

# Riesgo hidrológico y de inundación — Gualaquiza

Estación INAMHI M0502 · Sitio -3.4046, -78.5805 · WGS84 / UTM (EPSG:32717)

## 1. Resumen ejecutivo

Se delimitó una **carta = ventana de 0,05° centrada en el sitio (30,8 km<sup>2</sup>)** 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 km<sup>2</sup>**

Carta 0,05° centrada en el sitio

**59,7 km**

Estación de referencia M0502 al sitio

**+13%**

Factor IDF de diseño

**561 m<sup>3</sup>/s**

Caudal pico Tr100 +CC

**1,7 m**

Calado p99 2D (FABDEM)

**7,7 km<sup>2</sup>**

Área inundada Tr100 (25%)

**6,8 km**

Vías afectadas Tr100+CC

**+7,2%**

Precip. anual SSP5-8.5 (ensamble)

**34**

Modelos CMIP6 evaluados

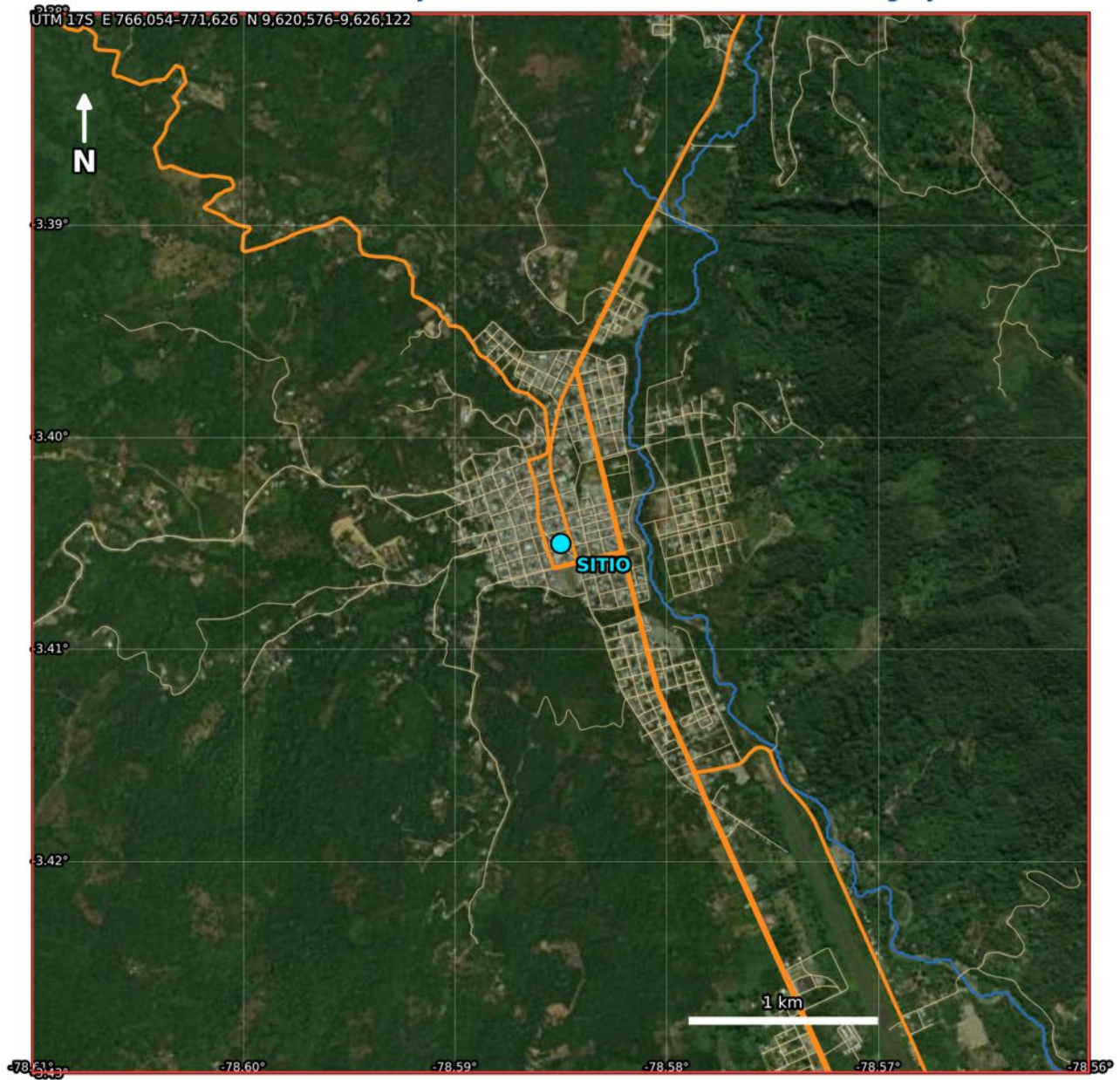
**0%**

Agua JRC contenida por el modelo

## 2. Zona y estación de referencia

La estación INAMHI de referencia M0502 (El Pangui) está a 59,7 km del sitio (-3.4046, -78.5805). 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 (M0189 Gualaquiza (0,9 km), M0506 Paquisha (24,9 km), M0424 Sigsig Inamhi (45,7 km)).

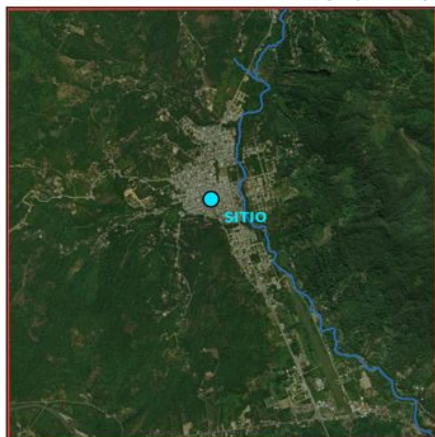
**CARTA TOPOGRÁFICA — Zona Gualaquiza · ventana 0,05° centrada en el sitio (≈ 5,5 km · 30.8 km<sup>2</sup>)**  
**Datum WGS84 · Proyección UTM 17S · fondo Esri World Imagery**



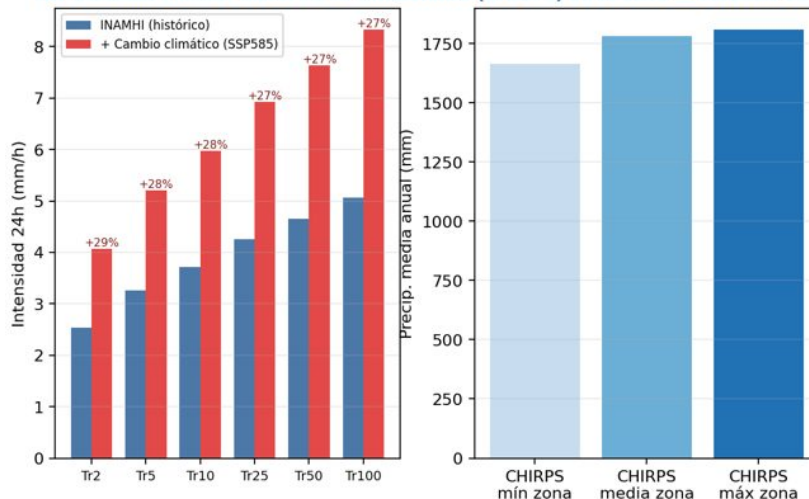
Carta topográfica (ventana 0,05° centrada en el sitio) — grilla UTM, red vial OSM, estación y sitio.

## Contraste estación INAMHI vs productos hidroclima — zona Gualaquiza

Estación INAMHI M0502 vs sitio (59,396 m)



IDF estación M0502: histórico vs futuro Satélite (CHIRPS) en la zona — estación 46 m s.n.m.



INAMHI M0502: EL PANGUI - -3.9331, -78.6747 - 820 m

Contraste estación INAMHI M0502 vs sitio: ubicación, IDF y precipitación.

## Sitio del proyecto: Centro Comercial de Gualaquiza

Coordenadas -3.40459, -78.58048 (UTM 17S 768,840 / 9,623,349). Lectura puntual de los resultados en el sitio.

**838,2 m**

Cota FABDEM en el sitio  
(suelo desnudo)

**589 m**

Distancia al cauce  
(merge DEM +  
GEOGLOWS)

**20,0 m**

Altura del sitio sobre el  
cauce más cercano

**Preliminar**

Nivel de confianza del  
2D

| Escenario    | Calado en el sitio | Máx. en 60 m | Máx. en 120 m |
|--------------|--------------------|--------------|---------------|
| Tr 25 (+CC)  | 0,01 m             | 0,13 m       | 0,15 m        |
| Tr 50 (+CC)  | 0,01 m             | 0,13 m       | 0,16 m        |
| Tr 100 (+CC) | 0,01 m             | 0,14 m       | 0,17 m        |

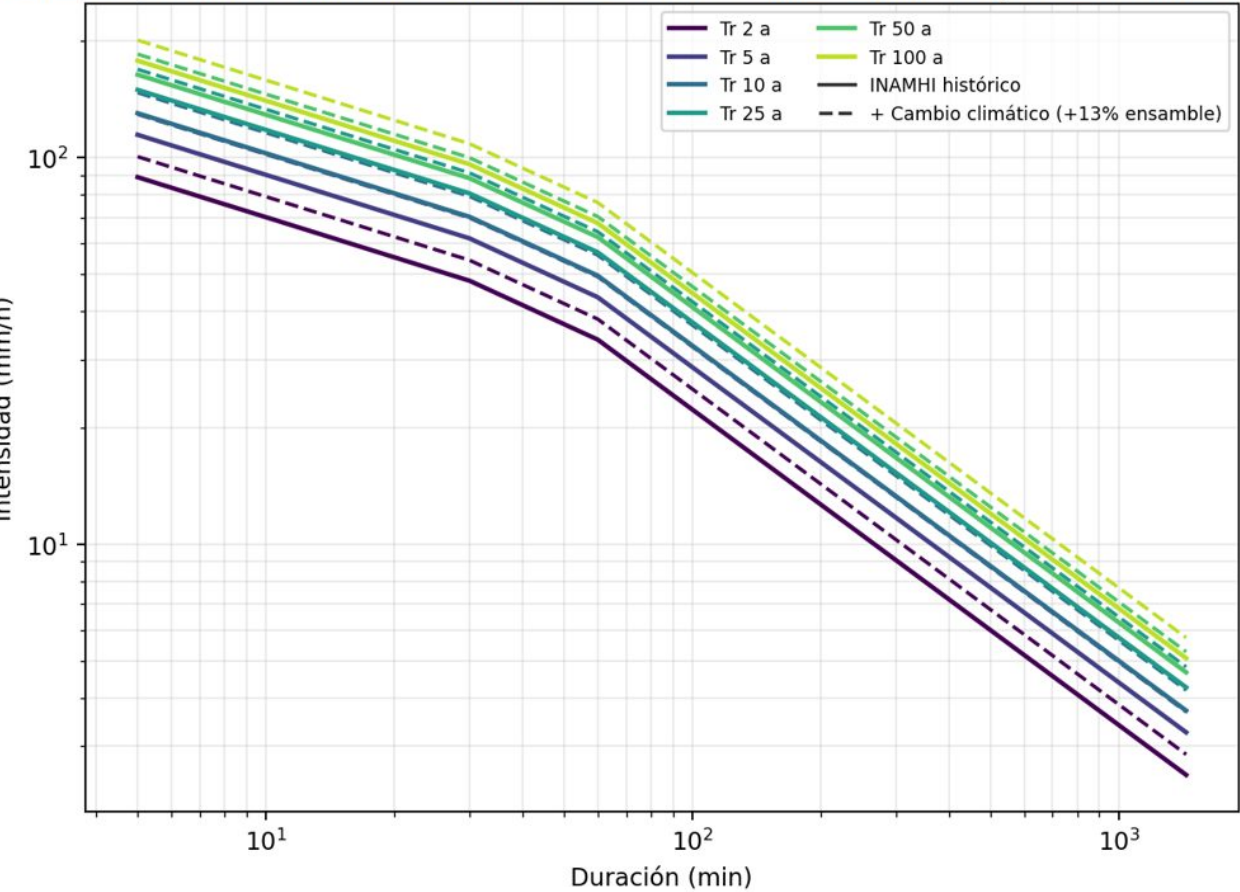
El 2D preliminar **no muestra afectación fluvial** en el sitio: el calado dentro de 120 m es menor de 0,3 m y proviene de la lluvia sobre la malla (escorrentía laminar), no del desborde del río. FABDEM tiene un error vertical de unos  $\pm 3-5$  m: la cota del sitio debe contrastarse con el levantamiento topográfico del proyecto.

### 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 **+13%**: 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).

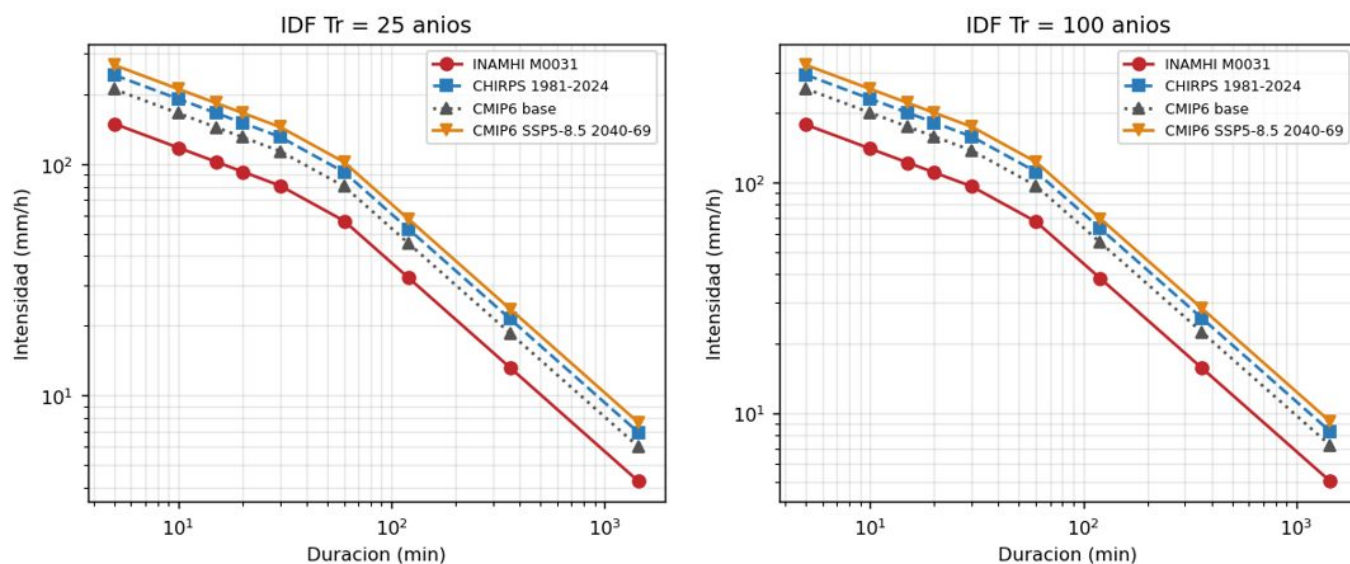
| Escenario | Ensamble ponderado (ClimWIP) | Media simple | Rango P10–P90  | Modelo único |
|-----------|------------------------------|--------------|----------------|--------------|
| SSP2-4.5  | +5,2%                        | +4,9%        | [-8.4, +14.8]  | -10,0%       |
| SSP5-8.5  | +7,2%                        | +6,4%        | [-10.9, +25.0] | -10,4%       |

**Curvas IDF estación INAMHI M0502 — histórico vs cambio climático (SSP5-8.5, factor de ensamble ClimWIP +13%; línea sólida = histórico, discontinua = futuro)**



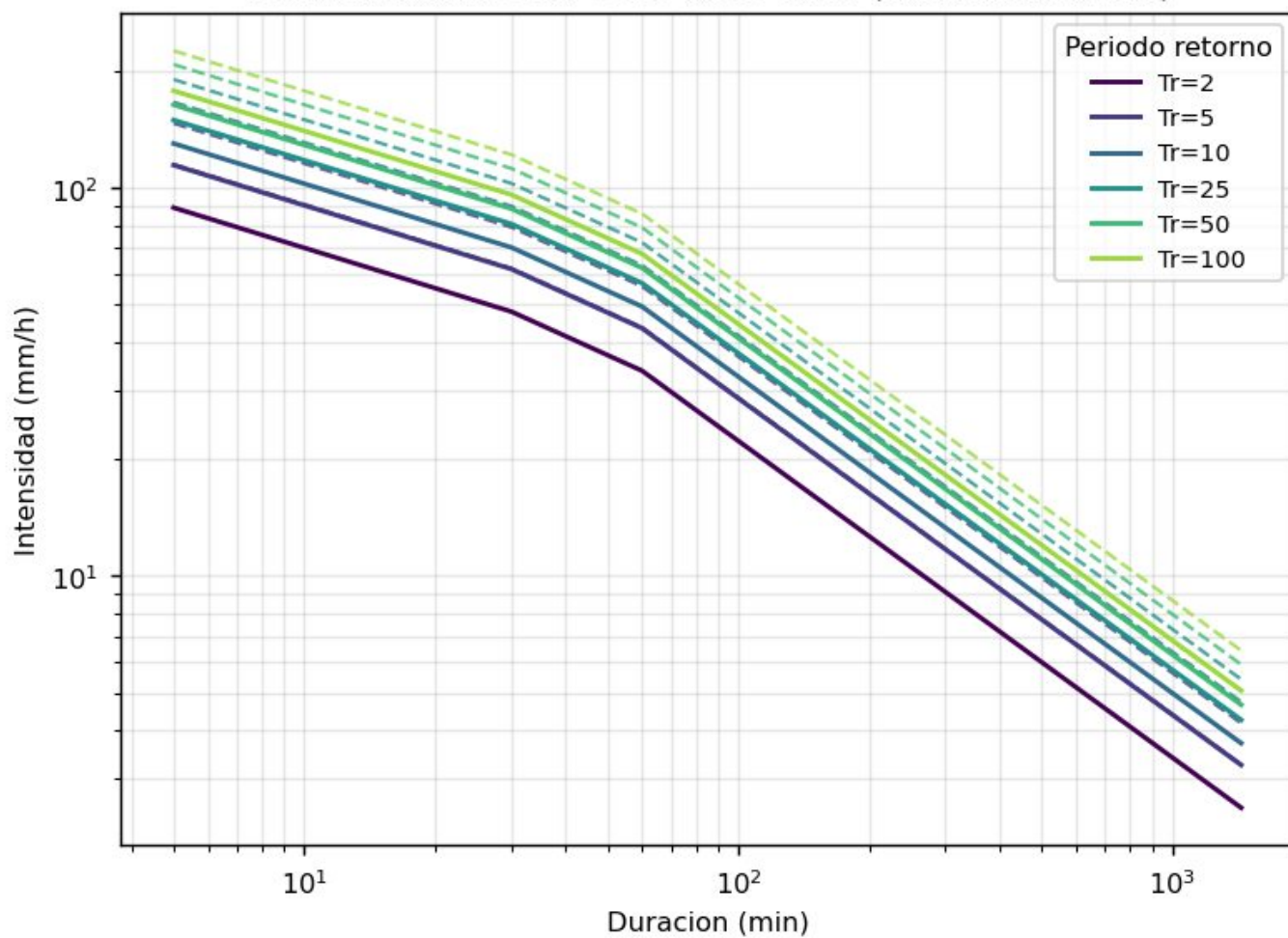
Curvas IDF estación M0502 — histórico (sólida) vs cambio climático +13% (discontinua).

### Curvas IDF estacion Gualaquiza (M0031) — INAMHI vs CHIRPS vs CMIP6



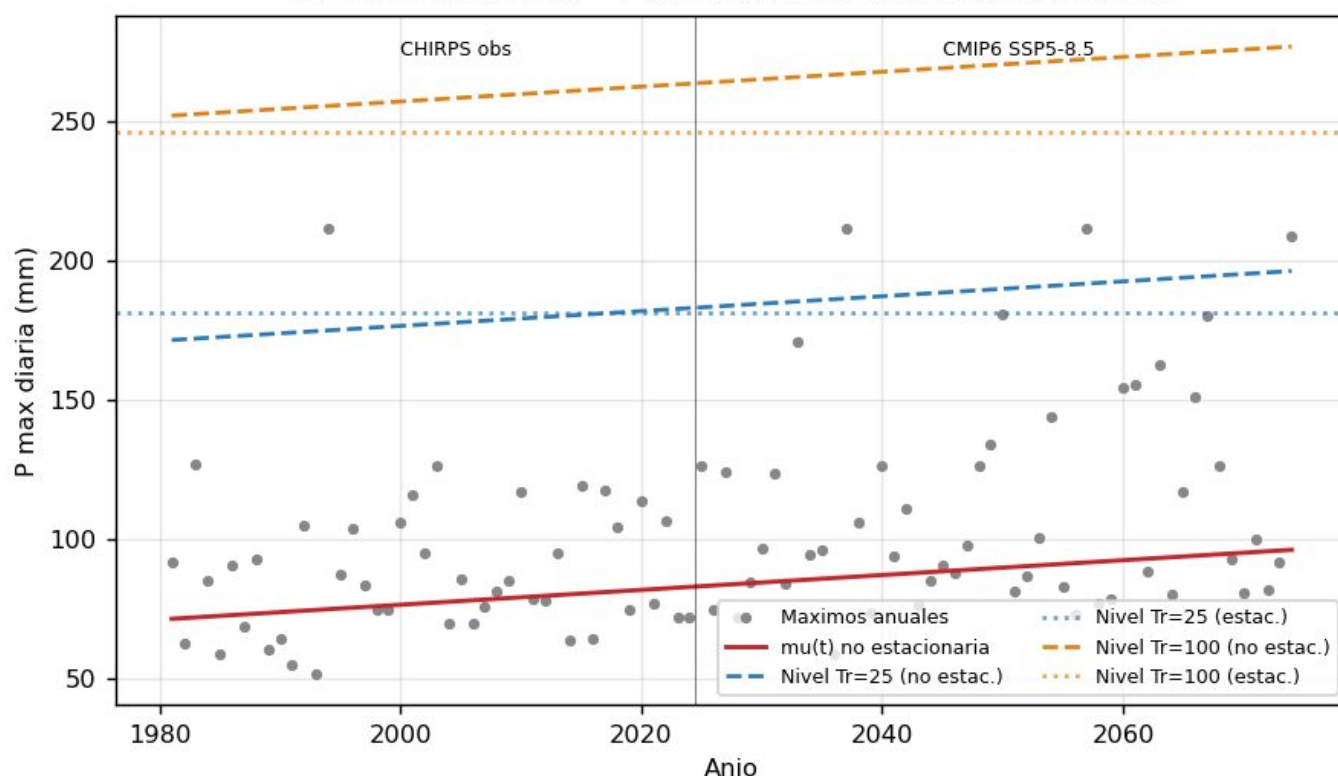
IDF: INAMHI observado vs CHIRPS vs CMIP6.

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



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

IDF no estacionaria — P24h de diseno creciente 1981-2069



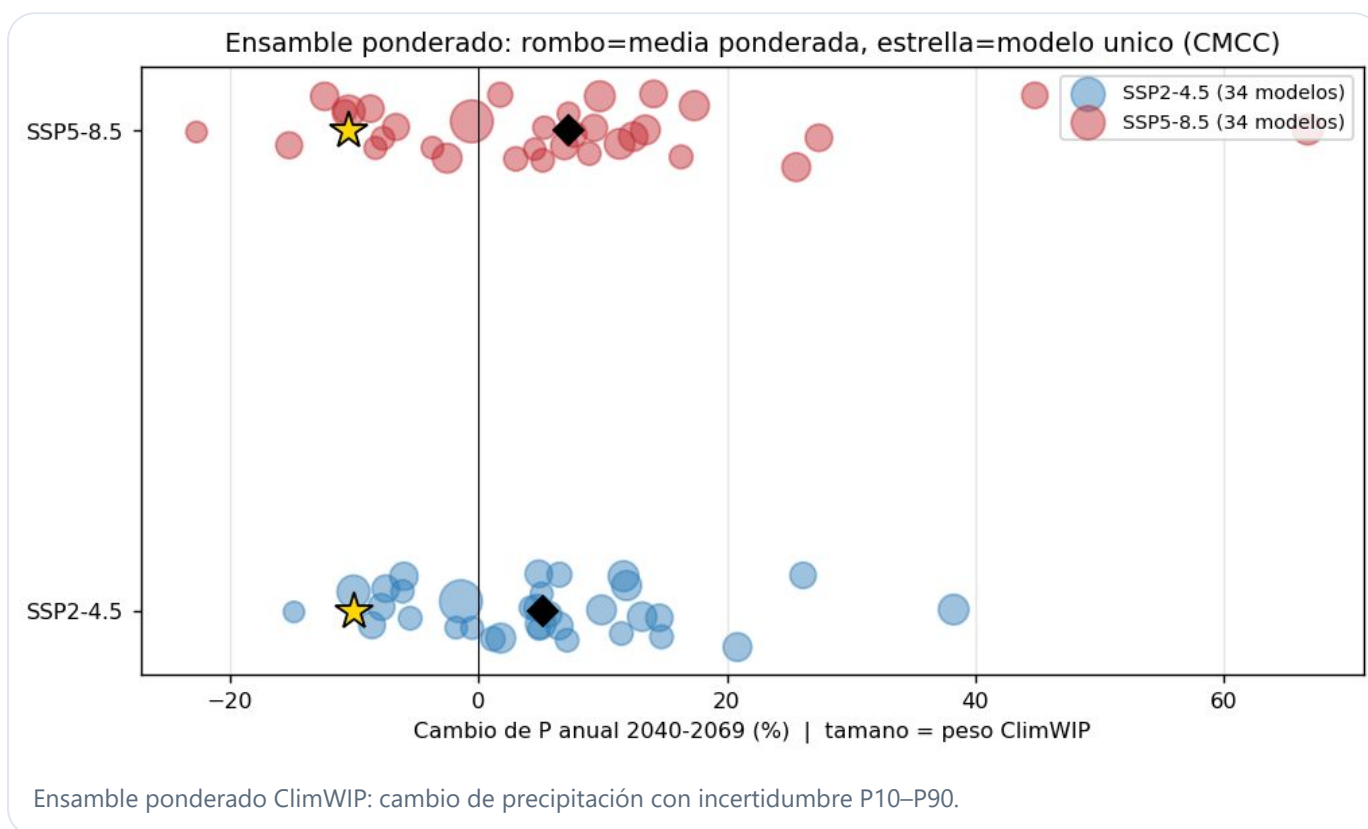
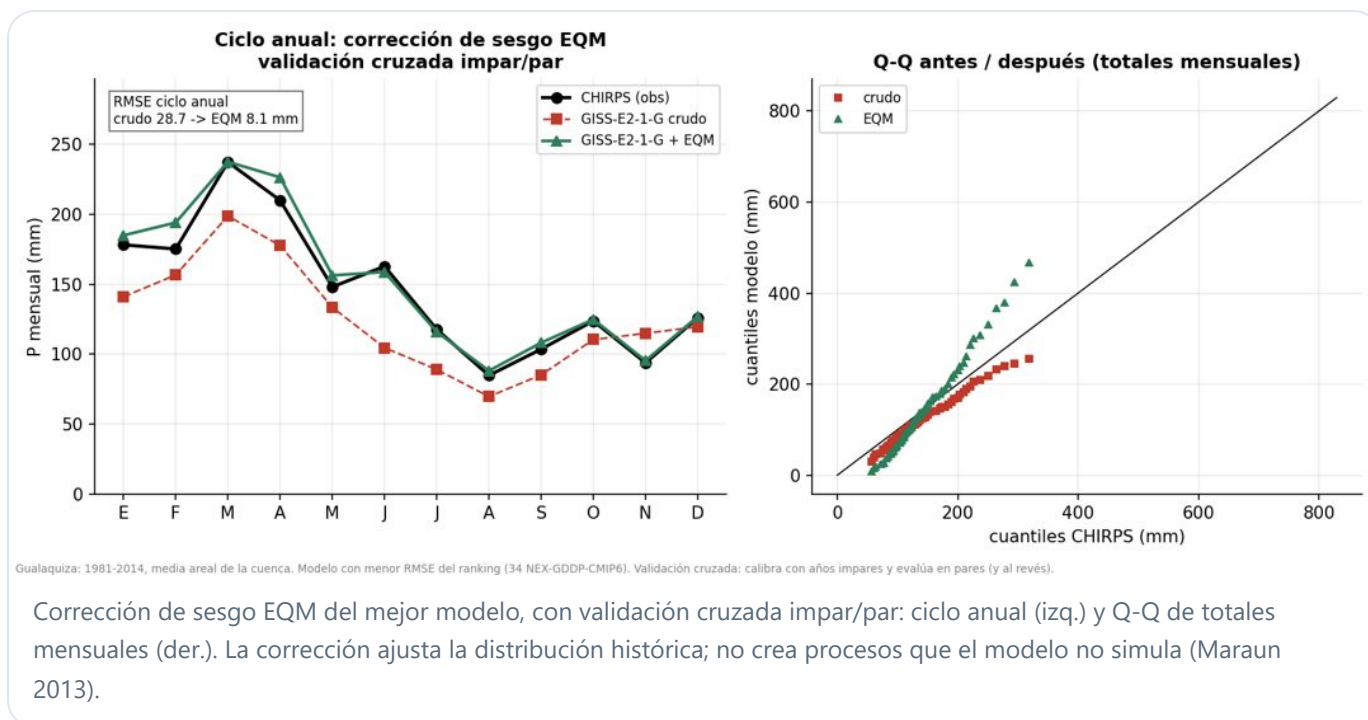
IDF no estacionaria (GEV con  $\mu(t)$ ).

#### 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 21,1 mm/mes).

| Modelo        | RMSE (mm/mes) | P anual (mm) | Sesgo (mm) | r ciclo |
|---------------|---------------|--------------|------------|---------|
| GISS-E2-1-G   | 21,1          | 1.914        | 154        | 0,931   |
| MPI-ESM1-2-LR | 21,6          | 1.907        | 147        | 0,921   |
| CESM2-WACCM   | 22,0          | 1.902        | 141        | 0,918   |
| GFDL-CM4      | 22,2          | 1.898        | 138        | 0,909   |
| CanESM5       | 23,0          | 1.938        | 178        | 0,944   |

Se muestran los 5 mejores; los 34 están en [data/cmip6\\_ranking\\_rmse.csv](#).

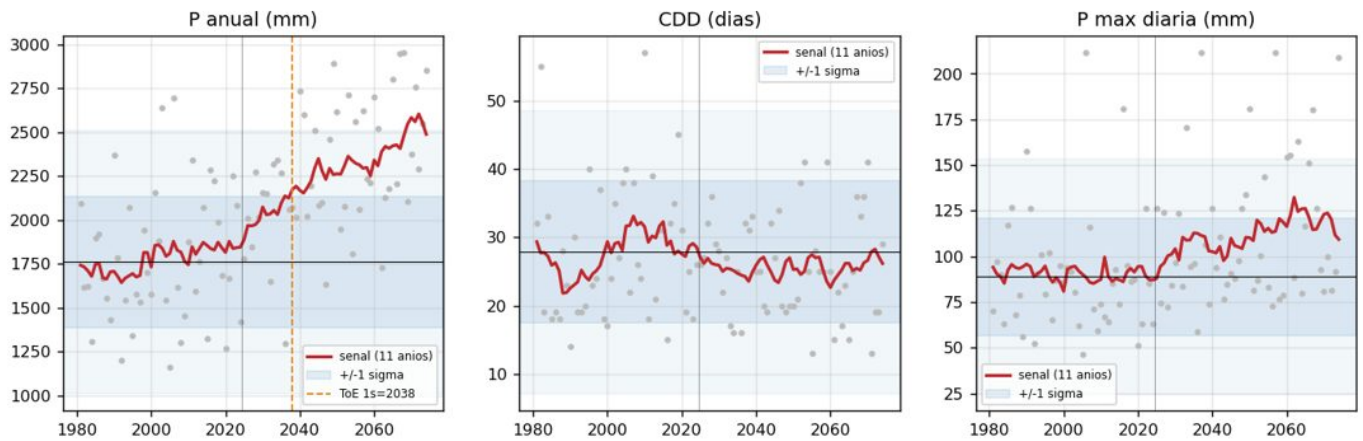


## 5. Time of Emergence (cuándo emerge la señal)

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.

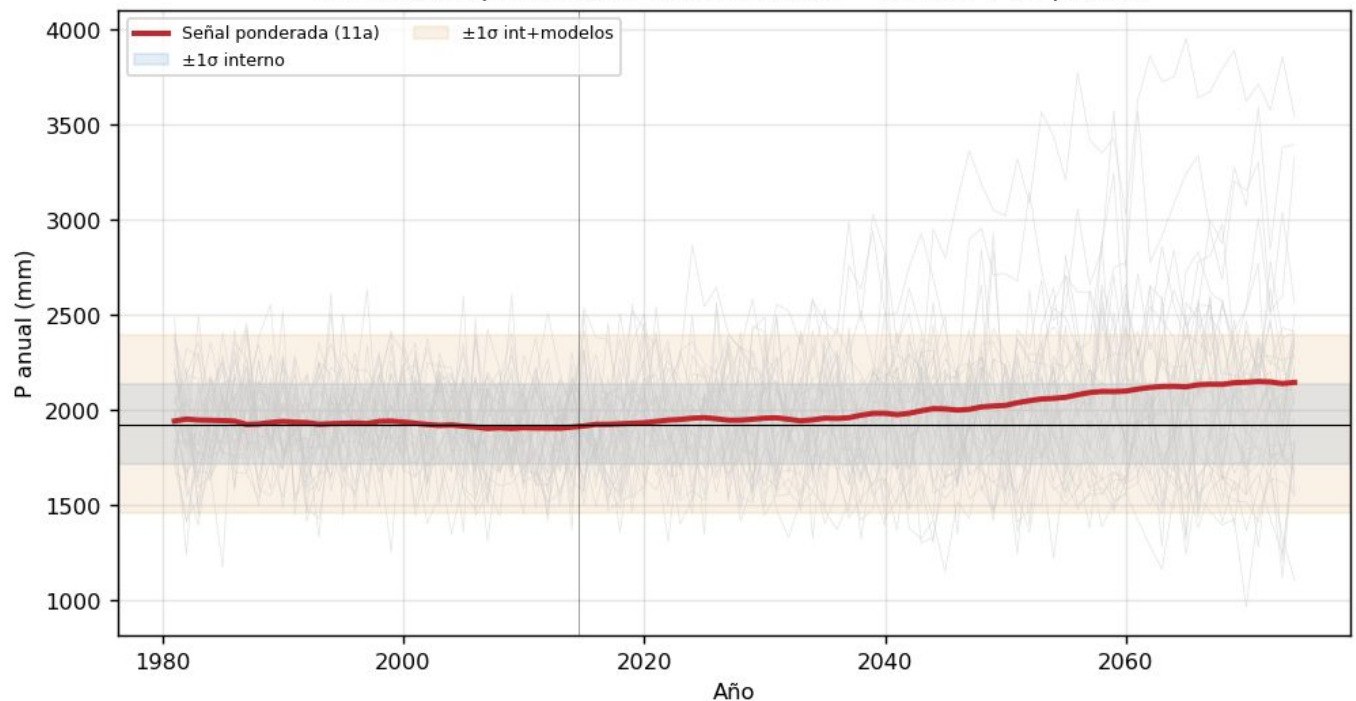
| Umbral | Ruido        | N (mm) | ToE   |
|--------|--------------|--------|-------|
| 1sigma | solo interno | 210,4  | 2069  |
| 1sigma | int+modelos  | 465,7  | >2074 |
| 2sigma | solo interno | 210,4  | >2074 |
| 2sigma | int+modelos  | 465,7  | >2074 |

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 — Gualaquiza (P anual, SSP5-8.5)  
34 modelos ponderados ClimWIP; ruido = interno + dispersión

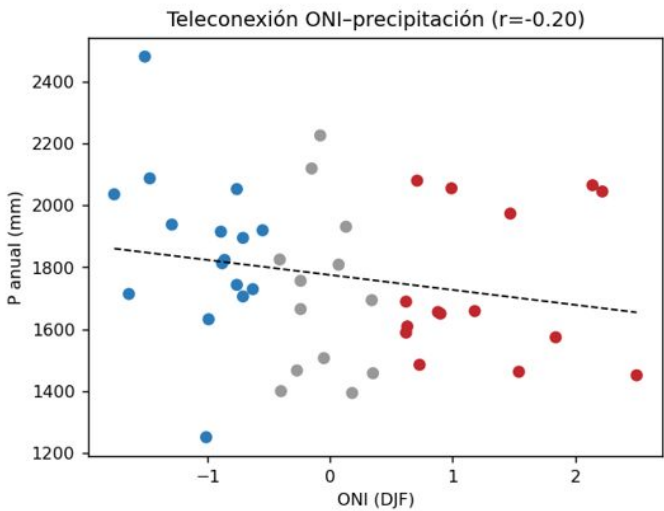
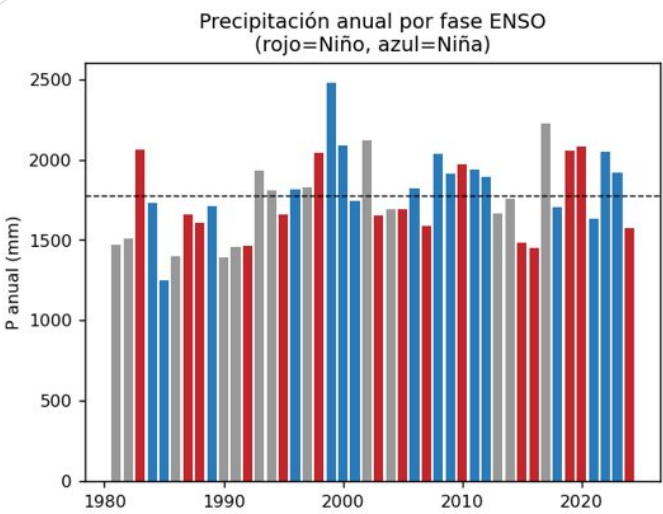


ToE con ensamble (ruido interno + dispersión entre modelos).

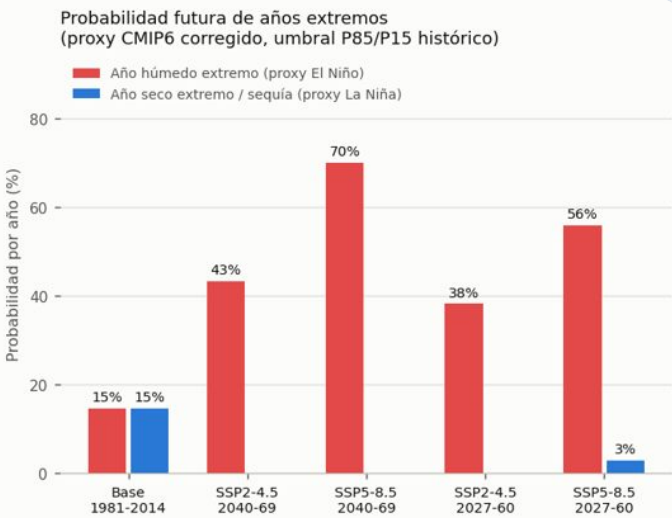
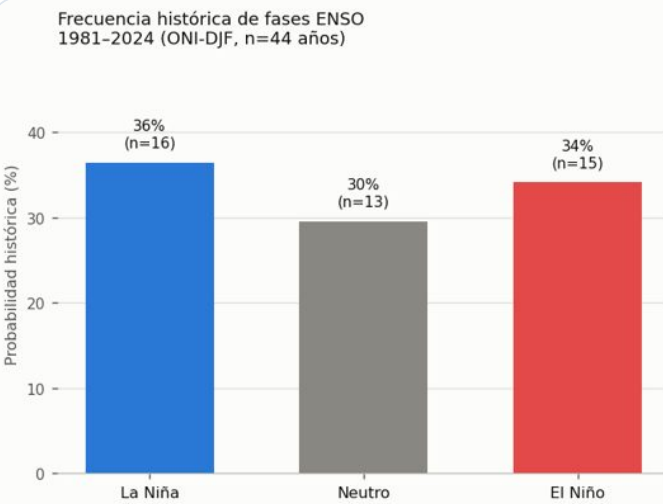
## 6. ENSO (El Niño / La Niña) y precipitación

Composición de la precipitación por fase del ONI (NOAA) sobre CHIRPS 1981-2025. Anomalía respecto a la media 1981-2025: **El Niño -2,1%, La Niña +4,8%**. 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.

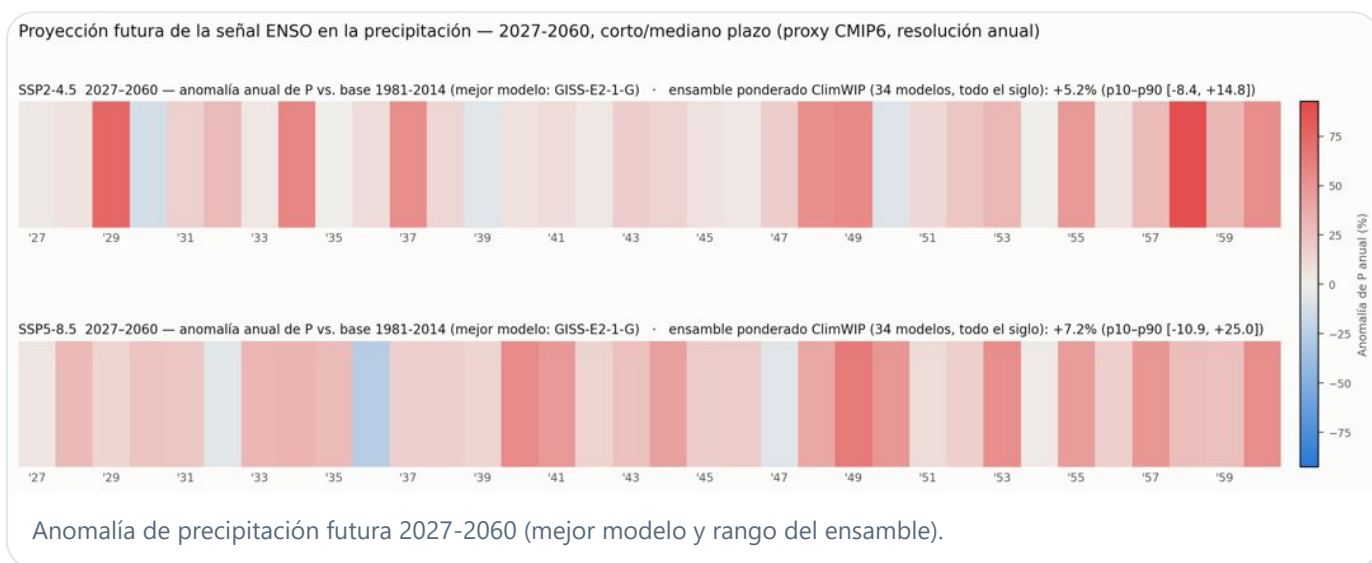
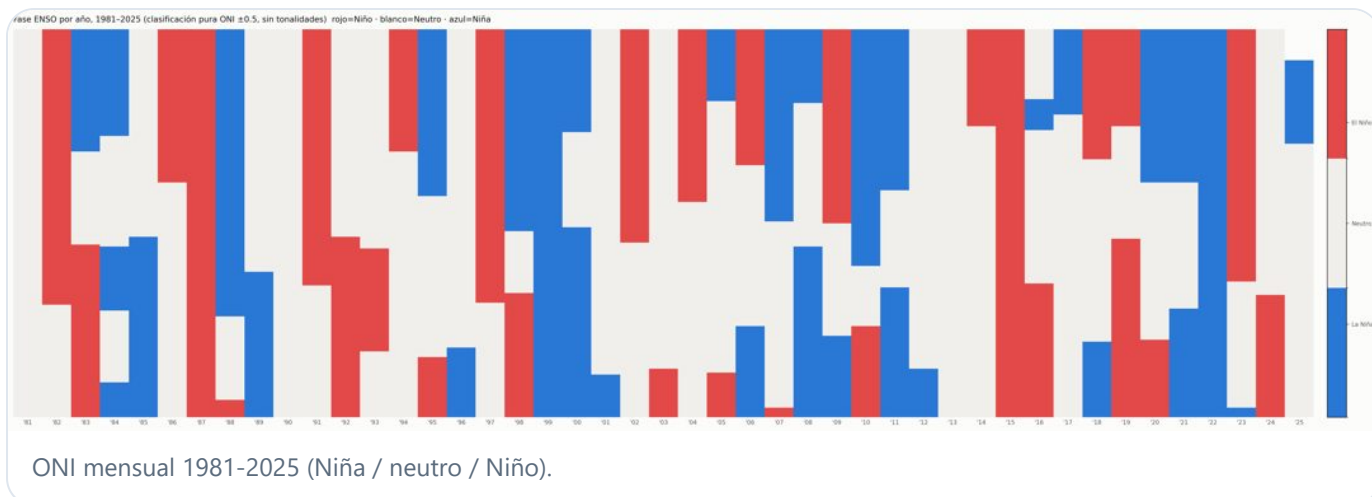
| Fase   | P media anual (mm) | Años | Anomalía (%) | Prob. (%) |
|--------|--------------------|------|--------------|-----------|
| Neutro | 1.712              | 13   | -3,5         | 29,5      |
| Nina   | 1.858              | 16   | +4,8         | 36,4      |
| Nino   | 1.736              | 15   | -2,1         | 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

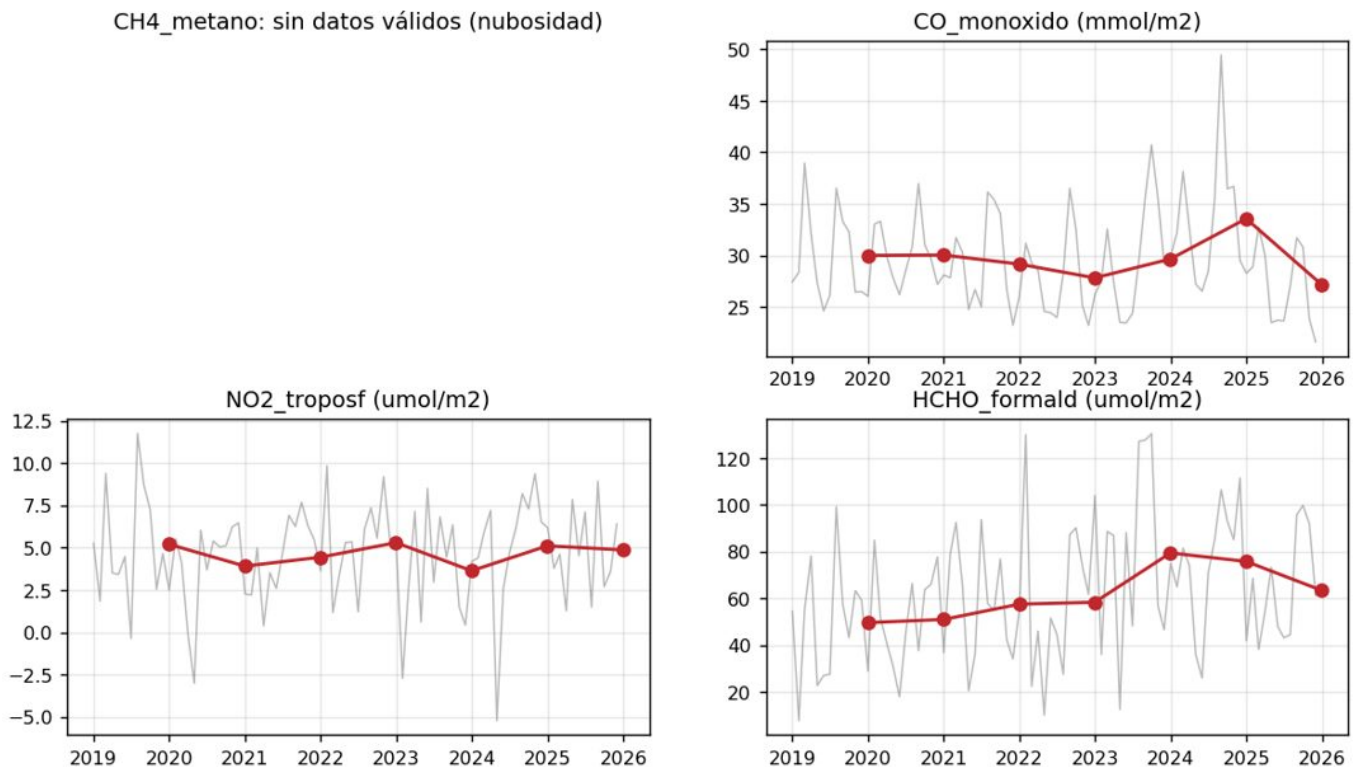
Columnas de CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>2</sub> y HCHO sobre la cuenca (Sentinel-5P) con tendencia anual (Spearman). CO<sub>2</sub> no está en GEE: requiere EDGAR/ODIAC.

| Gas          | Media | Unidad  | Tendencia/año | p     | Signif. 5% |
|--------------|-------|---------|---------------|-------|------------|
| CO_monoxido  | 29,6  | mmol/m2 | -0,222        | 0,482 | no         |
| NO2_troposf  | 4,6   | umol/m2 | -0,018        | 0,879 | no         |
| HCHO_formald | 62,1  | umol/m2 | 3,696         | 0,014 | si         |

Sin tendencia para: CH<sub>4</sub>\_metano (cobertura de datos insuficiente por nubosidad persistente; TROPOMI requiere suficientes meses válidos).

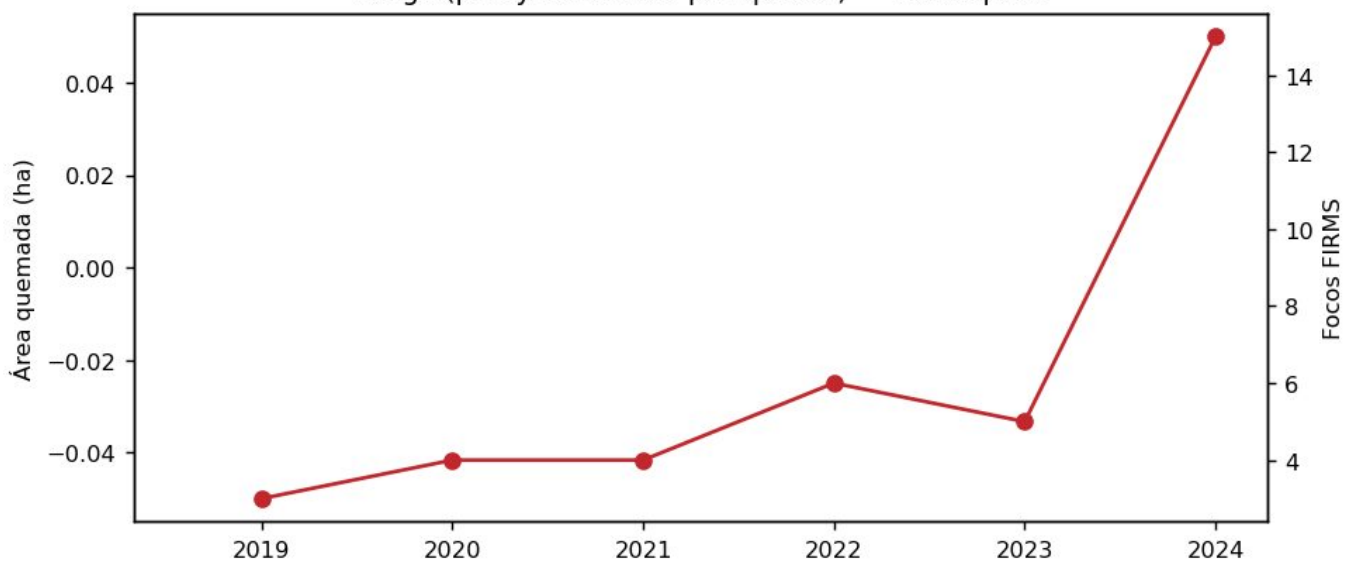
### GEI/contaminantes TROPOMI — Gualaquiza (2019-2025)

CH4\_metano: sin datos válidos (nubosidad)



Series mensuales de GEI con tendencia.

### Fuego (proxy emisiones por quema) — Gualaquiza

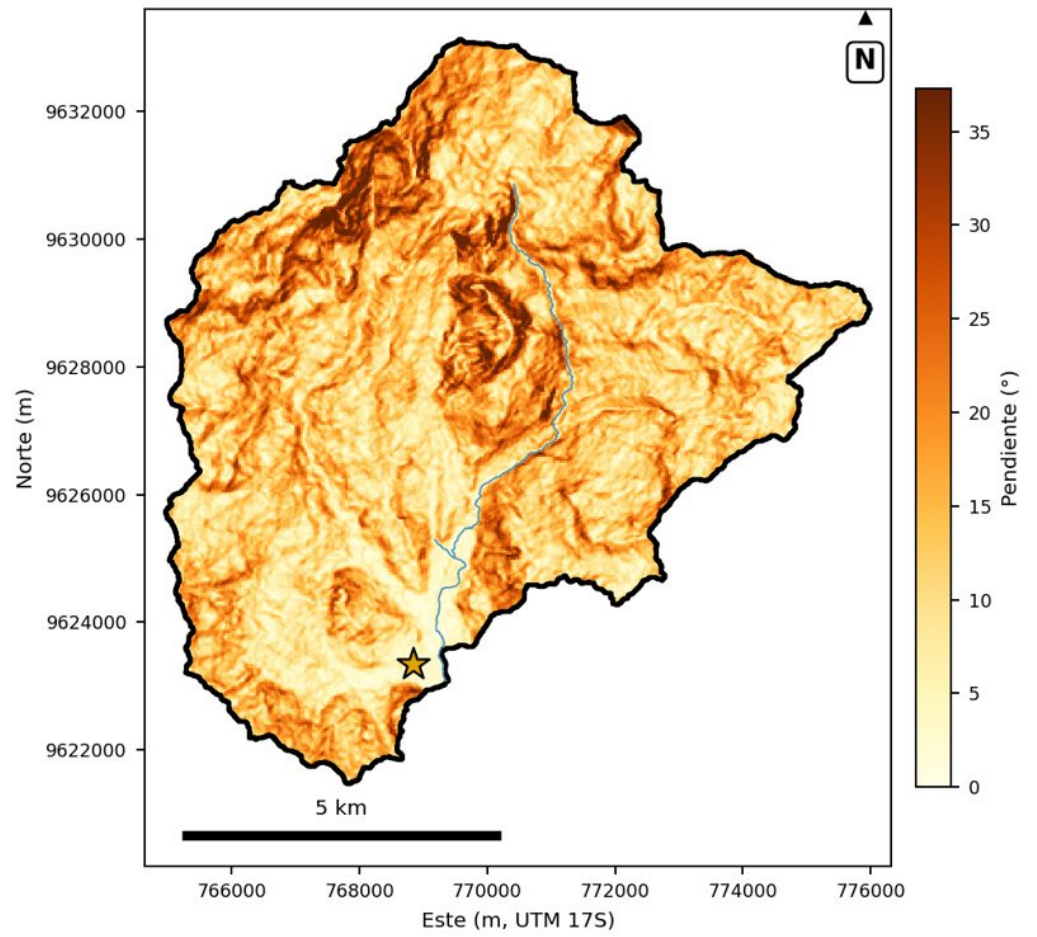


Fuego anual (MODIS/FIRMS).

## 8. Pendiente y erosión potencial del suelo (RUSLE)

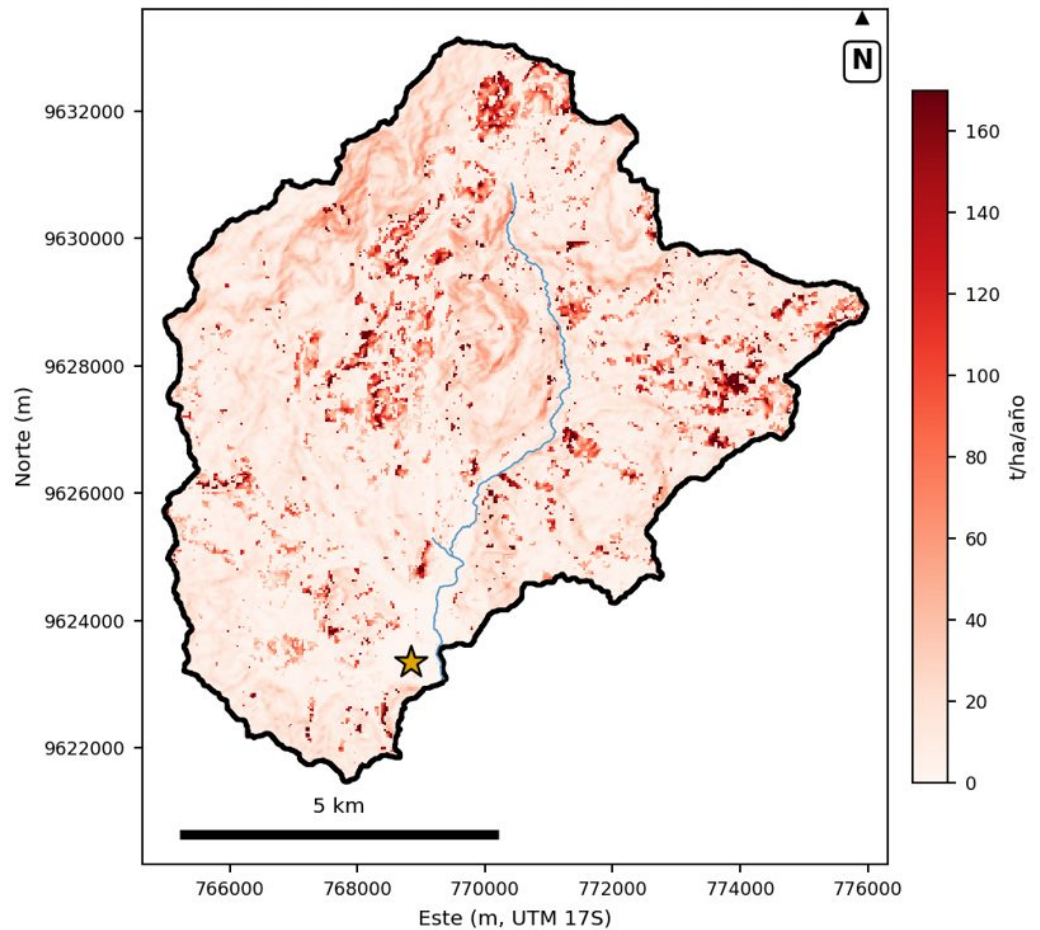
La pendiente controla la velocidad de escorrentía y la susceptibilidad a movimientos en masa; la erosión potencial (RUSLE) prioriza dónde intervenir la cobertura. Pendiente media de la cuenca **14,3°** (39% del área > 15°); en el sitio, **2,9°**. Erosión potencial: mediana **10,5 t/ha/año**; 52% del área supera 10 t/ha/año.

### Pendiente del terreno



Pendiente del terreno (°), cuenca de análisis: contorno negro, red hídrica en azul, estrella = sitio del proyecto.

### Erosión potencial del suelo (RUSLE)



Erosión potencial del suelo (RUSLE, t/ha/año), misma cuenca.

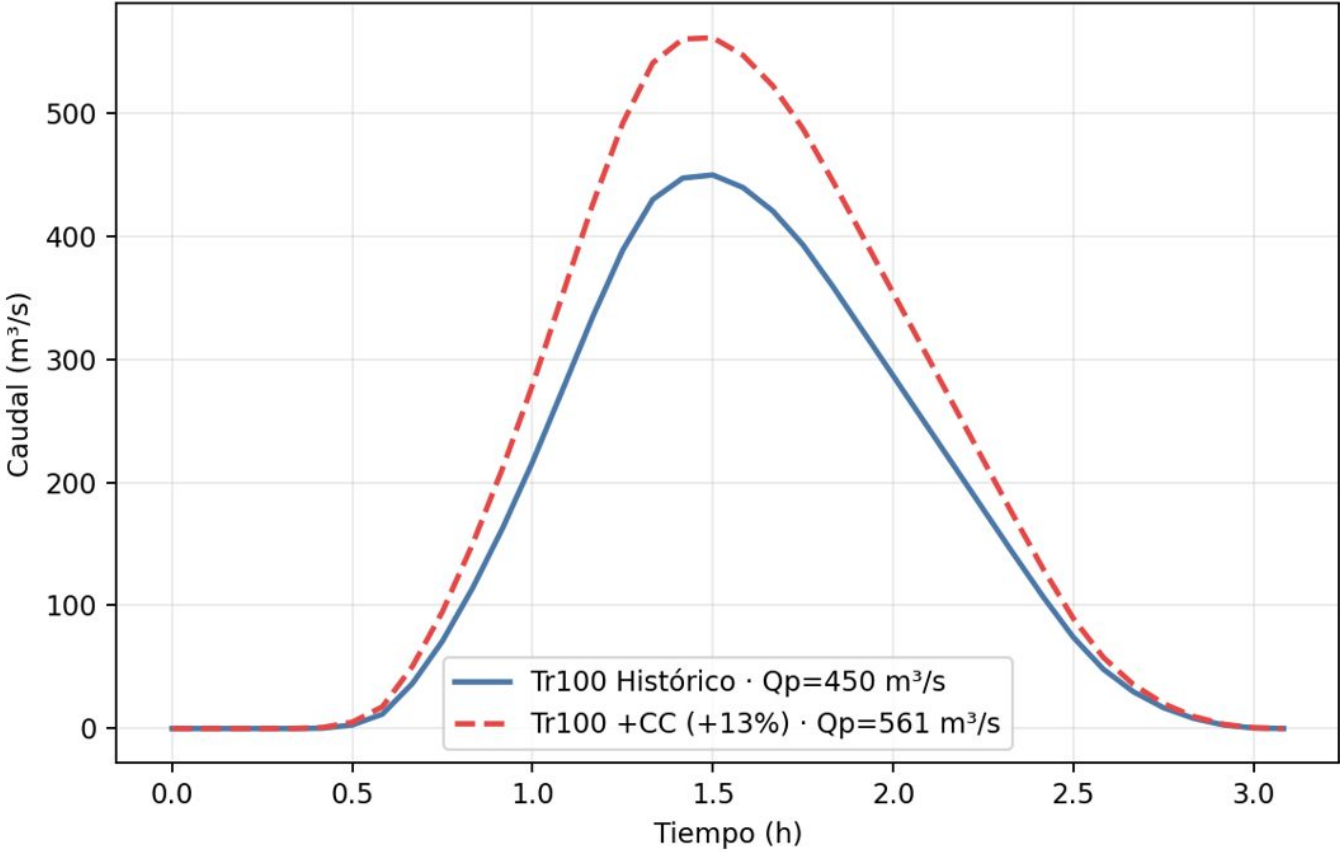
RUSLE a 30 m con factor LS simplificado: sirve para **comparar zonas y priorizar**, no para cuantificar la pérdida absoluta de suelo (se debe calibrar con parcelas o sedimentos medidos).

## 9. Hidrología — HEC-HMS (equivalente analítico)

Tormenta de diseño (bloque alterno) + SCS-CN (CN=79,6) + hidrograma unitario triangular,  $T_c=1,15$  h, área aportante al sitio (microcuenca)  $71,0 \text{ km}^2$ , cauce principal 11,4 km, pendiente 7,8 %.

| Tr  | Q pico histórico      | Q pico +CC            | $\Delta$ |
|-----|-----------------------|-----------------------|----------|
| 25  | 321 m <sup>3</sup> /s | 408 m <sup>3</sup> /s | +27%     |
| 50  | 384 m <sup>3</sup> /s | 483 m <sup>3</sup> /s | +26%     |
| 100 | 450 m <sup>3</sup> /s | 561 m <sup>3</sup> /s | +25%     |

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



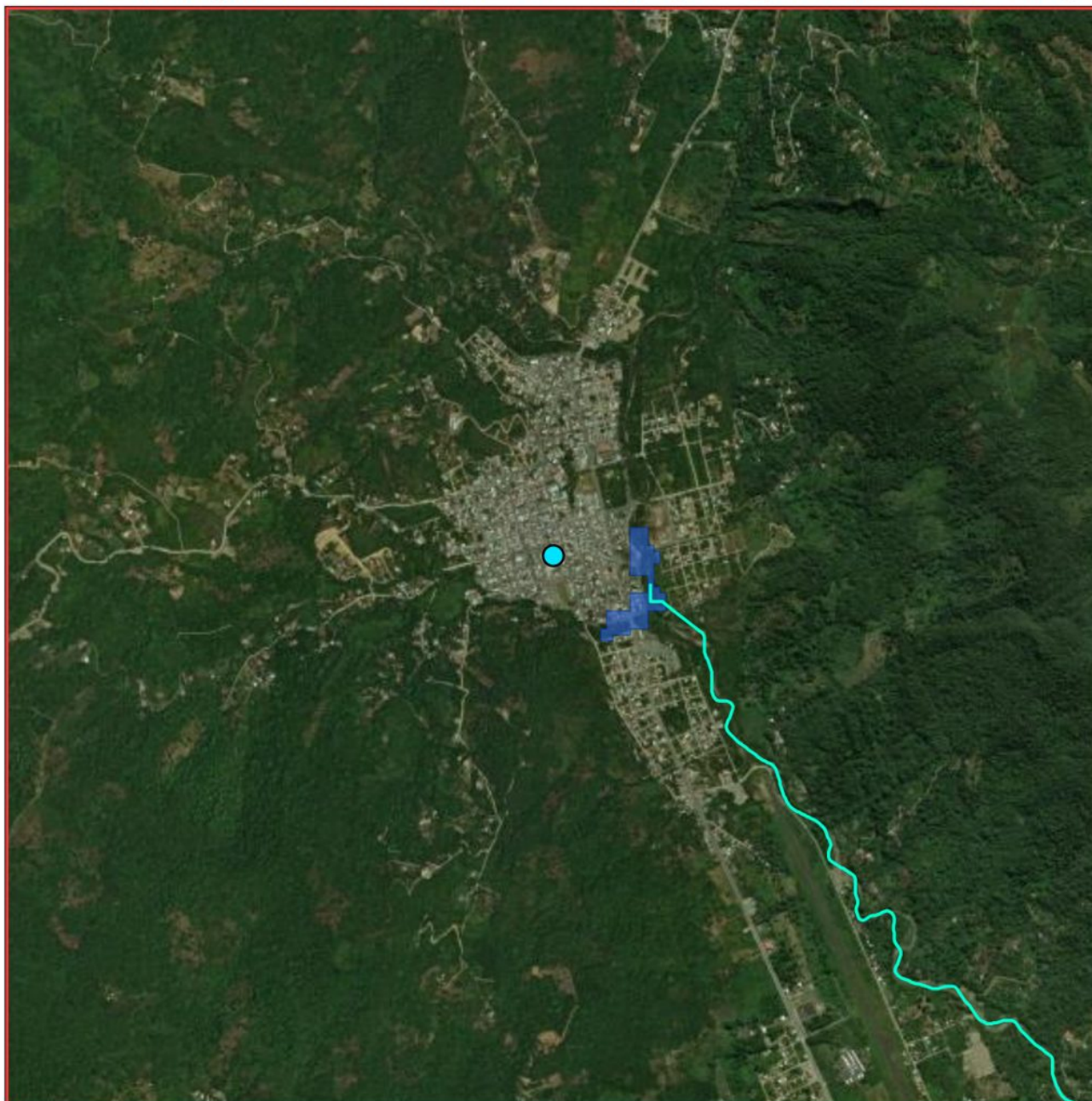
Hidrograma de crecida Tr 100 — histórico vs cambio climático.

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

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

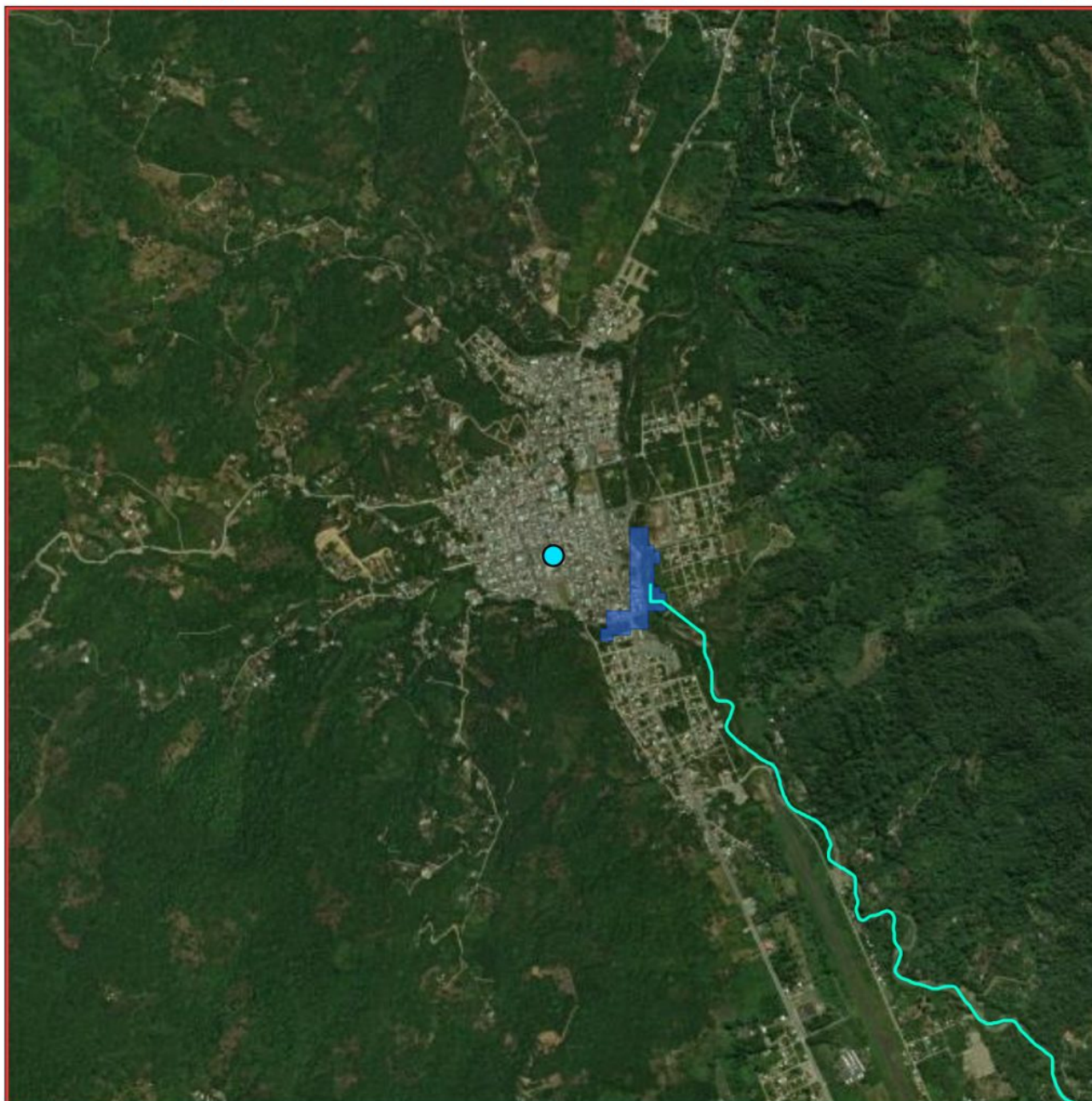
| Tr  | Área inundada | Calado máx |
|-----|---------------|------------|
| 25  | 0,1 km² (0%)  | 3,77 m     |
| 50  | 0,1 km² (0%)  | 4,17 m     |
| 100 | 0,1 km² (0%)  | 4,56 m     |

**Inundación Tr 25 · +CC ( $Q=408 \text{ m}^3/\text{s}$  · área  $0.07 \text{ km}^2$  · calado máx  $3.77 \text{ m}$ )**  
**Río GEOGLOWS mejorado (MDT) · contiene 0% del agua JRC · equivalente HEC-RAS (simplif.)**



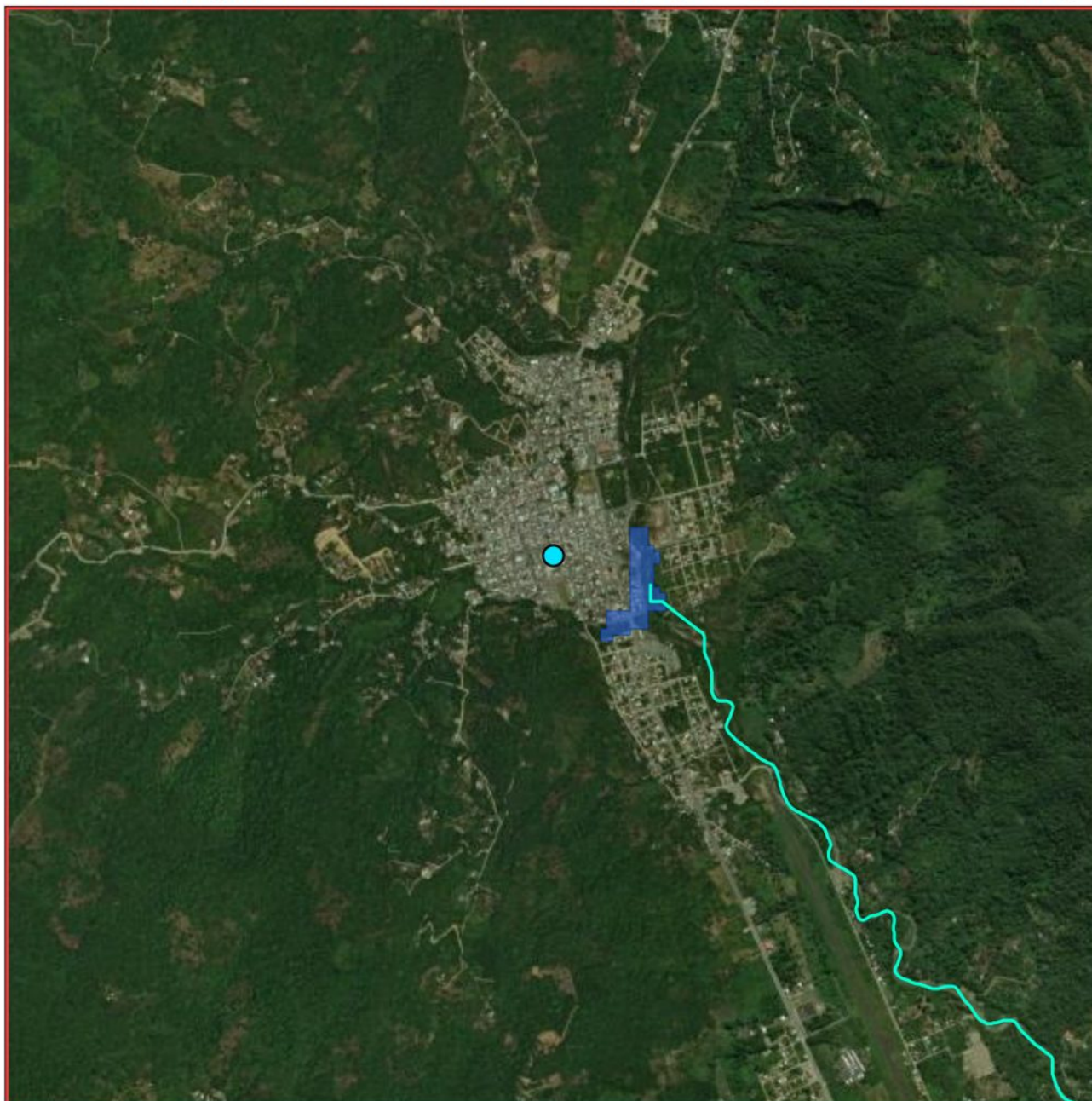
Mancha Tr 25 (+CC).

**Inundación Tr 50 · +CC ( $Q=483 \text{ m}^3/\text{s}$  · área  $0.08 \text{ km}^2$  · calado máx  $4.17 \text{ m}$ )**  
**Río GEOGLOWS mejorado (MDT) · contiene 0% del agua JRC · equivalente HEC-RAS (simplif.)**



Mancha Tr 50 (+CC).

Inundación Tr 100 · +CC ( $Q=561 \text{ m}^3/\text{s}$  · área  $0.08 \text{ km}^2$  · calado máx  $4.56 \text{ m}$ )  
Río GEOGLOWS mejorado (MDT) · contiene 0% del agua JRC · equivalente HEC-RAS (simplif.)

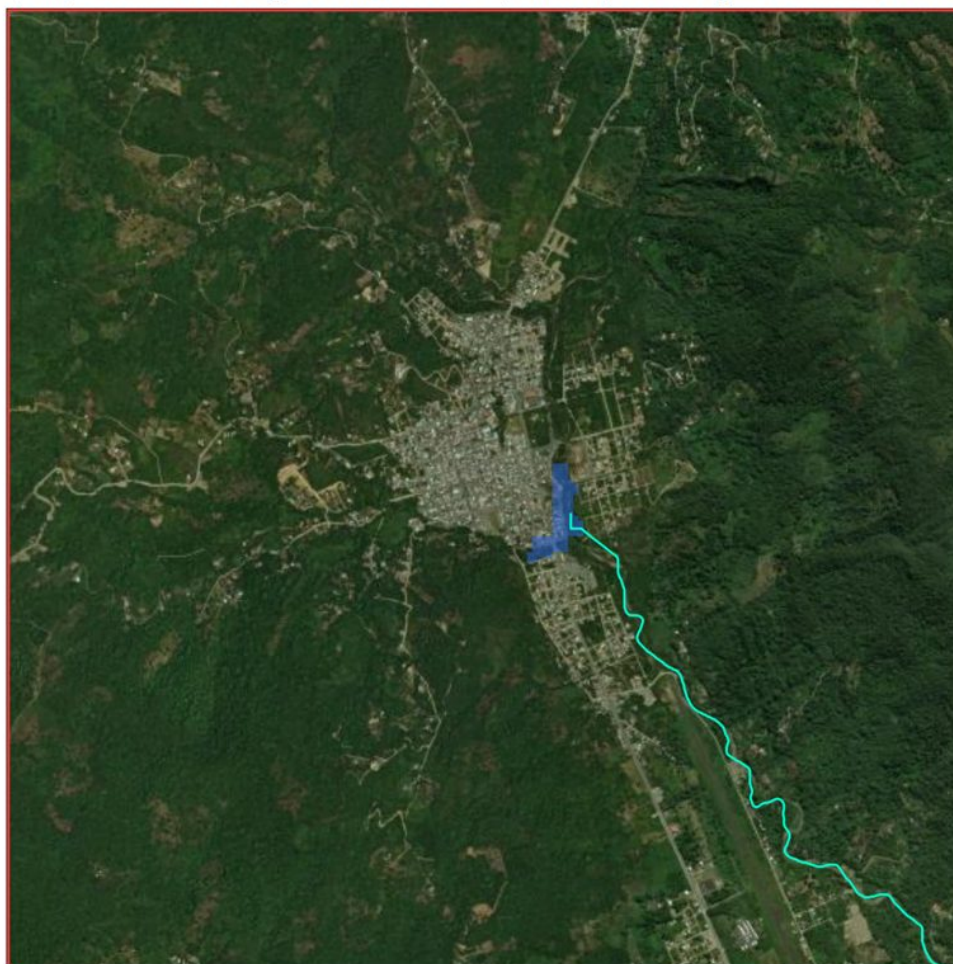


Mancha Tr 100 (+CC) — río mejorado.

## 11. 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.

Validación con JRC Global Surface Water (público)  
 Modelo Tr100+CC (azul) contiene 0% del agua observada  $\geq 25\%$  (amarillo) · el canal permanente NO es la mancha de crecida



Modelo Tr100+CC vs agua observada JRC.

## 12. Modelo 2D y gemelo digital 3D

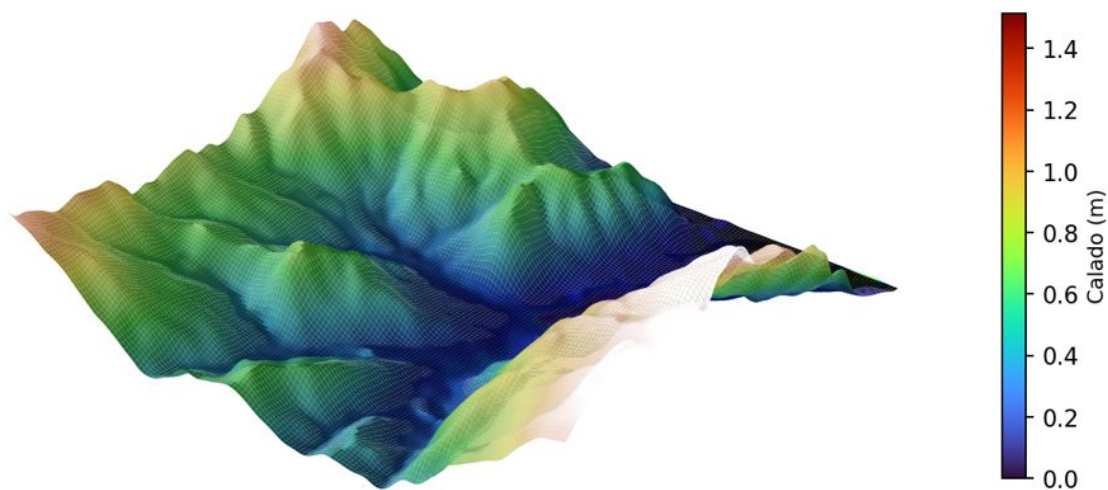
Esquema de inercia local (tipo LISFLOOD-FP) con lluvia sobre malla + caudal del río, sobre **FABDEM (suelo desnudo)** con el cauce quemado. Preliminar: el calado definitivo lo da HEC-RAS.

| Tr  | Calado p99 | Área inundada (>6 cm)     | Área $\geq 0,5$ m   | Área $\geq 1$ m     | Vel. máx* |
|-----|------------|---------------------------|---------------------|---------------------|-----------|
| 25  | 1,52 m     | 6,6 km <sup>2</sup> (22%) | 0,8 km <sup>2</sup> | 0,3 km <sup>2</sup> | 5,0 m/s   |
| 50  | 1,61 m     | 7,2 km <sup>2</sup> (23%) | 0,9 km <sup>2</sup> | 0,4 km <sup>2</sup> | 5,0 m/s   |
| 100 | 1,69 m     | 7,7 km <sup>2</sup> (25%) | 1,0 km <sup>2</sup> | 0,4 km <sup>2</sup> | 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  $\geq 1$  m.

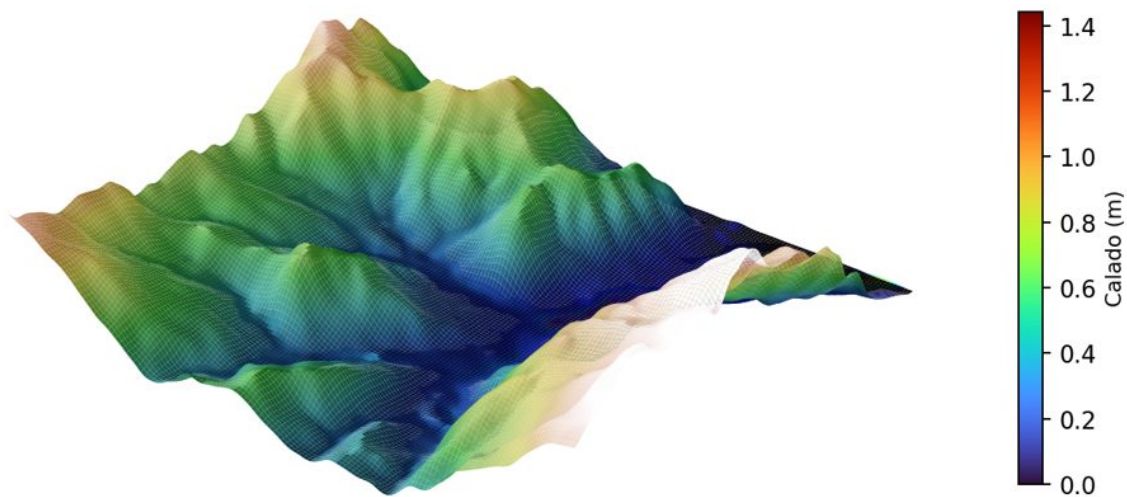
Gemelo digital (vistas estáticas; la versión interactiva está en el HTML)

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



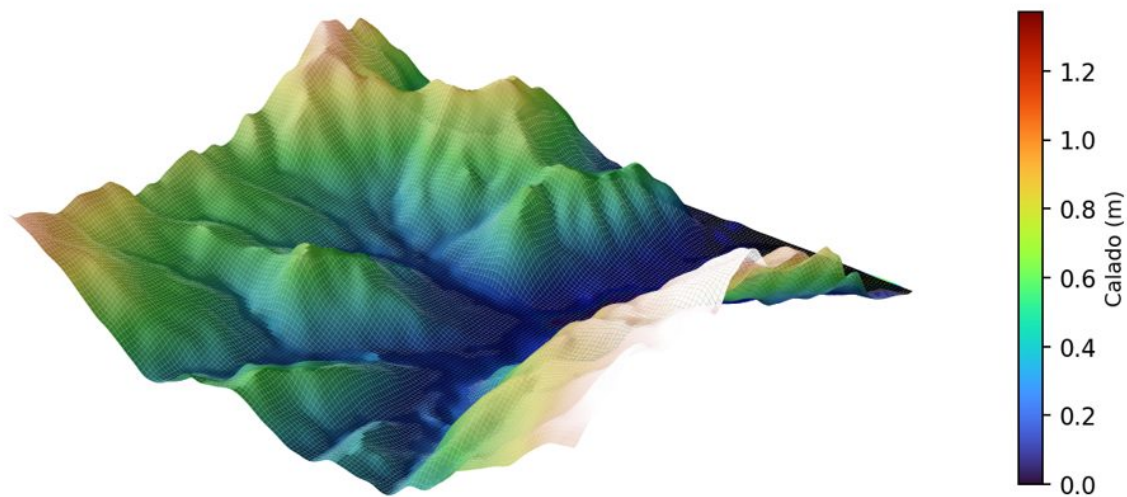
Gemelo 3D Tr 100 +CC.

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



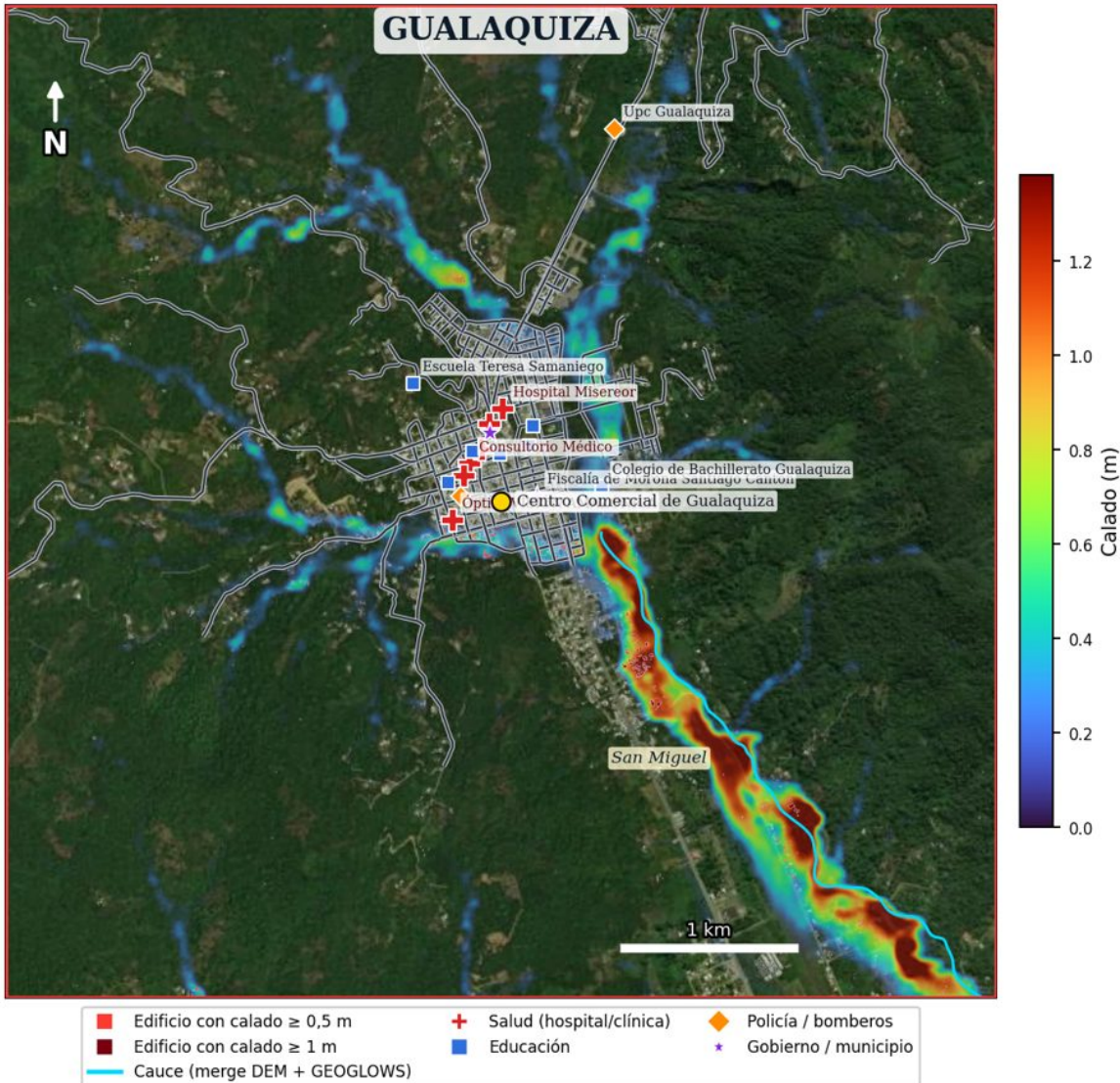
Gemelo 3D Tr 50 +CC.

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



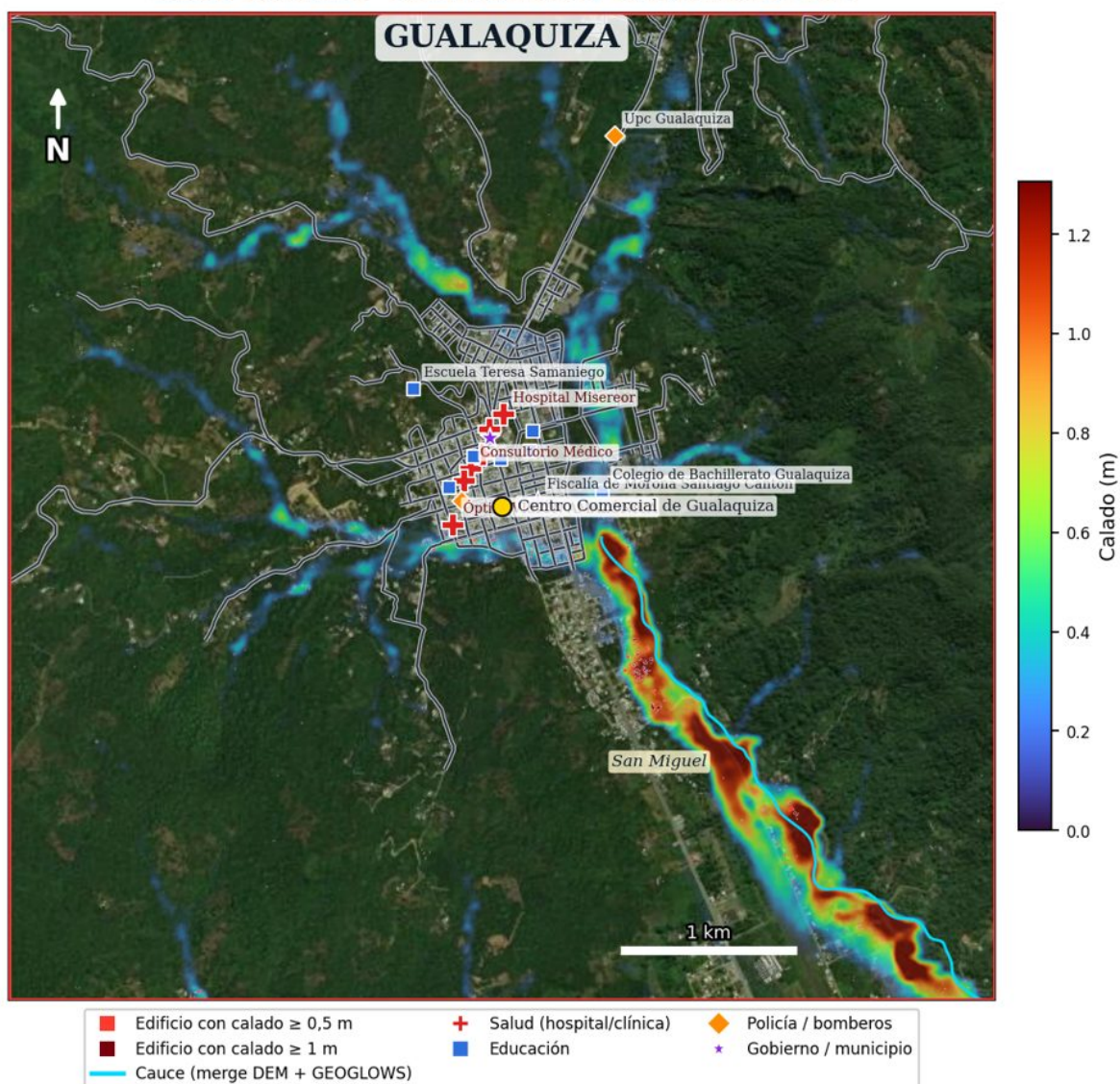
Gemelo 3D Tr 25 +CC.

**Inundación 2D (FABDEM) — Tr 100 +CC · calado p99 1,69 m · 7,7 km<sup>2</sup> (>6 cm) · 225 edificios con ≥ 0,5 m calado suavizado · calles, edificios y equipamiento OSM**



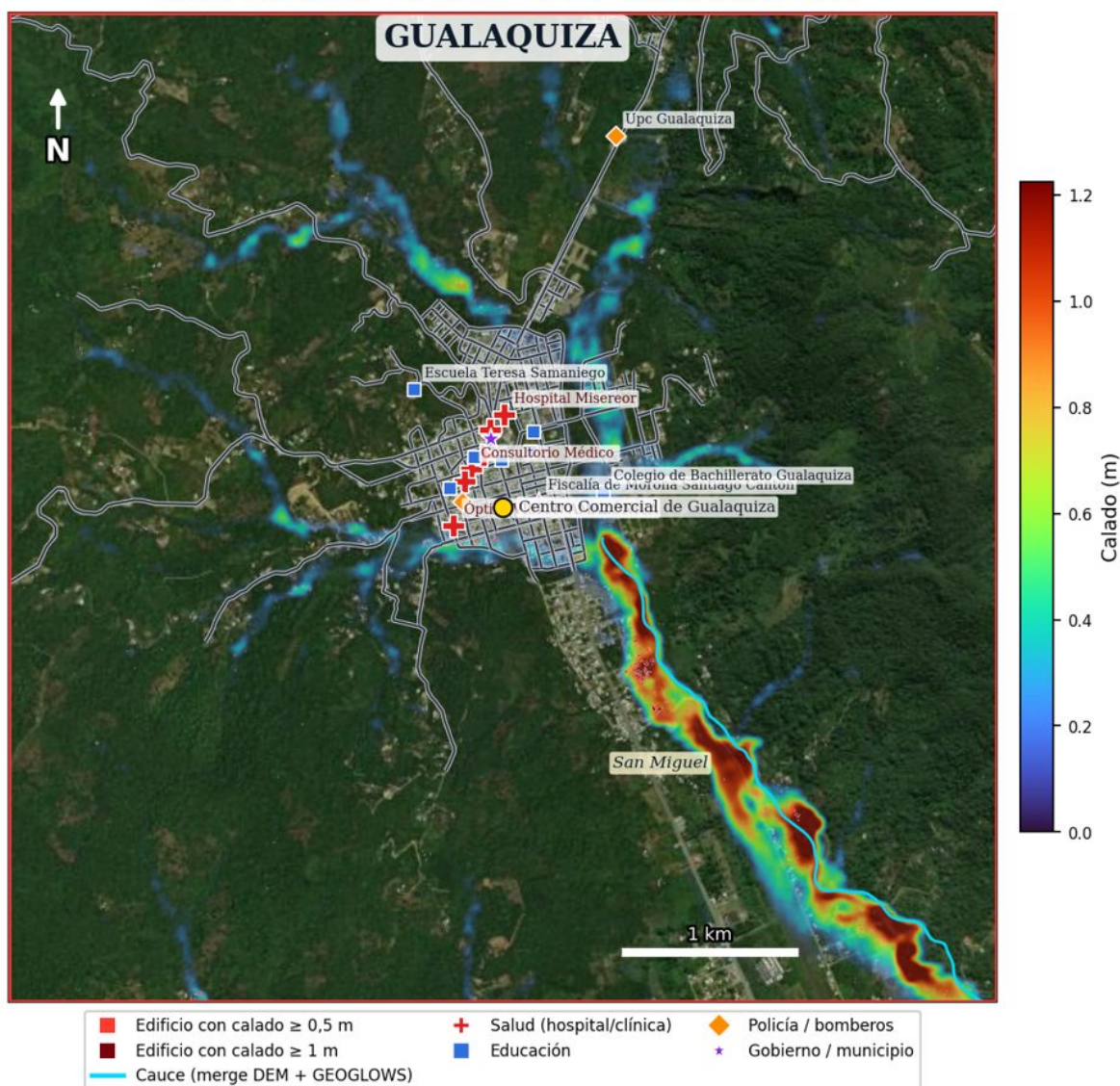
Calado 2D (FABDEM) Tr 100 +CC — flujo suavizado, con calles, edificios (rojo = expuestos) y equipamiento.

**Inundación 2D (FABDEM) — Tr 50 +CC · calado p99 1,61 m · 7,2 km<sup>2</sup> (>6 cm) · 189 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 1,52 m · 6,6 km<sup>2</sup> (>6 cm) · 148 edificios con  $\geq 0,5$  m calado suavizado · calles, edificios y equipamiento OSM**



Calado 2D Tr 25 +CC.

### 13. 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.

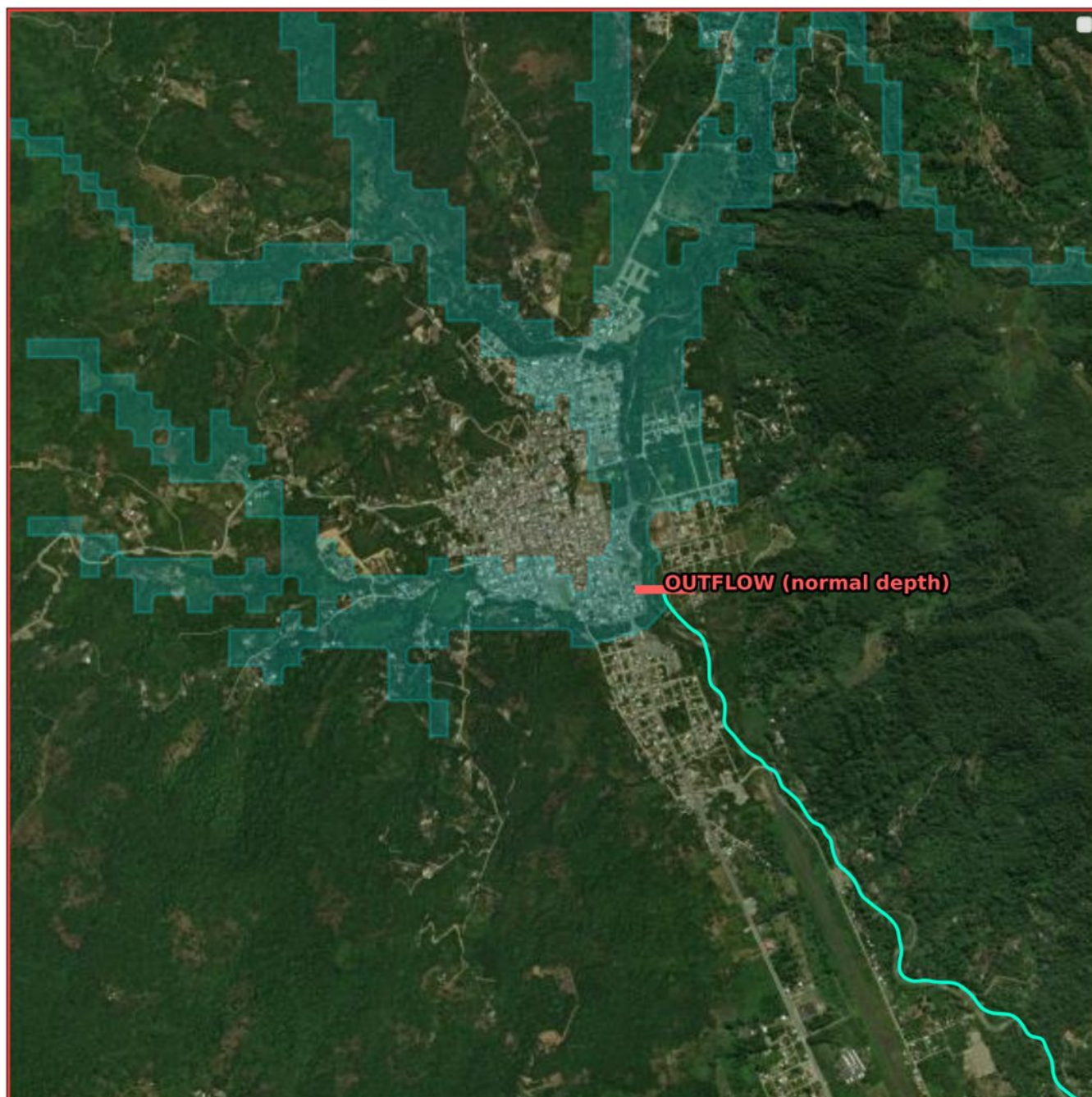
| Tr  | Edificios en la zona | Con calado $\geq 0,5$ m | %    | Con calado $\geq 1$ m | %    |
|-----|----------------------|-------------------------|------|-----------------------|------|
| 25  | 4.595                | 148                     | 3,2% | 49                    | 1,1% |
| 50  | 4.595                | 189                     | 4,1% | 63                    | 1,4% |
| 100 | 4.595                | 225                     | 4,9% | 76                    | 1,7% |

Instalaciones críticas (OSM) analizadas: 17. Con calado  $\geq 0,3$  m en algún escenario: 1.

| Instalación                        | Tipo      | Calado Tr25 | Calado Tr50 | Calado Tr100 |
|------------------------------------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| Colegio de Bachillerato Gualaquiza | educacion | 0,30 m      | 0,34 m      | 0,37 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 Gualaquiza Terreno + dominio 2D + condiciones de borde (inflow/outflow) + río mejorado



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

## 14. Conclusiones

- El cambio climático eleva el caudal de diseño Tr100 de **450 a 561 m<sup>3</sup>/s (+25%)** y las intensidades IDF **+13%**.
- Ensemble ClimWIP SSP5-8.5: precipitación anual **+7,2%** (P10–P90 [-10.9, +25.0]).
- Time of Emergence con dispersión entre modelos: 1sigma → >2074, 2sigma → >2074.
- Inundación por HAND Tr100+CC: **0,1 km<sup>2</sup>**, calado máx **4,56 m**.
- 2D sobre FABDEM Tr100+CC: **7,7 km<sup>2</sup> (25%)**, calado p99 **1,69 m**, velocidad máx 5,0 m/s.
- Vías comprometidas (Tr100+CC): **6,8 km**.
- Entregables en **shapes (WGS84 + UTM)**, **Excel y mapas**; el 2D propio es preliminar y se afina con HEC-RAS.

## 15. 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 M0502, TROPOMI, HEC-HMS/RAS.