III CONGRESO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2025

USAC TRICENTENARIA Universidad de San Carlos de Guatemala

Entre modelos e incertidumbre: Re-imaginando la recarga hídrica en tiempos de cambo climático antropogénico

Wener Ochoa y Bayron González

Universidad de San Carlos de Guatemala

Geoingeniería Agua y Ambiente

01/01/2025

INTRODUCCIÓN

- Estimación de recarga hídrica: reto complejo ante el cambio climático antropogénico
- Comparación de 10 métodos: balance hídrico, nivel freático, isotopía, modelos numéricos (SWAT, MODFLOW), RENATA
- Discrepancias >40% entre métodos
- Se propone integración de metodologías híbridas y uso de IA.



USAC TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Geoingeniería
Agua y Ambiente

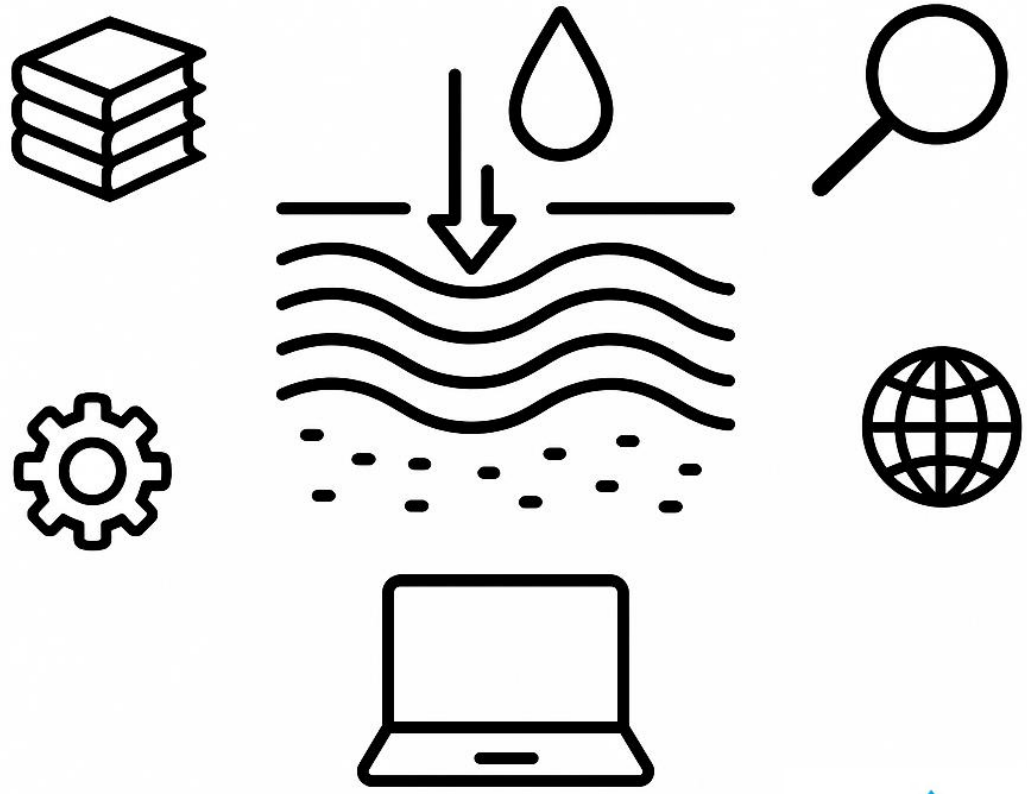
OBJETIVOS

1. Sistematizar principales metodologías de recarga
2. Evaluar limitaciones técnicas y epistemológicas
3. Proponer enfoque híbrido e intercultural para reducir incertidumbre



METODOLOGÍA

- Enfoque mixto (cuantitativo + cualitativo)
- Paradigma crítico-reflexivo (epistemologías del Sur)
- Modelos: RENATA, Thornthwaite-Mather, Hargreaves
- 4 fases: revisión sistemática, análisis comparativo, estudio de caso, análisis cualitativo



USAC TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

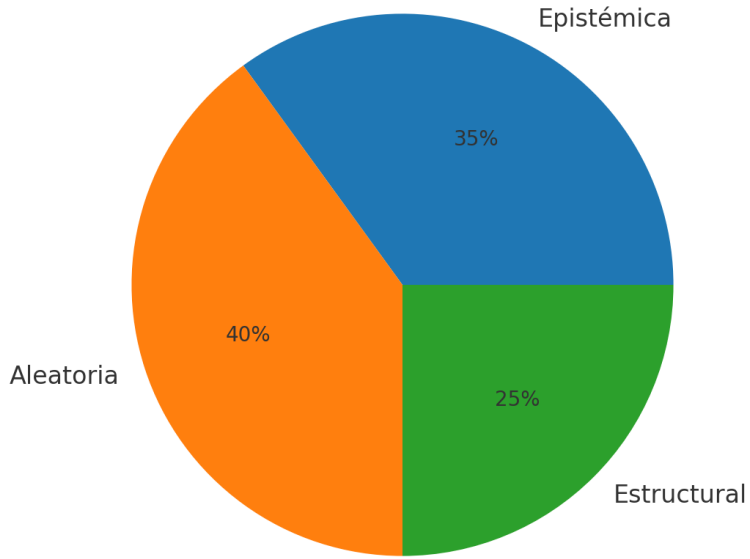
Geoingeniería
Agua y Ambiente

RESULTADOS PRINCIPALES

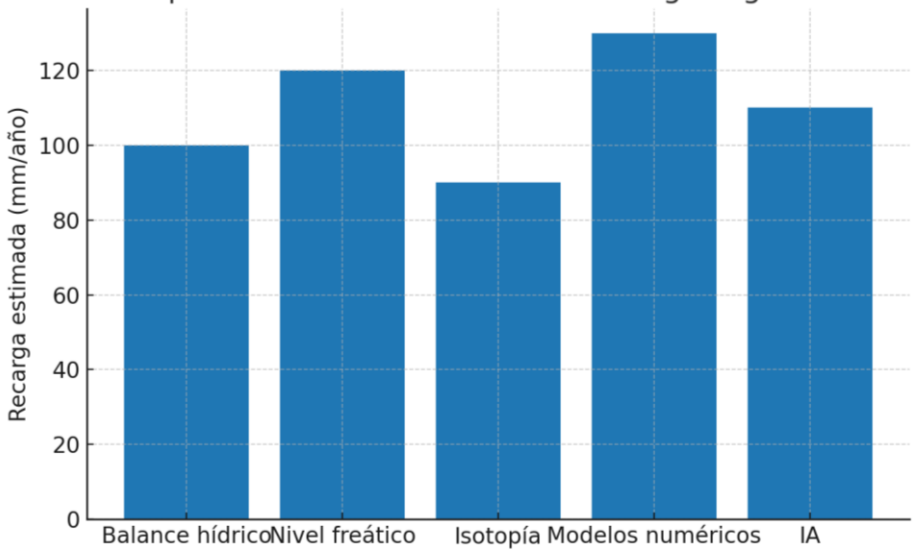
- No existe método universal para estimar recarga
- Métodos simples: bajo costo, menor precisión
- Modelos numéricos e isotópicos: alta precisión, alto costo
- Discrepancias significativas entre modelos aplicados en Guatemala
- Escenarios de cambio climático reducen recarga hasta 45%



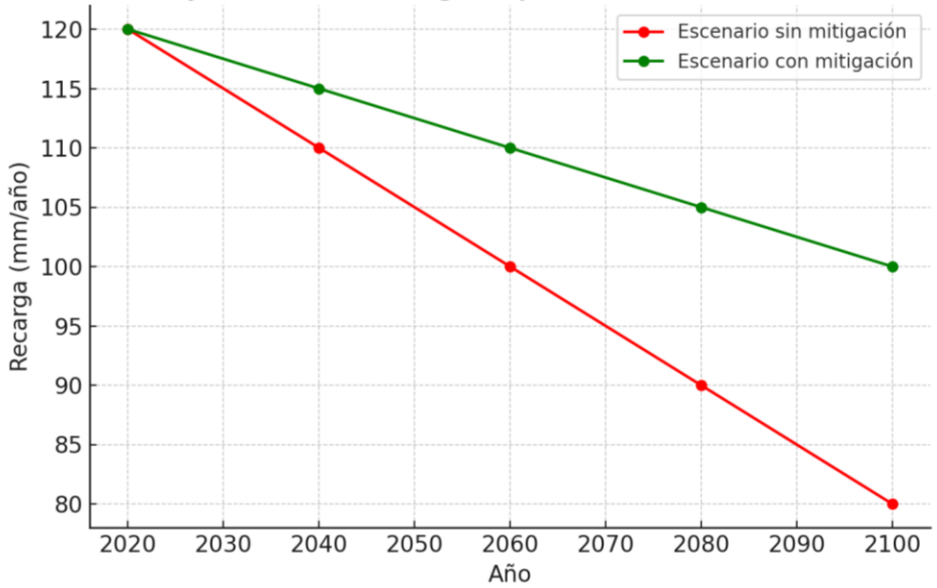
Tipos de incertidumbre en estimación de recarga



Discrepancias en estimaciones de recarga según método



Proyección de recarga bajo escenarios climáticos



RETOS Y LIMITACIONES



- Escasez de datos hidrometeorológicos
- Baja capacidad técnica e institucional en países en desarrollo
- Modelos importados del Norte Global no siempre se adaptan al contexto local
- Falta de integración entre ciencia y conocimiento comunitario

PERSPECTIVA EPISTEMOLÓGICA



- Incertidumbre epistémica: falta de conocimiento
- Incertidumbre aleatoria: variabilidad natural
- Incertidumbre estructural: limitaciones de los modelos
- Necesidad de enfoques adaptativos y transdisciplinarios

Geoingeniería
Agua y Ambiente

DIALOGO DE SABERES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL





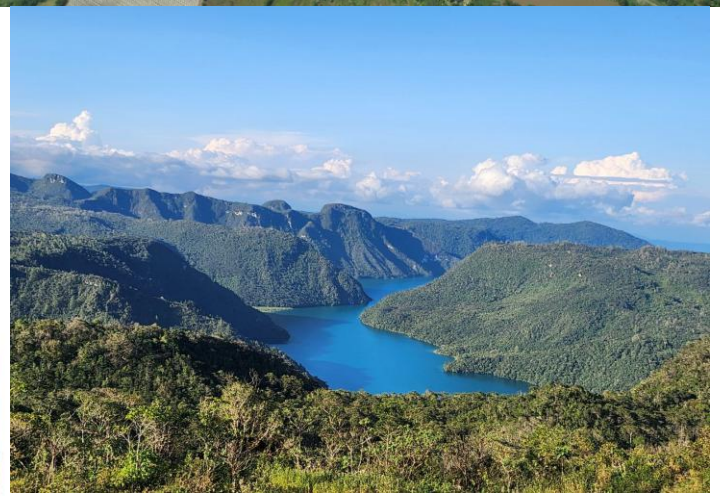
- Redes neuronales, Random Forest, SVM para predicción
- Útiles con datos incompletos y en escenarios no estacionarios
- Complementan, no sustituyen, la hidrogeología
- Importancia de integrar monitoreo comunitario y conocimiento ancestral

USAC TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Geoingeniería
Agua y Ambiente

CONCLUSIONES





- La estimación de recarga hídrica es incierta y compleja
- Urgente combinar modelos físicos, IA y saber local
- el contexto, la pertinencia y la ciencia intercultural son claves.

USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Geoingeniería
Agua y Ambiente

https://orcid.org/0000-0003-4984-2877

https://www.researchgate.net/profile/Wener-Ochoa

https://scholar.google.com/citations?user=jgCLlwwAAAAJ&hl=es

https://www.linkedin.com/in/wener-ochoa-7b744726

https://www.facebook.com/wener.ochoa.9

@Wener_Ochoa

@WENER8A

Organizado por:

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

III CONGRESO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2025

¡Muchas gracias!

- wochoa@postgrado.ingenieria.usac.edu.gt
- (502) 5632 2781