

Riesgo hidrológico y de inundación — La Maná

Estación INAMHI M0006 · Sitio -0.9409, -79.2244 · WGS84 / UTM (EPSG:32717)

1. Resumen ejecutivo

Se delimitó una **carta = 1 pixel CHIRPS (30,8 km²)** sobre el sitio y se analizó: hidrología HEC-HMS, inundación por HAND, 2D inercial sobre FABDEM, 34 modelos CMIP6 con corrección de sesgo, ENSO, GEI. El paquete HEC-RAS 2D queda listo para la corrida oficial.

30,8 km²

Carta = pixel CHIRPS

31,8 km

Estación de referencia
M0006 al sitio

+16%

Factor IDF de diseño

531 m³/s

Caudal pico Tr100 +CC

3,0 m

Calado p99 2D (FABDEM)

17,3 km²

Área inundada Tr100
(57%)

19,5 km

Vías afectadas Tr100+CC

+12,1%

Precip. anual SSP5-8.5
(ensamble)

34

Modelos CMIP6
evaluados

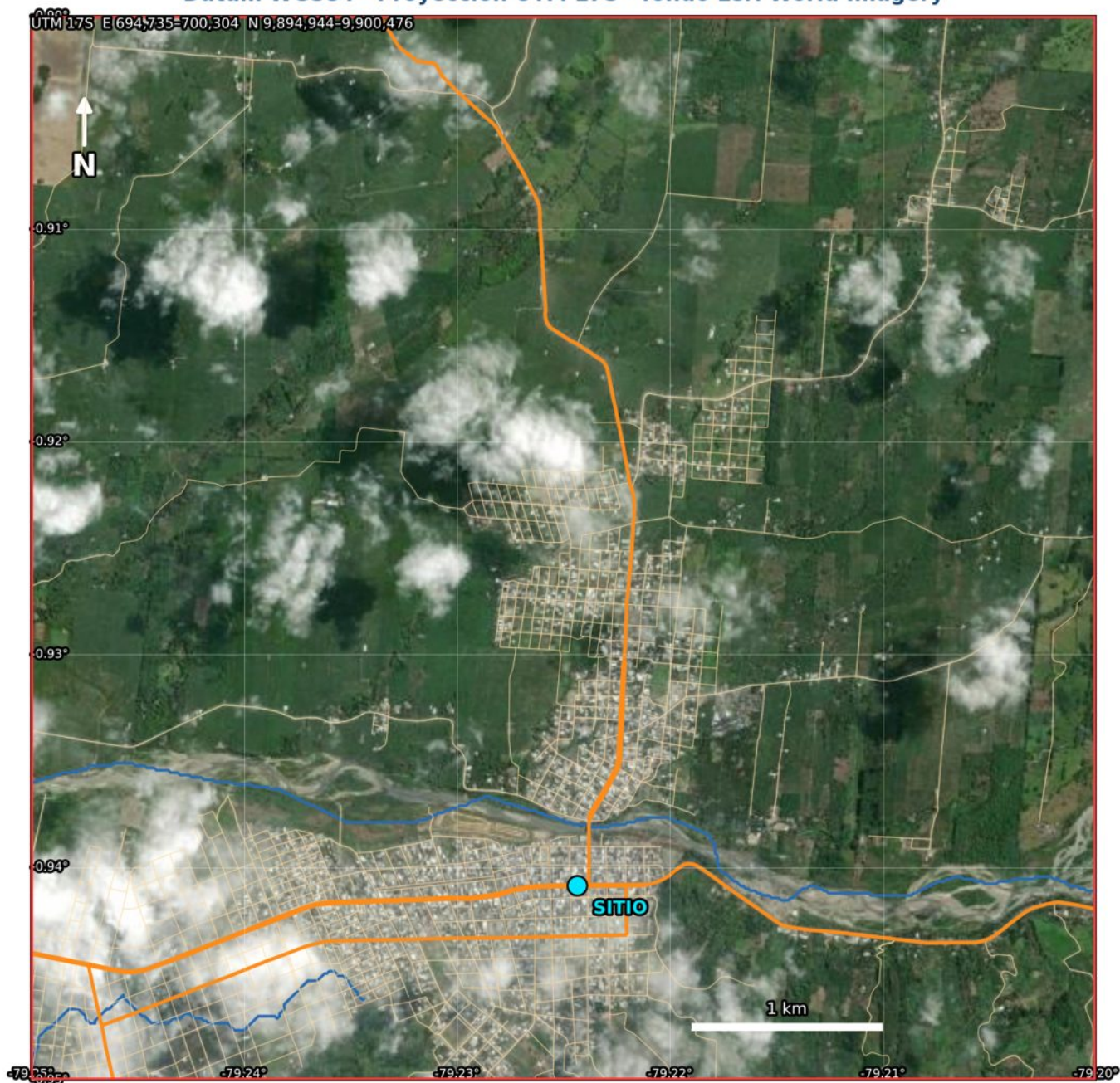
64%

Agua JRC contenida por
el modelo

2. Zona y estación de referencia

La estación INAMHI de referencia M0006 (Pichilingue) está a 31,8 km del sitio (-0.9409, -79.2244). CHIRPS (0,05° ≈ 5,5 km) no resuelve la variabilidad dentro de la ciudad. La estación está lejos: la IDF se obtiene con el modo **escalada** — curva de la zona/estación de referencia ajustada con el Idtr (intensidad de 24 h) interpolado al sitio desde estaciones cercanas (M0124 San Juan La Mana (3,6 km), M0374 San Antonio Del Delta(Pate) (8,5 km), M0283 Inmoriec-El Vergel (22,8 km)).

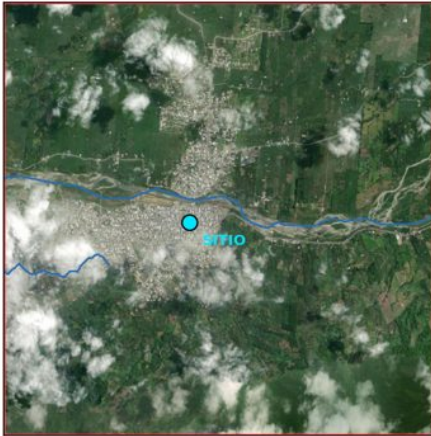
CARTA TOPOGRÁFICA — Zona La Maná · 1 pixel CHIRPS (0,05° ≈ 5,5 km · 30.8 km²)
Datum WGS84 · Proyección UTM 17S · fondo Esri World Imagery



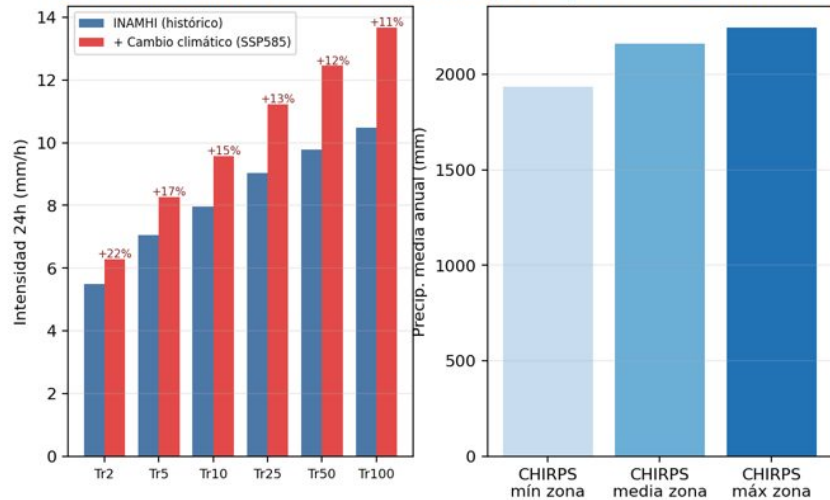
Carta topográfica (1 pixel CHIRPS) — grilla UTM, red vial OSM, estación y sitio.

Contraste estación INAMHI vs productos hidroclima — zona La Maná

Estación INAMHI M0006 vs sitio (31,739 m)



IDF estación M0006: histórico vs futuroSatélite (CHIRPS) en la zona — estación 46 m s.n.m.



INAMHI M0006: PICHILINGUE · -1.1000, -79.4617 · 120 m

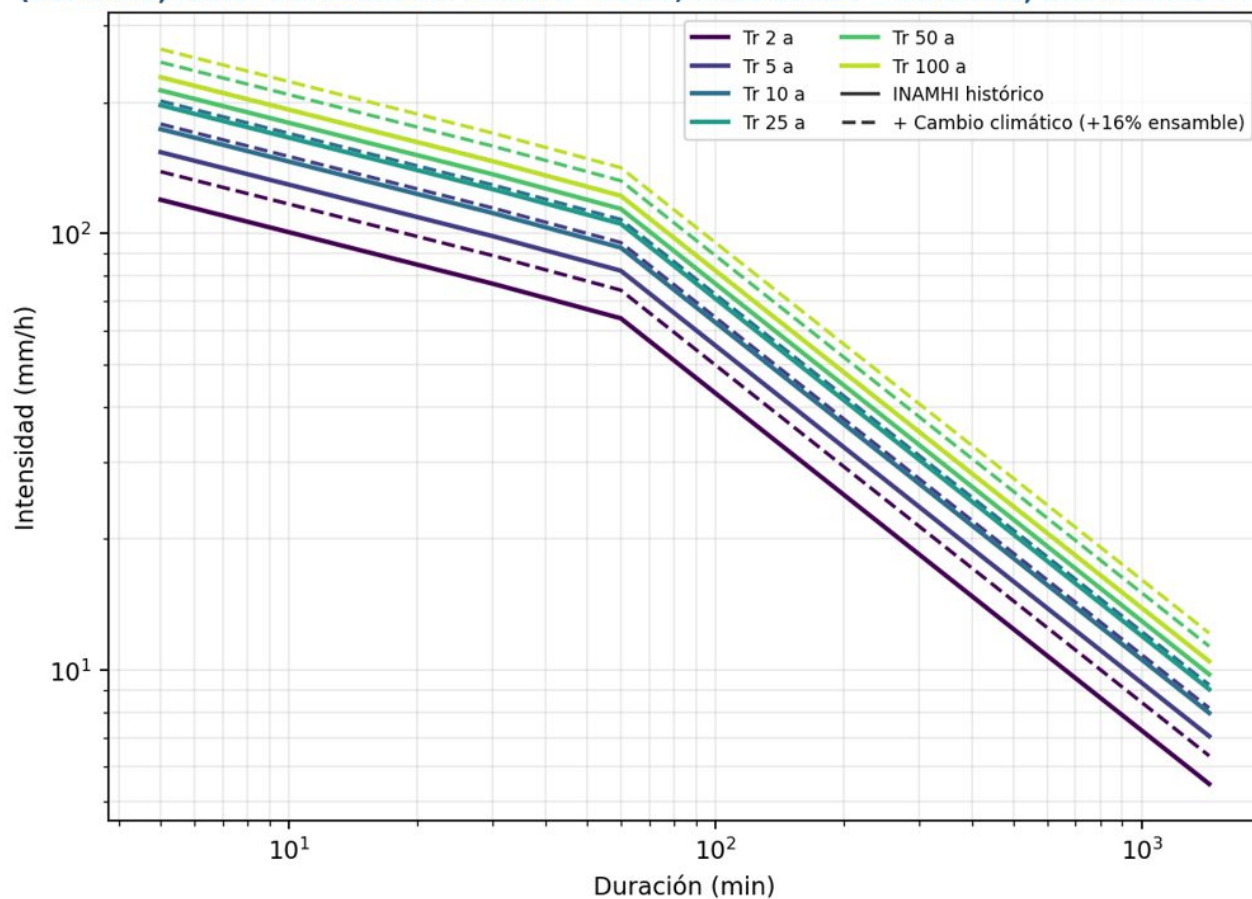
Contraste estación INAMHI M0006 vs sitio: ubicación, IDF y precipitación.

3. Curvas IDF y cambio climático

Método: IDF del libro INAMHI ($i = K \cdot Idtr \cdot t^{-n}$, zona y $Idtr$ de la estación/sitio). Factor de diseño **+16%**: se toma del **ensamble ponderado ClimWIP (SSP5-8.5)**, no de un solo modelo con corrección de sesgo EQM, que amplifica los extremos (Maraun 2013).

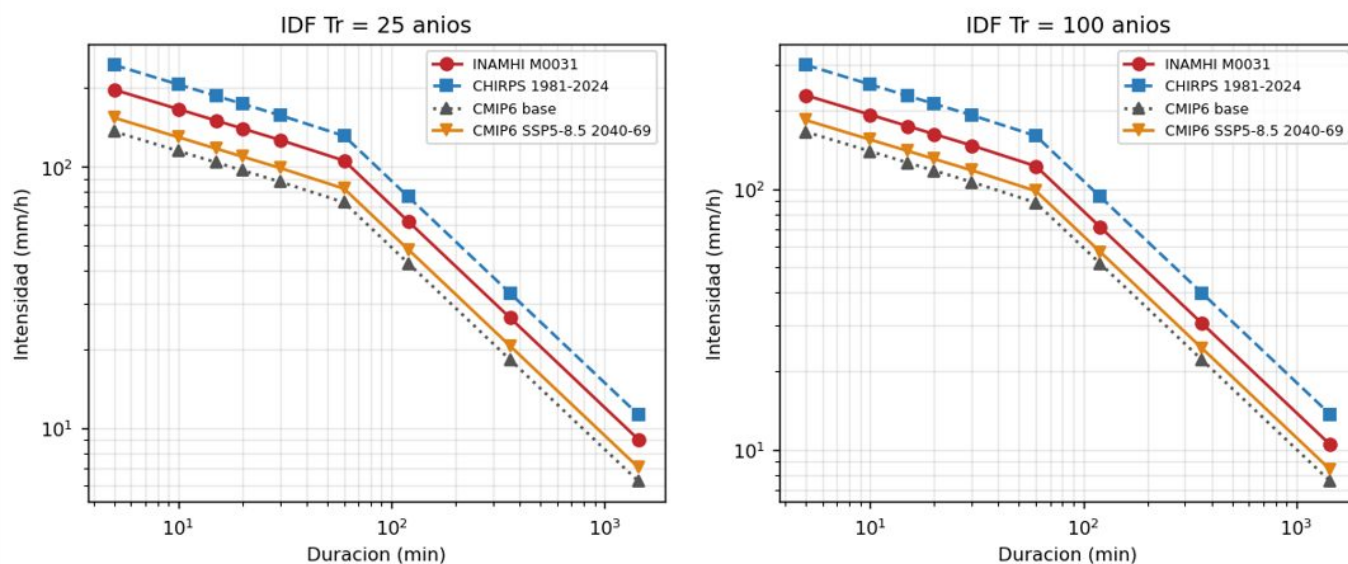
Escenario	Ensamble ponderado (ClimWIP)	Media simple	Rango P10–P90	Modelo único
SSP2-4.5	+10,2%	+9,6%	[-2.2, +18.1]	–2,9%
SSP5-8.5	+12,1%	+11,4%	[-0.7, +25.1]	–0,8%

Curvas IDF estación INAMHI M0006 — histórico vs cambio climático
(SSP5-8.5, factor de ensamble ClimWIP +16%; línea sólida = histórico, discontinua = futuro)



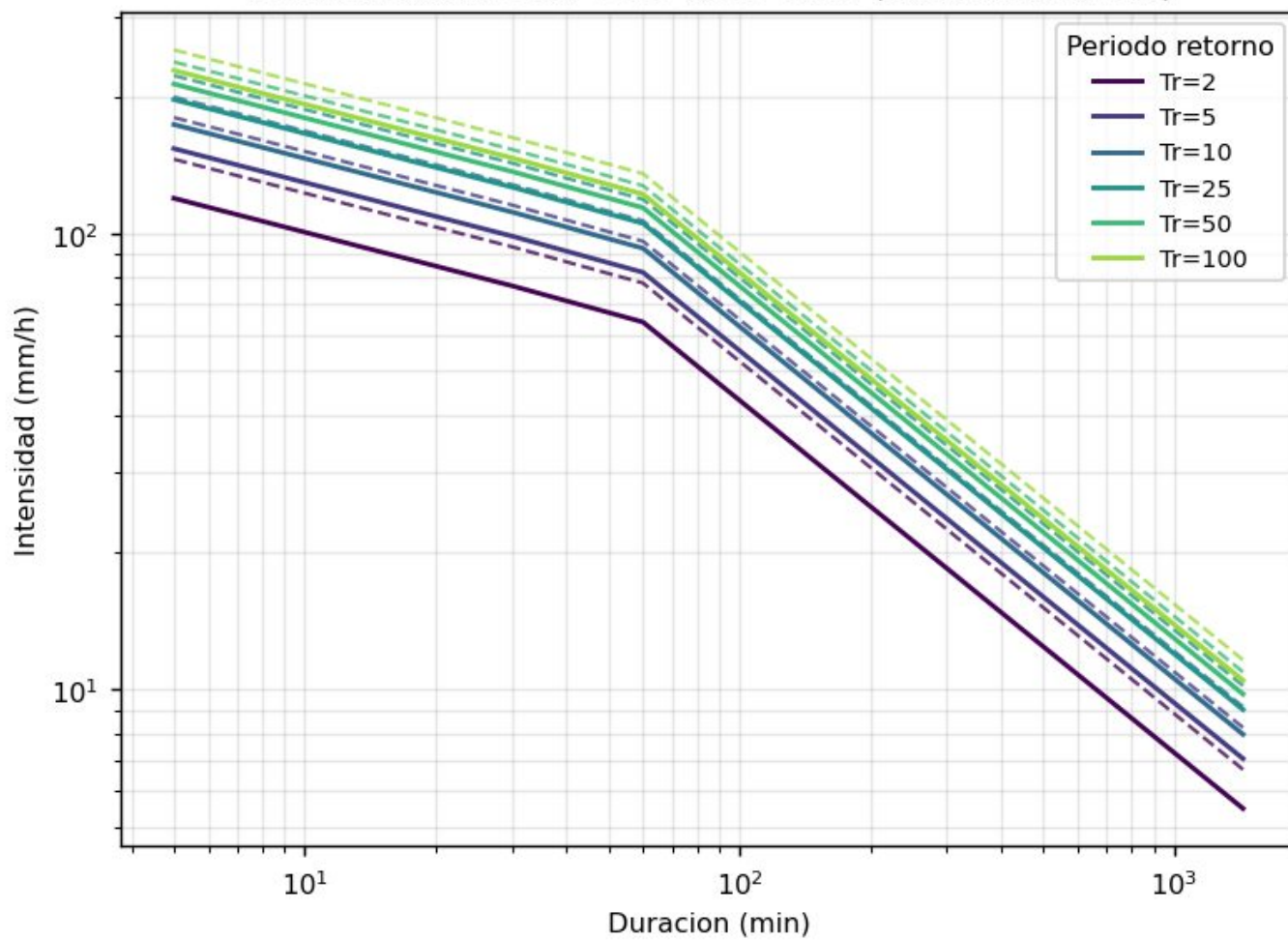
Curvas IDF estación M0006 — histórico (sólida) vs cambio climático +16% (discontinua).

Curvas IDF estación La Maná (M0031) — INAMHI vs CHIRPS vs CMIP6

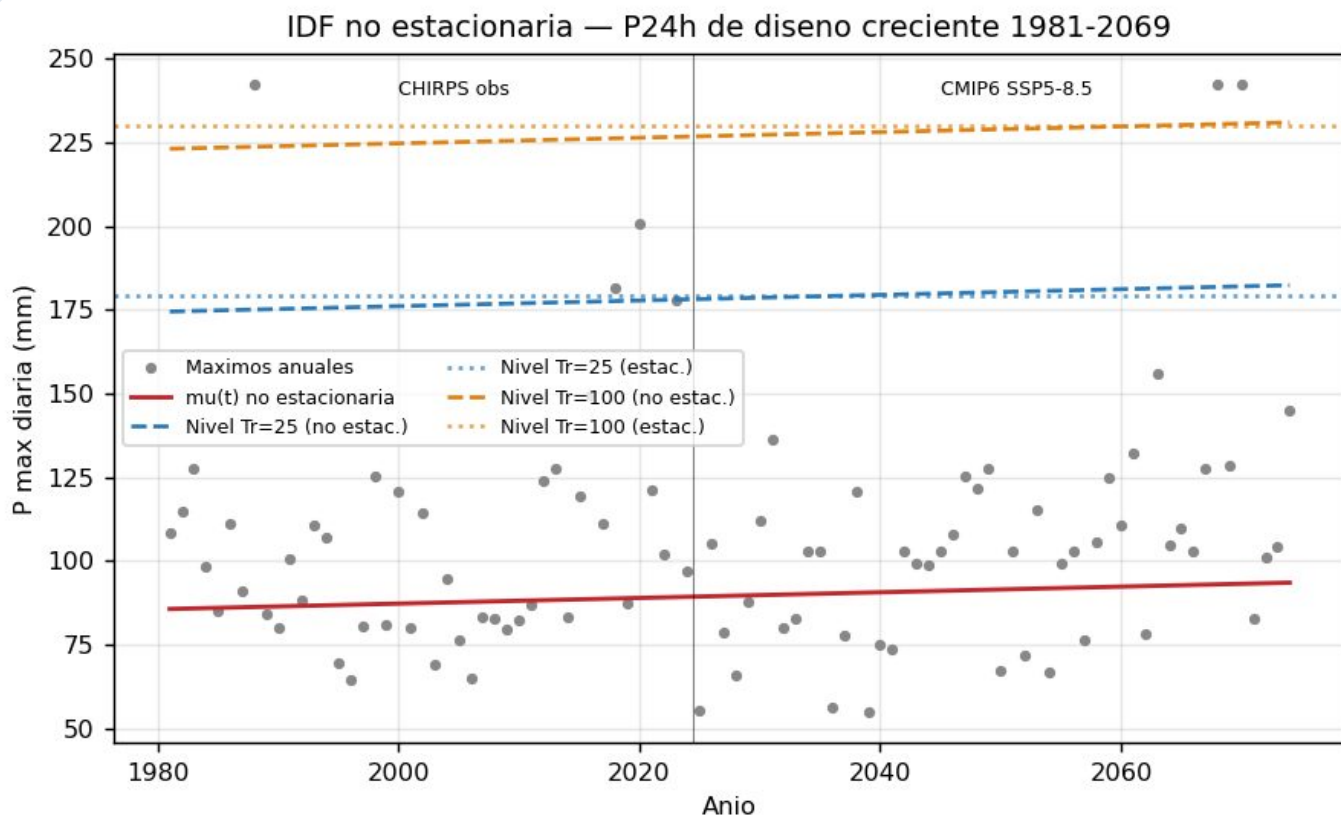


IDF: INAMHI observado vs CHIRPS vs CMIP6.

IDF INAMHI M0031 (linea continua) y ajustada por cambio climatico SSP5-8.5 2040-2069 (linea discontinua)



IDF INAMHI ajustada por cambio climático (SSP2-4.5 y SSP5-8.5).



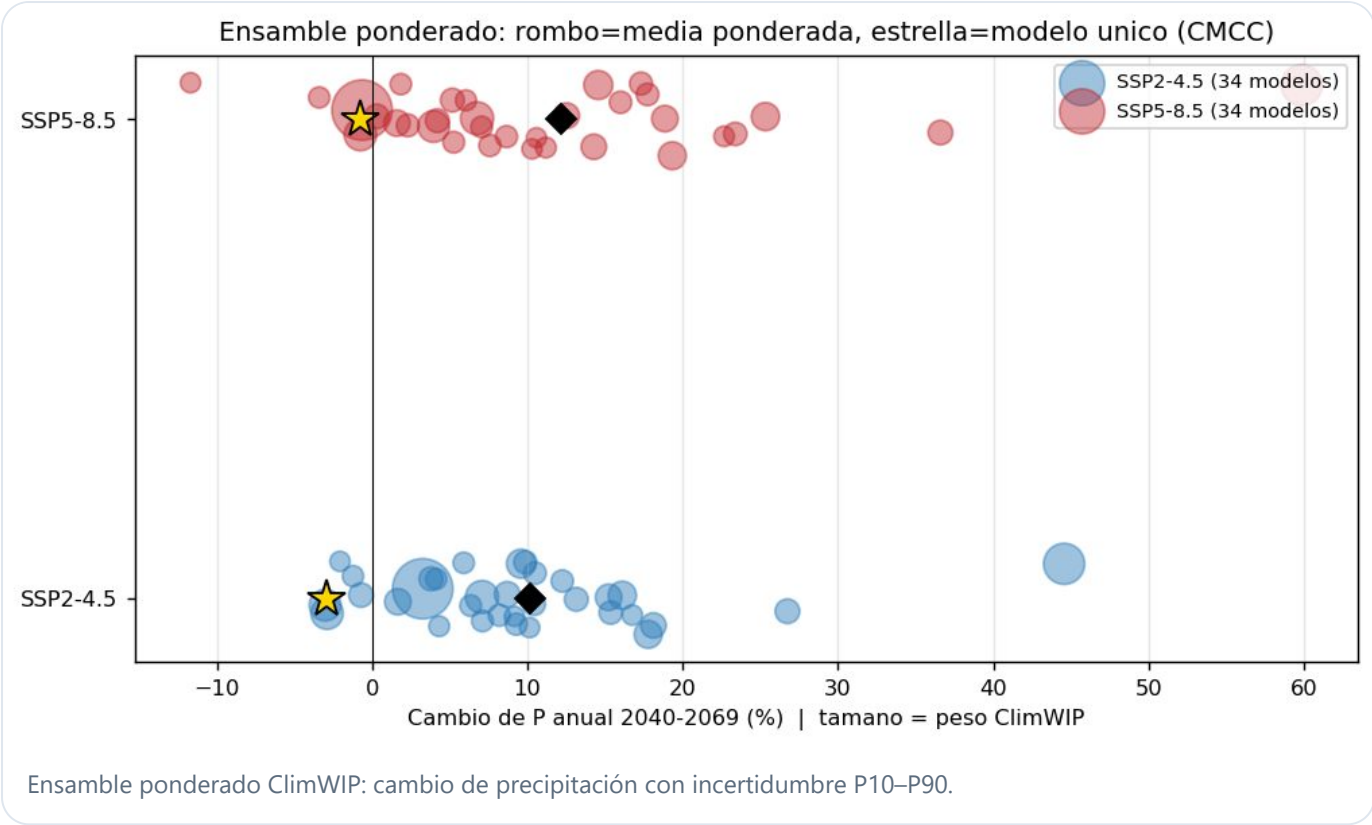
IDF no estacionaria (GEV con $\mu(t)$).

4. 34 modelos NASA NEX-GDDP-CMIP6: selección y corrección de sesgo

Se evaluaron **34 modelos** contra CHIRPS (1981-2014) por RMSE de la climatología mensual; se corrigió el sesgo por **EQM mensual** y se ponderó el ensamble por desempeño e independencia (**ClimWIP**). El mejor modelo es **GISS-E2-1-G** (RMSE 36,7 mm/mes).

Modelo	RMSE (mm/mes)	P anual (mm)	Sesgo (mm)	r ciclo
GISS-E2-1-G	36,7	1.831	73	0,980
TaiESM1	36,8	1.775	17	0,980
CESM2-WACCM	36,9	1.802	44	0,980
EC-Earth3	37,7	1.938	180	0,985
CNRM-ESM2-1	38,9	1.825	67	0,979

Se muestran los 5 mejores; los 34 están en `data/cmip6_ranking_rmse.csv`.

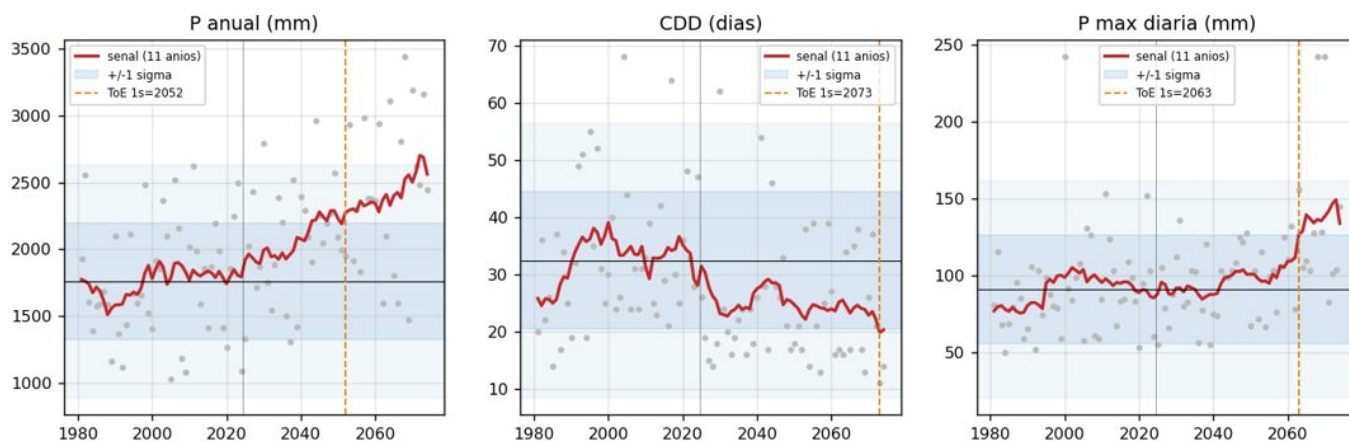


5. Time of Emergence (cuándo emerge la señal)

Señal/ruido (Hawkins & Sutton 2012; ensamble: Lickley 2024). Al incluir la **dispersión entre modelos**, el ToE honesto se retrasa: “>2074” significa que la señal no emerge con confianza dentro del siglo.

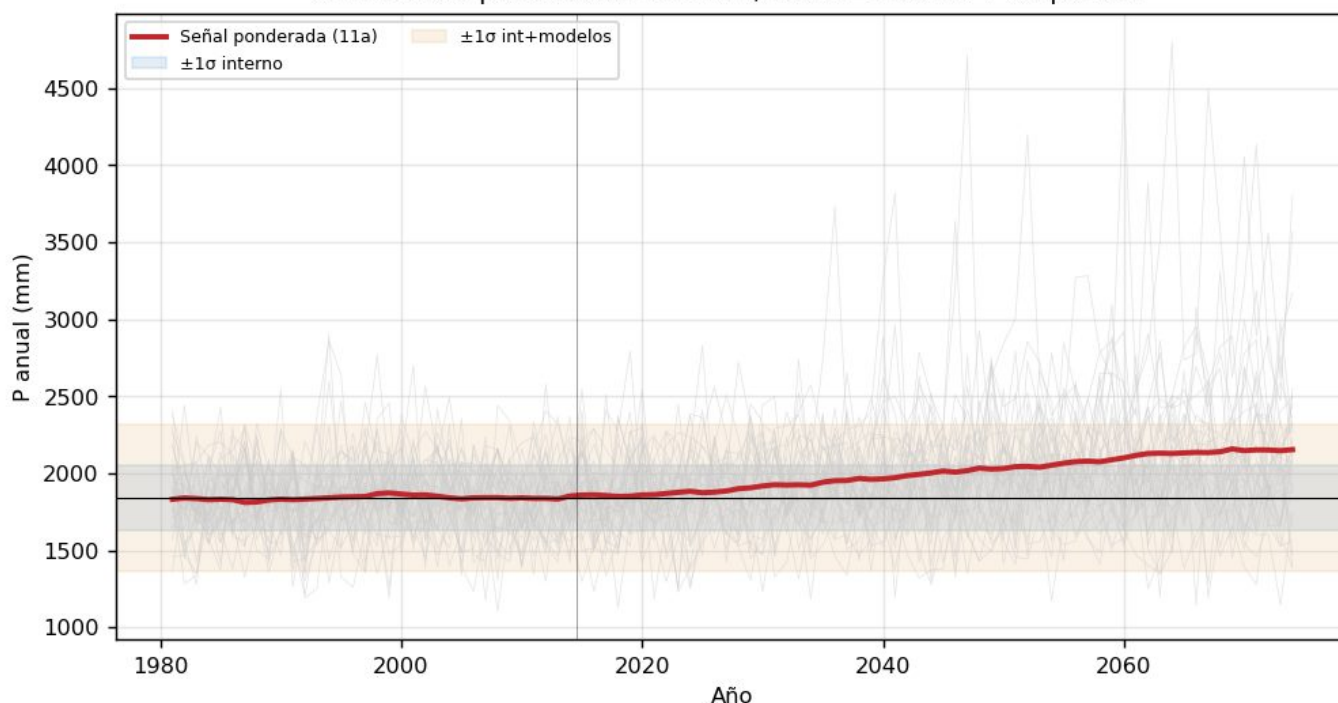
Umbral	Ruido	N (mm)	ToE
1sigma	solo interno	214,9	2055
1sigma	int+modelos	473,0	>2074
2sigma	solo interno	214,9	>2074
2sigma	int+modelos	473,0	>2074

Time of Emergence — cuando el cambio supera la variabilidad natural (SSP5-8.5)



Time of Emergence por indicador (serie solo-modelo).

ToE con ensamble multi-modelo — La_Mana (P anual, SSP5-8.5) 34 modelos ponderados ClimWIP; ruido = interno + dispersión

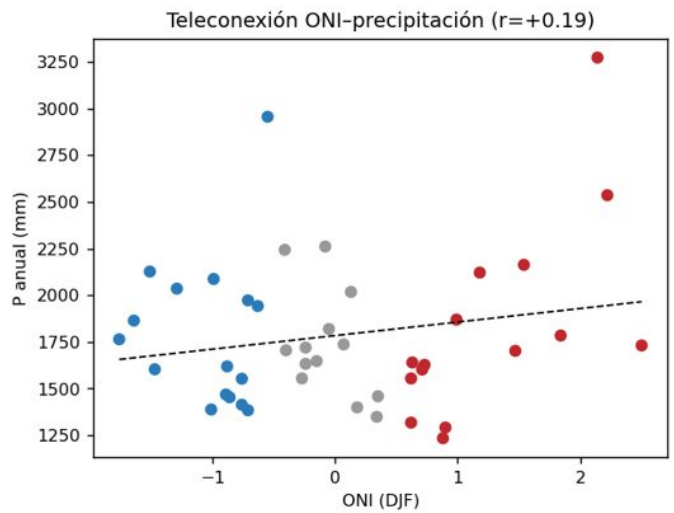
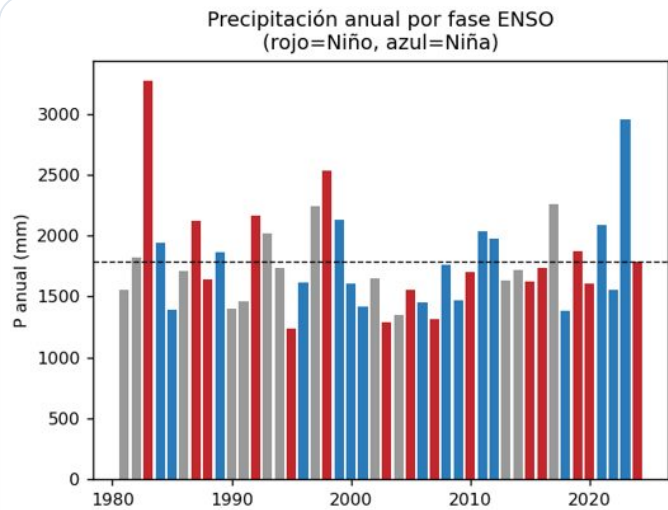


ToE con ensamble (ruido interno + dispersión entre modelos).

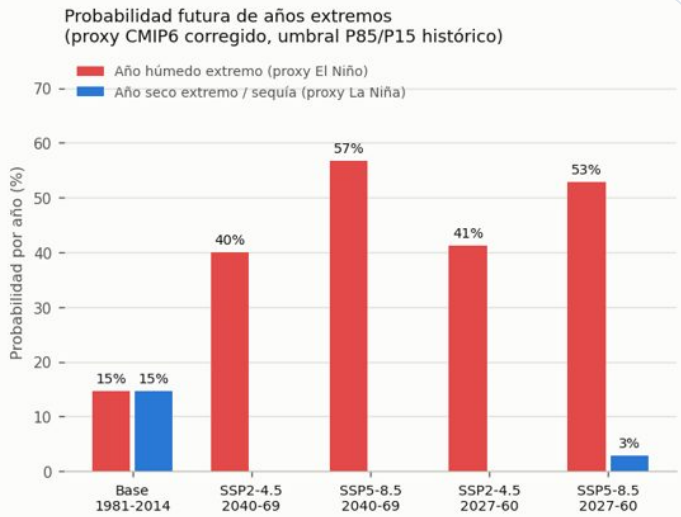
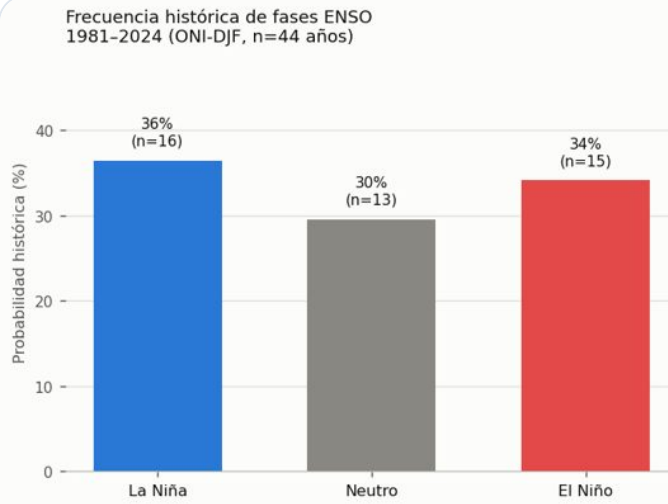
6. ENSO (El Niño / La Niña) y precipitación

Composición de la precipitación por fase del ONI (NOAA) sobre CHIRPS 1981-2025. Anomalía respecto a la media 1981-2025: **El Niño +2,4%**, **La Niña +0,1%**. La señal ENSO en la precipitación anual de esta cuenca es **débil** ($< \pm 5\%$): no se debe esperar un efecto fuerte sobre el total anual.

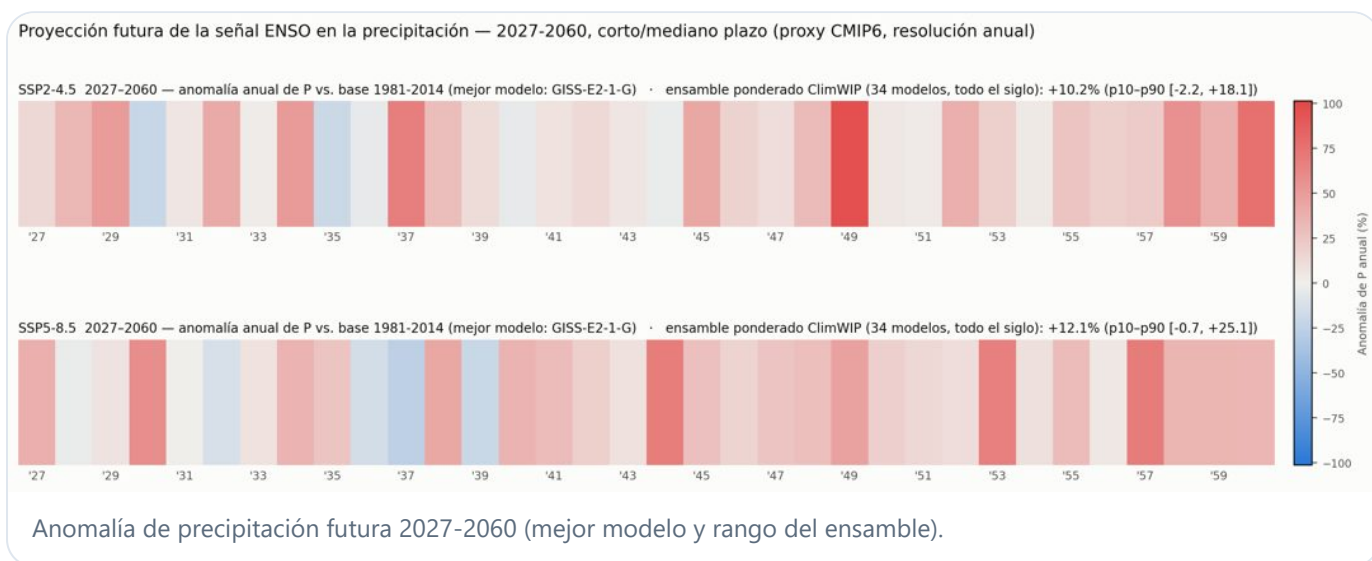
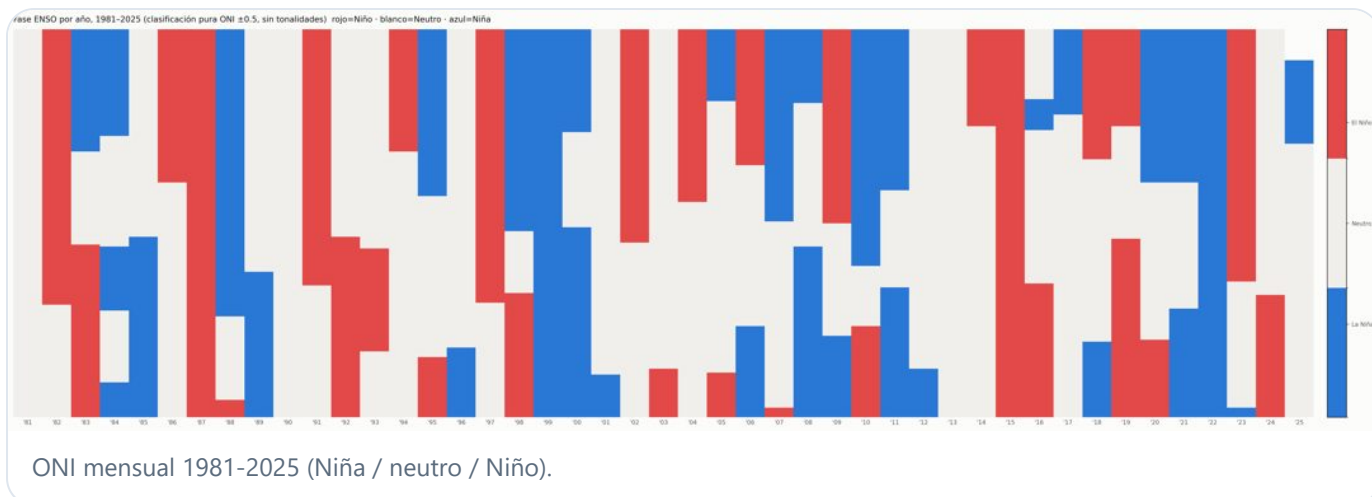
Fase	P media anual (mm)	Años	Anomalía (%)	Prob. (%)
Neutro	1.734	13	-2,9	29,5
Nina	1.789	16	+0,1	36,4
Nino	1.830	15	+2,4	34,1



Precipitación por fase ENSO (pasado) y dispersión.



Probabilidad histórica por fase vs probabilidad futura de año extremo.



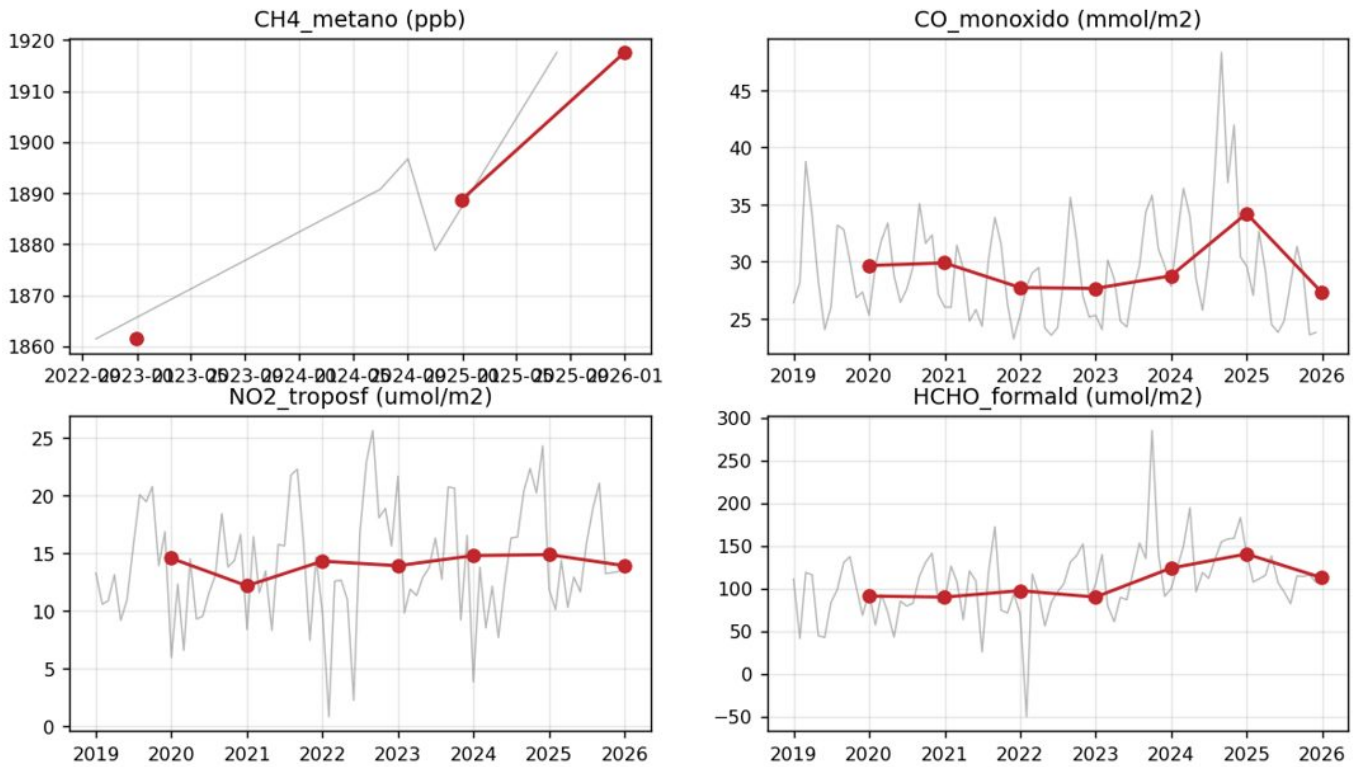
7. Gases de efecto invernadero (TROPOMI) y fuego

Columnas de CH₄, CO, NO₂ y HCHO sobre la cuenca (Sentinel-5P) con tendencia anual (Spearman). CO₂ no está en GEE: requiere EDGAR/ODIAC.

Gas	Media	Unidad	Tendencia/año	p	Signif. 5%
CO_monoxido	29,3	mmol/m2	-0,124	0,482	no
NO2_troposf	14,1	umol/m2	0,063	0,535	no
HCHO_formald	106,5	umol/m2	7,540	0,071	no

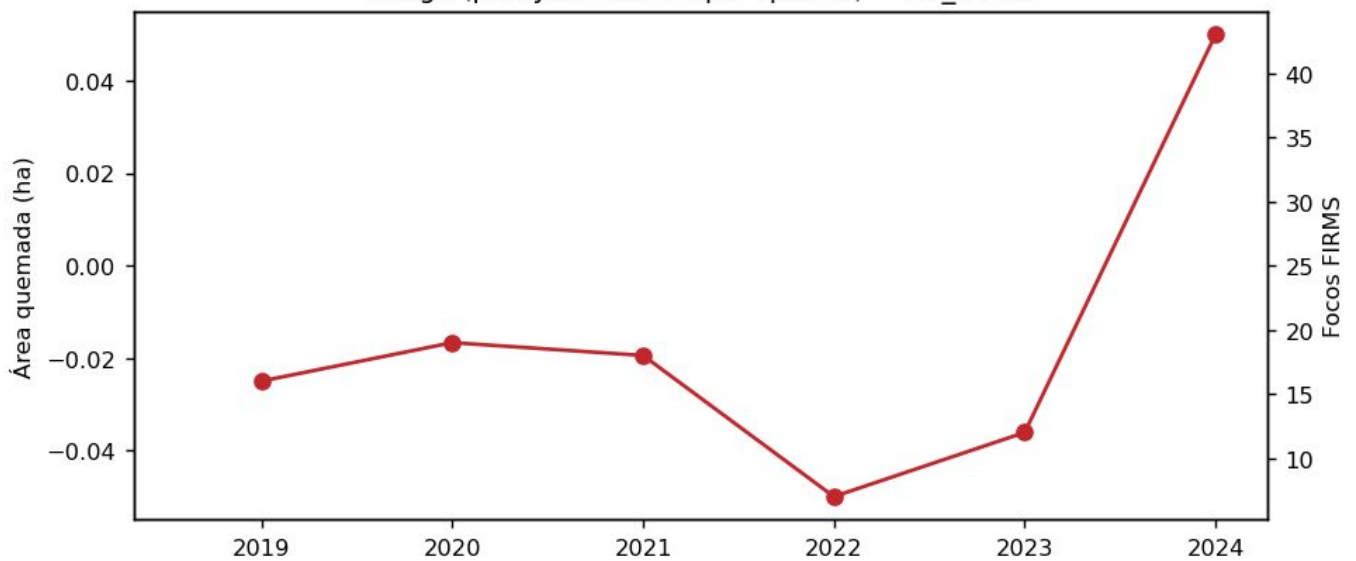
Sin tendencia para: CH₄_metano (cobertura de datos insuficiente por nubosidad persistente; TROPOMI requiere suficientes meses válidos).

GEI/contaminantes TROPOMI — La_Mana (2019-2025)



Series mensuales de GEI con tendencia.

Fuego (proxy emisiones por quema) — La_Mana



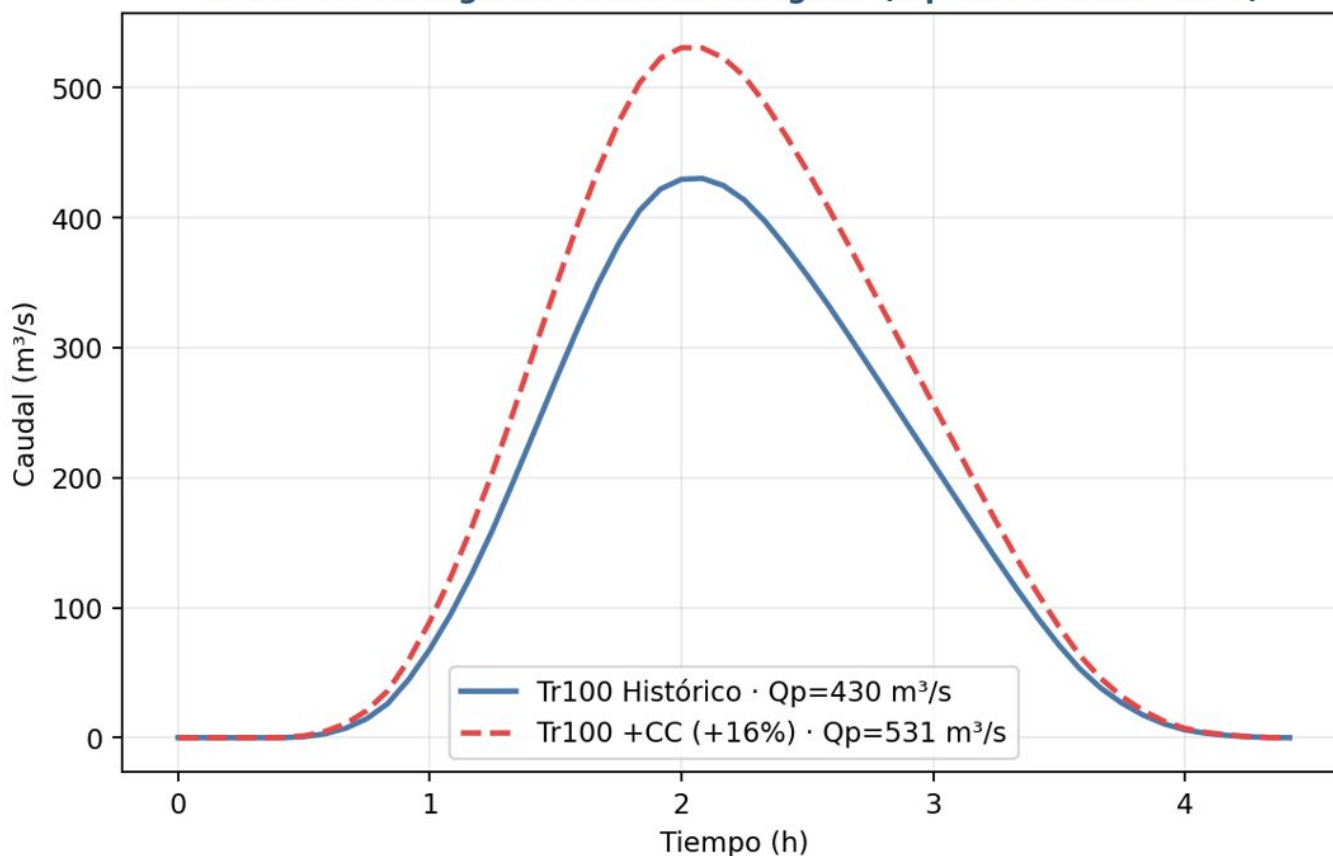
Fuego anual (MODIS/FIRMS).

8. Hidrología — HEC-HMS (equivalente analítico)

Tormenta de diseño (bloque alterno) + SCS-CN (CN=80,3) + hidrograma unitario triangular, $T_c=1,66$ h, área de la zona $30,7 \text{ km}^2$.

Tr	Q pico histórico	Q pico +CC	Δ
25	346 m ³ /s	431 m ³ /s	+24%
50	389 m ³ /s	482 m ³ /s	+24%
100	430 m ³ /s	531 m ³ /s	+23%

Hidrograma de crecida — zona La Maná (Tr 100)
SCS-CN + hidrograma unitario triangular (equivalente HEC-HMS)



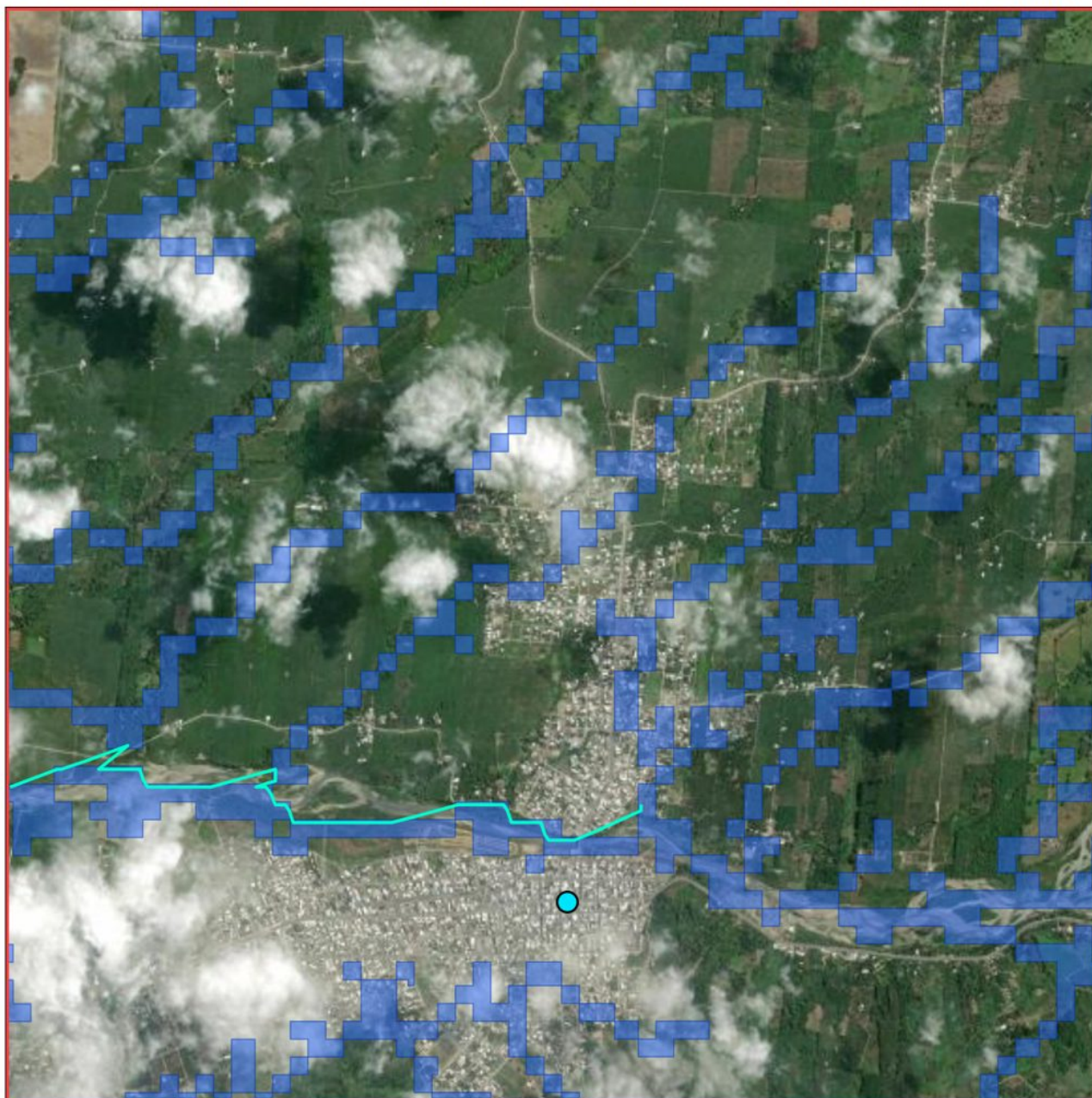
Hidrograma de crecida Tr 100 — histórico vs cambio climático.

9. Inundación por HAND (normal-depth sobre el río mejorado)

Calado por HAND + normal-depth sobre el río GEOGLOWS ajustado al thalweg del MDT.

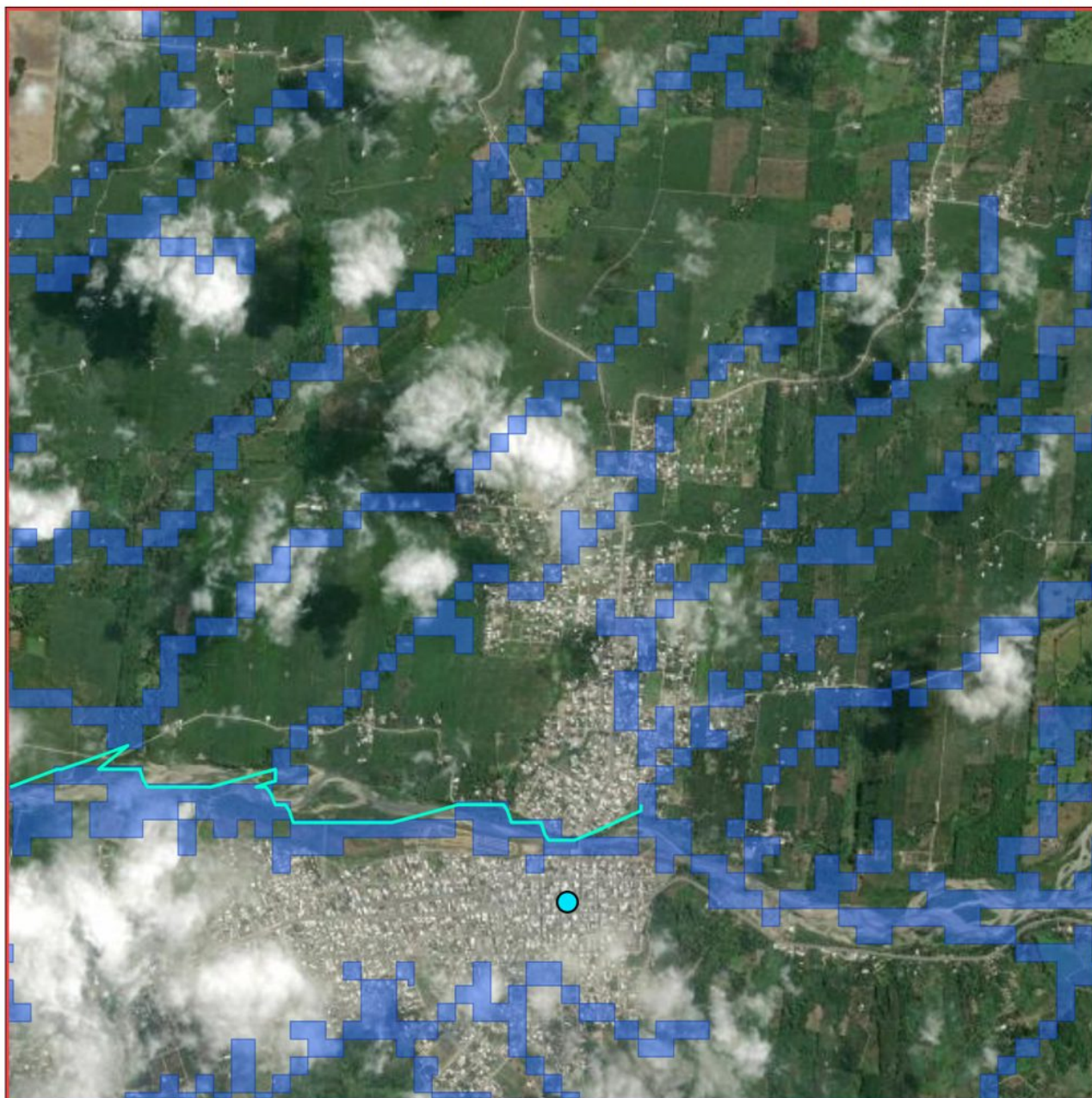
Tr	Área inundada	Calado máx
25	4,8 km ² (16%)	1,64 m
50	5,0 km ² (16%)	1,75 m
100	5,1 km ² (17%)	1,85 m

Inundación Tr 25 · +CC ($Q=431 \text{ m}^3/\text{s}$ · área 4.76 km^2 · calado máx 1.64 m)
Río GEOGLOWS mejorado (MDT) · contiene 64% del agua JRC · equivalente HEC-RAS (simplif.)



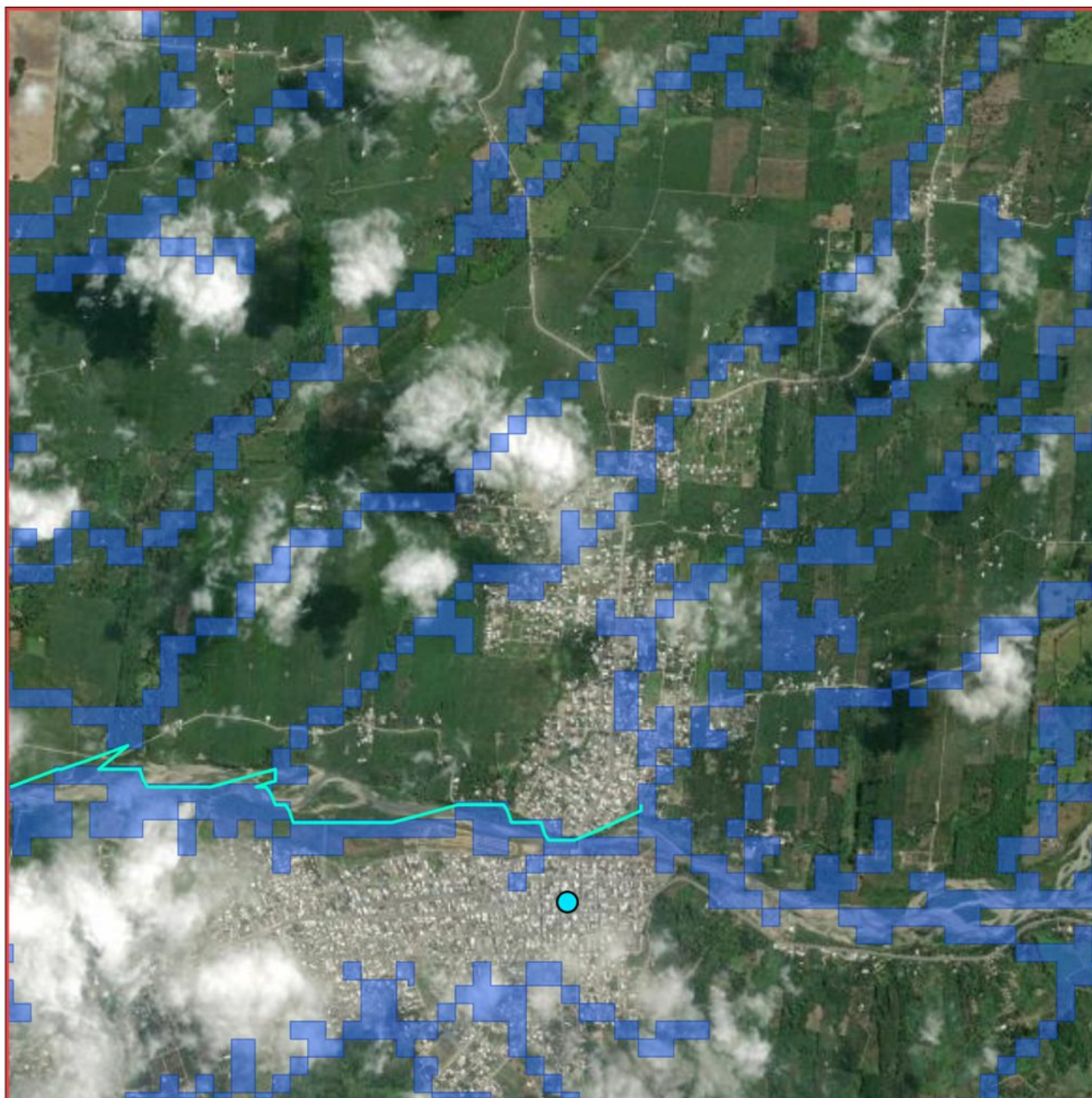
Mancha Tr 25 (+CC).

Inundación Tr 50 · +CC ($Q=482 \text{ m}^3/\text{s}$ · área 4.96 km^2 · calado máx 1.75 m)
Río GEOGLOWS mejorado (MDT) · contiene 64% del agua JRC · equivalente HEC-RAS (simplif.)



Mancha Tr 50 (+CC).

Inundación Tr 100 · +CC ($Q=531 \text{ m}^3/\text{s}$ · área 5.08 km^2 · calado máx 1.85 m)
Río GEOGLOWS mejorado (MDT) · contiene 64% del agua JRC · equivalente HEC-RAS (simplif.)

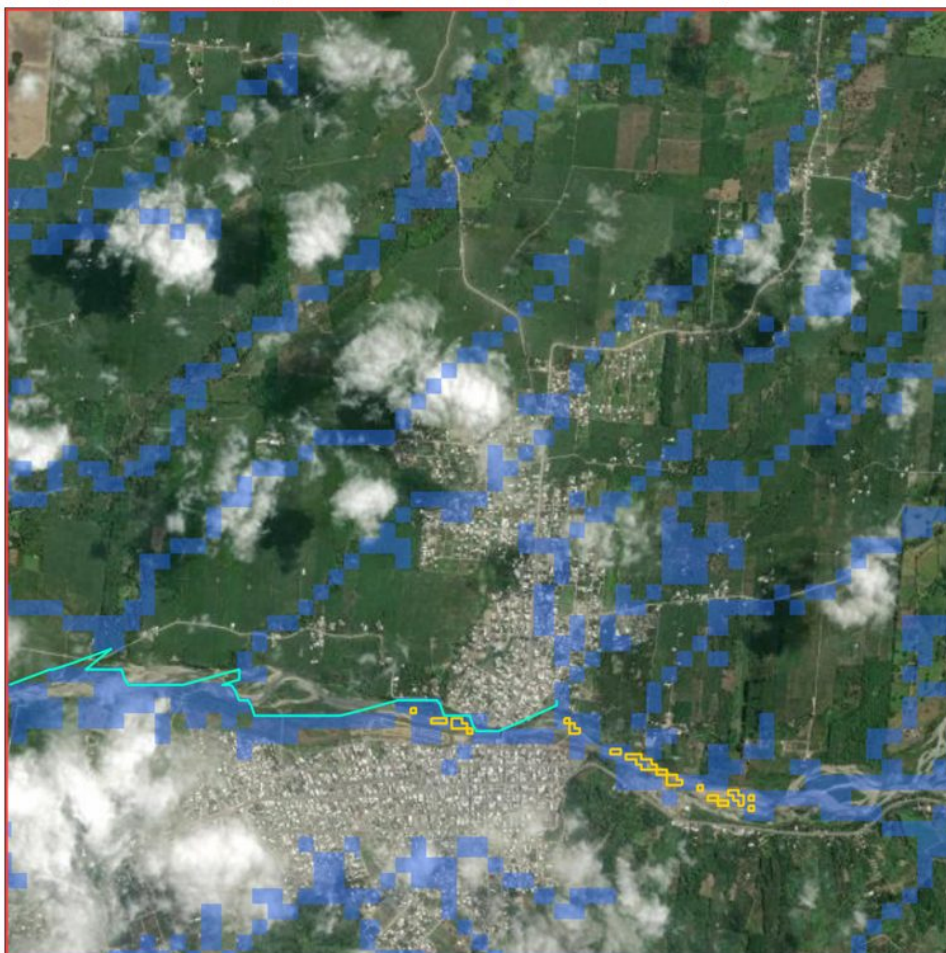


Mancha Tr 100 (+CC) — río mejorado.

10. Validación con datos observados

JRC Global Surface Water calibra el cauce (no la crecida); No se dispone de una huella observada de un evento para este cantón (Sentinel-1 no se ha procesado); el modelo se contrasta con el agua permanente JRC.

Modelo Tr100+CC (azul) contiene 64% del agua observada $\geq 25\%$ (amarillo) · el canal permanente NO es la mancha de crecida



Modelo Tr100+CC vs agua observada JRC.

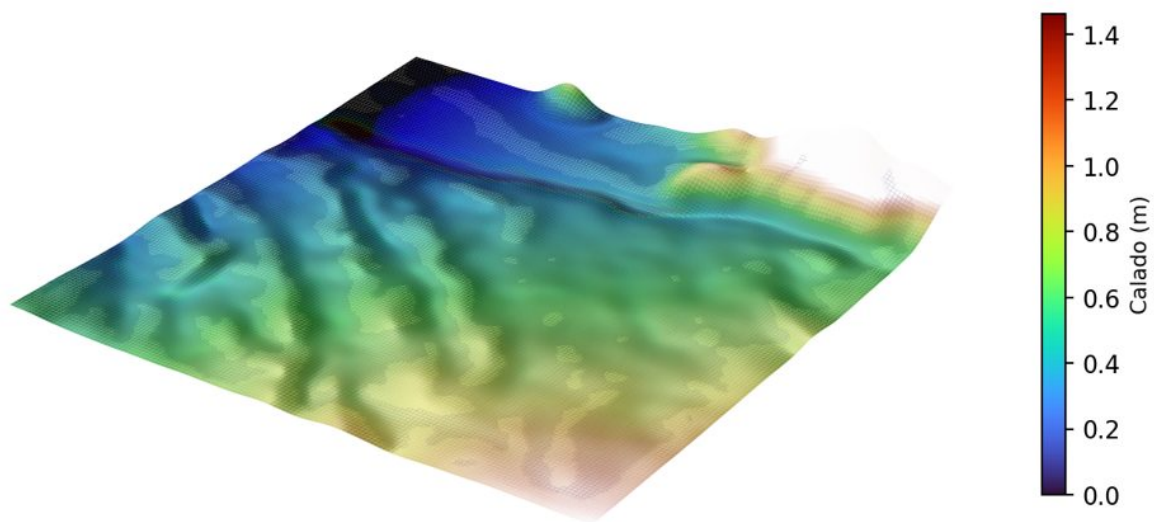
11. Modelo 2D y gemelo digital 3D

Esquema de inercia local (tipo LISFLOOD-FP) con lluvia sobre malla + caudal del río, sobre **FABDEM (suelo desnudo)** con el cauce quemado. Preliminar: el calado definitivo lo da HEC-RAS.

Tr	Calado p99	Área inundada (>6 cm)	Área $\geq 0,5$ m	Área ≥ 1 m	Vel. máx*
25	2,79 m	15,8 km ² (52%)	1,1 km ²	0,4 km ²	5,0 m/s
50	2,88 m	16,6 km ² (54%)	1,4 km ²	0,4 km ²	5,0 m/s
100	2,98 m	17,3 km ² (57%)	1,6 km ²	0,5 km ²	5,0 m/s

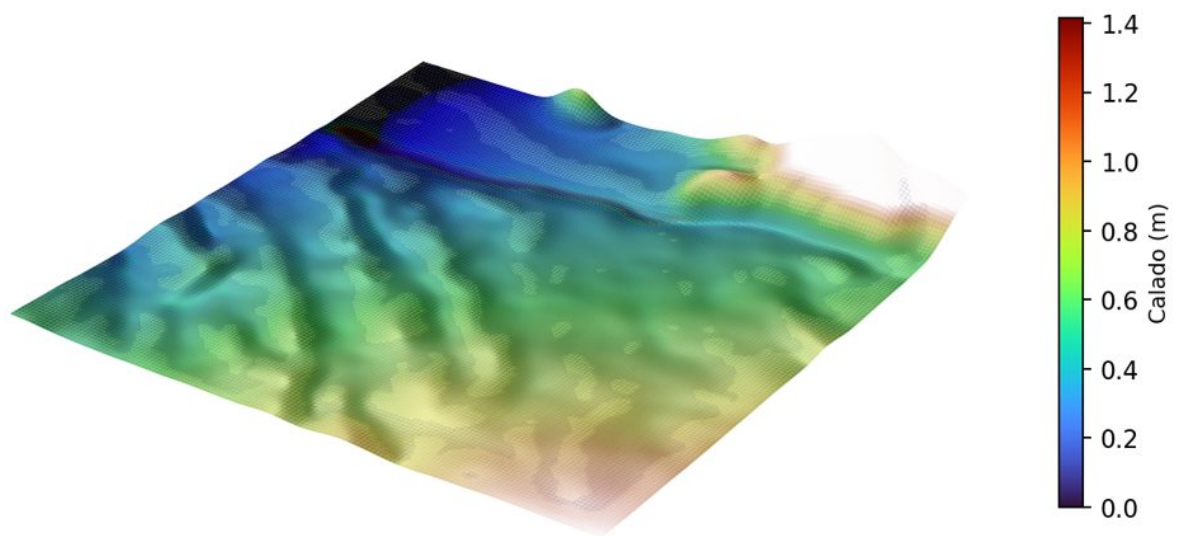
* La velocidad máxima está limitada por el solver (tope 5 m/s). El área >6 cm incluye escorrentía laminar de la lluvia sobre la malla; para el peligro real usar las áreas con calado $\geq 0,5$ m y ≥ 1 m.

Gemelo 3D de inundación — La Maná · Tr 100 +CC (FABDEM suelo desnudo)



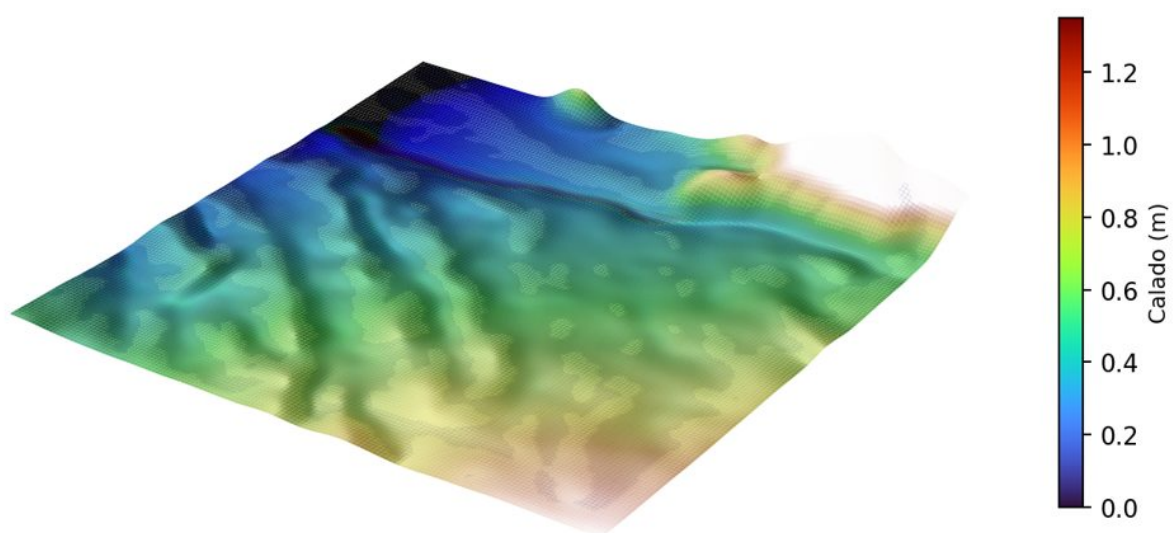
Gemelo 3D Tr 100 +CC.

Gemelo 3D de inundación — La Maná · Tr 50 +CC (FABDEM suelo desnudo)



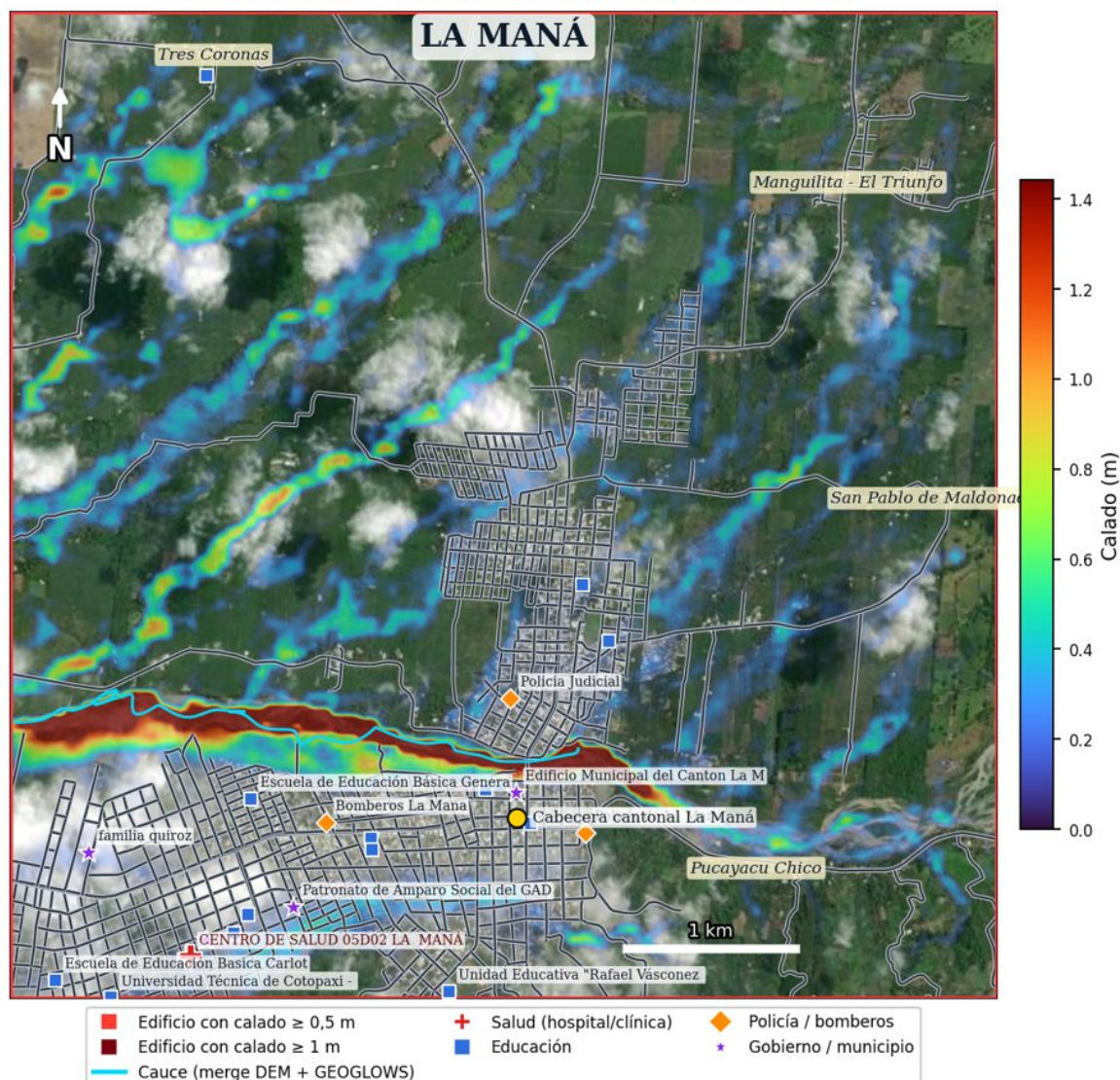
Gemelo 3D Tr 50 +CC.

Gemelo 3D de inundación — La Maná · Tr 25 +CC (FABDEM suelo desnudo)



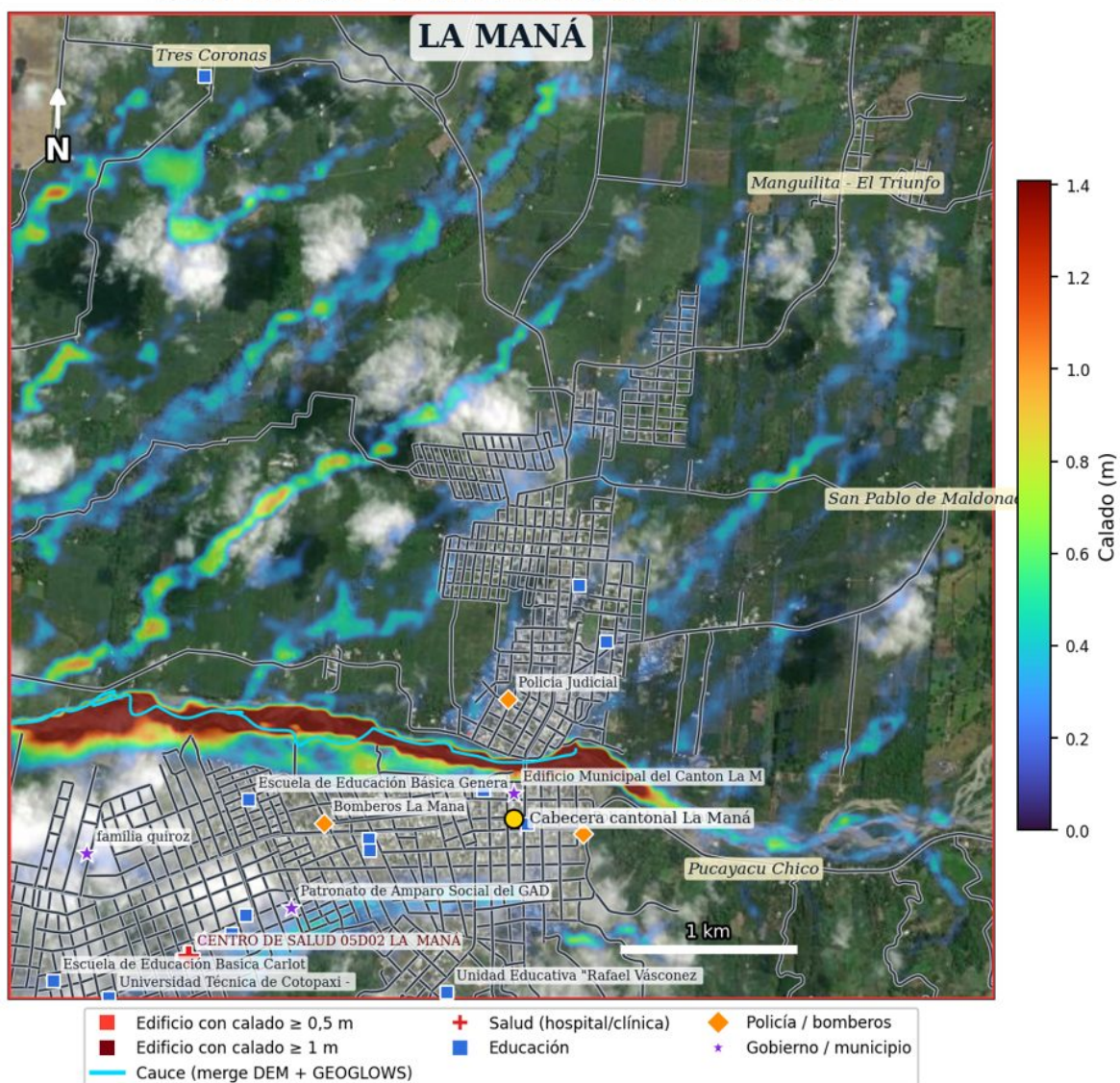
Gemelo 3D Tr 25 +CC.

Inundación 2D (FABDEM) — Tr 100 +CC · calado p99 2,98 m · 17,3 km² (>6 cm) · 22 edificios con $\geq 0,5$ m calado suavizado · calles, edificios y equipamiento OSM



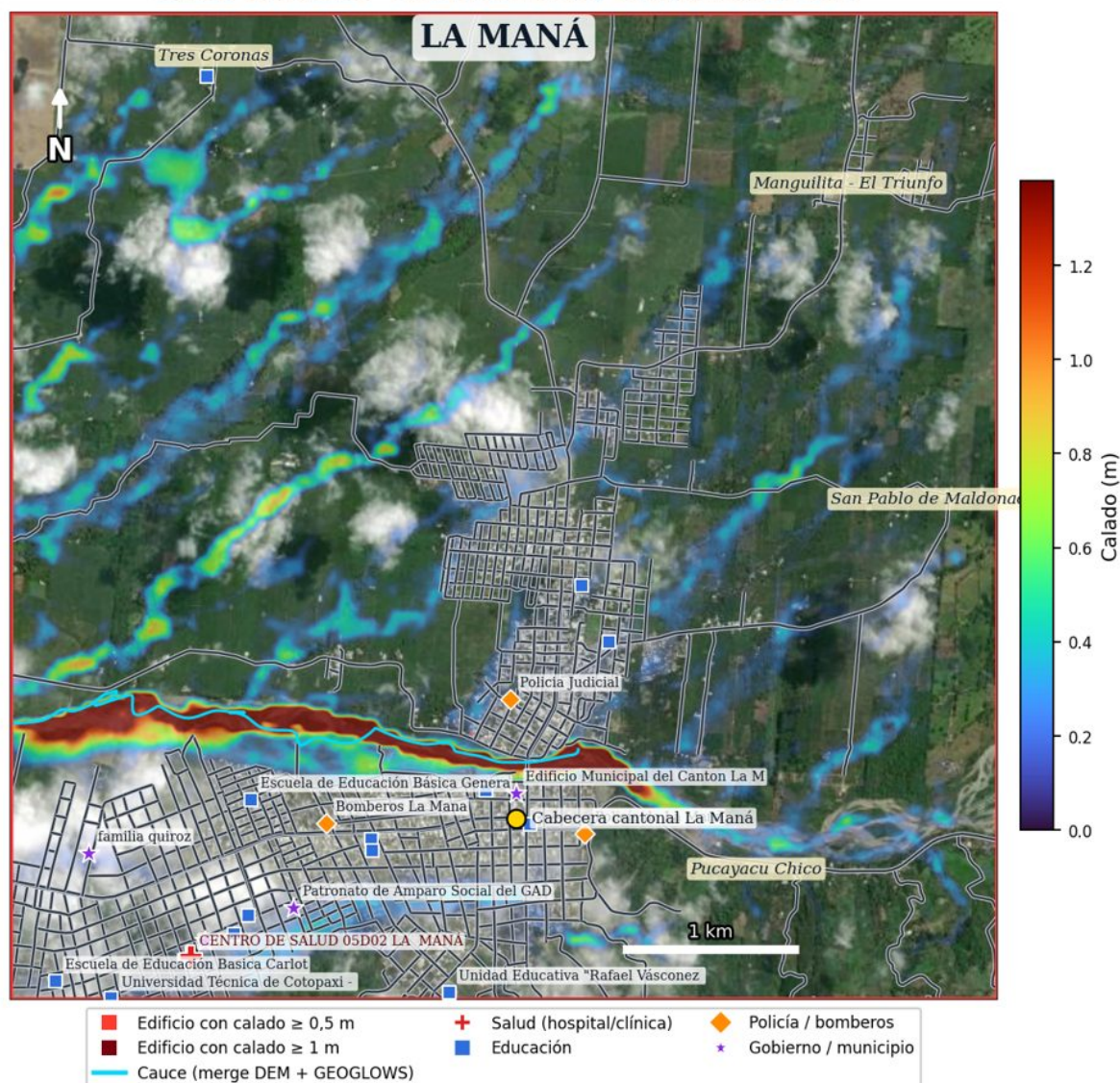
Calado 2D (FABDEM) Tr 100 +CC — flujo suavizado, con calles, edificios (rojo = expuestos) y equipamiento.

Inundación 2D (FABDEM) — Tr 50 +CC · calado p99 2,88 m · 16,6 km² (>6 cm) · 17 edificios con $\geq 0,5$ m calado suavizado · calles, edificios y equipamiento OSM



Calado 2D Tr 50 +CC.

Inundación 2D (FABDEM) — Tr 25 +CC · calado p99 2,79 m · 15,8 km² (>6 cm) · 15 edificios con $\geq 0,5$ m calado suavizado · calles, edificios y equipamiento OSM



Calado 2D Tr 25 +CC.

12. Exposición: edificaciones e instalaciones críticas

Edificaciones (huellas: Google Open Buildings v3) e instalaciones críticas (hospitales, clínicas, escuelas, policía, bomberos, gobierno) según el calado del 2D en su ubicación. Preliminar: sujeto a la calidad del 2D y a la cobertura de OSM.

Tr	Edificios en la zona	Con calado $\geq 0,5$ m	%	Con calado ≥ 1 m	%
25	2.033	15	0,7%	3	0,1%
50	2.033	17	0,8%	4	0,2%
100	2.033	22	1,1%	6	0,3%

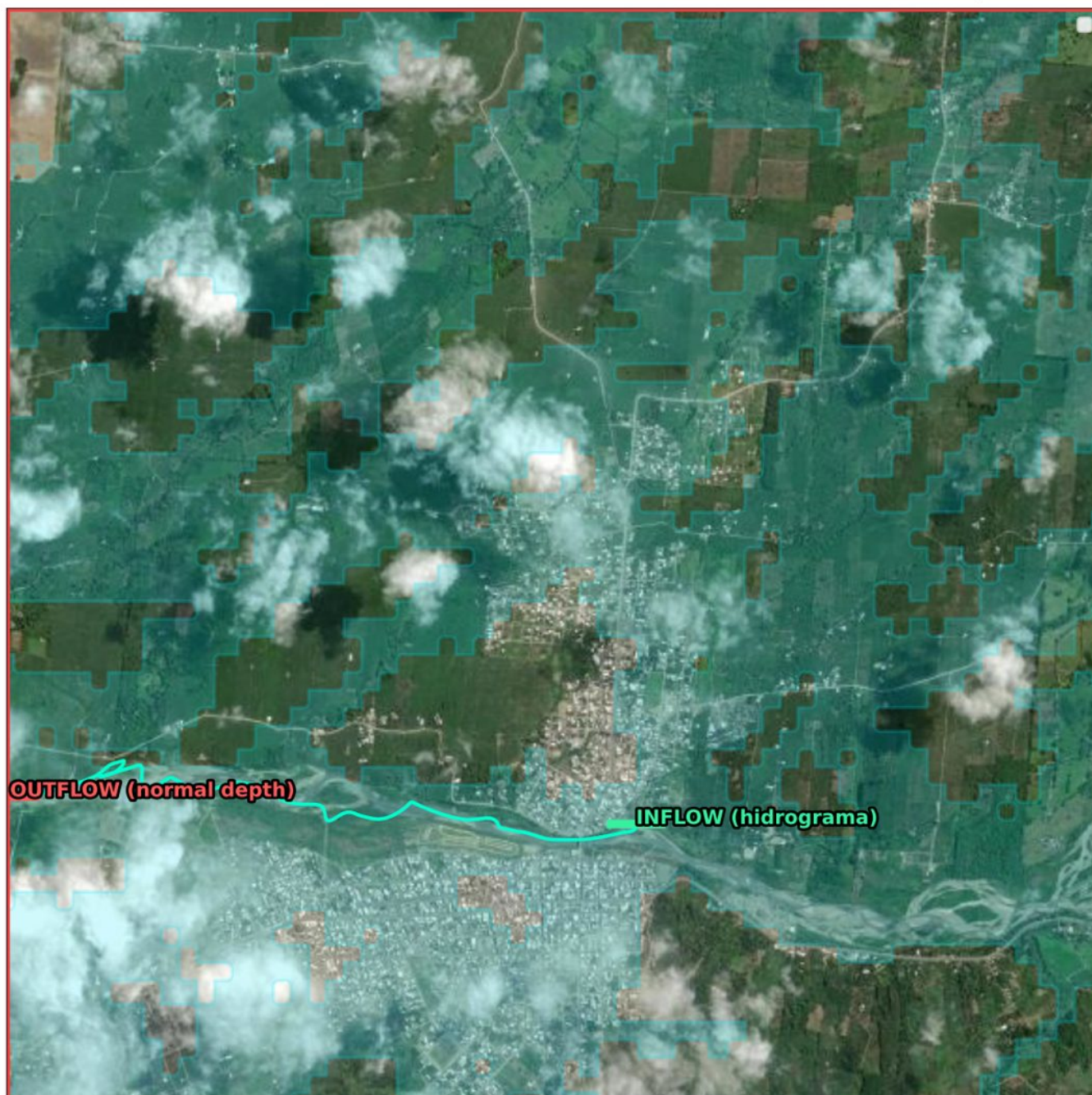
Instalaciones críticas (OSM) analizadas: 22. Con calado $\geq 0,3$ m en algún escenario: 1.

Instalación	Tipo	Calado Tr25	Calado Tr50	Calado Tr100
Unidad Educativa Narcisco Cerda Maldonado	educacion	0,20 m	0,27 m	0,34 m

Queda listo el **paquete HEC-RAS 2D** (terreno, Manning, dominio 2D, condiciones de borde e hidrogramas) para RAS Mapper.

Montaje HEC-RAS 2D — zona La Maná

Terreno + dominio 2D + condiciones de borde (inflow/outflow) + río mejorado



Montaje HEC-RAS 2D — dominio, río y condiciones de borde.

13. Conclusiones

- El cambio climático eleva el caudal de diseño Tr100 de **430 a 531 m³/s (+23%)** y las intensidades IDF **+16%**.
- Ensemble ClimWIP SSP5-8.5: precipitación anual **+12,1%** (P10–P90 [-0.7, +25.1]).
- Time of Emergence con dispersión entre modelos: 1sigma → >2074, 2sigma → >2074.
- Inundación por HAND Tr100+CC: **5,1 km²**, calado máx **1,85 m**.
- 2D sobre FABDEM Tr100+CC: **17,3 km² (57%)**, calado p99 **2,98 m**, velocidad máx 5,0 m/s.
- Vías comprometidas (Tr100+CC): **19,5 km**.
- Entregables en **shapes (WGS84 + UTM)**, **Excel y mapas**; el 2D propio es preliminar y se afina con HEC-RAS.

14. Limitaciones

- GEOGLOWS sobreestima el caudal (~4×): se usa su estructura, no su magnitud.
- La corrección EQM amplifica extremos: por eso el factor de diseño sale del ensamble.
- NDVI-RF es indicativo (R^2 bajo).
- La HMS es un equivalente analítico, no un modelo calibrado.
- Sentinel-1 no calibra calado urbano.
- El 2D propio es preliminar; el calado definitivo lo da HEC-RAS.

ClimaLAB · Reporte técnico generado por el agente CLIMALAB a partir de los resultados · CHIRPS, NASA NEX-GDDP-CMIP6, GEOGLOWS, HAND, INAMHI M0006, TROPOMI, HEC-HMS/RAS.