III CONGRESO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2025

¿Cómo puede la hidrología isotópica contribuir a la gestión de los recursos hídricos en Guatemala?

Dr. Ricardo Sánchez-Murillo

The University of Texas at Arlington, TX, USA

09/02/2025

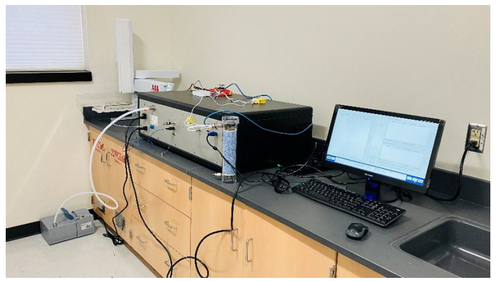
Agentes Catalíticos

‘**El cambio climático, la variabilidad climática interanual, las sequías recurrentes y las inundaciones (urbanas), junto con el aumento de la demanda hídrica**, están **modulando los sistemas socioeconómicos, políticos y culturales, las migraciones climáticas**, la necesidad de actualizar la **legislación hídrica y mejorar el acceso equitativo del agua en un contexto de gobernanza**’

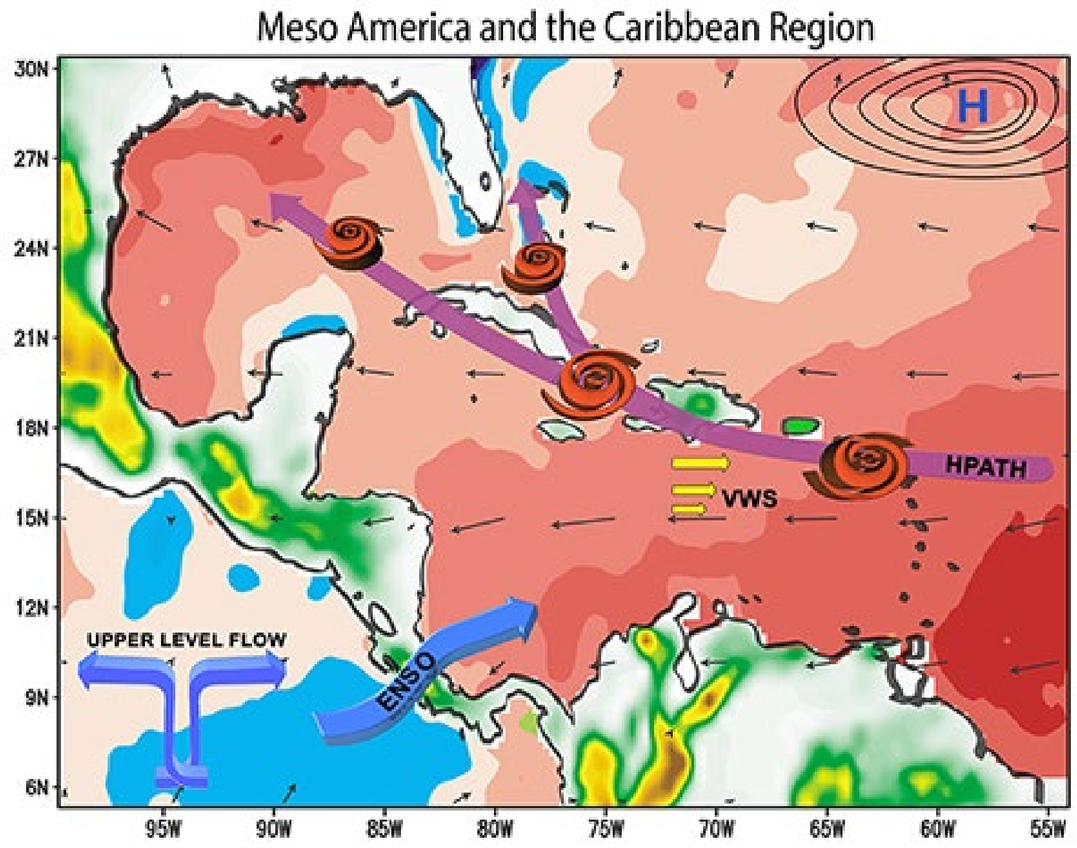
CC y uso del suelo → **Impactos hidrológicos** → **Monitoreo y modelación** → **Indicadores útiles** → **Desarrollo Curricular/ Capacitación** → **Legislación/ Gobernanza**








Motivación regional



Climate Change's Pulse Is in Central America and the Caribbean

Nations that border the Gulf of Mexico and Caribbean Sea are ideally placed for tracking the effects of global climate change and testing innovative ways to adapt to future changes.

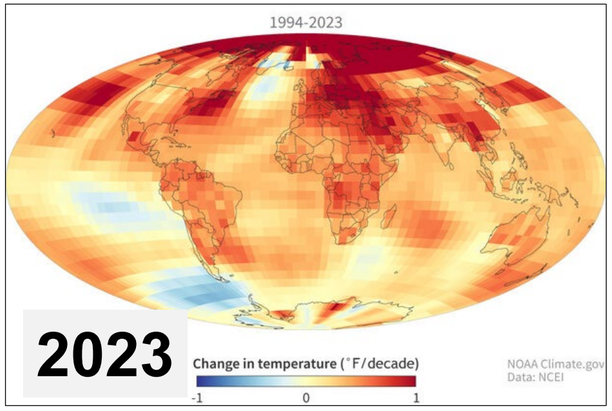












González et al. (2017). EOS; NOAA (2024).

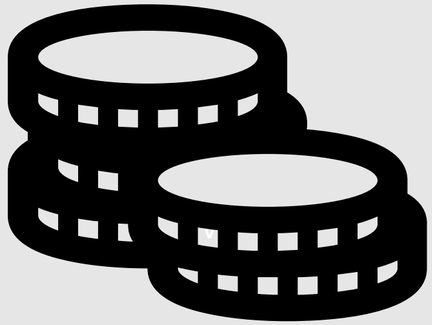
De la ausencia de datos/conocimiento a la política pública



VACÍOS DE CONOCIMIENTO E INFORMACIÓN (DATOS)



CONSENSO: ENTRE VISIONES Y DISCIPLINAS



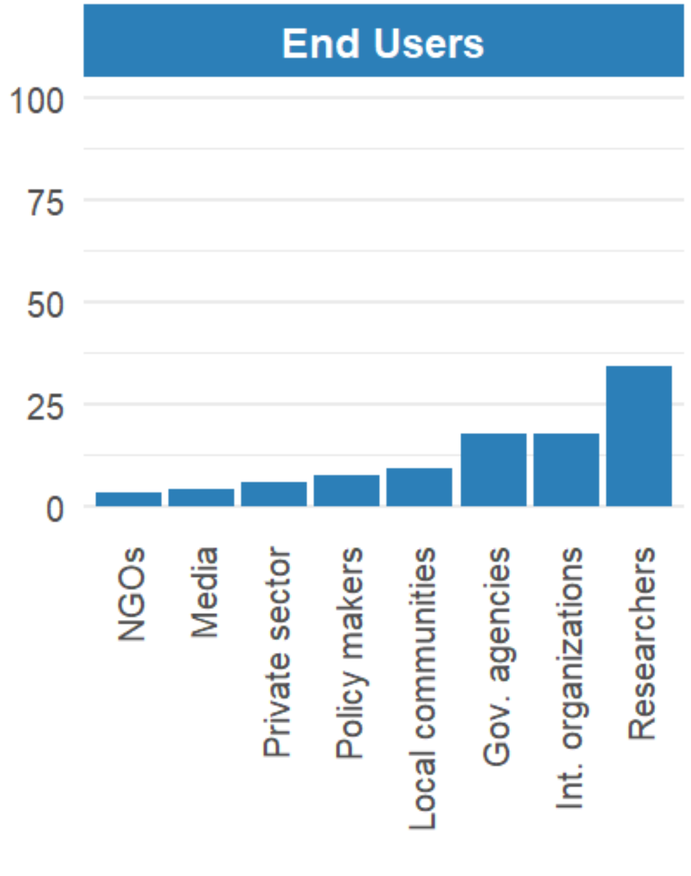
FINANCIAMIENTO

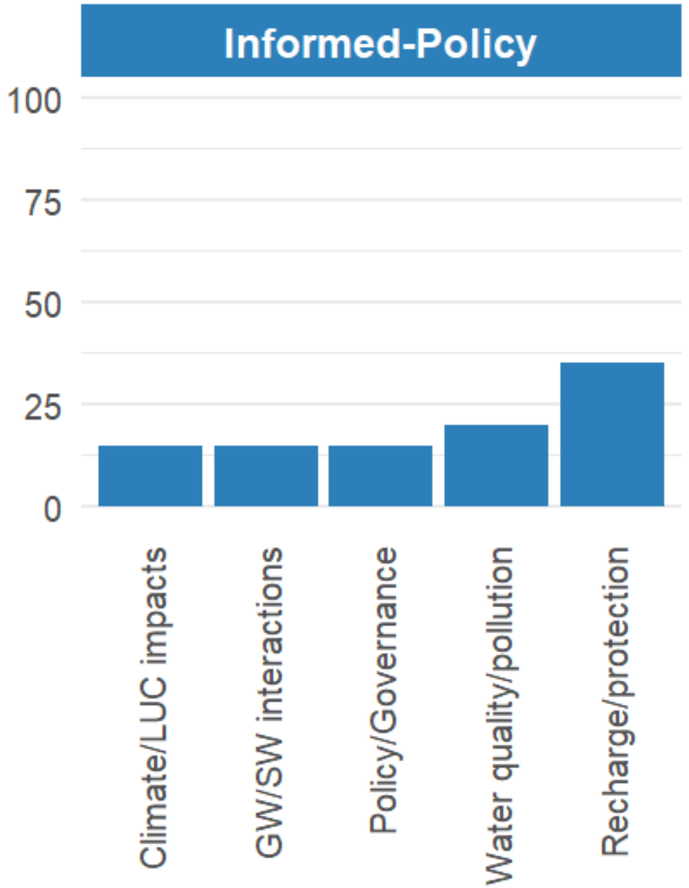


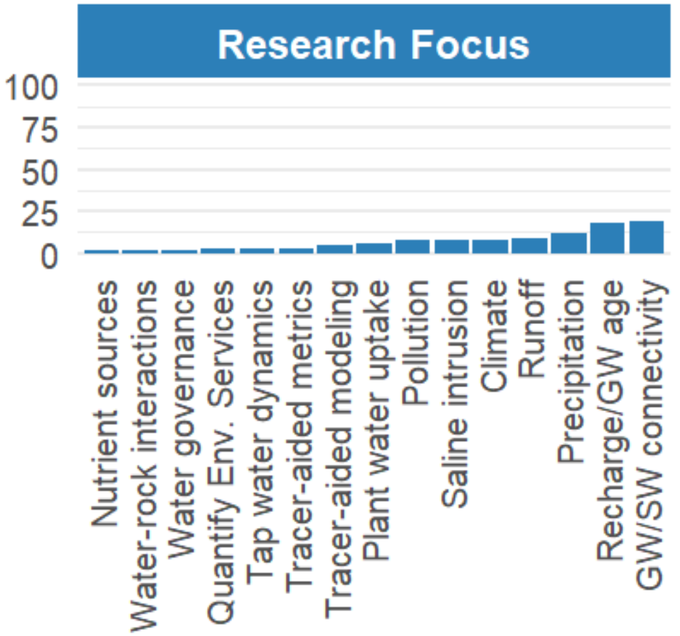
INDICADORES ÚTILES PARA LA GOBERNANZA (SDG6) Y ACCIÓN CLIMÁTICA

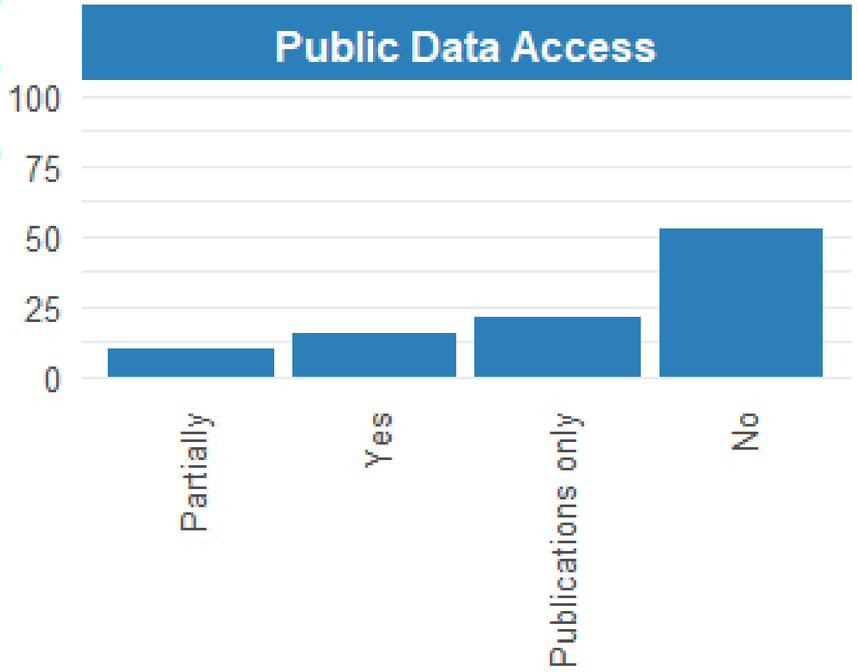
¿Cómo puede la hidrología isotópica servir a la gestión integral de los recursos hídricos?

Perspectiva en América Latina y el Caribe (N=45)

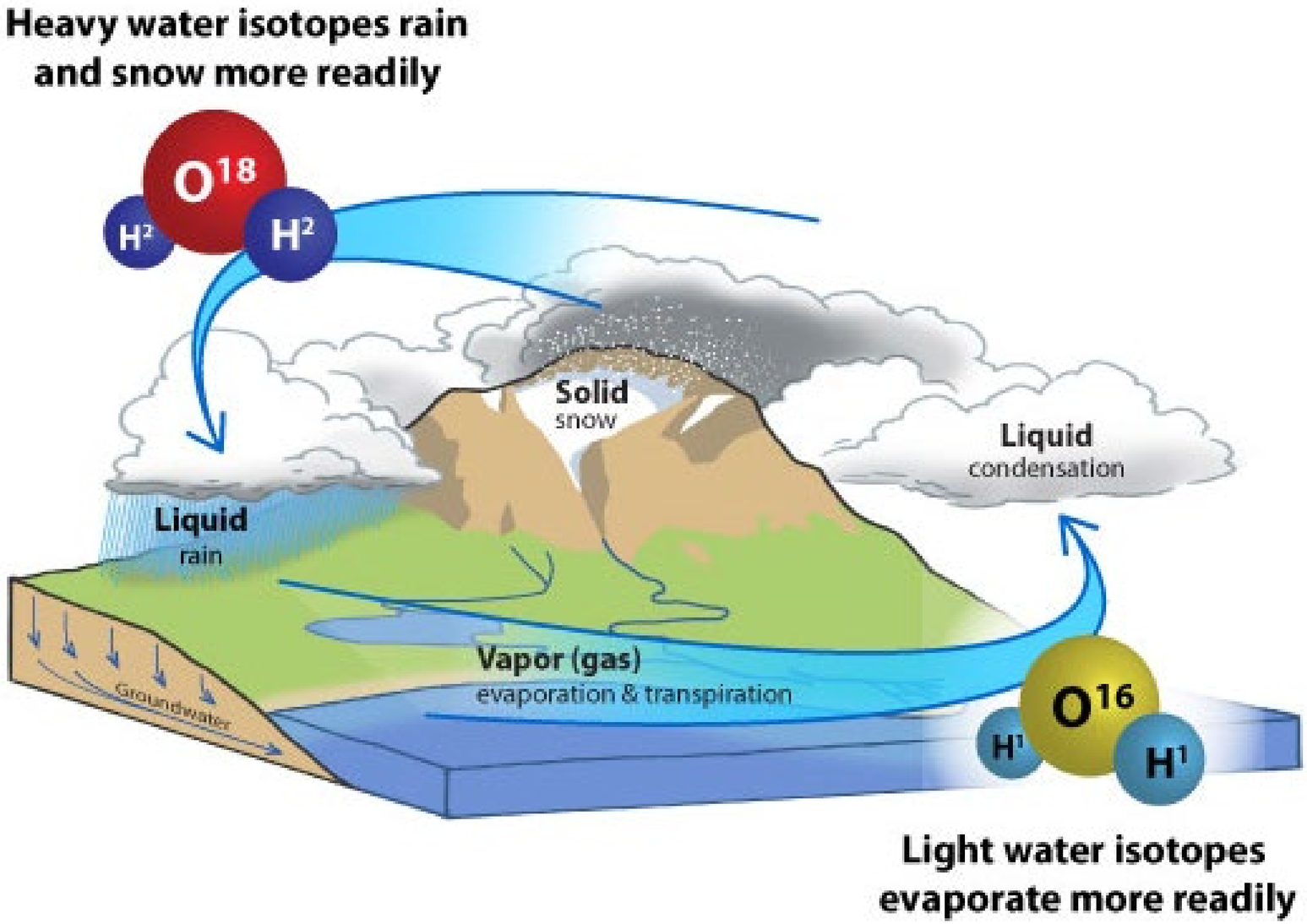








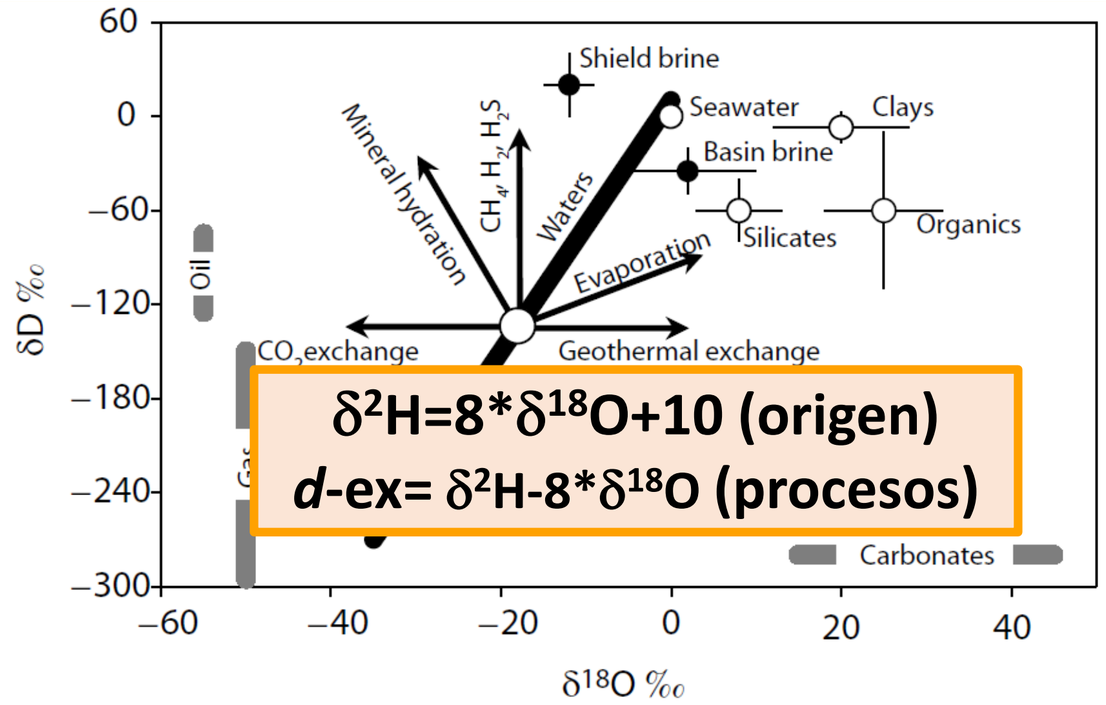
Isótopos Estables: 101



Variaciones Isotópicas ~ *f (temperatura, altitud, distancia desde el océano, cantidad de lluvia, tipo de precipitación, estacionalidad, eventos extremos).*

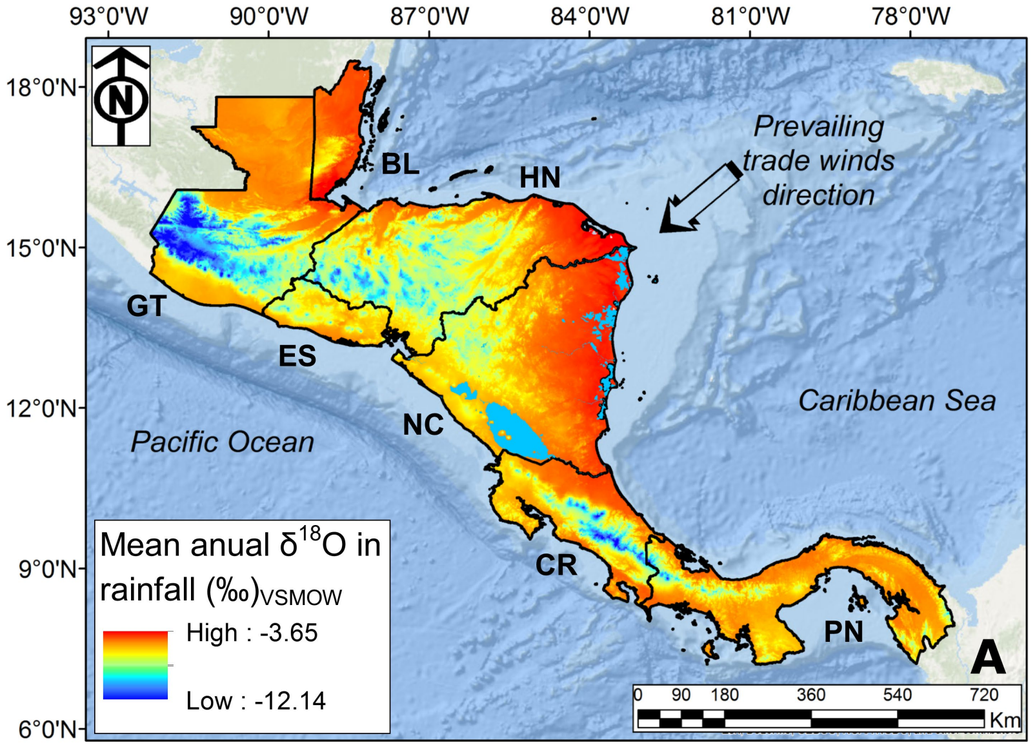
USGS: https://www.usgs.gov/media/images/water-cycle-and-water-isotopes Sánchez-Murillo et al. (2020). Frontiers in Earth Science Review.

Diagrama Dual & Gradiente Isotópico: 101



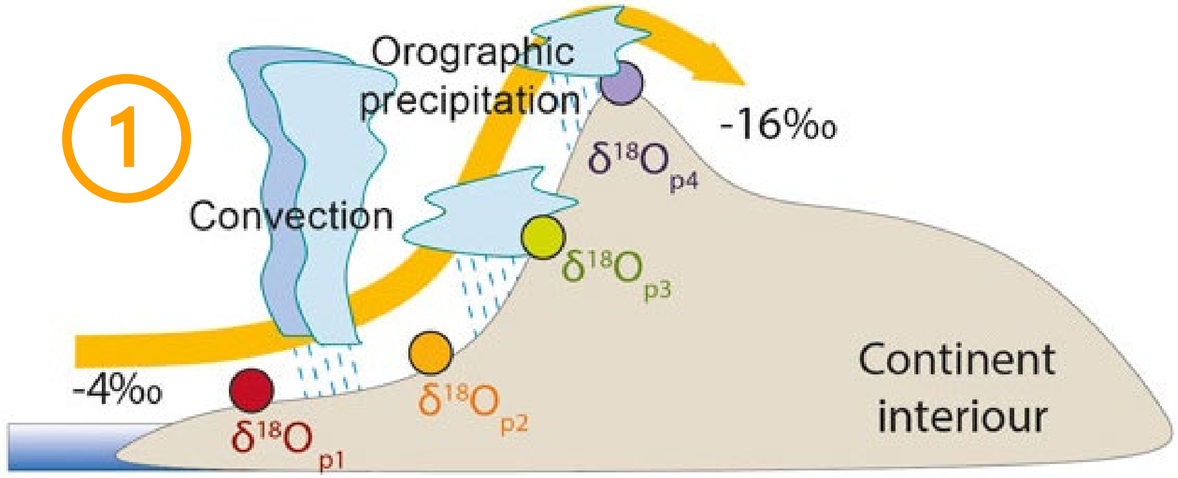
$\delta^2H = 8 * \delta^{18}O + 10$ (origen)

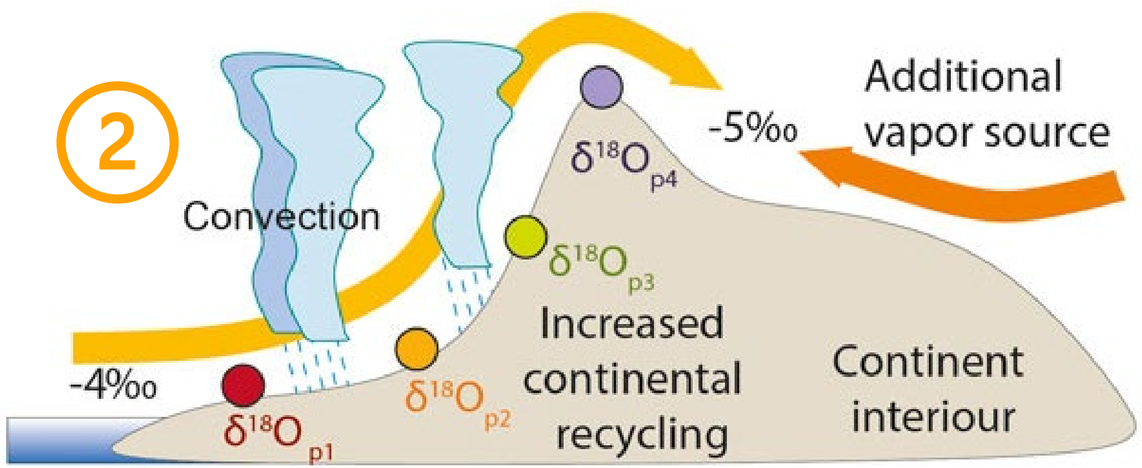
d-ex= $\delta^2H - 8 * \delta^{18}O$ (procesos)



3

$$\delta^{18}O = 0.078 \cdot LAT - 0.0023 \cdot ALT - 5.447$$





Clark, I. (2015). Groundwater Geochemistry and Isotopes. Botsyun, S., & Ehlers, T. A. (2021). Frontiers in Earth Science. Sánchez-Murillo et al., 2020. HYP.

Aplicaciones

Geophysical Research Letters

Research Letter | Free Access

Groundwater recharge mechanisms inferred from isoscapes in a complex tropical mountainous region

Ricardo Sánchez-Murillo, Christian Birkel

First published: 11 May 2016 | https://doi.org/10.1002/2016GL068888 | Citations: 77

SECTIONS PDF TOOLS SHARE

ELSEVIER

Science of The Total Environment

Volume 844, 20 October 2022, 156941



Water stable isotopes reveal a complex rainfall to groundwater connectivity in central Honduras

S. García-Santos [a], R. Sánchez-Murillo [b], T. Peña-Paz [c], M.J. Chirinos-Escobar [a], J.O. Hernández-Ortiz [c], E.J. Mejía-Escobar [a], L. Ortega [d]

Hydrological Processes

RESEARCH ARTICLE

Tracer hydrology of the data-scarce and heterogeneous Central American Isthmus

Ricardo Sánchez-Murillo, Germain Esquivel-Hernández, José L. Corrales-Salazar, Laura Castro-Chacón, Ana M. Durán-Quesada, Manuel Guerrero-Hernández, Valeria Delgado ... See all authors

First published: 08 April 2020 | https://doi.org/10.1002/hyp.13758 | Citations: 16

PLOS Water

Publish About Browse

OPEN ACCESS PEER-REVIEWED

RESEARCH ARTICLE

Tracing isotope precipitation patterns across Mexico

Ricardo Sánchez-Murillo, Luis González-Hita, Miguel A. Mejía-González, Blanca Carteño-Martinez, Juan C. Aparicio-González, Dustin Mañón-Flores, Lucía Ortega, Milica Stojanovic, Raquel Nieto, Luis Gimeno

Published: October 11, 2023 • https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000136

ANNALS OF THE NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES

ORIGINAL ARTICLE | Open Access

Stable isotope tempestology of tropical cyclones across the North Atlantic and Eastern Pacific Ocean basins

Ricardo Sánchez-Murillo, Dimitris A. Herrera, Kegan K. Farrick, Germain Esquivel-Hernández, Rolando Sánchez-Gutiérrez, Javier Barberena-Moncada, Jorge Guatemala-Herrera ... See all authors

First published: 19 December 2024 | https://doi.org/10.1111/nyas.15274

Metodología

Precipitación

GNIP (IAEA)
N=143 (2018-2021)
Altitud=(10-1,578m)
Frecuencia=mensual

FUNCAGUA
N=43 (2023-2024)
Altitud=1,241-1,879m
Frecuencia=mensual

Agua subterránea

FUNCAGUA (Pozos)
N=195 (Marzo, 2023 a Julio, 2024)
Profundidad=70-676m
Altitud=1,022-2,110m

FUNCAGUA (Manantiales)
N=23 (Marzo, 2023 a Julio, 2024)
Altitud=1,212-2,260m

Región Metropolitana

Municipios: Guatemala, Mixco, Chinautla, Sta. Catalina Pinula, Petapa, Amatitlán, Villa Canales, Villanueva, San Lucas

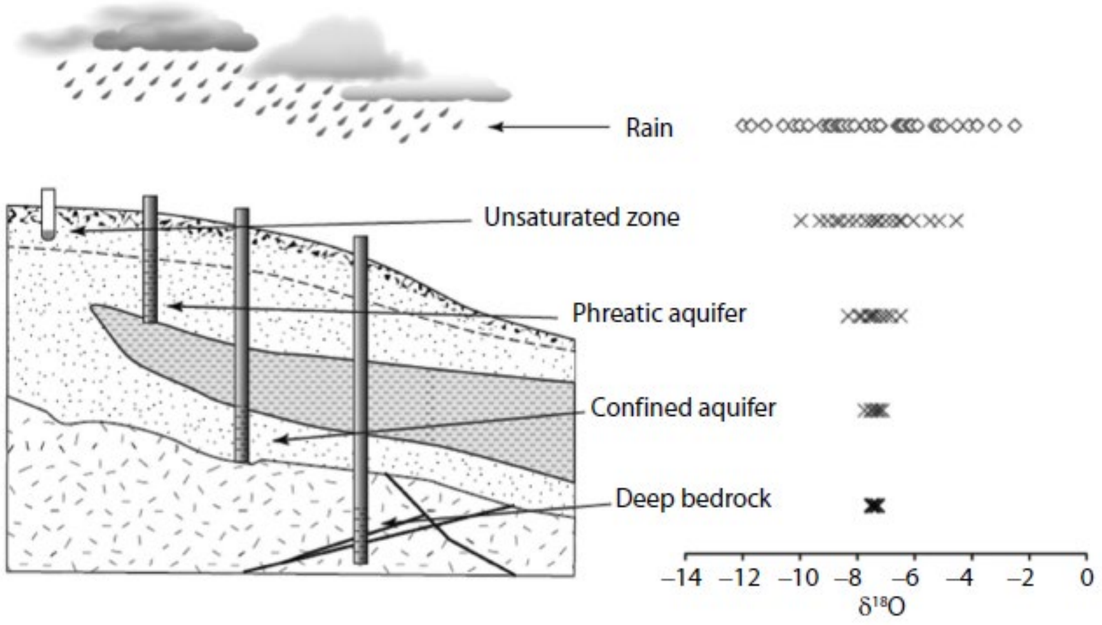
Departamentos: Guatemala & Sacatepéquez

Análisis Isotópico

Tracer Hydrology Group, University of Texas at Arlington
$13,000 (Q 100,000)

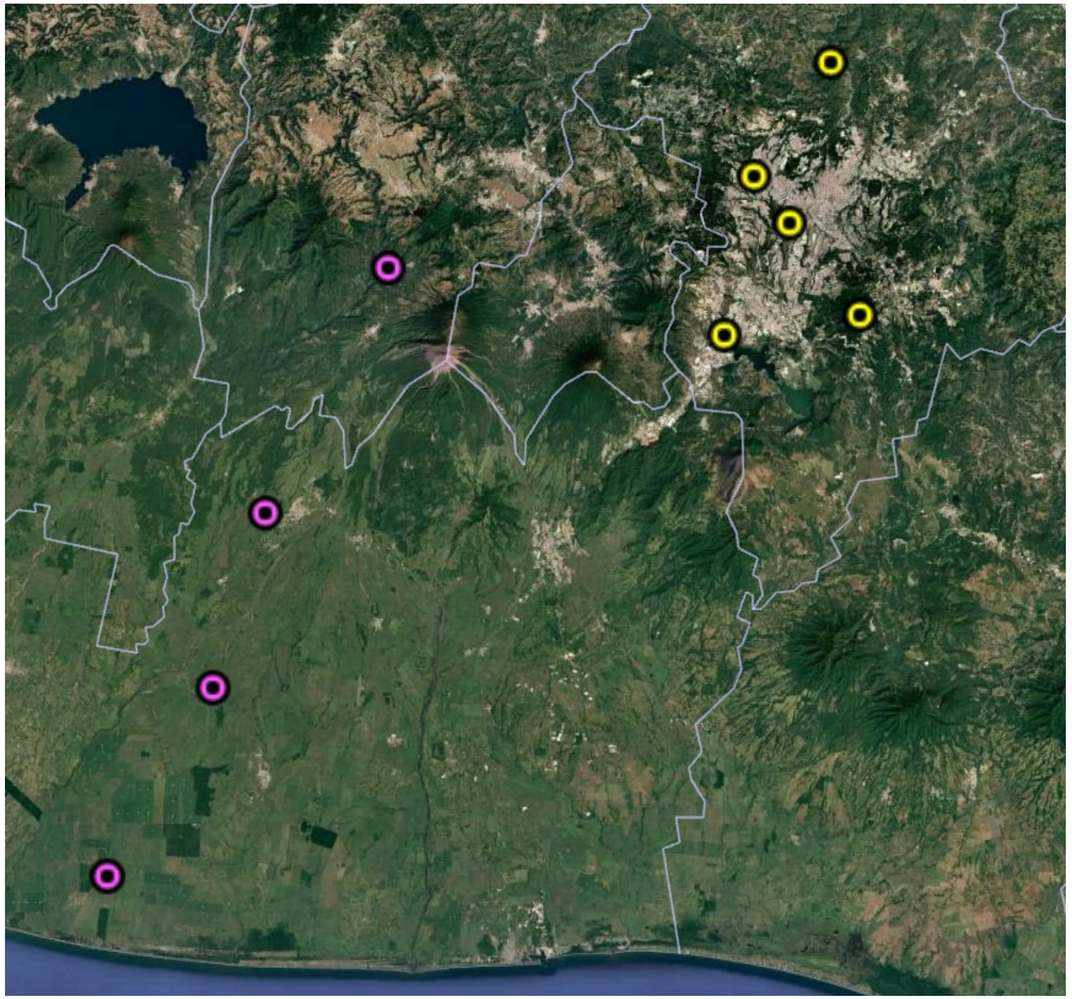
Análisis **estadístico y espacial (SIG disponible)**

Caudal base (estiaje)



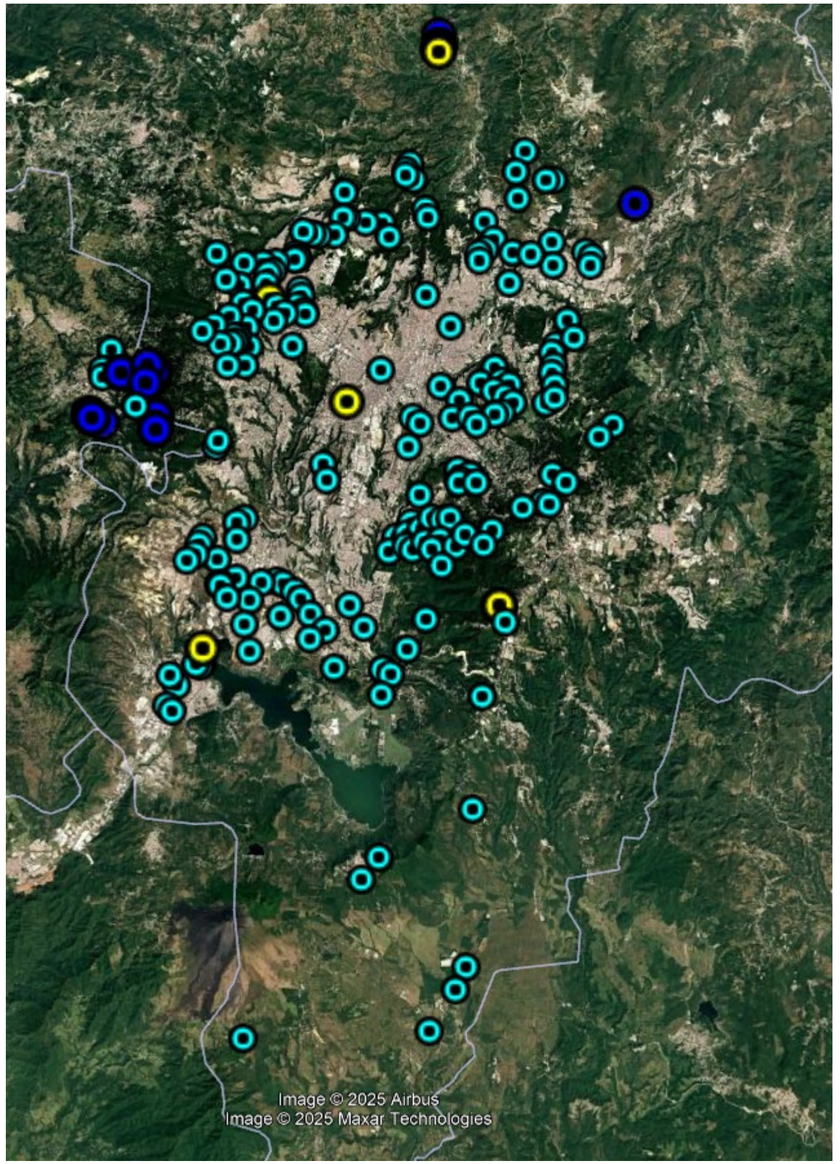
Metodología

Precipitación



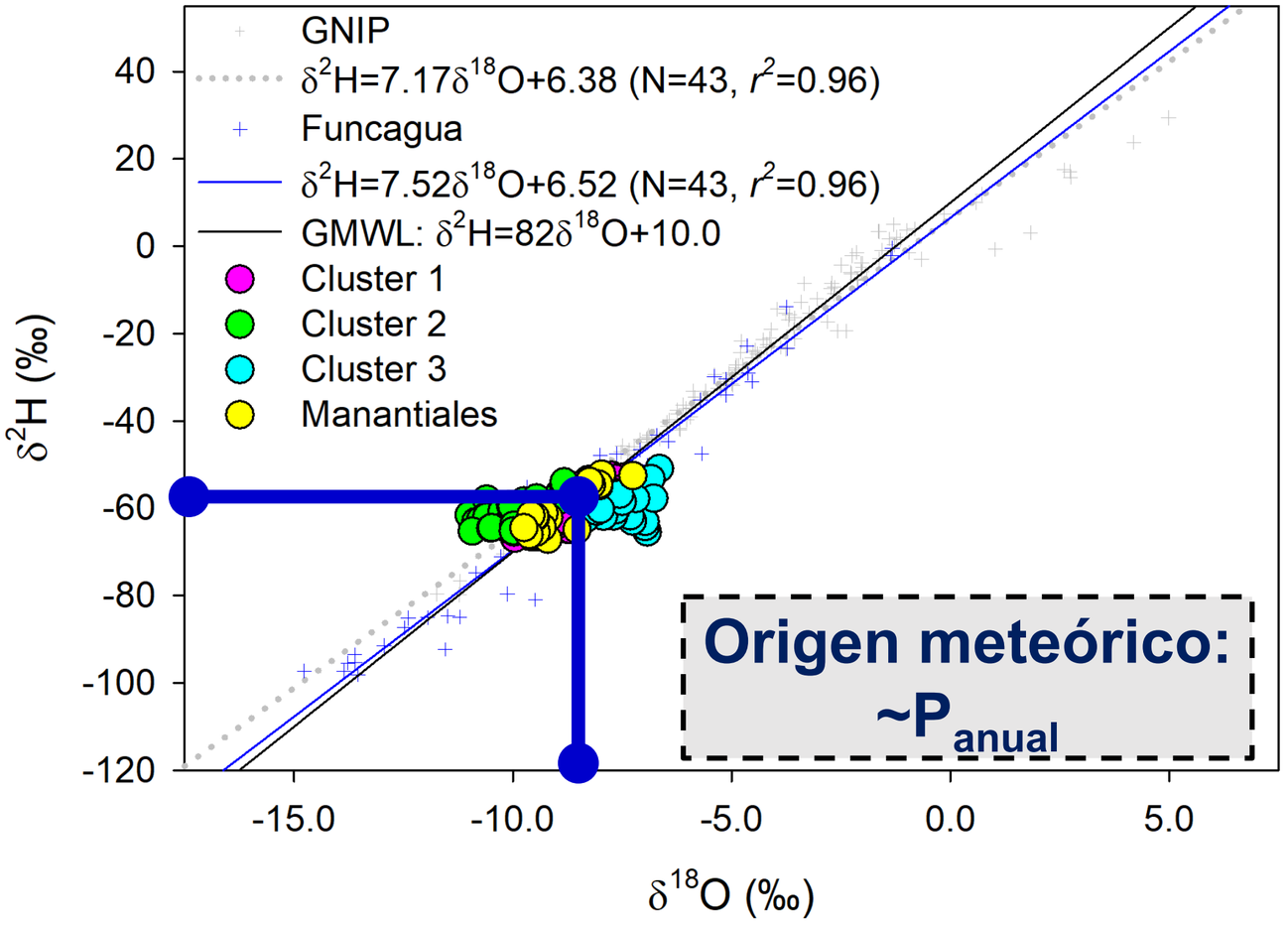
GNIP Funcagua

Pozos & Manantiales



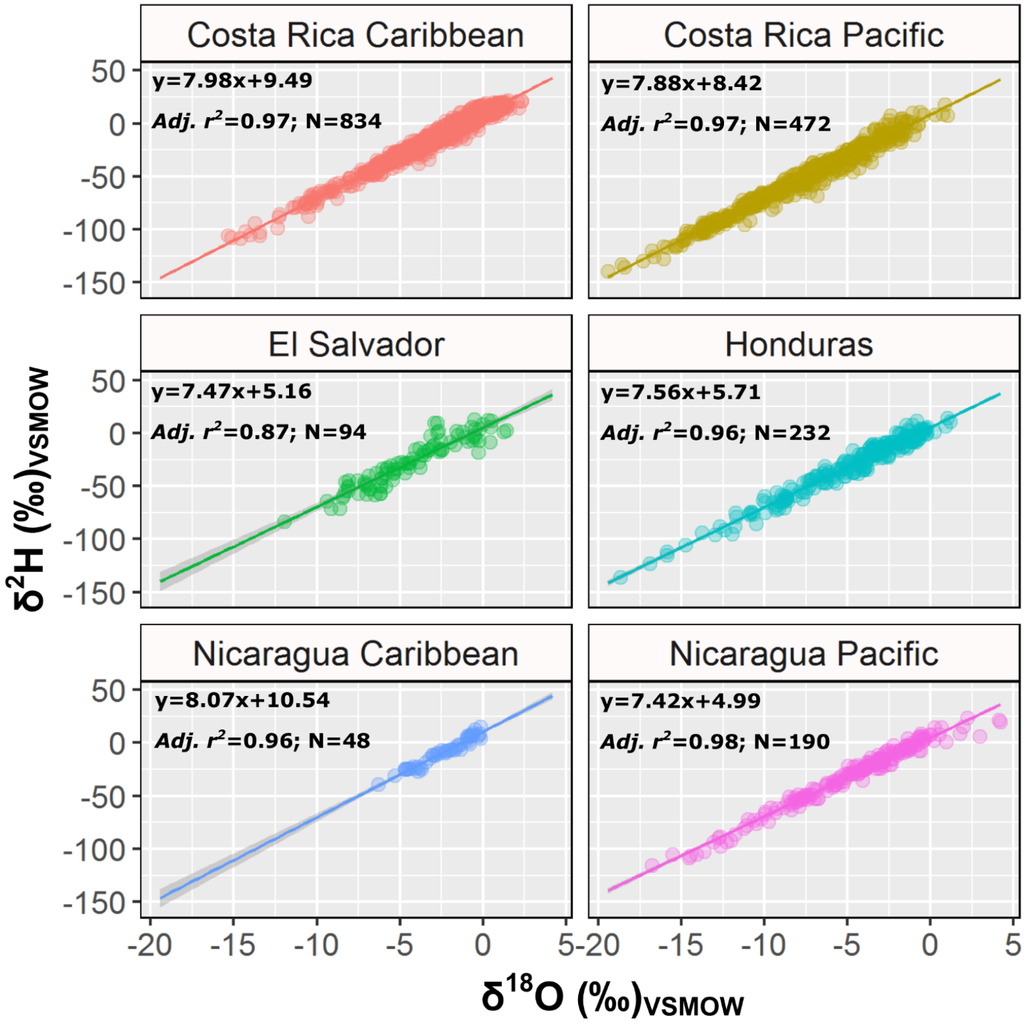
Manantiales Pozos

Líneas Meteóricas



Origen meteórico: ~P_{anual}

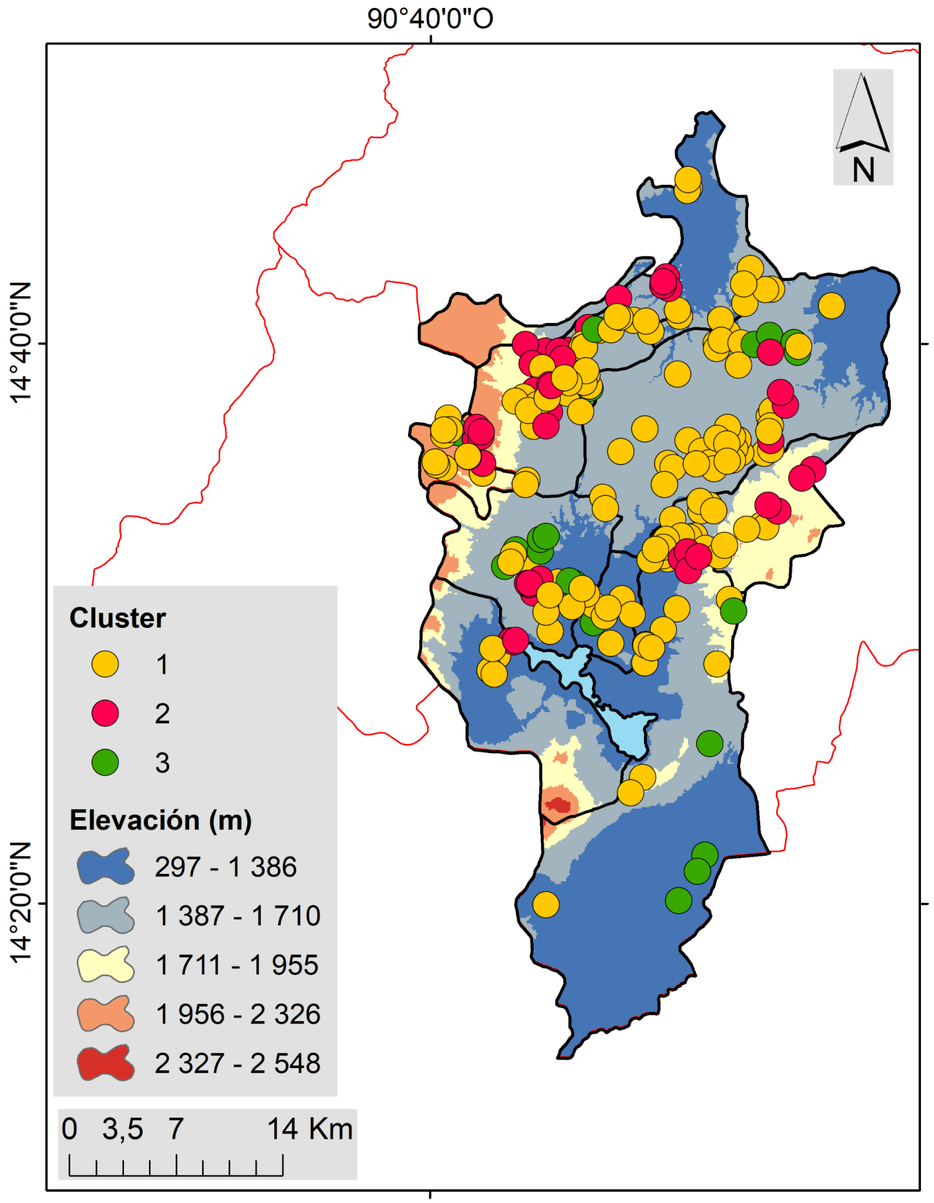
Similitud con LMWLs en la región

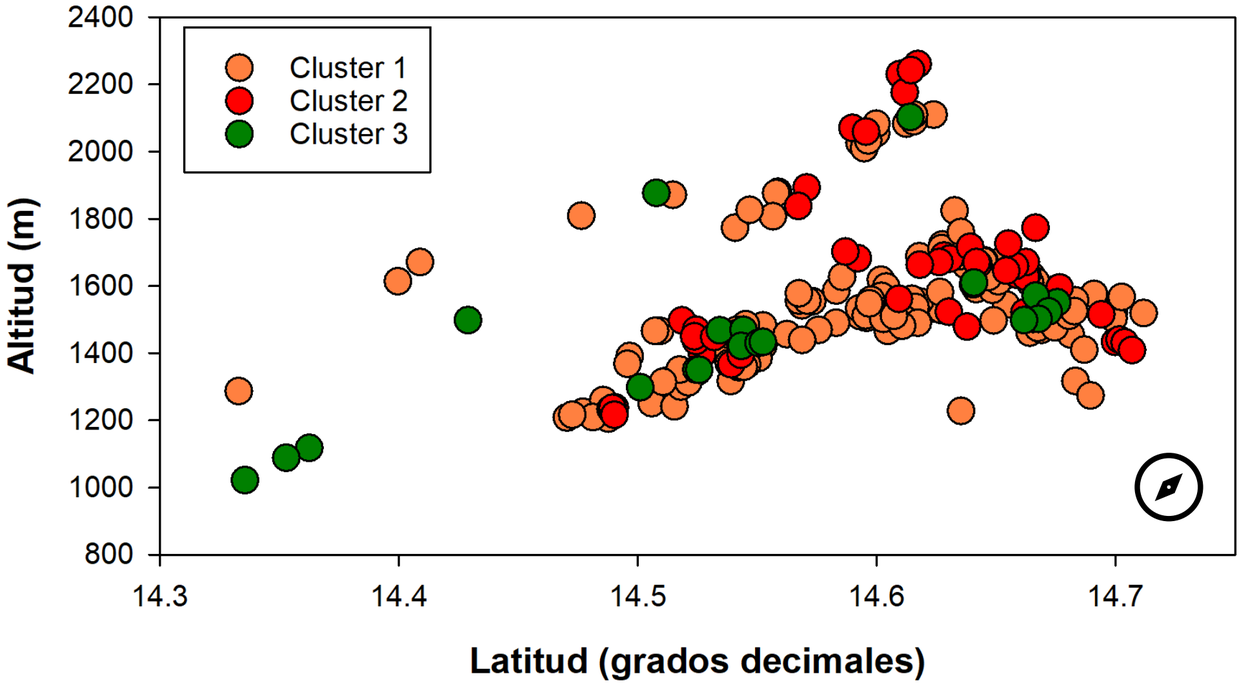


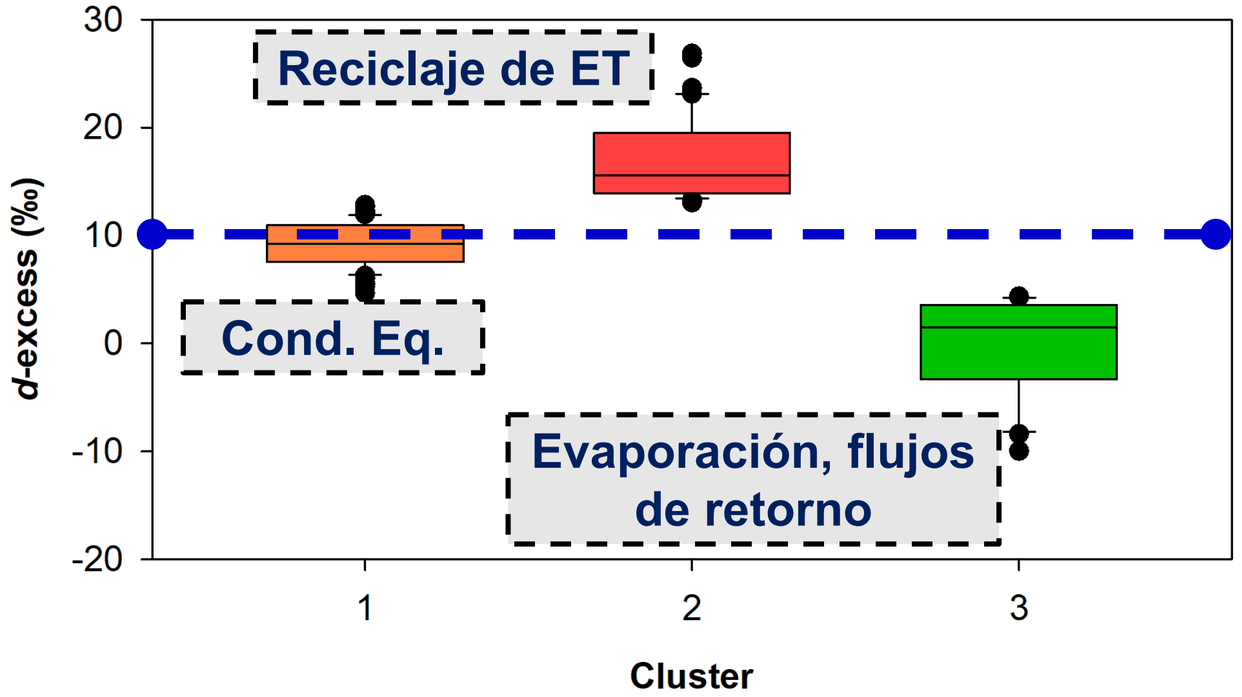
Rangos en $\delta^{18}O$ (-15‰ *a* + 5‰)

Sánchez-Murillo et al., 2020. HYP.

Variación Espacial

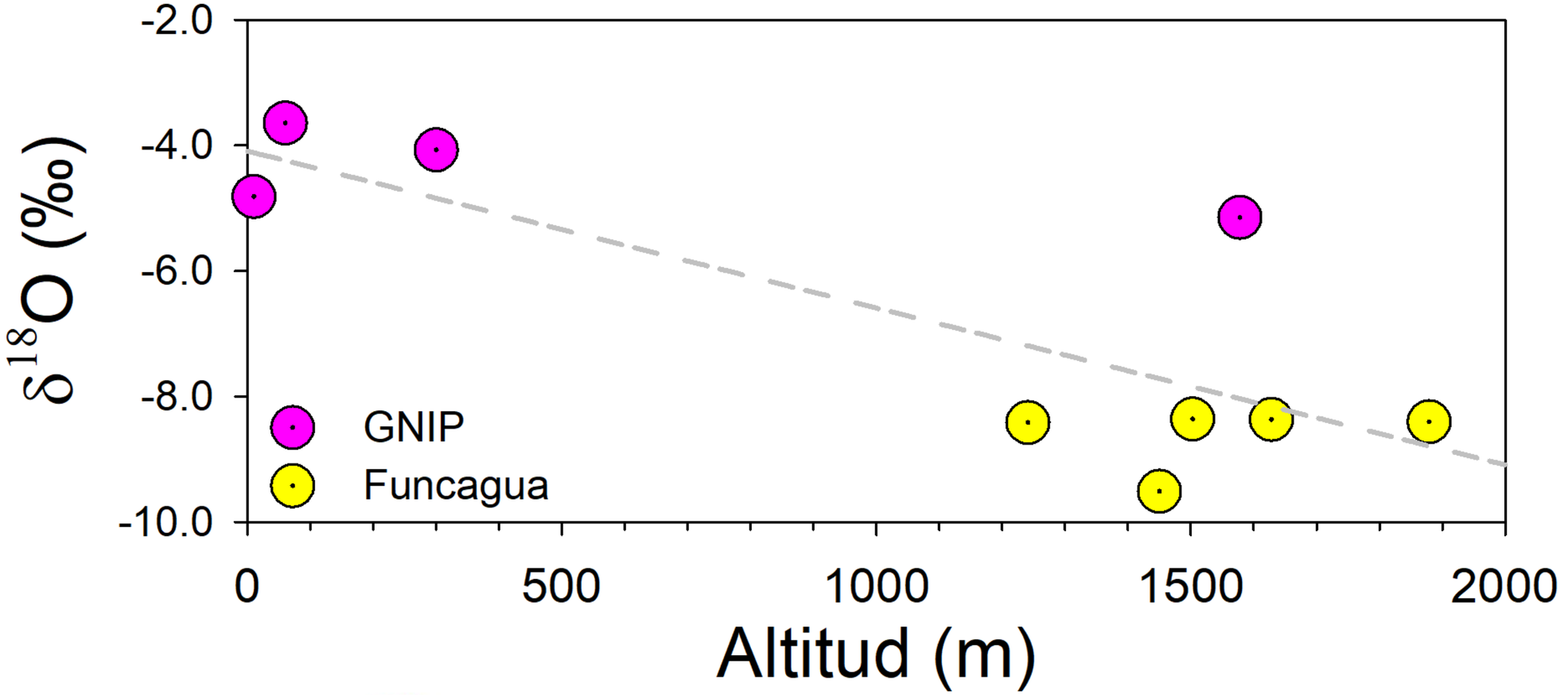


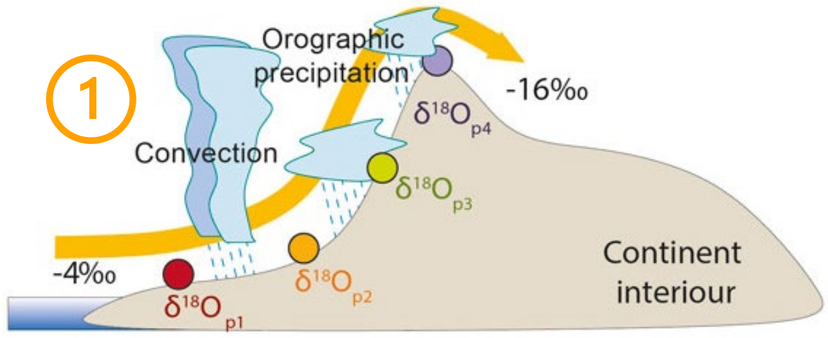


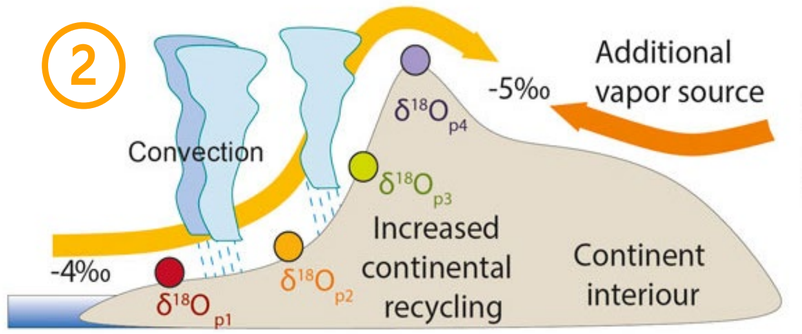


Variación Altitudinal

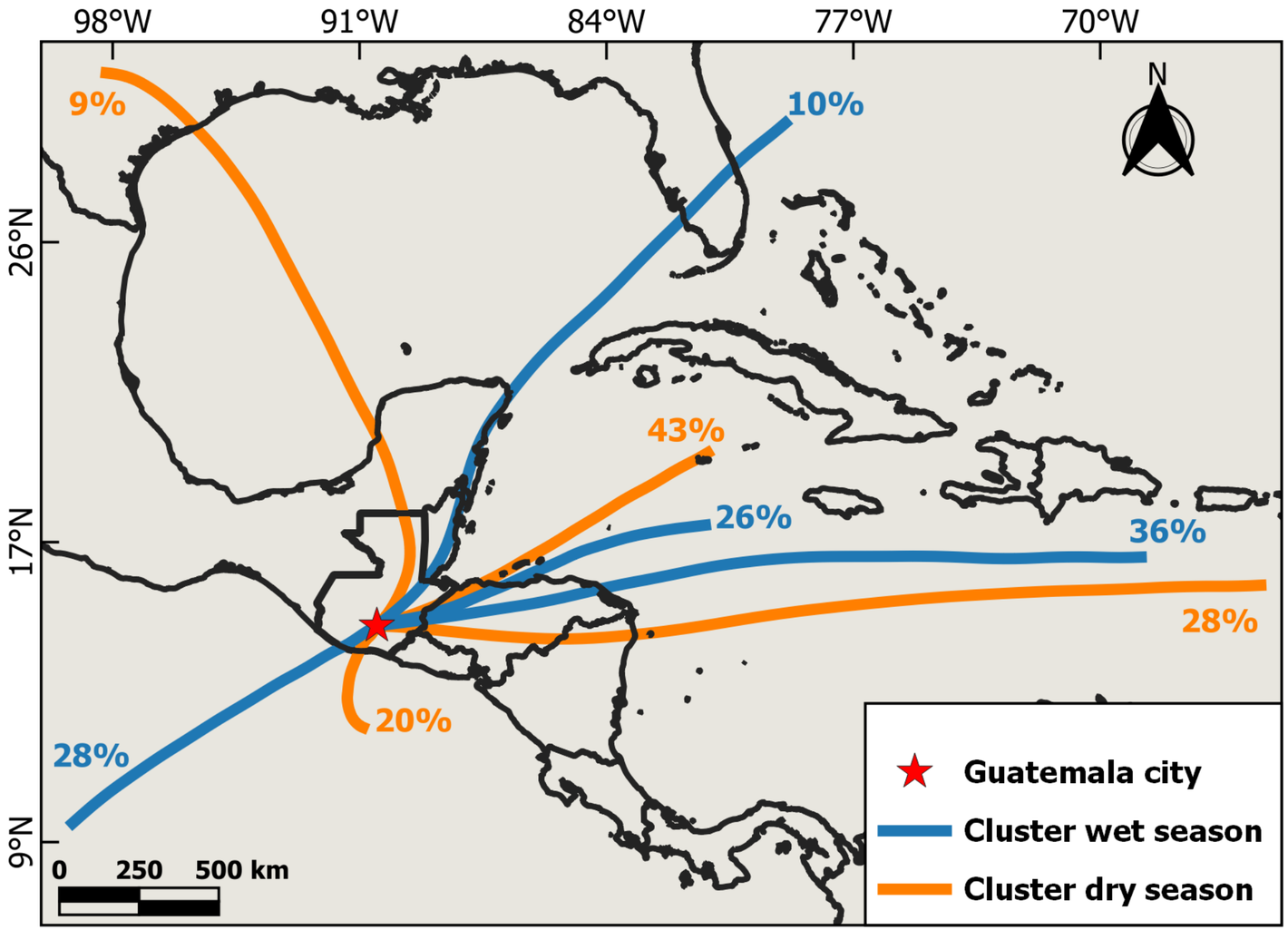
$\delta^{18}O$=-0.0025**Alt*-4.09 (r^2=0.64)

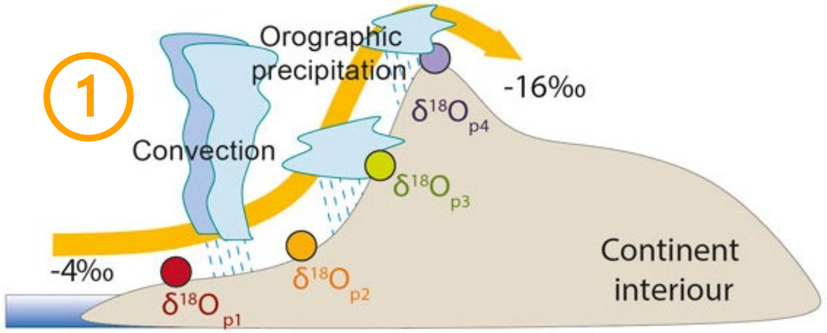


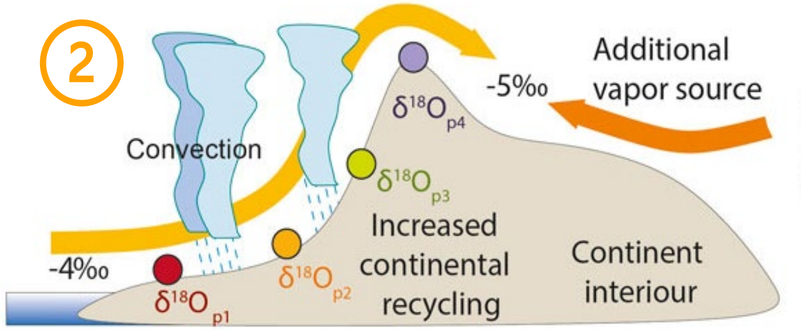




Transporte de humedad

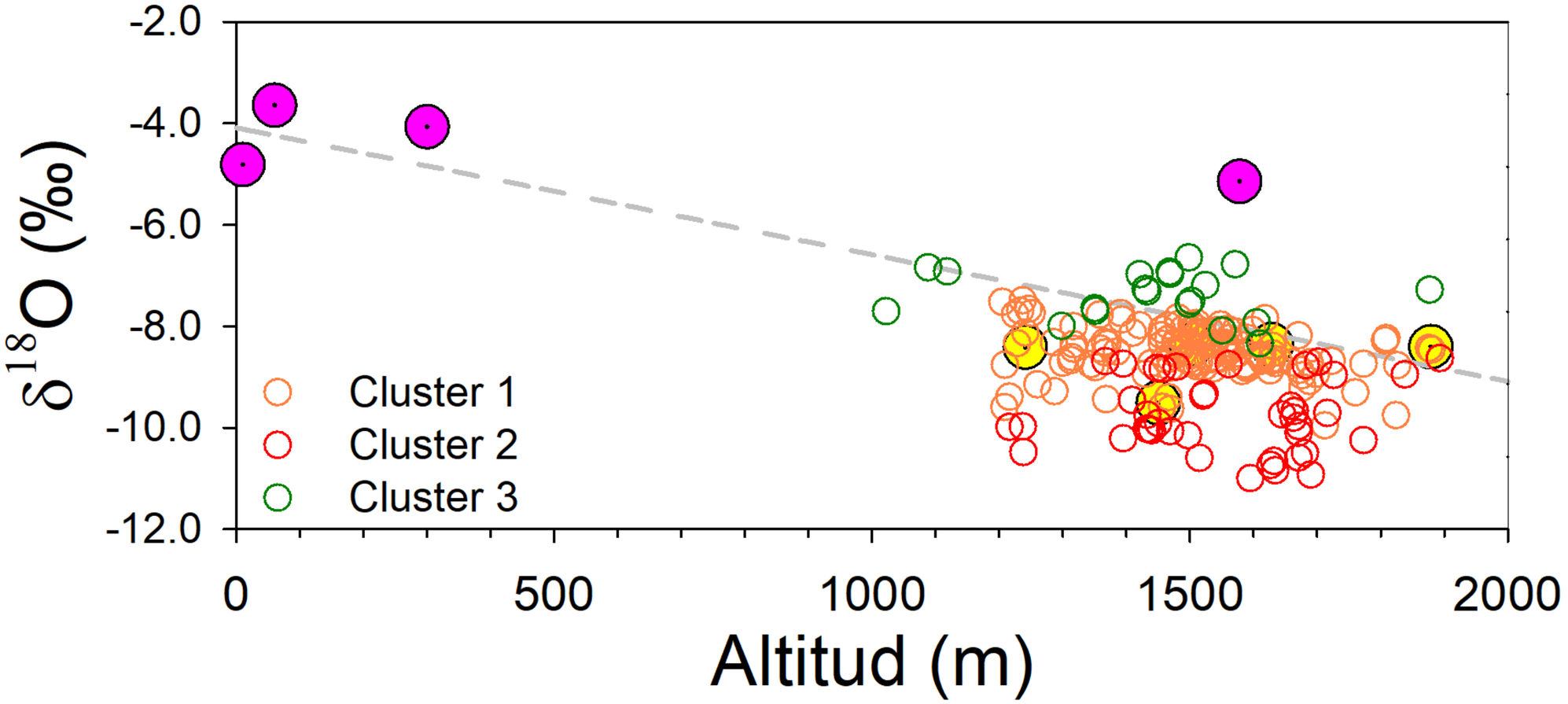


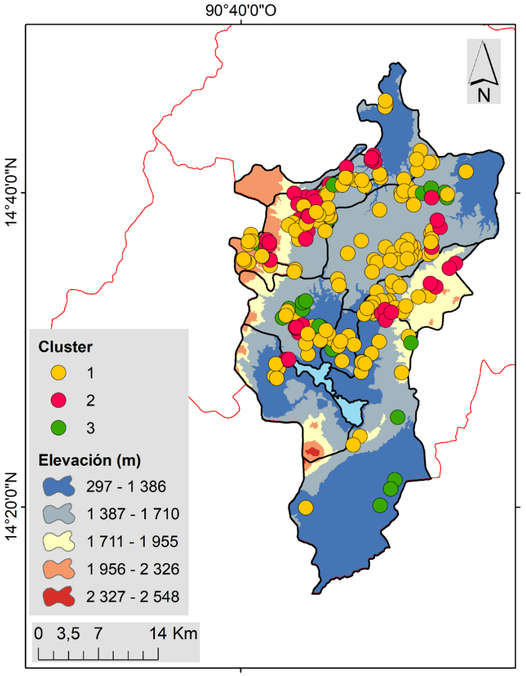


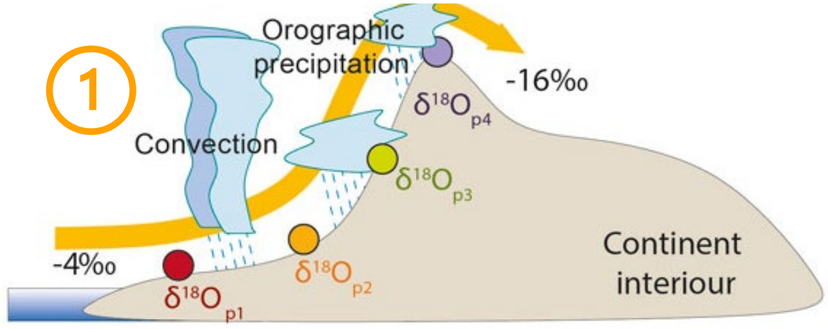


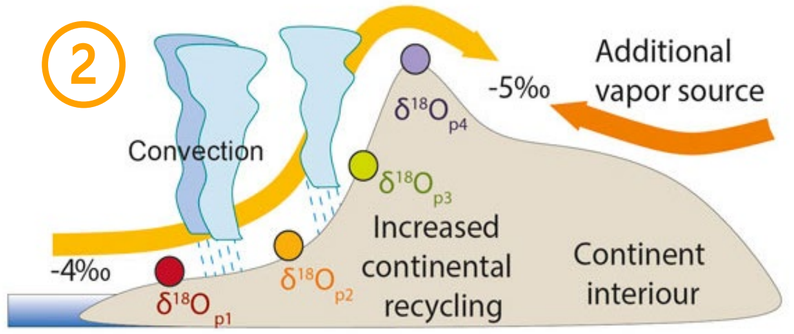
Variación Altitudinal

$\delta^{18}O$=-0.0025*Alt-4.09 (r^2=0.64)

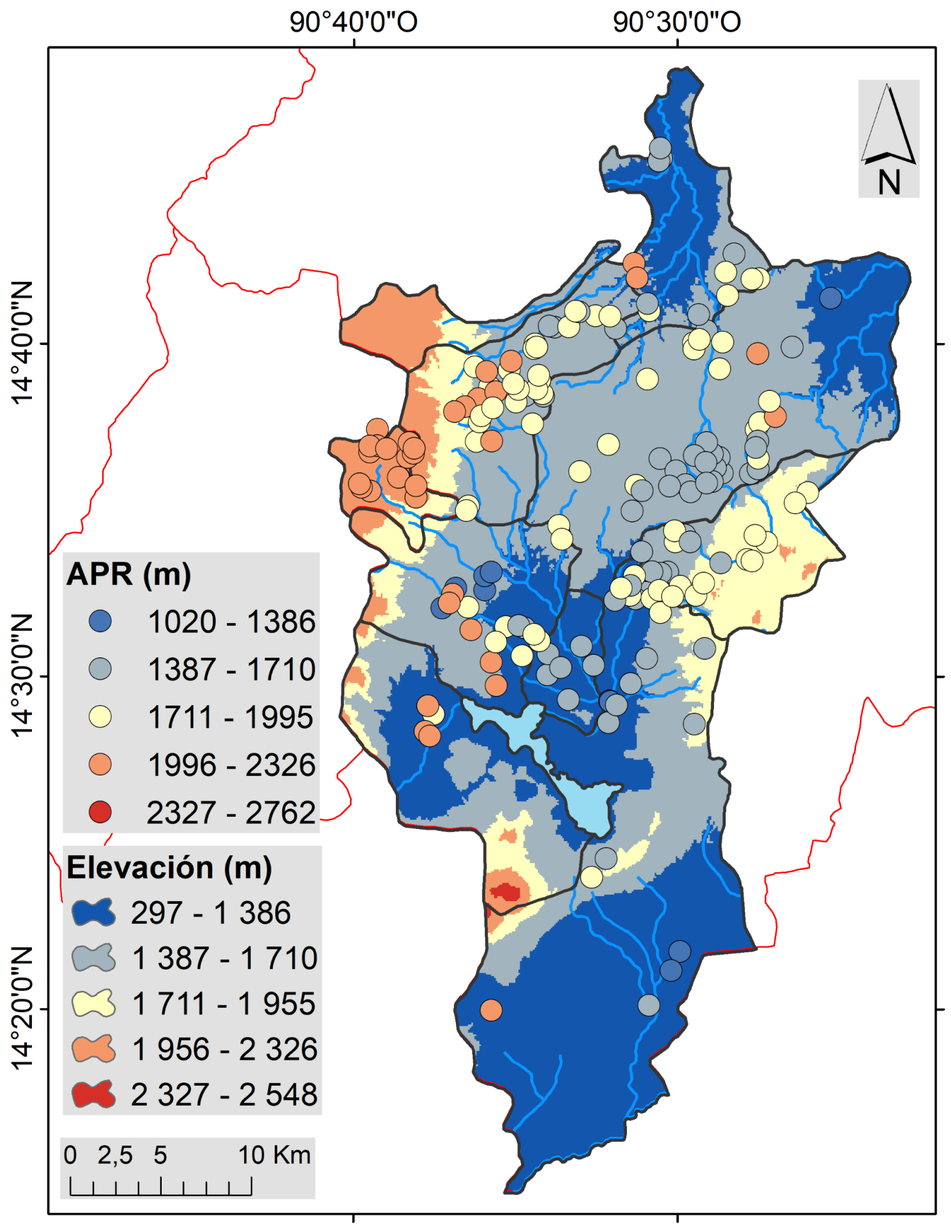






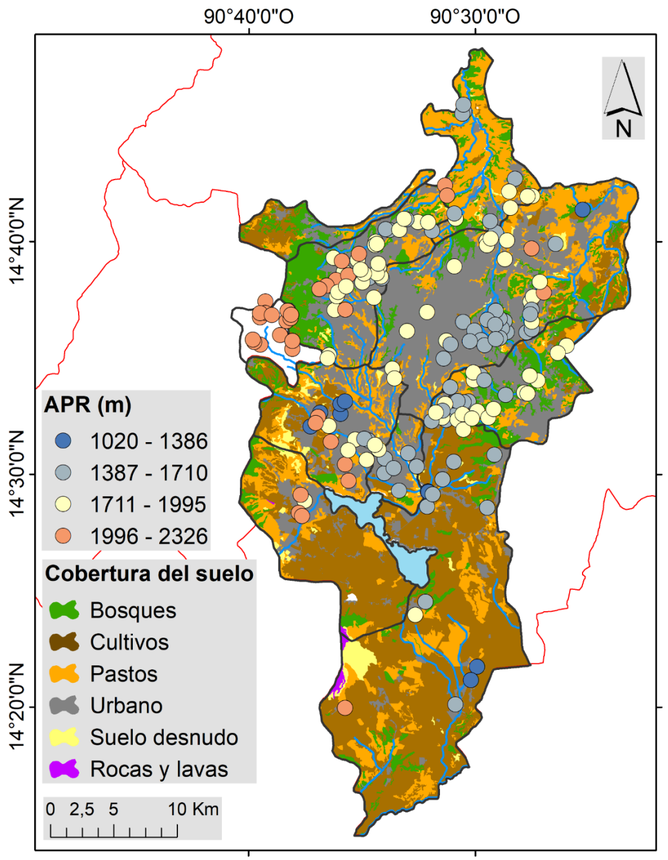


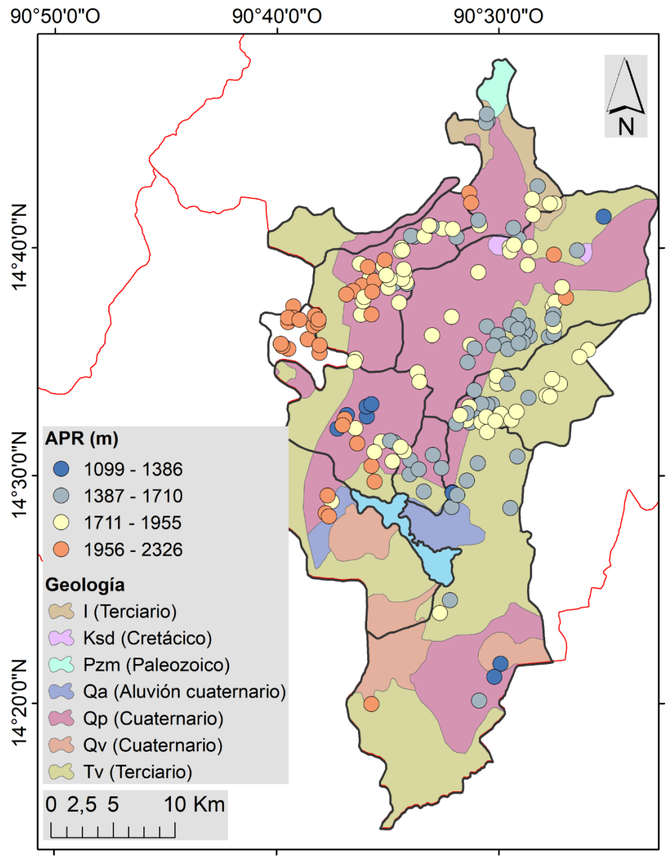
Alturas Potenciales de Recarga



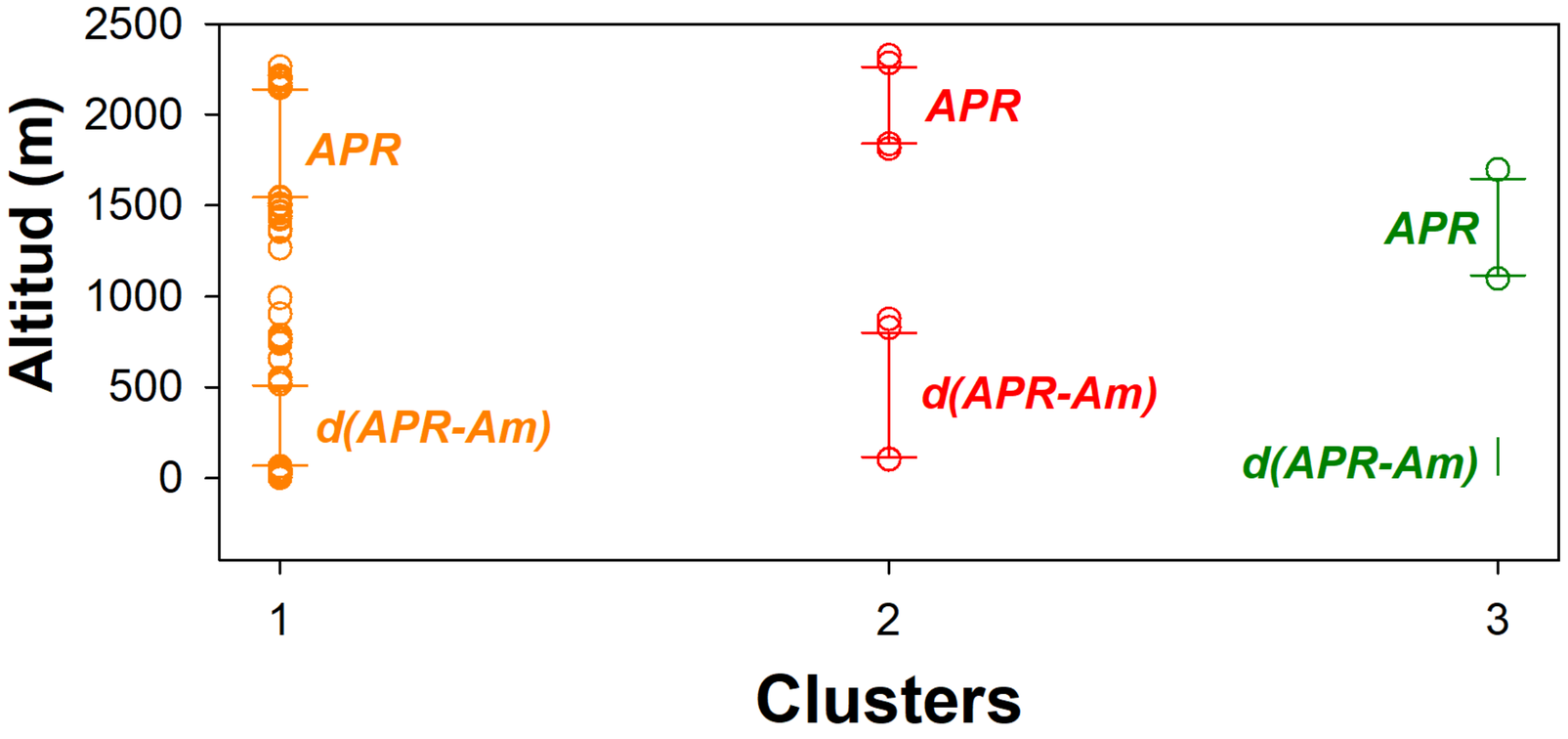
Pozos: APR (90%). APR-Cuenca (76%)

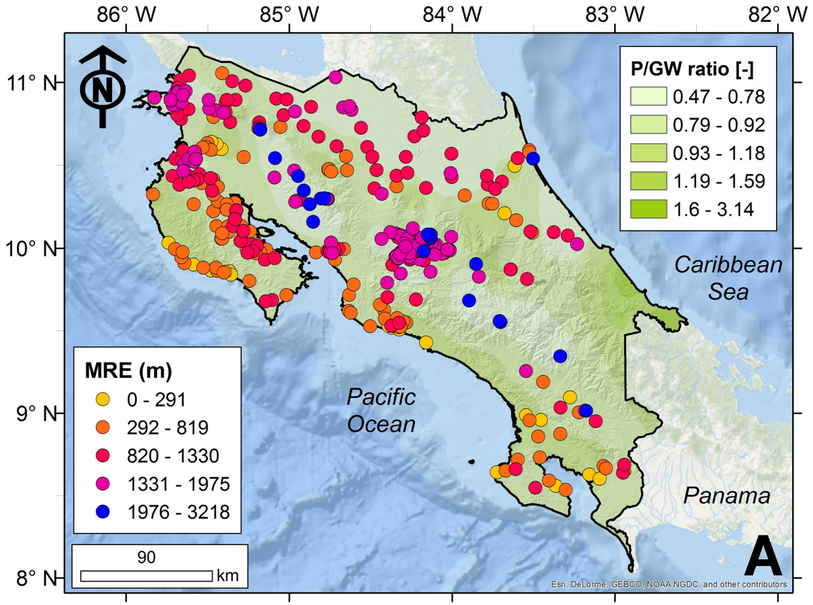
Manantiales: APR (61%). APR-Cuenca (57%)

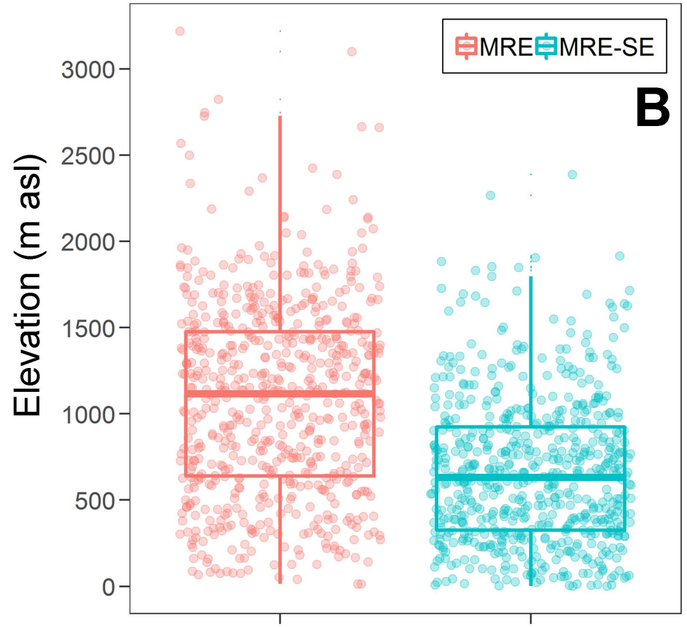




Desproporcionalidad (recarga vs. uso)







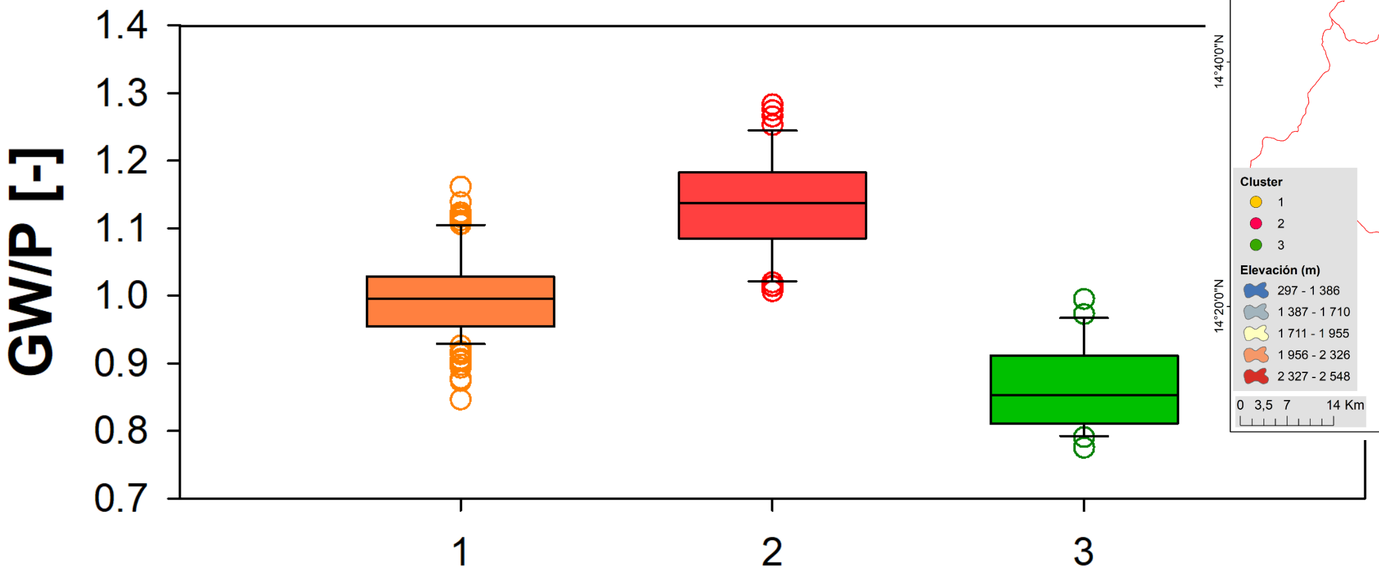
Dependencia de recarga a mayor altura y local

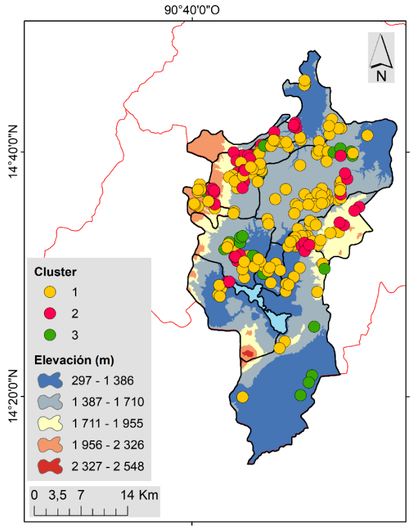
Sánchez-Murillo et al. (2020), Frontiers in Earth Science.

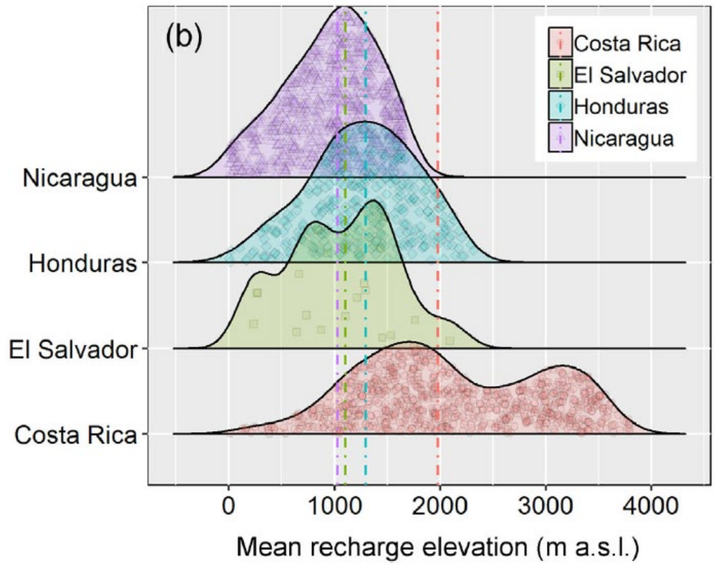
Sánchez-Murillo et al. (2020), HYP.

Desproporcionalidad (recarga vs. uso)

- **GW/P ~ 1** : alta connectividad
- **GW/P < 1** : Evaporación, flujos de retorno más enriquecidos
- **GW/P > 1** : recarga en zonas más altas







a) recharge in highland areas **(72.3%)**, **(b)** rapid recharge via preferential flow paths **(13.1%)**, and **c)** matrix slow recharge or return flows **(14.6%)**.

Conclusiones

- Las composiciones isotópicas muestran **concordancia con el espectro regional** reportado en estudios previos.
- Basado en el exceso de deuterio (*d-ex*) se identificaron tres grupos: **1) condiciones meteóricas, 2) alto reciclaje de humedad y 3) condiciones de enriquecimiento.**
- El método de APR fue efectivo en un **76% y 56% de pozos y manantiales**, respectivamente.
- Las APRs tienen un rango entre **~1,100-2,350 m.**





Conclusiones

- La evidencia isotópica sugiere: **i) recarga local-urbana sin alteración isotópica (33.0%), ii) recarga a mayor altura (24.3%) que la elevación de extracción (uso) y iii) un componente local alterado isotópicamente (42.7%) (aguas residuales, riego, cuerpos de agua superficial).**

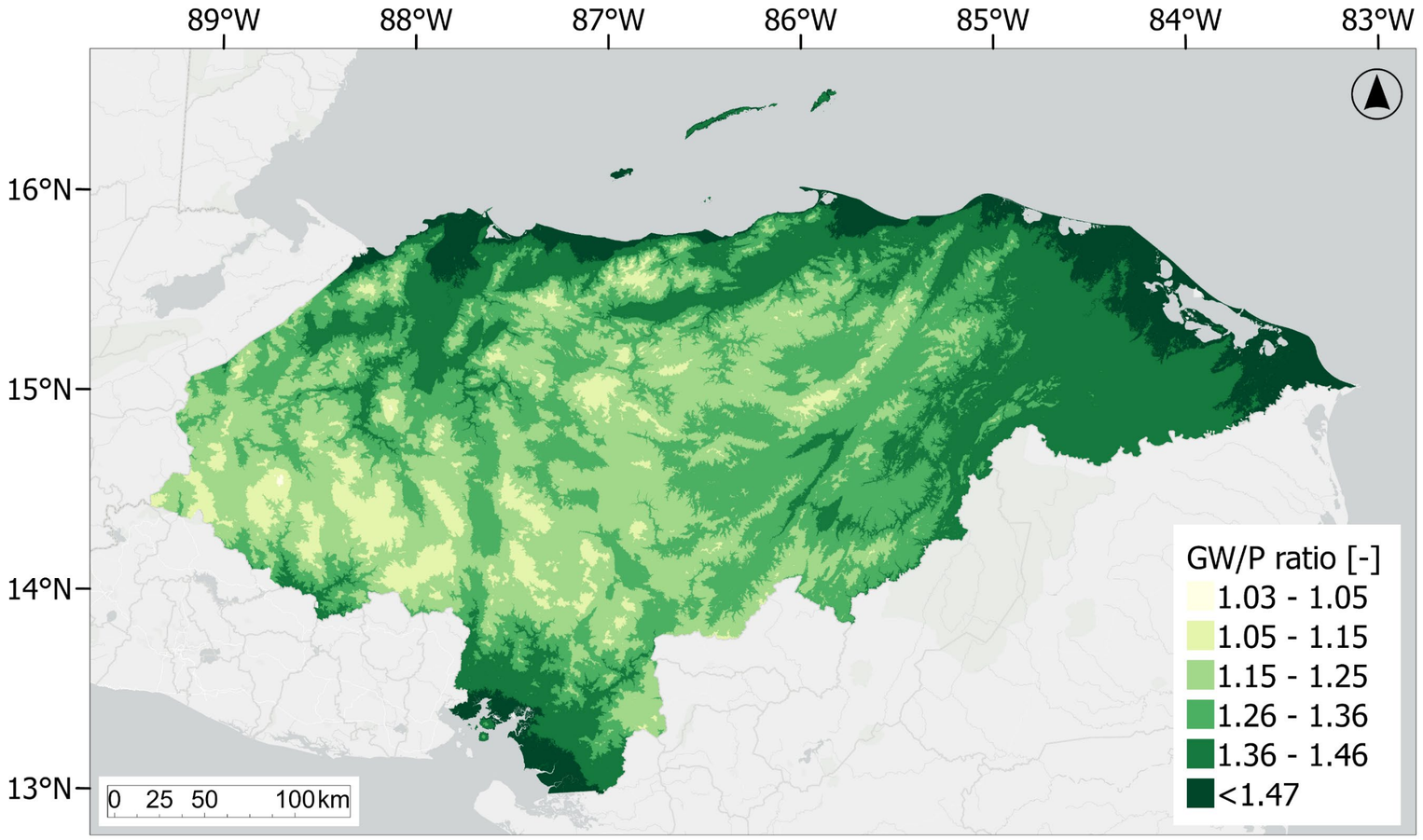
- Las elevaciones de recarga abarcan uso del suelo **urbano, forestal y, en menor medida, agrícola.**

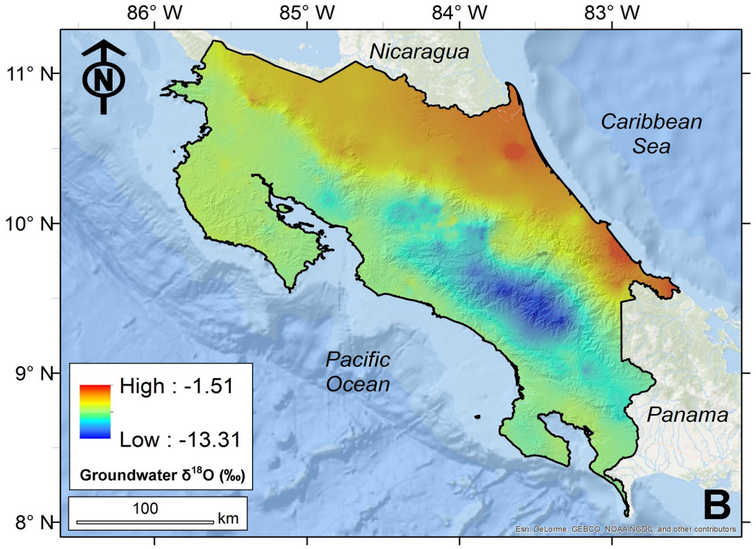


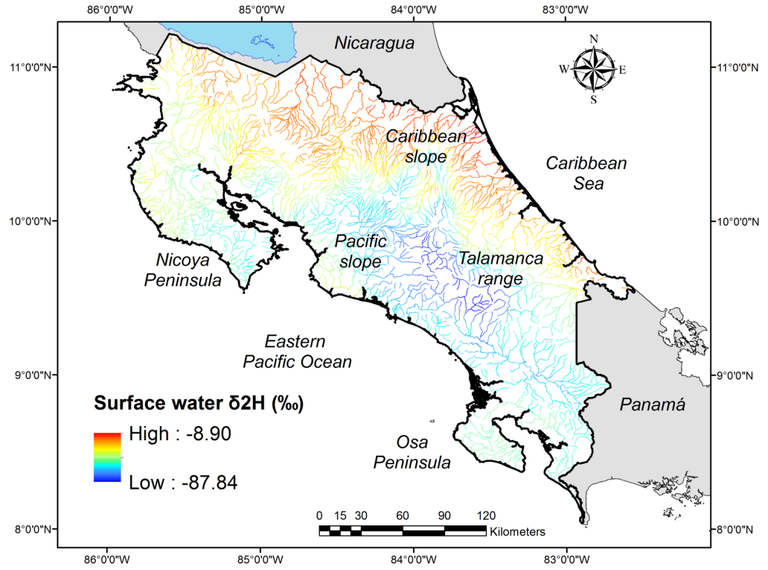


Acciones futuras

Mapas Isotópicos (Isoscapes)

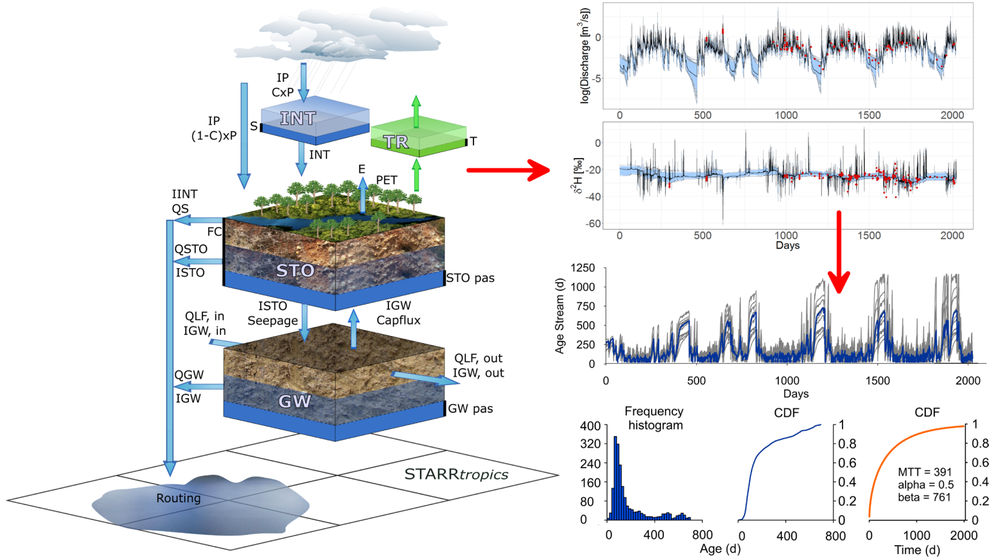


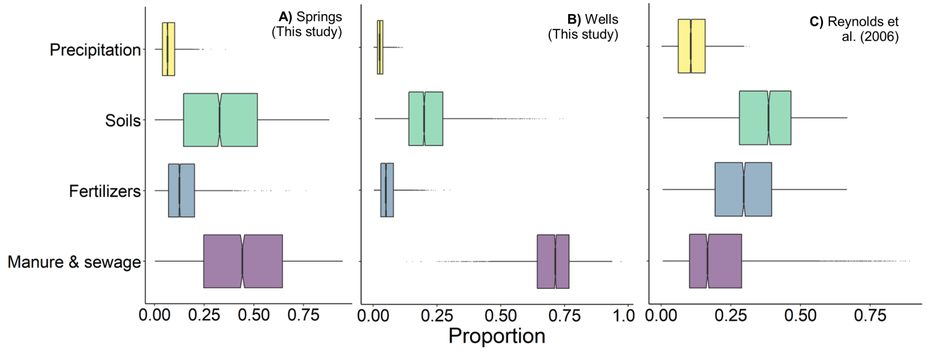




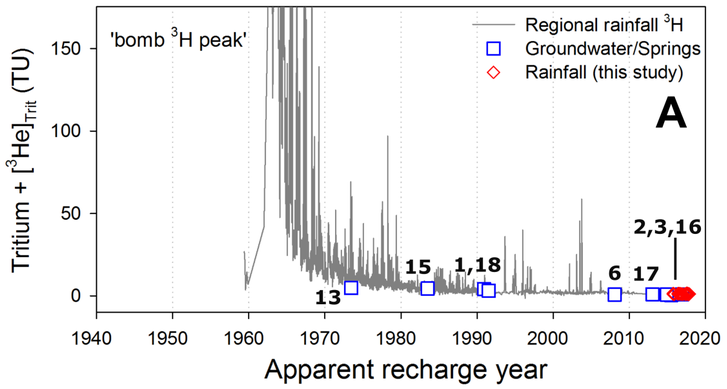
Acciones futuras

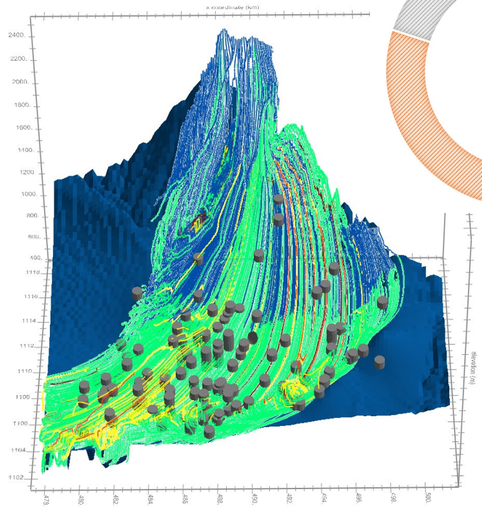
Modelación asistida por trazadores

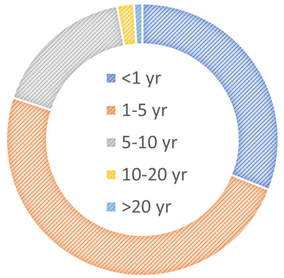




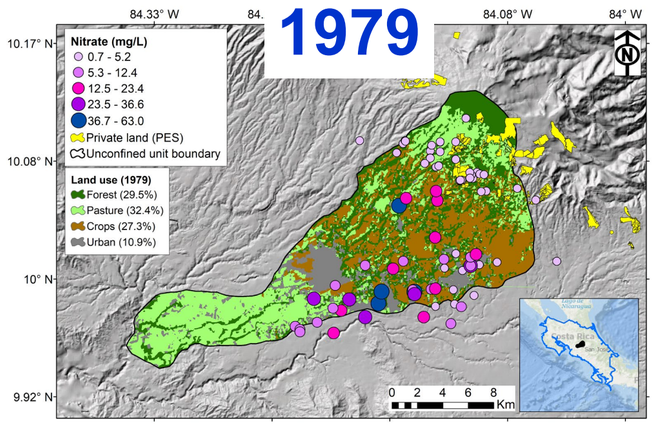
Distribución de la edad del agua y modelación

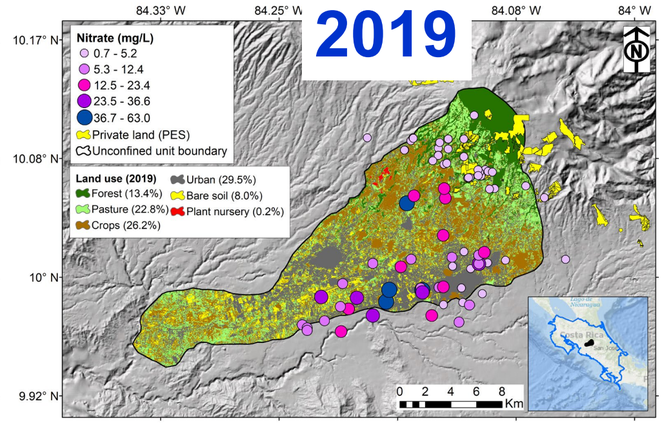






Fuentes de Contaminación y Uso del Suelo





Acciones futuras

Comunicación....

How climate change affects water resources in Costa Rica

By Laura Gil



Scientists prepare samples of spring water for the analysis of noble gases in Heredia, Costa Rica. (Photo: L. Castro/ESPH)

"While we have always had regulations in place to protect our water, the difference is that now we can be more precise, more efficient."

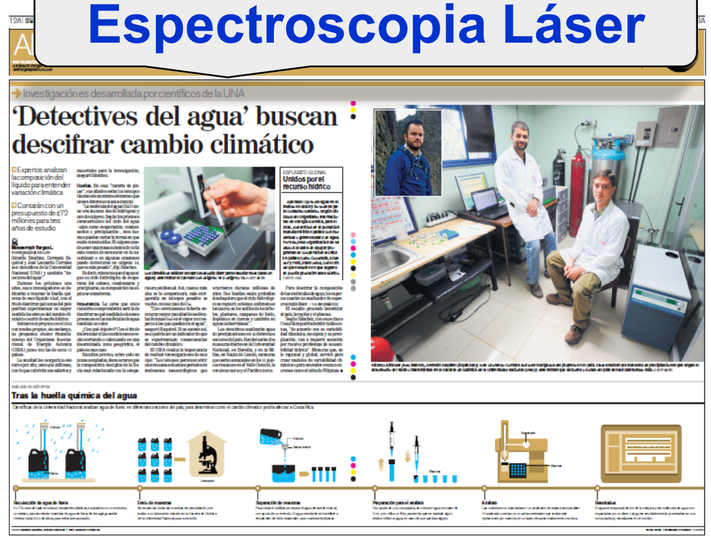
— Ricardo Sánchez-Murillo, Coordinator, Stable Isotopes Research Group, National University of Costa Rica, Heredia

Sitting on the thin stretch of land that separates the Pacific from the Caribbean, Costa Rica has in recent years experienced above-average ocean temperatures and the first hurricane ever recorded. With the help of the IAEA, its scientists are now turning to isotopic techniques to monitor these extreme weather events and protect the country's water and population, in a region that has been identified as an area that could be particularly affected by climate change.

suffered the consequences, because we didn't know how to respond."

Such phenomena carry with them a collection of isotopic fingerprints that scientists like Sánchez-Murillo can capture using special nuclear-derived techniques. Once recorded, they use the isotope data, coupled with climatic models and past climatic records, to predict the frequency, magnitude and intensity of future meteorological events and inform authorities, who in turn can be

Espectroscopia Láser



'Detectives del agua' buscan descifrar cambio climático

Tras la huella química del agua

Isoscapes



Desarrollo urbano afecta recarga de mantos acuíferos en Heredia

Moléculas trazan ruta del agua

Hidrología Urbana



Menos lluvia llega a acuíferos debido a crecimiento urbano

Un ciclo natural interrumpido

Eventos extremos del clima desnudan fallas

Conflictos Hídricos



Caos institucional pone en riesgo agua para el futuro

Acciones futuras

Política Pública

Decreto Ejecutivo (MINAE-N° 42015 (2019): trazadores como herramienta oficial

ARESEP (2019): trazadores en portafolio de inversion de tarifa hídrica

Estudios de recarga y compensación (2019-2021): UNEP, UICN, CCT, sector privado

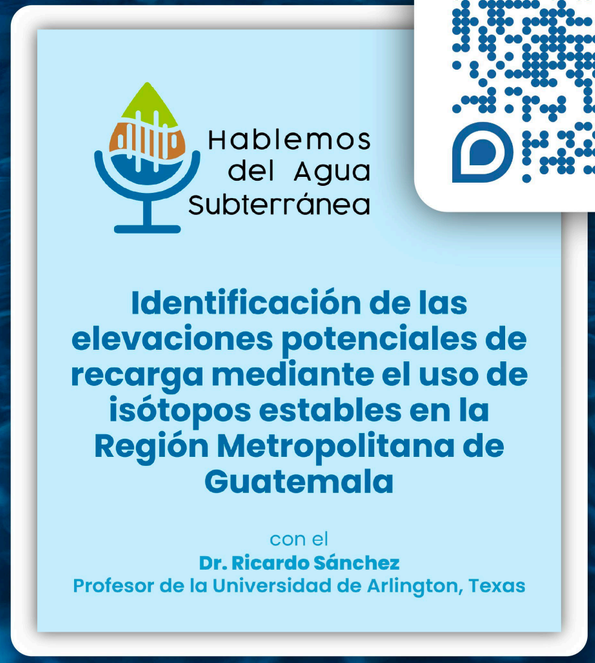
Monitoreo continuo (2014-presente): tarea regular ESPH, red de monitoreo hidrométrico

III CONGRESO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2025

Escanea el QR para ver el documento completo



Escanea el QR para ver el episodio de podcast



Escanea el QR para ver el video completo



III CONGRESO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2025

¡Muchas gracias!

Dr. Ricardo Sánchez-Murillo
The University of Texas at Arlington, TX, USA
ricardo.sanchezmurrillo@uta.edu

Organizado por:

Gobierno de la República de Guatemala
Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

FUNCAGUA por la vida

Global Water Partnership Central America
GWP Guatemala

ICC
Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático

UVG Universidad del Valle de Guatemala

The Nature Conservancy Guatemala

WCS

WWF