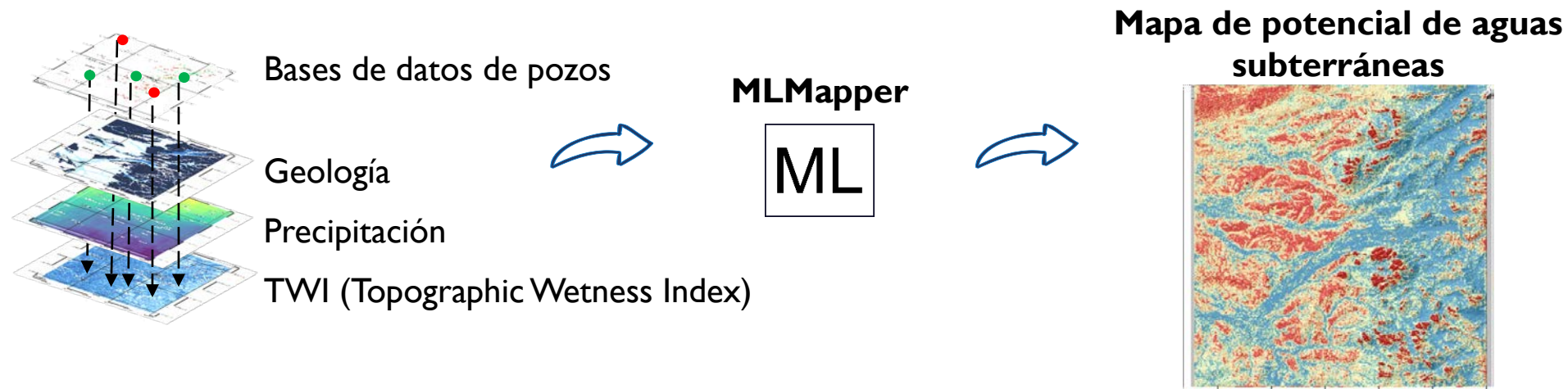


cartografía de potencialidad hidrogeológica

- ❖ Los métodos de aprendizaje automático tratan de:

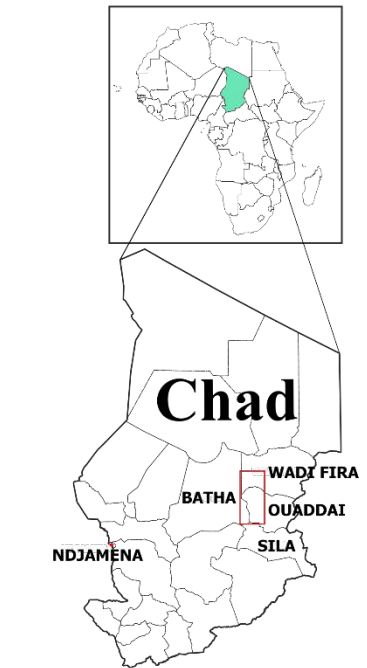
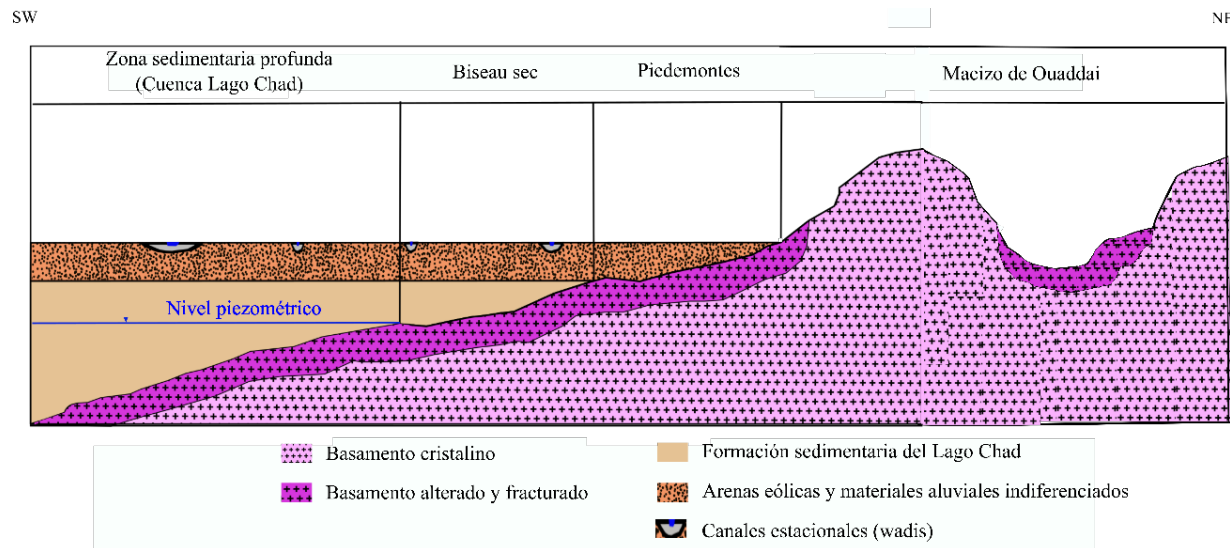
Encontrar asociaciones significativas entre las **variables explicativas** y una **variable objetivo** (es decir, el potencial de las aguas subterráneas)

- ❖ Si las asociaciones son **estadísticamente sólidas**, se puede predecir el potencial de las aguas subterráneas.

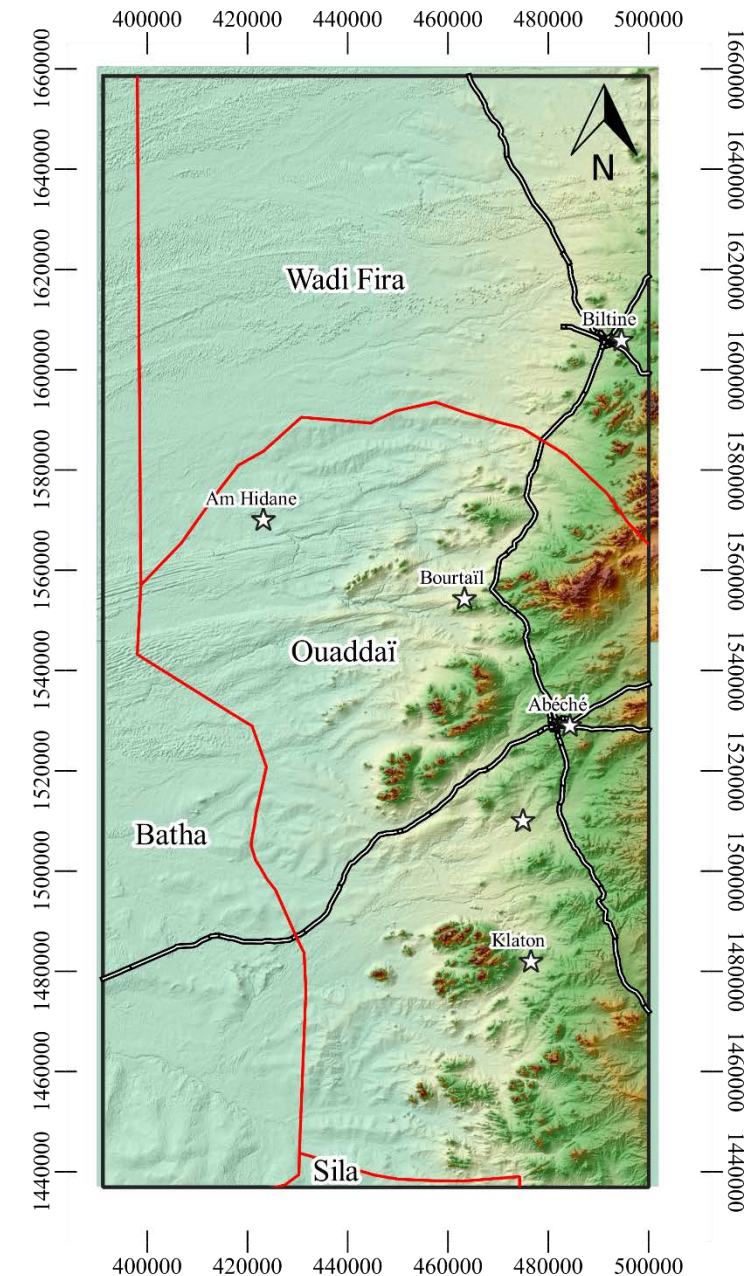
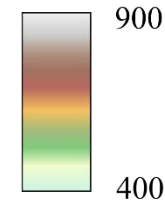


Aplicaciones: CHAD

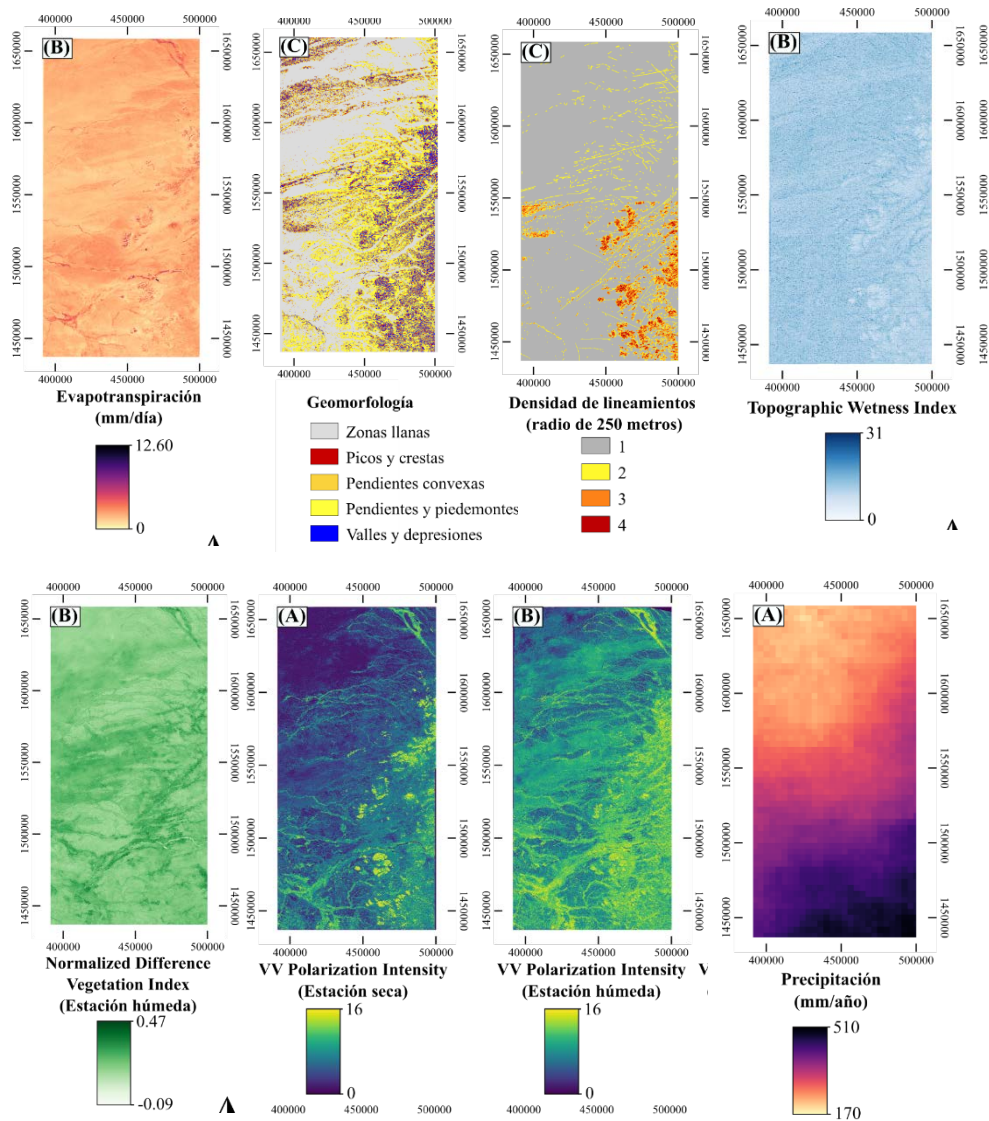
- ❖ La zona de estudio abarca cerca de 40,000 km²
- ❖ El paisaje llano. Algunos arroyos efímeros (*ouadis*) fluyen sólo después de fuertes lluvias en esta zona de este a oeste.
- ❖ El clima es cálido y semiárido (370 mm/año)
- ❖ 3 unidades hidrogeológicas principales:



- ▭ Límites regionales
 - ▭ Zona de estudio
 - ☆ Principales ciudades
 - Carreteras
- Elevación (m.s.n.m)



Variables explicativas (n=31)



MLMapper

ML

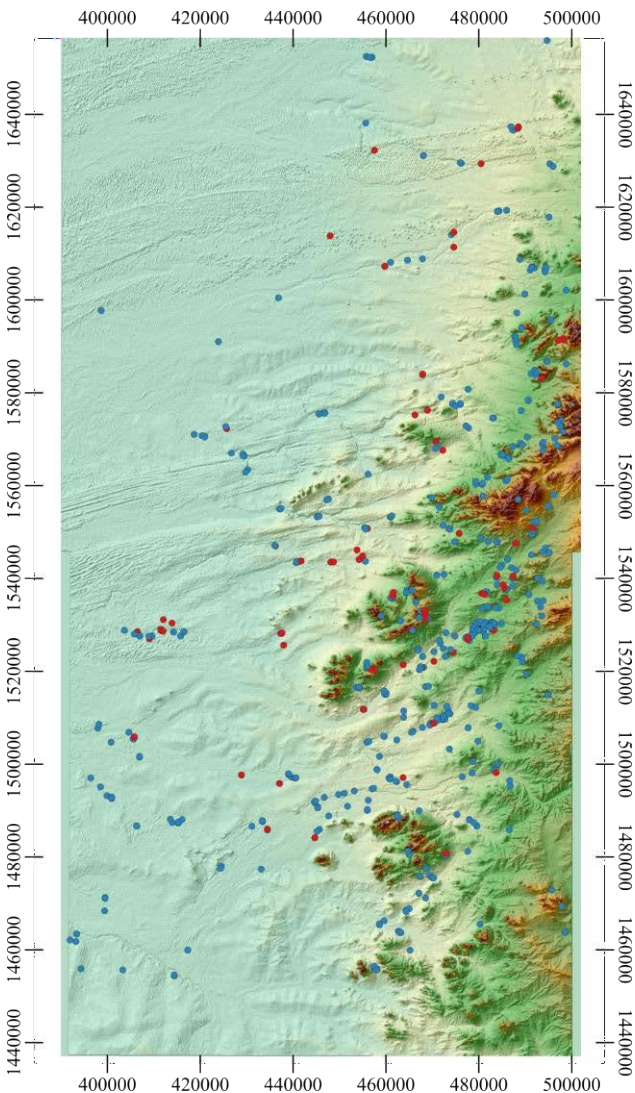
611

Positive water point
(presence of water)

265

Negative water point
(no water)

Variables objetivo (n=876)



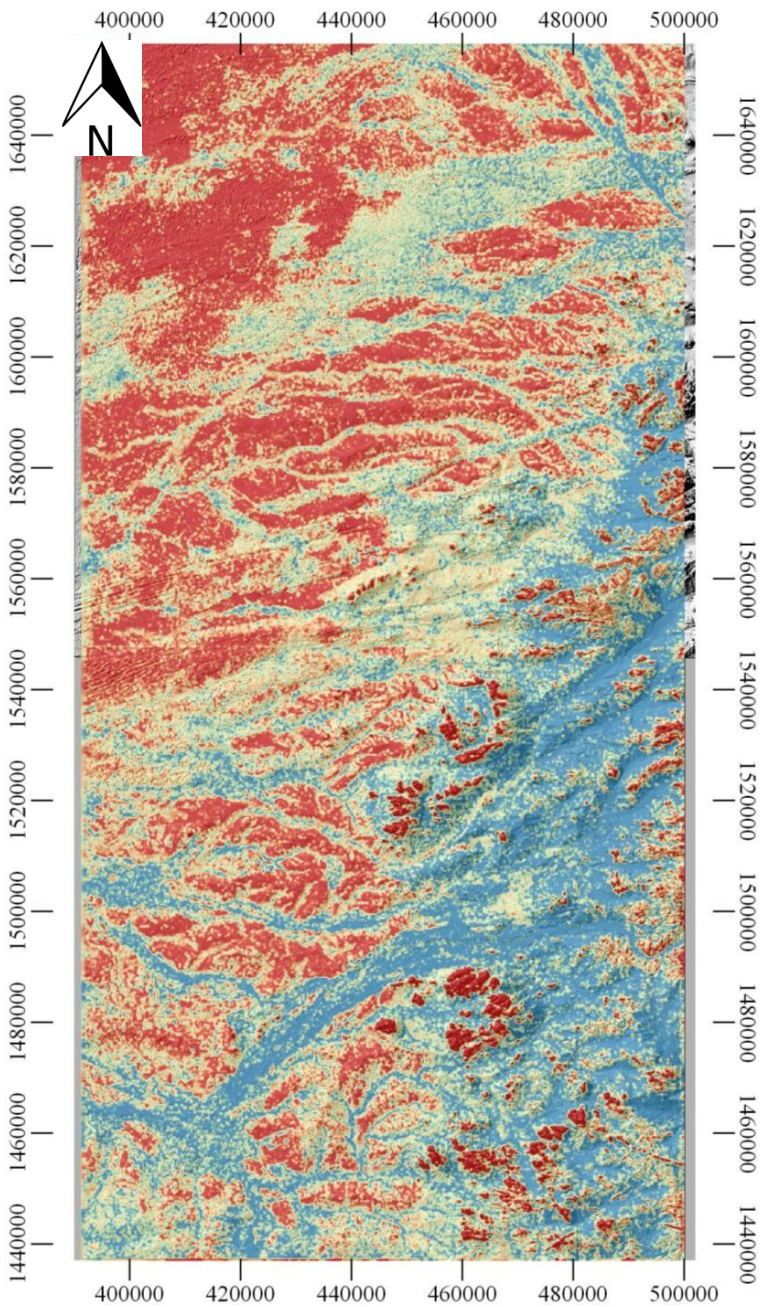
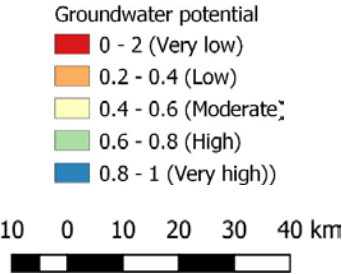
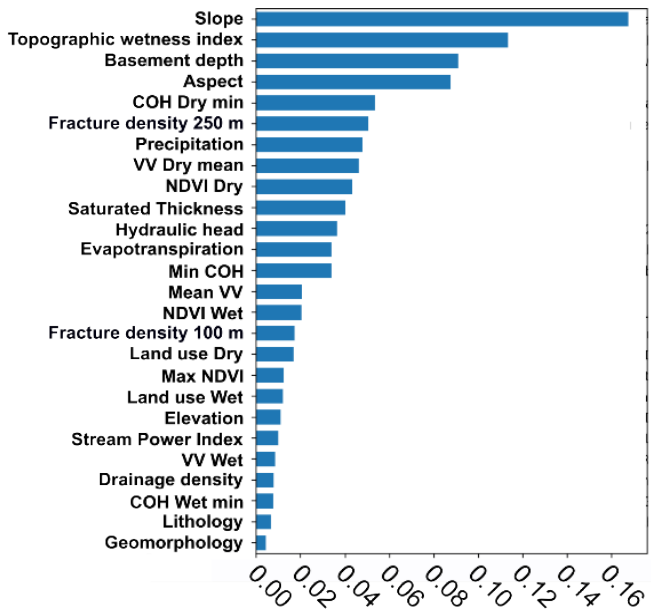
RESULTADOS

Algoritmos empleados

- ❖ Logistic Regression
- ❖ Random Forest
- ❖ AdaBoost
- ❖ Gradient Boosting
- ❖ ExtraTrees

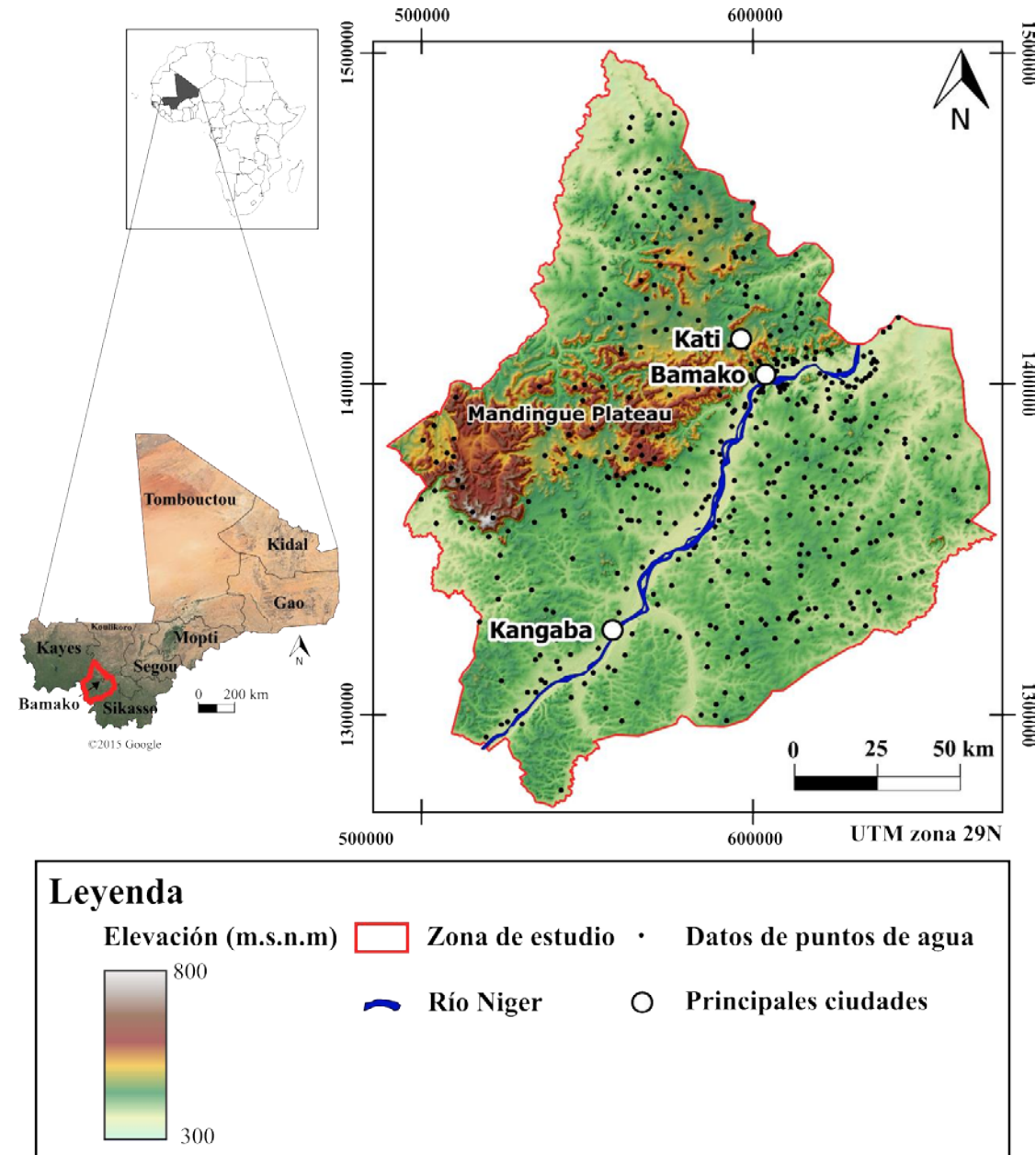
- ❖ Test score ~ 88%
- ❖ FI score: 78% (0) - 92% (1)

País	Tasa de éxito
Chad	40% - 60%

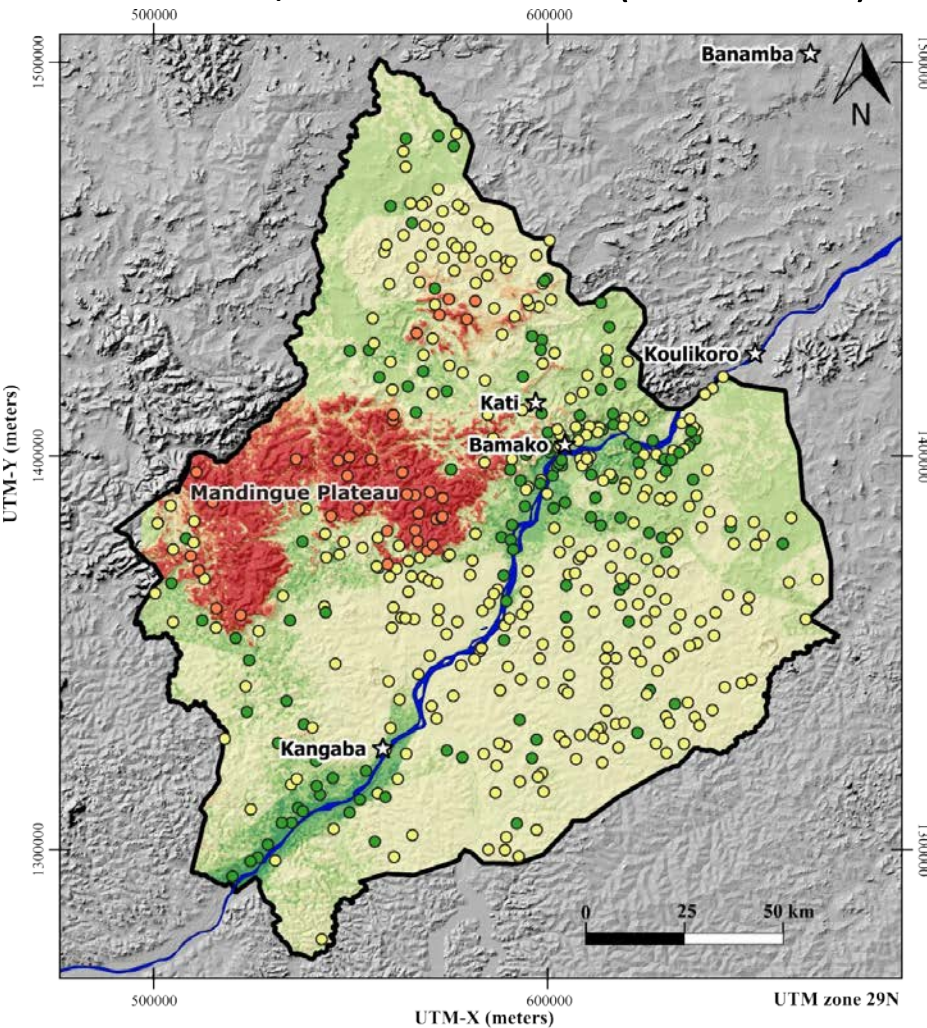


Aplicaciones: **Malí** (Multiclase)

- ❖ Regiones de Bamako, Kati y Kangaba, situadas en el suroeste de Malí ~ 21,000 km²
- ❖ Diferentes unidades hidrogeológicas:
 - ❖ Afloramiento de rocas precámbricas
 - ❖ Mantos de alteración (Lateritas) de rocas precámbricas
 - ❖ Sedimentos aluviales-fluviales recientes
- ❖ Base de datos: compuesta por **483 puntos**:
 - ❖ 36 puntos de la clase-0 (ausencia de aguas subterráneas)
 - ❖ 323 puntos de la clase-I (caudal entre 0.5 and 5 m³/h)
 - ❖ 24 puntos de la clase-2 (caudal superior a 5 m³/h)
- ❖ **20 variables explicativas**



Aplicaciones: Malí (Multiclase)



Legend

Predictive borehole yield

- 0 - Groundwater absence
- 1 - Borehole yield $< 5\text{m}^3/\text{h}$
- 2 - Borehole yield $\geq 5\text{m}^3/\text{h}$

Study area

Ground-truth data

- Class-0 (Groundwater absence)
- Class-1 (Borehole yield $< 5\text{m}^3/\text{h}$)
- Class-2 (Borehole yield $\geq 5\text{m}^3/\text{h}$)

Niger river

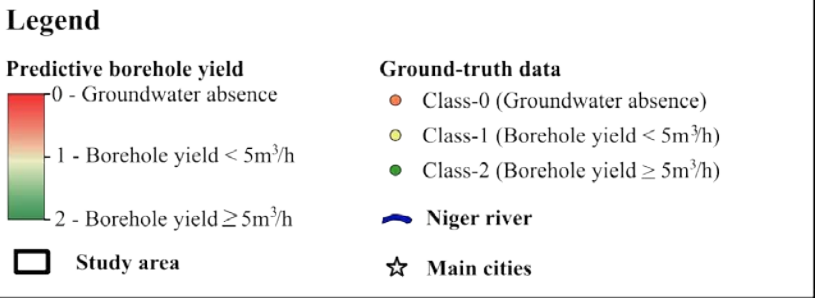
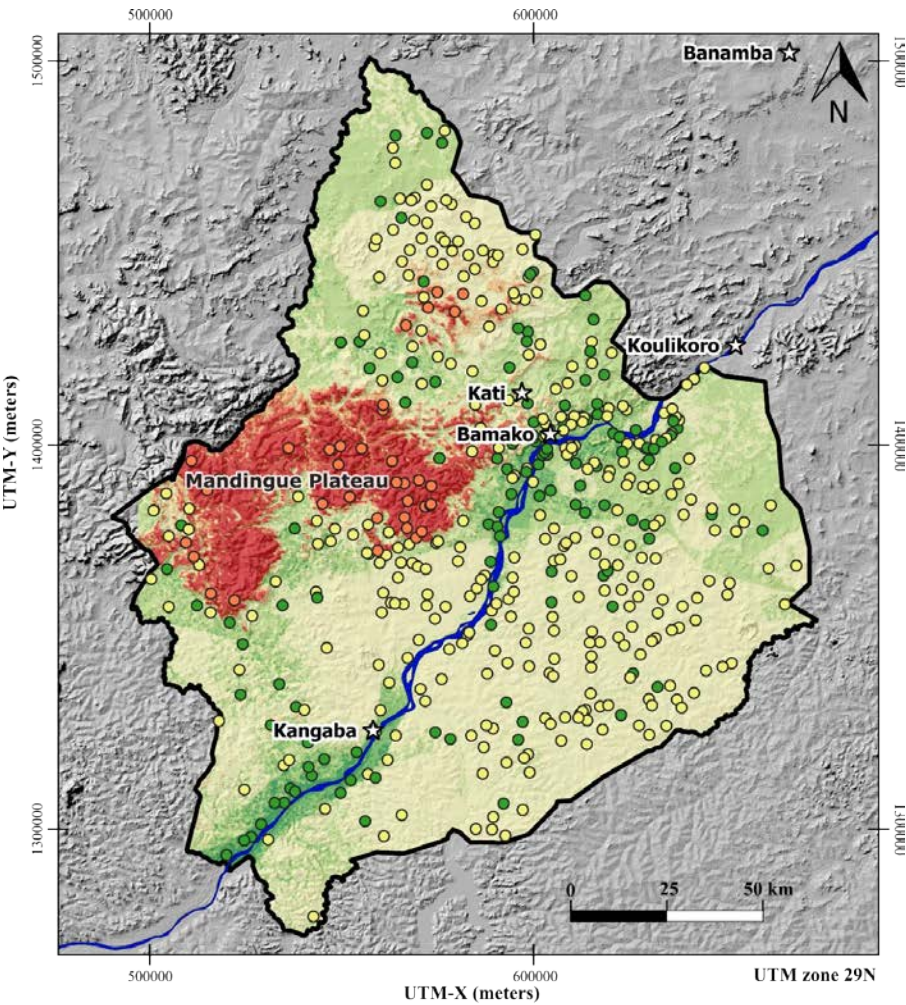
Main cities

Algorithm	Balanced score	Geometric mean score	ROC AUC Score
Logistic Regression	0.80	0.79	0.85
Gradient Boosting	0.80	0.78	0.87
Extra Trees	0.81	0.80	0.85

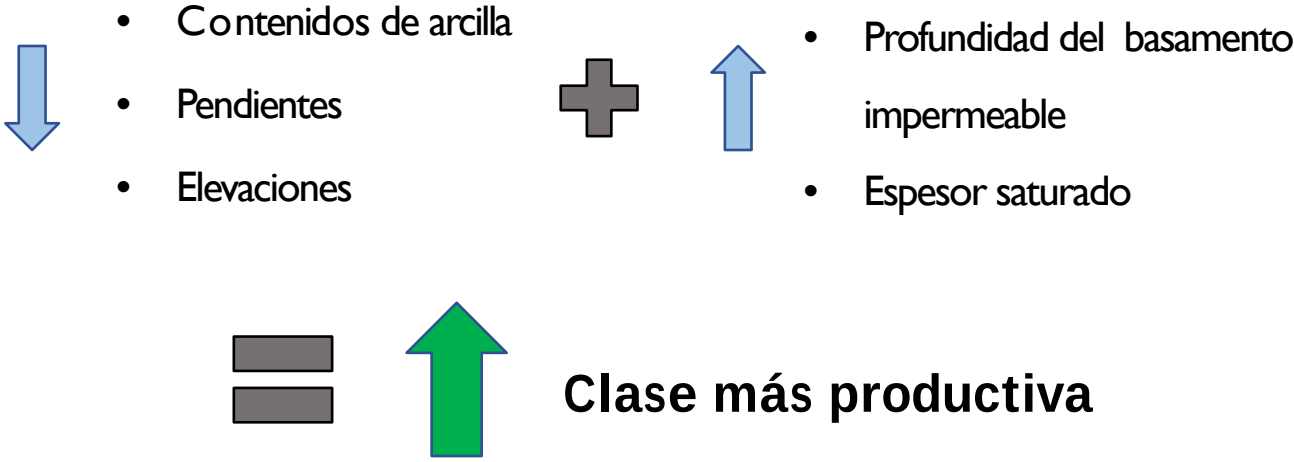
Predicciones:

- ❖ Las zonas de mayor productividad ($\geq 5\text{m}^3/\text{h}$) se localizan a lo largo de las riberas del río Níger
- ❖ Los piedemontes se caracterizaron por una productividad intermedia ($< 5\text{m}^3/\text{h}$)
- ❖ Las zonas elevadas con afloramiento de rocas precámbricas mostraron una potencialidad baja/nula

Aplicaciones: **Malí** (Multiclase)



❖ **PDPs:**



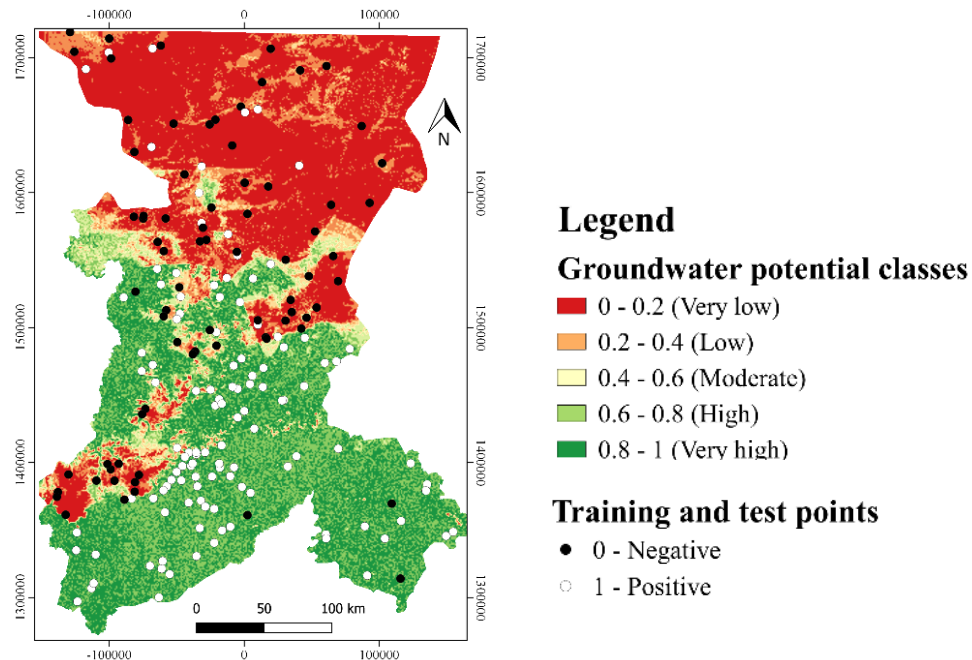
Borehole yield potential class	Description in ground-truth database	Number of points	Mean borehole yield (m ³ /h)	% High yield boreholes (> 10 m ³ /h)	Borehole success rate at village scale (%)
Class-1	< 5 m ³ /h	260	2.83	20.6%	80.7%
Class-1/Class-2	Mixed	152	5.85	57.7%	90.2%
Class-2	≥ 5 m ³ /h	33	8.50	21.6%	99.6%

Cartografía de potencial hidrogeológico

Malí

❖ **Tasa de acierto ~ 90%**

◆ 90,000 km²

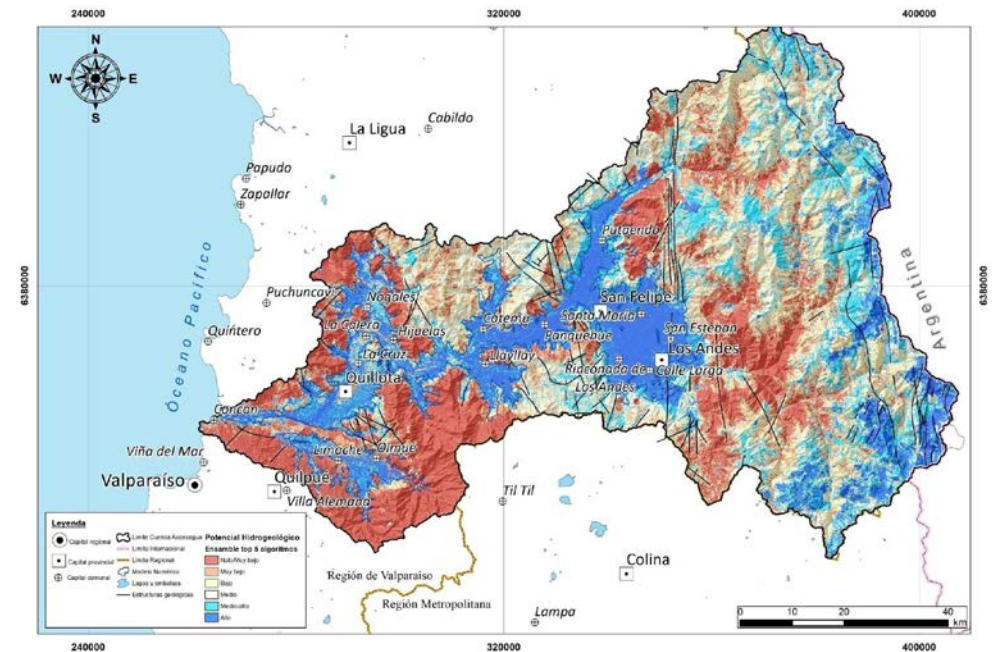


Gómez-Escalonilla, V., Martínez-Santos, P., & Martín-Loeches, M. (2022). Preprocessing approaches in machine-learning-based groundwater potential mapping: an application to the Koulikoro and Bamako regions, Mali. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(2), 221-243.

Chile

❖ **Tasa de acierto ~ 80%**

❖ Trabajo elaborado por Marcelo Aliaga Alvarado

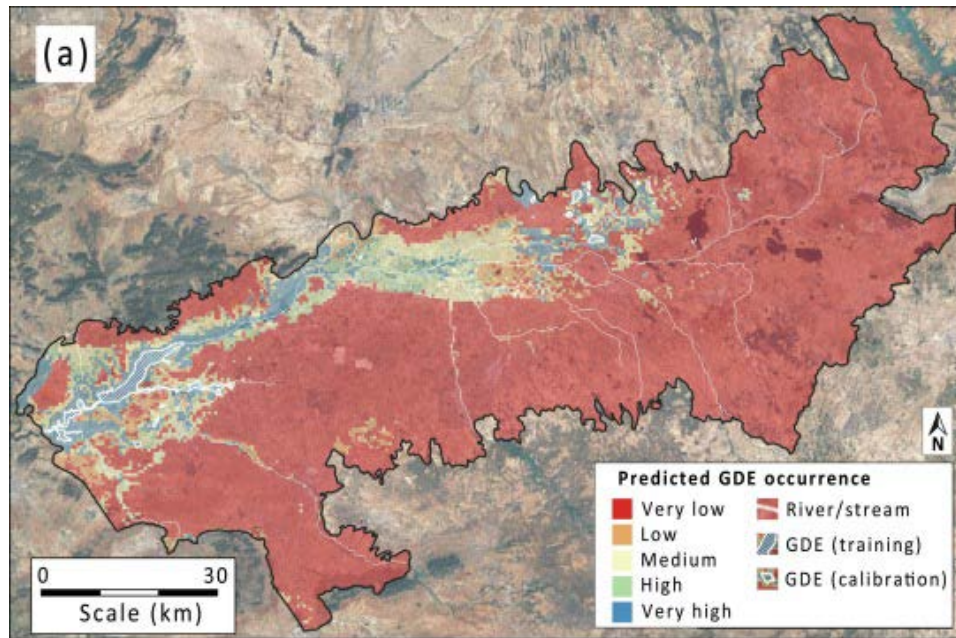


Aliaga-Alvarado, M., Gómez-Escalonilla, V., Martínez-Santos, P. Identification of non-conventional groundwater resources by means of machine learning in 2 the Aconcagua basin, Chile. In press.

Identificación de ecosistemas acuáticos

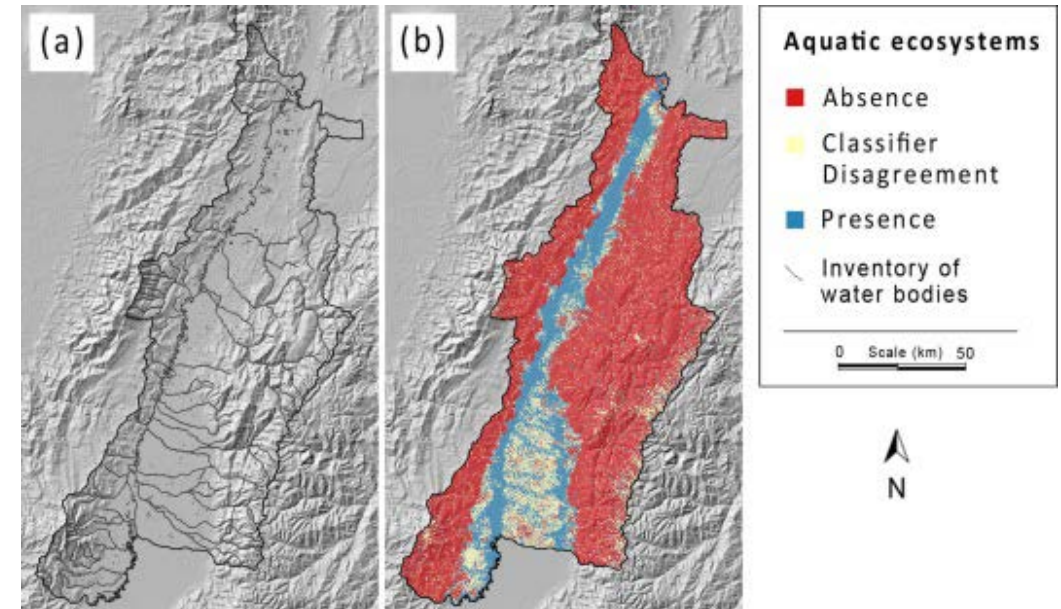
España

❖ **Tasa de acierto ~ 98%**



Colombia

❖ **Tasa de acierto ~ 90%**

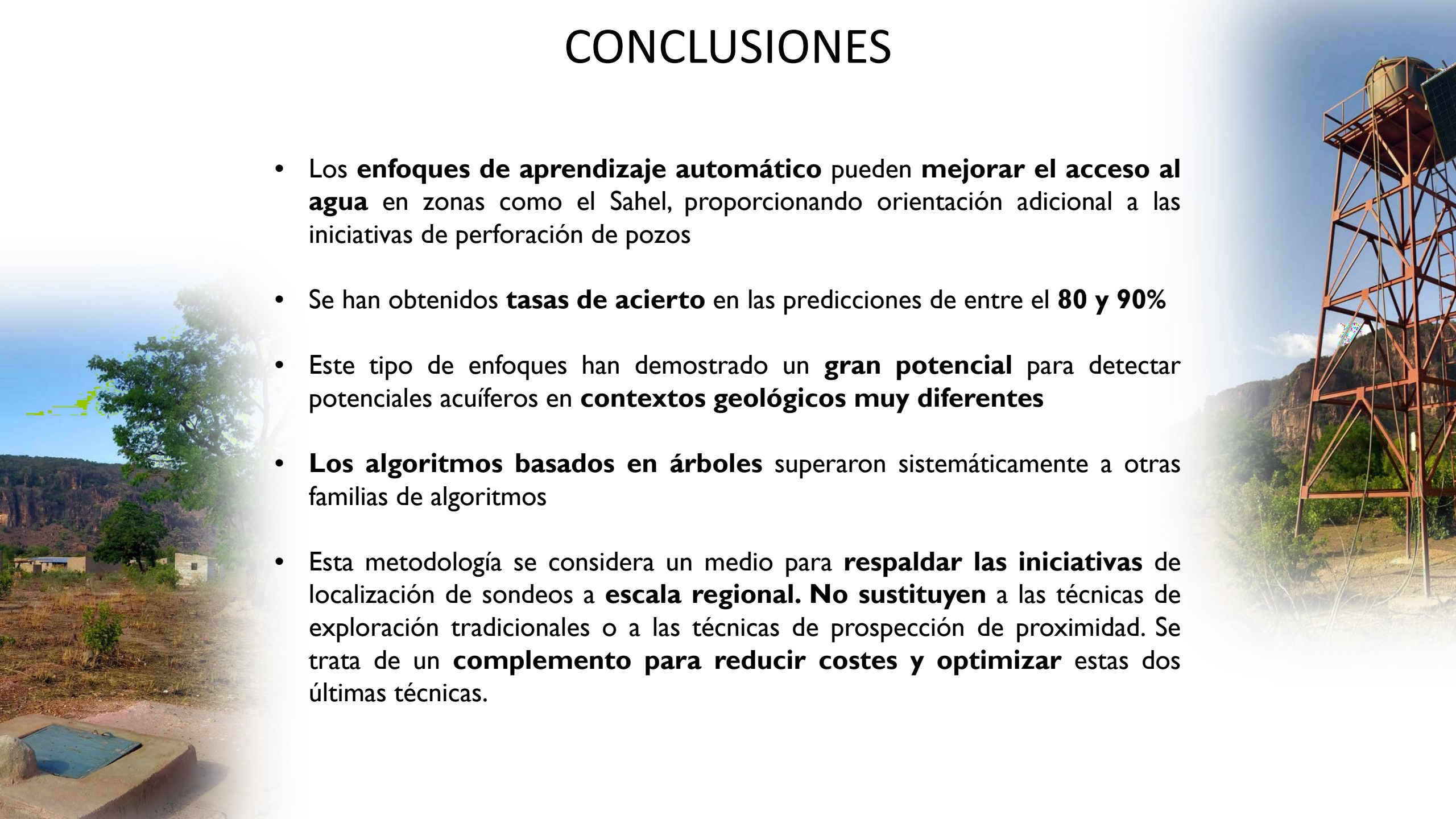


Martínez-Santos, P., Díaz-Alcaide, S., De la Hera-Portillo, A., & Gómez-Escalonilla, V. (2021). Mapping groundwater-dependent ecosystems by means of multi-layer supervised classification. *Journal of Hydrology*, 603, 126873.

Martínez-Santos, P., Aristizábal, H. F., Díaz-Alcaide, S., & Gómez-Escalonilla, V. (2021). Predictive mapping of aquatic ecosystems by means of support vector machines and random forests. *Journal of Hydrology*, 595, 126026.

CONCLUSIONES

- Los **enfoques de aprendizaje automático** pueden **mejorar el acceso al agua** en zonas como el Sahel, proporcionando orientación adicional a las iniciativas de perforación de pozos
- Se han obtenidos **tasas de acierto** en las predicciones de entre el **80 y 90%**
- Este tipo de enfoques han demostrado un **gran potencial** para detectar potenciales acuíferos en **contextos geológicos muy diferentes**
- **Los algoritmos basados en árboles** superaron sistemáticamente a otras familias de algoritmos
- Esta metodología se considera un medio para **respaldar las iniciativas** de localización de sondeos a **escala regional**. **No sustituyen** a las técnicas de exploración tradicionales o a las técnicas de prospección de proximidad. Se trata de un **complemento para reducir costes y optimizar** estas dos últimas técnicas.





Muchas gracias por su atención

Agradecimientos:

- Proyecto RTI2018-099394-B-I00 del Ministerio de Ciencia e Innovación
- Beca PRE2019-090026 del Ministerio de Ciencia e Innovación a través de la Agencia Estatal de Investigación



vigome01@ucm.es