VI CONGRESO NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO
& IX SIMPOSIO NACIONAL MARINO COSTERO

Análisis multicriterio sobre susceptibilidad de servicios ecosistémicos ante el cambio climático en la Reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux

Rubén André Monzón Toledo · Dr. Milton Sandoval Guerra

Dirección Regional Metropolitana, Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP)

13 de octubre de 2026

Una reserva pequeña que sostiene el agua de la metrópoli

5,372 ha

superficie declarada (Decreto 41-97)

1,665–2,310

msnm de rango altitudinal

65–77

manantiales inventariados, según la fuente

5

municipios comparten la reserva

- **Mixco, San Pedro, San Juan, Santiago y San Lucas Sacatepéquez** comparten el territorio.
- Sus ríos y manantiales abastecen a Guatemala, Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Amatitlán.
- Más del 90 % del agua de la cordillera drena hacia el Valle de Guatemala.
- La zona de protección de caudales y flujos de agua (ZPCFA) cubre el 36.7 % de la reserva.

Fuentes: CONAP (2024), Plan Maestro RFPMCA; PDM-OT de Santiago Sacatepéquez y Mixco (2019); CONAP (2023), estudio hidrogeológico.

El clima proyectado no está en la planificación

6 → 0

6 instrumentos de planificación

0 espacializan la exposición climática

- **Plan Maestro 2024:** 17 amenazas calificadas por consenso de taller, sin mapa.
- **El cambio climático no figura** entre esas 17 amenazas.
- **Cinco PDM-OT (2019–2020):** lo mencionan de forma genérica, sin escenarios.

Brecha: ningún instrumento expresa en el espacio dónde el cambio climático afectaría los servicios de la reserva.

Fuentes: CONAP (2024), cuadros 49 a 51; PDM-OT de Mixco, San Pedro, San Juan, Santiago y San Lucas Sacatepéquez (Segeplán, 2019–2020).

Objetivo: ubicar dónde el agua es más susceptible

Objetivo. Espacializar la susceptibilidad del servicio de regulación hídrica de la RFPMCA ante escenarios de cambio climático (SSP2-4.5 y SSP5-8.5, 2041–2060) mediante análisis multicriterio AHP.

Exposición

Cambio en precipitación

WorldClim 2.1 · CMIP6

+

Sensibilidad

Geología · Pendiente

Drenaje · Cobertura y uso

→

Índice ponderado (AHP)

Puntajes 1–5 × pesos

5 clases de susceptibilidad

→

Lectura por zona

ZDU · ZUE · ZPCFA

Plan Maestro 2024

Susceptibilidad = exposición + sensibilidad (sin capacidad adaptativa; IPCC, 2014). Puntaje 5 = menor capacidad de infiltrar y regular agua.

Cinco criterios con datos oficiales, ponderados con AHP

Criterio	Fuente	Peso AHP
Cambio en precipitación	WorldClim 2.1, CMIP6 (3 modelos), 1 km	**0.33**
Cobertura y uso del suelo	MAGA (2020) IDEG, Segeplán (geoportal)	**0.33**
Pendiente	SRTM 30 m	**0.18**
Geología	IDEG, Segeplán (geoportal)	**0.11**
Densidad de drenaje	Derivada de SRTM 30 m (cauces ≥ 0.1 km²)	**0.06**

Juicios basados en Matus et al. (2009), Zewdie et al. (2024) y Chen et al. (2025). **RC = 0.003.**

Ambos escenarios reducen la lluvia, de forma casi uniforme en la reserva

−6.7 %

SSP2-4.5 · 2041–2060
rango en la reserva: −7.1 a −6.5 %

−9.8 %

SSP5-8.5 · 2041–2060
rango en la reserva: −10.0 a −9.6 %

- Cambio en la precipitación anual (BIO12) frente a 1970–2000.
- Mediana de tres modelos: MPI-ESM1-2-HR, IPSL-CM6A-LR y MRI-ESM2-0.
- Puntaje por umbrales de 2.5 %: SSP2-4.5 = 4; SSP5-8.5 = 5.

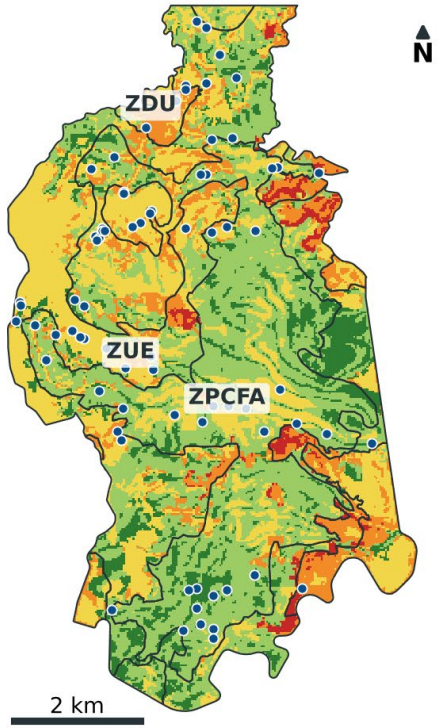
A esta escala, el clima no distingue lugares: eleva la susceptibilidad de toda la reserva. El patrón espacial lo define la sensibilidad del territorio.

Fuente: Fick y Hijmans (2017), WorldClim 2.1, escenarios CMIP6; cálculo propio sobre el límite digital de la RFPMCA.

La susceptibilidad alta se triplica bajo SSP5-8.5

Sensibilidad actual

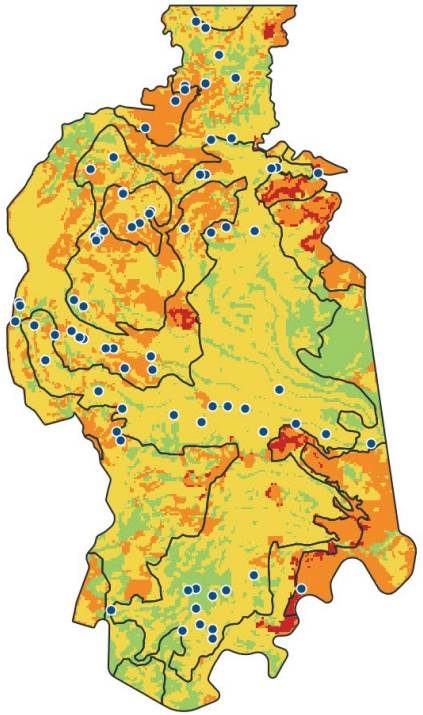
sin cambio climático



Alta + Muy alta: 15 % del área
8 de 77 nacimientos

SSP2-4.5

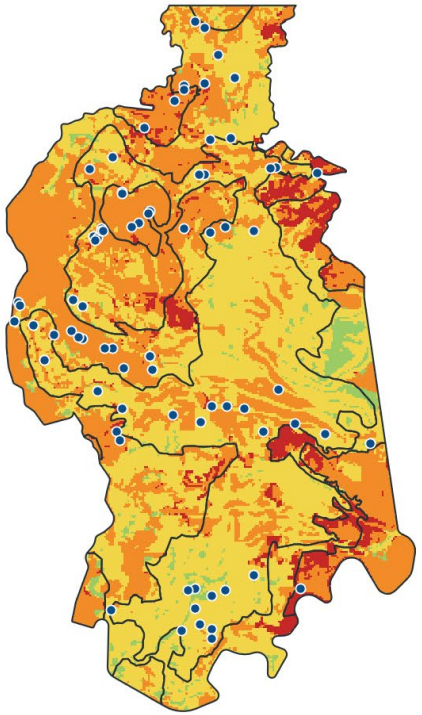
2041–2060 · ΔP −6.7 %



Alta + Muy alta: 25 % del área
15 de 77 nacimientos

SSP5-8.5

2041–2060 · ΔP −9.8 %



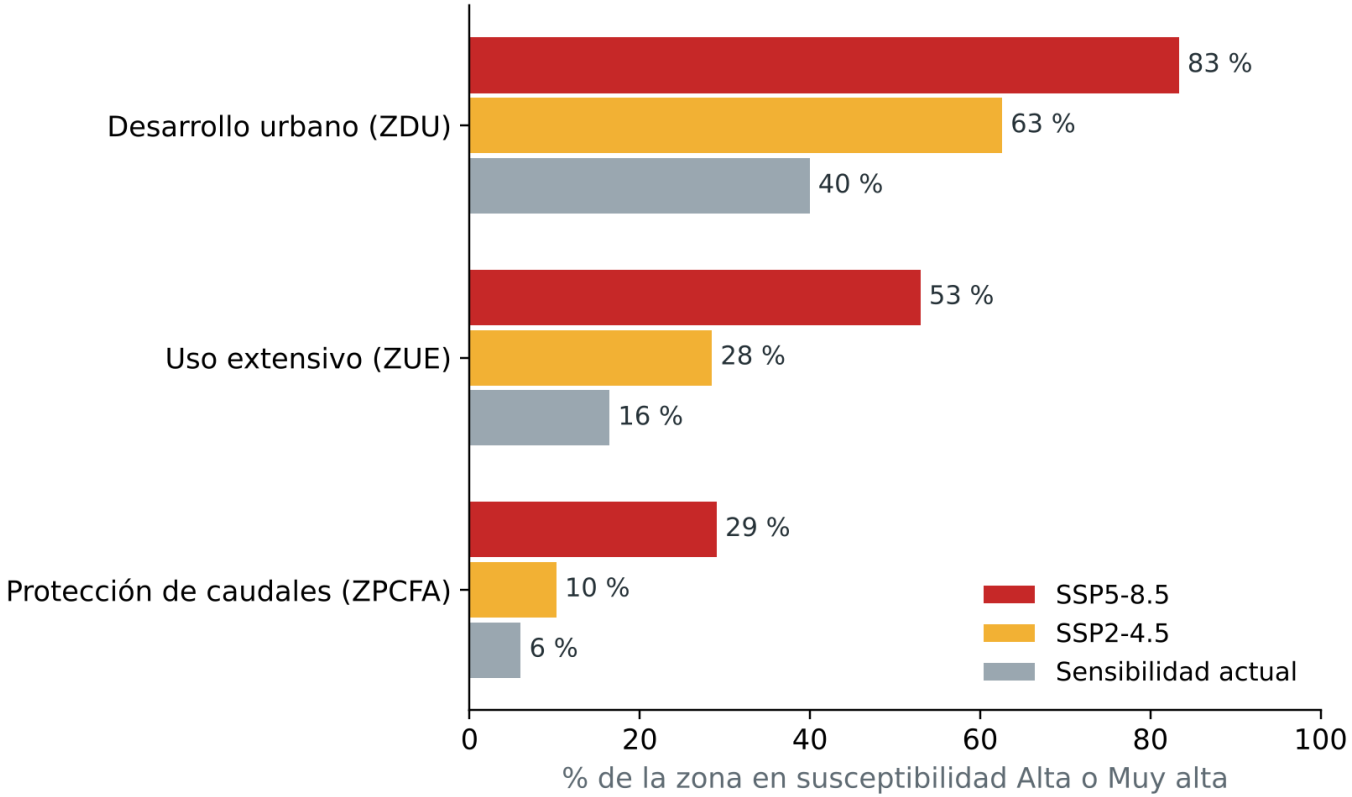
Alta + Muy alta: 47 % del área
41 de 77 nacimientos

Muy baja · Baja · Media · Alta · Muy alta · Nacimiento

Proyección GTM · celda 30 m

Resultado propio. Límite digital: 4,507 ha. Alta + Muy alta: 676 → 1,127 → 2,100 ha. Nacimientos: capa georreferenciada CONAP DRM (n = 77).

Zonas y nacimientos más susceptibles



41 de 77

nacimientos en Alta o Muy alta bajo SSP5-8.5 (hoy: 8)

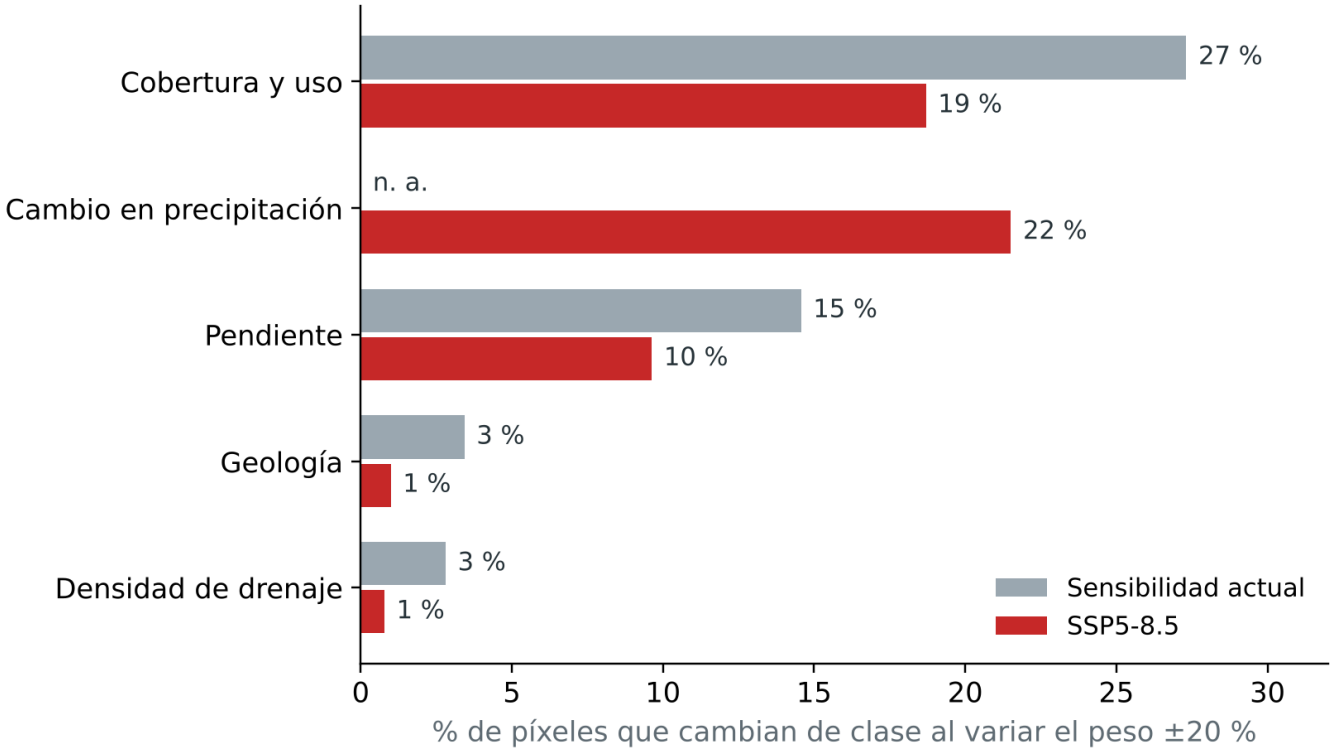
83 %

de la ZDU en Alta o Muy alta bajo SSP5-8.5

ZPCFA: 18 de sus 44 nacimientos y 29 % de su área (hoy 6 %).

Resultado propio. Zonas de manejo según CONAP (2024).

La cobertura y el clima dominan el resultado



Límites del análisis

- Pesos y puntajes de los autores, por validar con expertos.
- Clima a 1 km: no diferencia dentro de la reserva.
- Sin suelos: la escala disponible es 1:250 000.
- Límite digital de 4,507 ha frente a 5,372 ha decretadas (−16 %).

Análisis de sensibilidad de pesos uno a la vez (Chen et al., 2010). Resultado propio.

Conclusiones

15 % → 47 %

La superficie con susceptibilidad hídrica alta o muy alta se triplica bajo SSP5-8.5 (2041–2060).

Amplifica

A escala de la reserva, el cambio climático no crea nuevas zonas de riesgo: intensifica la sensibilidad existente.

Cobertura

La cobertura y uso del suelo es el factor que más define dónde se concentra la susceptibilidad.

41 de 77

nacimientos quedarían en susceptibilidad alta o muy alta bajo SSP5-8.5 (hoy, 8); la ZDU es la zona crítica (83 %).

Recomendaciones e implicaciones

1	**Planificar**	Incorporar el mapa de susceptibilidad en la actualización del Plan Maestro y en los PDM-OT.
2	**Proteger cobertura**	Priorizar conservación y restauración forestal en el entorno de los nacimientos en clase alta, la ZDU y los bordes oriente y sur.
3	**Validar**	Someter pesos y puntajes a un panel de expertos (AHP) y verificar los resultados en campo.
4	**Mejorar datos**	Suelos a escala detallada, clima reducido a escala local y monitoreo de caudal en los 77 nacimientos.

Organizado por:

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

SGCCC
Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático

Alianza Intersectorial Marino Costera GT
#UnidosXNuestrosOcéanos

DEFENSORES DE LA NATURALEZA

Galileo UNIVERSIDAD

ICC
Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático

FUNDAECO

Gobierno Municipal Puerto Barrios

MAR FUND

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

VI CNCC
Plataforma Impulsora Local Izabal

Con el apoyo de:

CATIE
Solutions for Inclusive Green Development
Soluciones para el Desarrollo Verde Inclusivo

DEFENSORES
DE LA NATURALEZA

FUNDAECO

France
FFEM
FONDS
FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT
MONDIAL

ICC
Instituto Privado de Investigación
sobre Cambio Climático

Gobierno
Municipal
Puerto Barrios

MAR
FUND

UICN

WWF

¡Muchas gracias!

Rubén André Monzón Toledo

Dirección Regional Metropolitana, CONAP

andretoledo.conap@gmail.com

VI CONGRESO NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO
& IX SIMPOSIO NACIONAL MARINO COSTERO

Con el aval de:

2021 2030 Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible

Referencias

Chen, R., Meng, Z., Ren, X., et al. (2025). Mapping the groundwater potential zones in mountainous areas of Southern China using GIS, AHP, and fuzzy AHP. Scientific Reports, 15. https://www.nature.com/articles/s41598-025-01837-y

Chen, Y., Yu, J., y Khan, S. (2010). Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. Environmental Modelling & Software, 25(12), 1582–1591. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.06.001

Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2023). Estudio hidrogeológico, hidrológico y determinación de los impactos acumulativos al recurso hídrico de la RFPMCA. CONAP.

Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2024). Plan Maestro de la Reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux. CONAP.

Farr, T. G., et al. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics, 45(2), RG2004. https://doi.org/10.1029/2005RG000183

Fick, S. E., y Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 37(12), 4302–4315. https://doi.org/10.1002/joc.5086

IPCC. (2014). Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Cambridge University Press.

Matus, O., Faustino, J., y Jiménez, F. (2009). Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. CATIE. https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENP10M433.pdf

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. McGraw-Hill.

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (s. f.). Capa de geología [Conjunto de datos]. Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala (IDEG). Recuperado el 6 de octubre de 2026, de https://ideg.segeplan.gob.gt/geoportal/

Zewdie, M. M., Kasie, L. A., y Bogale, S. (2024). Groundwater potential zones delineation using GIS and AHP techniques in upper parts of Chemoga watershed, Ethiopia. Applied Water Science, 14. https://doi.org/10.1007/s13201-024-02119-0