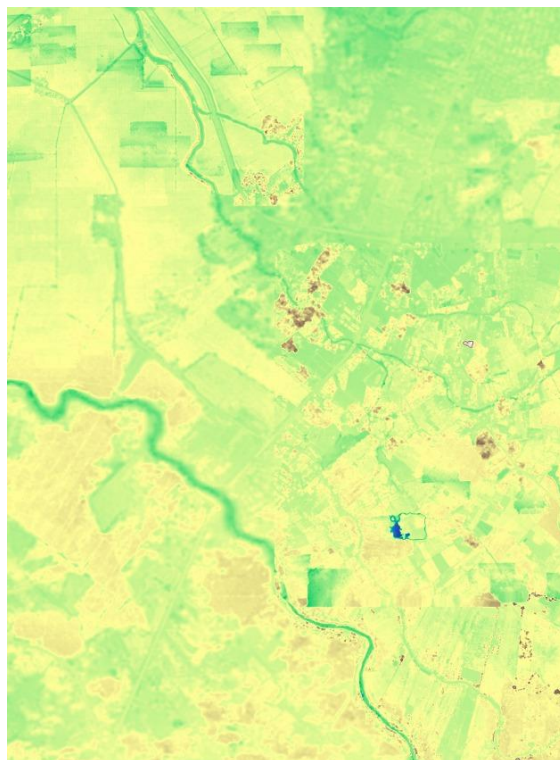




Modelo digital de terreno por dron (0.3 m) — cuenca baja del río Guayas

Guía de estudios de riesgo climático de alta resolución

*Un método paso a paso para estimar amenaza, exposición y vulnerabilidad
combinando modelos climáticos CMIP6, teledetección satelital y dron de alta resolución,
y análisis participativo con enfoque de género.*

Candidato a PhD Diego Quishpe · PhD Fernando Jarrín · PhD Teresa Palacios

Universidad Central del Ecuador · Quito, 2026
Documento de referencia para el evento de socialización institucional

Índice

Guía técnica GICC-RH / Universidad Central del Ecuador

- 01 Presentación
- 02 Marco conceptual del riesgo climático
- 03 Fase 0 — Diagnóstico inicial
- 04 Módulo A · Amenaza climática
- 05 Módulo E · Exposición (gemelos digitales)
- 06 Módulo V · Vulnerabilidad y género
- 07 Integración y priorización
- 08 El pipeline en acción: Portoviejo · Cañar · Milagro
- 09 Módulo C · Carbono y cobeneficios
- 10 Procedimiento paso a paso
- 11 Sistema de monitoreo digital
- 12 Salvaguardas, género e interculturalidad
- 13 Estándares y marco normativo
- 14 Glosario breve
- 15 Referencias
- 16 Anexo A — Mejora del índice de vulnerabilidad
- 17 Anexo B — Fuentes y herramientas
- 18 Créditos y citación

Presentación

Esta guía refleja la experiencia de sus autores en la generación de estudios de riesgo climático, vuelo de UVA (drones), validación en territorio, calibrar modelos climáticos contra la lluvia real y sentarse con comunidades a explicar por qué un mapa de riesgo les importa. La escribimos para que ese aprendizaje no se quede solo con nosotros.

Va dirigida a quien tiene que decidir con información incompleta: el técnico de un área protegida, el GAD que planifica un puente, la autoridad ambiental que revisa un estudio, el estudiante que empieza su tesis. No asumimos que usted tenga un equipo de diez personas ni presupuesto ilimitado, cada módulo indica qué hacer si le falta información, tiempo o un dron.

¿Qué significa alta resolución?

La guía trabaja tres escalas a la vez, porque el riesgo climático solo es útil cuando las tres coinciden en el mismo lugar y el mismo horizonte de tiempo:

- ▶ Temporal — proyecciones CMIP6 llevadas de 25 km a 5 y 1 km, para los años 2040, 2060 y 2100.
- ▶ Espacial — dron M4E, LiDAR/RGB a 30 cm de resolución, combinado con satélites Sentinel.
- ▶ Social — indicadores desagregados por sexo, edad y grupo socioeconómico, contruidos con la propia comunidad.

CÓMO USAR ESTA GUÍA

Cada módulo (Amenaza, Exposición, Vulnerabilidad) puede aplicarse por separado según la información disponible en el territorio, pero los tres se integran en la ecuación mejorada de riesgo del capítulo 2. El módulo de Carbono es opcional y se activa cuando el territorio incluye ecosistemas con reservas importantes de carbono manglar, páramo, bosque húmedo.

El marco del riesgo climático

La guía adopta el marco de riesgo climático del IPCC (2014 - 2022): el riesgo es la intersección de tres factores independientes que deben caracterizarse por separado antes de combinarse. Actualmente se evalúa la respuesta y esta guía hace una aproximación de este factor de riesgo climático.

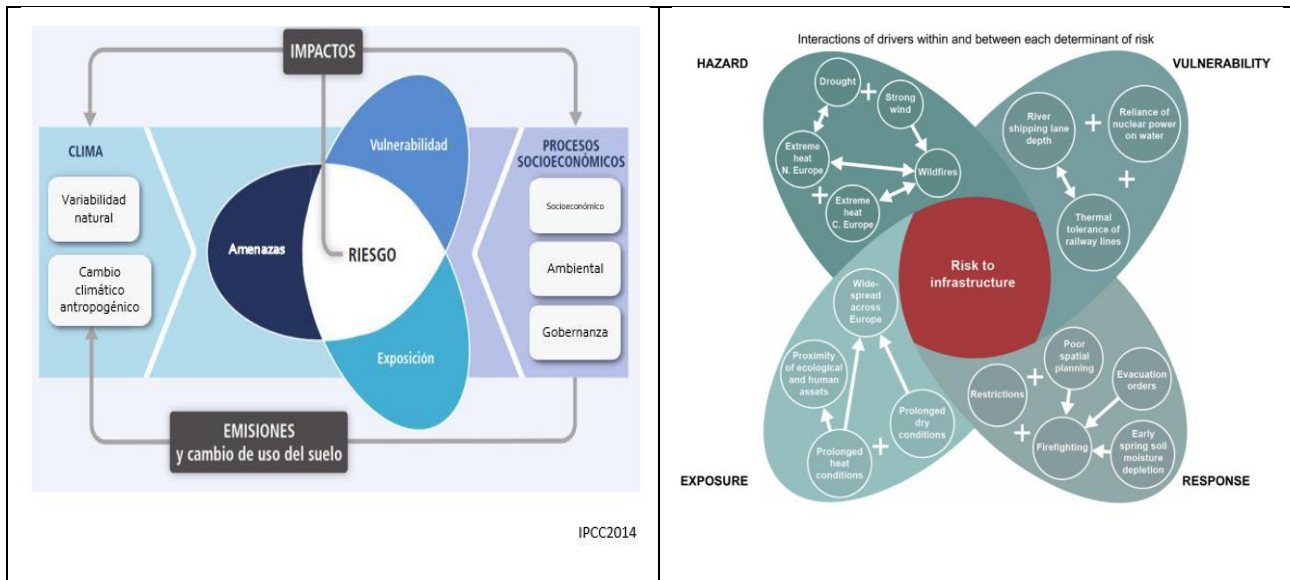


Figura 1 — Esquema del riesgo climático según IPCC (2014), Grupo de Trabajo II, Quinto Informe de Evaluación. Ninguno de los tres factores basta por sí solo: un territorio muy expuesto pero con baja amenaza, o muy amenazado pero sin nada expuesto, no genera riesgo relevante.

ECUACIÓN 1

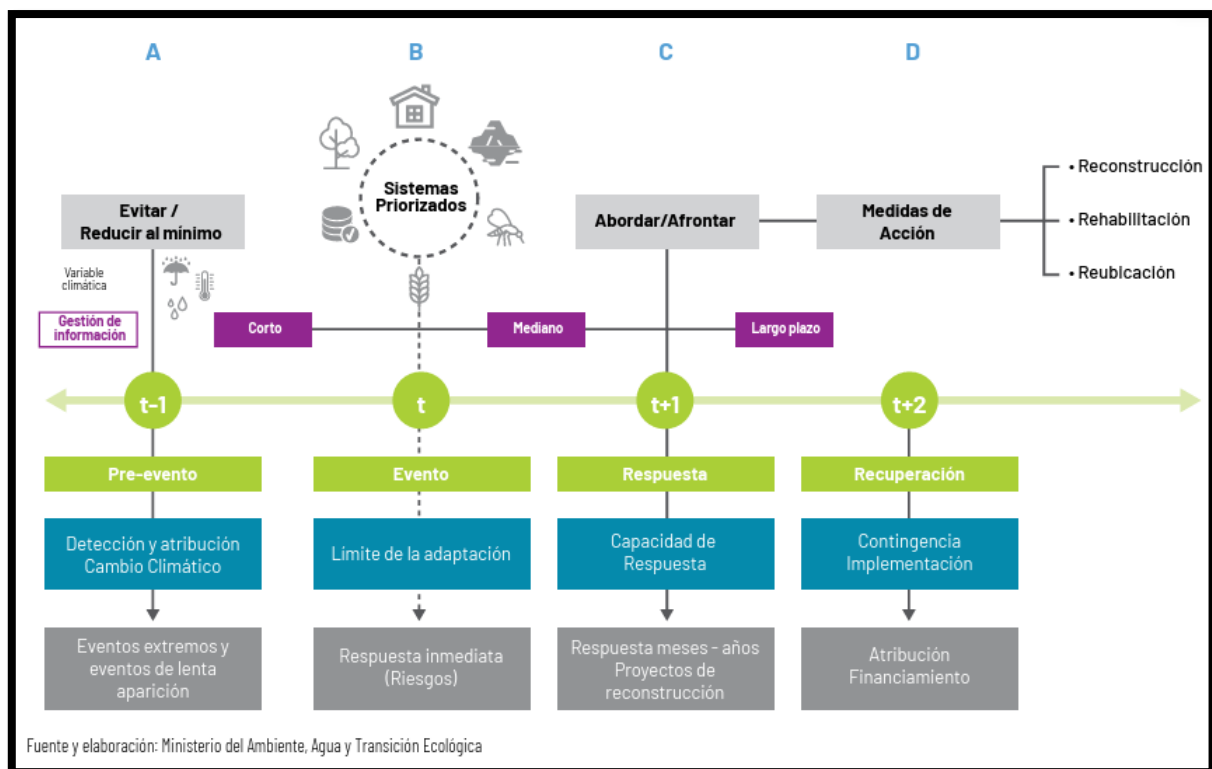
$$RC = A \times E \times V \quad \text{— riesgo climático (IPCC, 2014)}$$

ECUACIÓN 2

$$V = (S + \text{Respuesta}) / 2 \quad \text{— vulnerabilidad de GICC-RH (Quishpe y Hidrobo, 2025), mejora a la evaluación clásica } V = S/Ca$$

ECUACIÓN 2B

$$\text{Respuesta} = Ca_{\text{total}} - Ca_{\text{actual}} \quad (\text{déficit de capacidad frente al evento})$$



Esta guía adopta la Respuesta: Que considera la distancia entre la capacidad adaptativa total que un sistema podría alcanzar tras el evento y su capacidad actual en el territorio - promediada con la Sensibilidad en lugar de dividir (AR6 AR7). Código abierto del protocolo: github.com/QuishpeL.

Término	Significado
RC	Riesgo climático: probabilidad de pérdidas o daños por la interacción clima–territorio.
A	Amenaza: probabilidad de un evento físico (inundación, sequía, marejada, deslizamiento).
E	Exposición: personas, ecosistemas o activos presentes en la zona que puede afectar la amenaza.
S	Sensibilidad: qué tanto se ve afectado un sistema por la amenaza.
Ca_actual	Capacidad adaptativa actual: la que el territorio tiene hoy.
Ca_total	Capacidad adaptativa total: máximo + mínimo de la escala (en 1-5: 5+1=6).

Fase 0 — Diagnóstico inicial

Antes de levantar datos, todo estudio empieza revisando a fondo la información que ya existe para el territorio. Esto evita duplicar esfuerzos y permite dimensionar bien el trabajo de campo.

- ▶ Contrastar la información disponible con los requisitos del estudio: precipitación histórica (CHIRPS), caudales (GEOGLOWS), cobertura vegetal, censos (INEC) y planes de ordenamiento territorial PDOT.
- ▶ Identificar las brechas específicas de información y tecnología de cada territorio.
- ▶ Verificar condiciones operativas: acceso al campo, permiso de vuelo de dron, cobertura de red.
- ▶ Evaluar la disponibilidad institucional y comunitaria para levantar información de forma conjunta.

Dominio	Fuente	Resolución	Periodo
Precipitación	CHIRPS	~5 km	1981–hoy
Proyecciones climáticas	CMIP6 (34 modelos) NASA GDP NEX CMIP6	25–100 km	histórico + 2100
Caudales	GEOGLOWS	por tramo de río	40+ años
Nivel del mar	AVISO+	~0.25°	1993–hoy
Cobertura satelital	Sentinel-1/2/3	10–20 m	2015–hoy
Terreno y dosel	Dron M3E LiDAR/RGB	30 cm	campana puntual
Socioeconomía	Censo INEC · PDOT	parroquial	última actualización
Eventos de desastre históricos	SGR — catálogo nacional	punto / parroquial	2010–hoy

POR QUÉ IMPORTA

El catálogo de eventos del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SGR) es la única fuente que registra el impacto real ya ocurrido viviendas destruidas, vías afectadas, personas damnificadas en lugar de solo la probabilidad climática. Cruzarlo contra el mapa de amenaza modelado es la forma más directa de validar si el modelo captura lo que el territorio ya vivió.

Módulo A · Amenaza climática

Este módulo caracteriza la probabilidad e intensidad de los eventos climáticos físicos — inundación, sequía, marejada, calentamiento — para el presente y para el futuro, a una resolución que sí sirve a un tomador de decisiones local.

Descenso de escala en cascada

Las proyecciones CMIP6 originales (25 a 100 km) son demasiado gruesas para decisiones territoriales. Se reducen en tres pasos, corrigiendo el sesgo de cada modelo contra la observación local en cada etapa. Se dispone actualmente de los experimentos NEX-GDDP-CMIP6: NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections¹ con salidas de 34 modelos a 25 km, con un trabajo de downscaling utilizando la información de satélites y precipitación (CHIRPS) se puede obtener modelos calibrados a 5 km cuya nivel de incertidumbre debe ser calculado, si se requiere mayor detalle se puede usar escalamientos a 1 km. Pero para el caso de Ecuador y la región el uso de CMIP6+CHIRPs define una escala de 5 km de buena aplicación



Figura 2 — De la celda CMIP6 original (25 km) a la resolución de decisión territorial (1 km).

Dimensión	Insumos	Producto
Precipitación extrema	CMIP6 SSP2-4.5 / SSP5-8.5	Curvas IDF futuras por período de retorno
Sequía	CHIRPS, SPI/SPEI	Mapas de probabilidad de sequía
Nivel del mar	AVISO+, SSP5-8.5	Zonas de inundación costera a 2040/2060/2100
Variabilidad interanual	Índice ENSO (MEI)	Anomalías por El Niño / La Niña
Índice compuesto	Integración ponderada	Mapa de amenaza (muy bajo → muy alto)

¹ https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_GDDP-CMIP6?hl=es_419

Validación contra el impacto real — catálogo SGR

Antes de confiar en un mapa de amenaza modelado, conviene preguntar: ¿coincide con lo que el territorio ya sufrió? El catálogo nacional de eventos del SGR reúne 89,546 registros entre 2010 y 2026, con 2,950 personas fallecidas y 351,646 viviendas afectadas — la referencia empírica más completa del país para contrastar el modelo climático contra el daño documentado en campo.

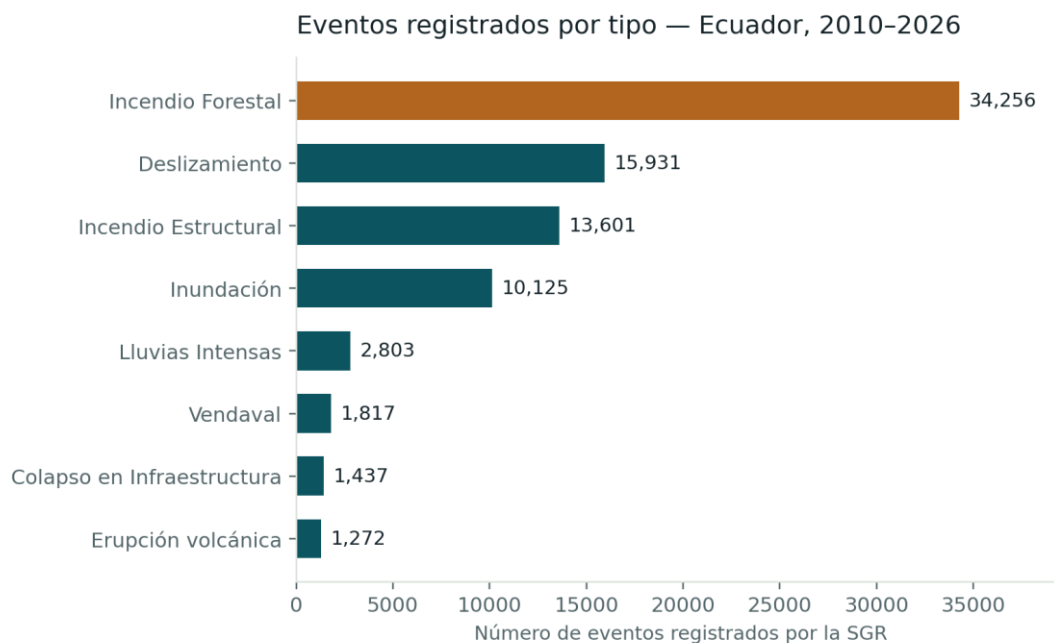


Figura 2b — Los ocho tipos de evento más registrados a nivel nacional (2010–2026). Deslizamientos e inundaciones concentran más de 26,000 eventos. Fuente: SGR (2026).

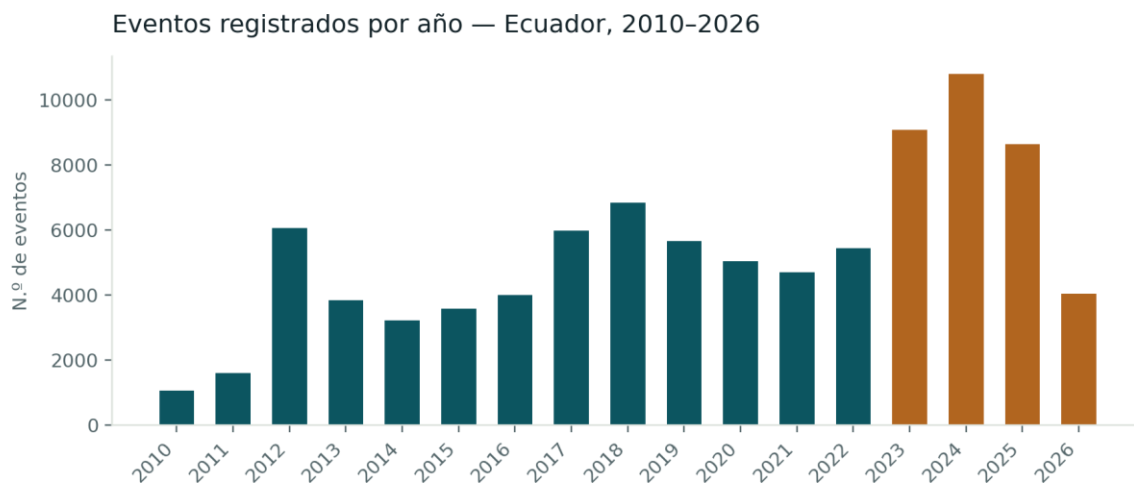


Figura 2c — Eventos por año: 2023–2025 concentran los máximos históricos del registro (2026 con datos parciales a mayo). Fuente: SGR (2026).

BUENA PRÁCTICA

Seleccione los modelos CMIP6 por su desempeño histórico (comparando contra CHIRPS/ERA5) en lugar de usar todo el ensamble sin ponderar, y documente el error que queda tras corregir el sesgo.

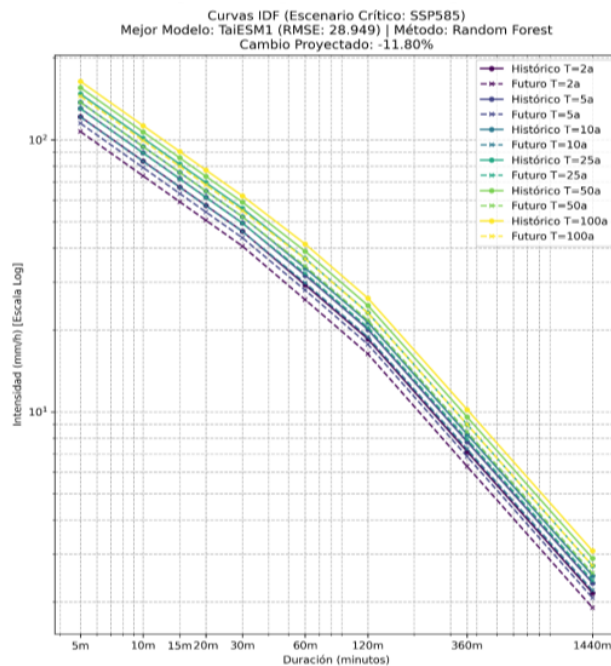
⚠ RIESGOS FRECUENTES

Tomar el promedio de los 34 modelos CMIP6 sin evaluar antes cuál reproduce mejor la lluvia local produce curvas IDF suavizadas que subestiman los extremos. Y descargar CMIP6 a resolución nativa sin corregir el sesgo — y presentarlo como si fuera información de 5 o 1 km — es el error más común en las evaluaciones de riesgo climático.

Se adjunta el protocolo de descarga, corrección de sesgo de los modelos CMIP6 y calibración con estaciones locales o CHIRPS en el repositorio: <https://github.com/QuishpeL/Protocolo-de-acople-GCM-to-IDF-INAMHI-2019>.



Figura 2b — Tendencia de precipitación anual, días secos consecutivos y lluvia máxima en 5 días (1981-2024). Fuente: análisis GICC-RH sobre CHIRPS.



Fuente: CHIRPS, CMIP6. Análisis: 2025-09-12

Análisis de Incertidumbre: AUMENTO (2025-2060)

Riesgo por Exceso	Rango (%)
Incremento Severo	> 17.4%
Incremento Alto	11.7% a 17.4%
Incremento Moderado	6.5% a 11.7%
Incremento Bajo	5.7% a 6.5%
Incremento Muy Bajo	0.0% a 5.7%

Análisis de Incertidumbre: REDUCCIÓN (2025-2060)

Riesgo por Escasez	Rango (%)
Reducción Muy Baja	-2.2% a 0.0%
Reducción Baja	-4.3% a -2.2%
Reducción Moderada	-4.9% a -4.3%
Reducción Alta	-7.5% a -4.9%
Reducción Severa	< -7.5%

Interpretación de Riesgo:

- Riesgo por Exceso: Aumento en la probabilidad e intensidad de inundaciones. 'Severo' indica un riesgo crítico para la infraestructura actual.
- Riesgo por Escasez: Aumento en la probabilidad de sequías y estrés hídrico. 'Severa' indica un riesgo crítico para la agricultura y el suministro de agua.

Figura 2c — Curvas IDF históricas vs. futuras (SSP585) con su banda de incertidumbre 2025-2060. Fuente: análisis GICC-RH sobre CHIRPS y CMIP6.

Módulo E · Exposición

La exposición se construye con un «gemelo digital»: un modelo tridimensional del territorio, fusionando dron nivel 4 o 5 MAtrice4E y LiDAR/RGB respetivamente a 30 cm con satélites, que permite identificar con precisión qué está dentro del área que la amenaza puede afectar.

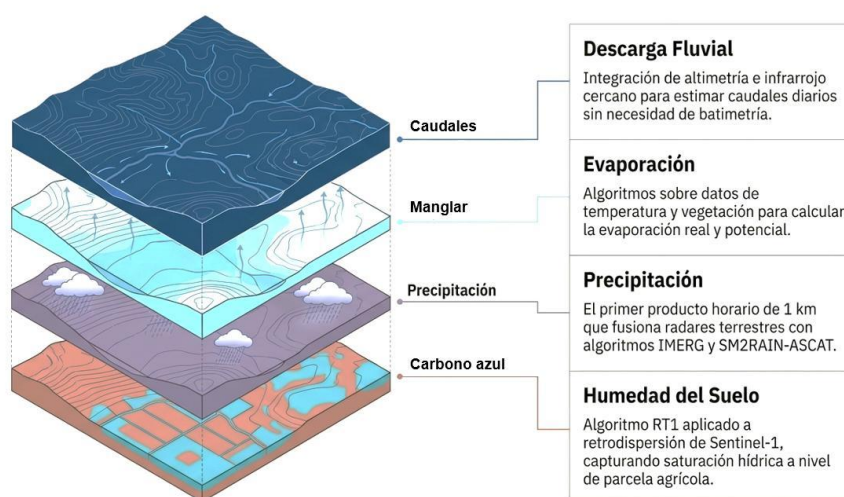


Figura 3 — Las cuatro capas que se apilan en el gemelo digital, cada una resuelta con un algoritmo distinto. Fuente: GICC-RH / Climate Change Lab, 2026.

Y esto es lo que ese levantamiento cambia en la práctica: no es lo mismo planificar sobre un modelo regional de 3 m/px sin verificar en campo, que sobre un DEM propio de 30 cm con precisión centimétrica.

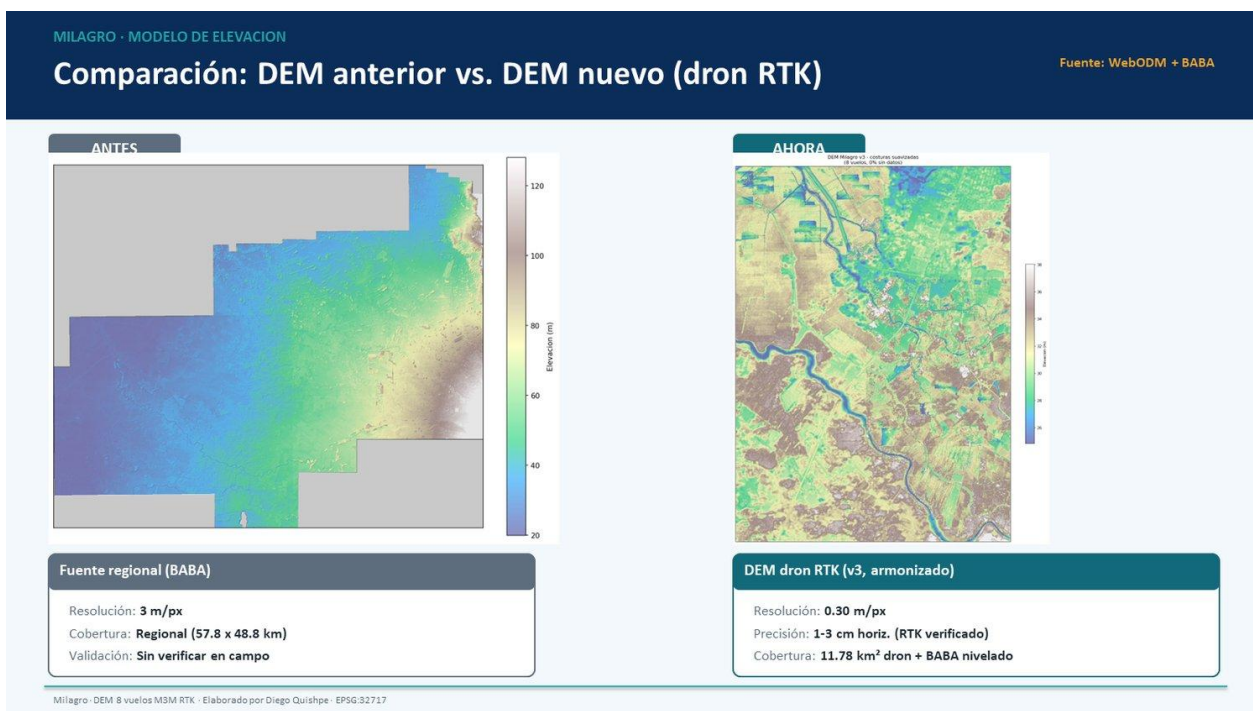


Figura 3b — DEM regional (3 m/px, sin validar) frente al DEM propio por dron RTK procesado en WebODM (0.30 m/px, precisión 1-3 cm). Cantón Milagro, 8 vuelos. Fuente: GICC-RH.

Capas del gemelo digital

Capa	Sensor / fuente	Variable
Terreno y dosel	Dron M4E LiDAR/RGB (30 cm)	Modelo de terreno y de altura de vegetación
Cobertura y cambio	Sentinel-1/2 (Google Earth Engine)	Índices de vegetación y clasificación de cobertura
Hidrología y humedad	Sentinel-1 SAR	Saturación del suelo, dinámica de inundación
Batimetría	Batimetría derivada de satélite	Profundidad en zonas costeras someras

Bibliotecas VOTEX

El vuelo de dron cubre una muestra representativa, no todo el territorio. Las «bibliotecas VOTEX» son unidades de referencia (parcelas con estructura conocida en X, Y, Z) que calibran un modelo de aprendizaje automático capaz de predecir esas mismas variables en el resto del territorio usando imágenes satelitales, validado contra parcelas de campo (Asner et al., 2012 — $R^2 \geq 0.82$).

Procesamiento con software libre (vuelo al modelo 3D)

Todo el procesamiento fotogramétrico y de nube de puntos se ejecuta con software libre, sin depender de licencias comerciales, para que cualquier equipo territorial pueda replicar el flujo.

Etapas	Herramienta	Función
Fotogrametría	WebODM / OpenDroneMap	Nube de puntos, ortomosaico y DSM a partir de las fotos del vuelo
Filtrado de nube de puntos	CSF + SOR (PDAL / CloudCompare)	Clasificación suelo/no-suelo y remoción estadística de ruido
Modelo digital de terreno	GDAL / PDAL	Interpolación del DTM a 0.3–2 m de resolución
Edición y cartografía	QGIS	Edición de orillas, breaklines e integración con capas de riesgo
Procesamiento satelital	Google Earth Engine	Análisis multitemporal y extrapolación Random Forest

BUENA PRÁCTICA

Nunca sobrescriba los datos crudos del vuelo (nube de puntos, fotos, DTM/DSM originales): cada etapa de depuración se guarda como una copia nueva con nombre distinto, preservando la trazabilidad completa del dato desde el vuelo hasta el mapa final. Actualmente se puede utilizar agente de IA para automatizar los procesos.

El costo real de cubrir un territorio con dron

Un dron no cubre miles de hectáreas por sí solo — el diseño de vuelo se planifica como un muestreo estadístico, no como un paseo aéreo. Así se ve ese cálculo aplicado a 6 áreas protegidas marino-costeras:

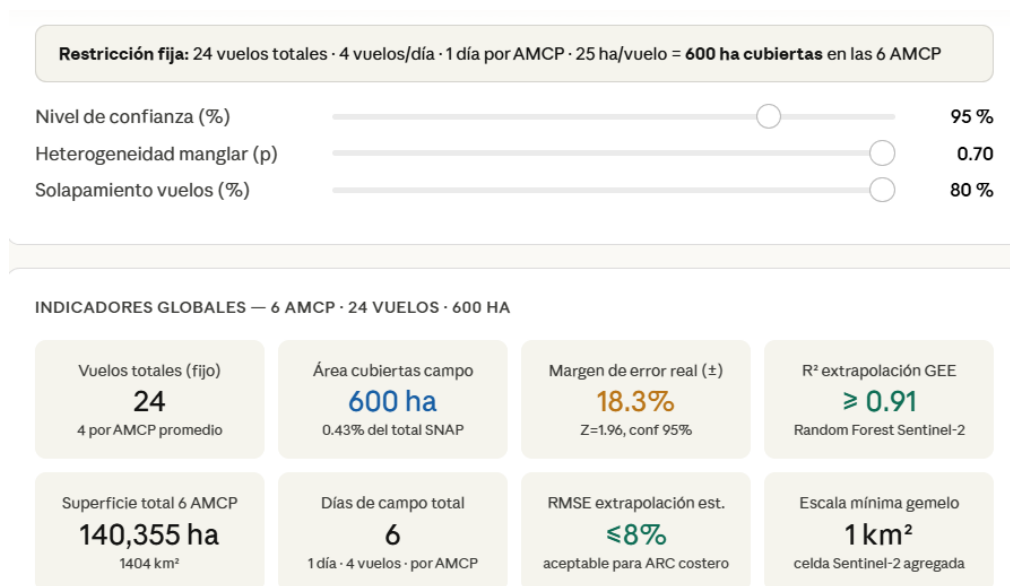


Figura 3c — Con 24 vuelos (4 por área protegida) se cubrieron 600 ha de muestra representativa, suficientes para extrapolar con $R^2 \geq 0.91$ sobre 140,355 ha totales. Fuente: Climate Change Lab S.A.S. (2026a).

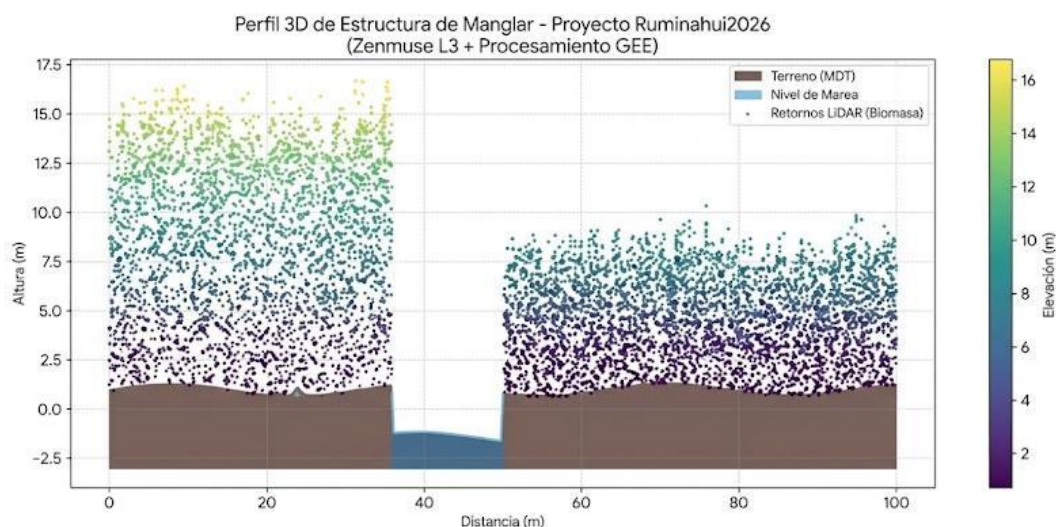


Figura 3d — Perfil de estructura vertical de manglar por LiDAR (Zenmuse L3): cada punto es un retorno del sensor, coloreado por elevación. Fuente: GICC-RH.

⚠ RIESGOS FRECUENTES

Volar sin puntos de control terrestre, RTK y confiar solo en el GPS de a bordo produce un DEM “bonito” pero desplazado varios metros. Y depurar la nube de puntos sobre el archivo original, sin guardar copia, es la forma más rápida de perder un vuelo completo de campo.

Módulo V · Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se construye promediando la sensibilidad con la Respuesta el déficit de capacidad adaptativa frente al evento en tres dimensiones, combinando fuentes oficiales con procesos participativos desagregados por sexo.

Dimensión	Sensibilidad	Capacidad adaptativa
Socioeconómica	Pobreza, dependencia económica del recurso natural	Acceso a crédito, ingreso diversificado
Ecológica	Deforestación, erosión, pérdida de biodiversidad	Planificación territorial, restauración activa
Gobernanza	Institucionalidad débil, conflictos de uso	Asociatividad, liderazgo femenino, técnicos capacitados

Cómo se recoge la información

- ▶ Revisión de fuentes secundarias: INEC, PDOT, registros de la autoridad ambiental.
- ▶ Entrevistas semiestructuradas con administradores y técnicos del territorio.
- ▶ Grupos focales con comunidades usuarias del recurso, con cuota de género garantizada.
- ▶ Todos los resultados se reportan desagregados por sexo para identificar brechas específicas.

La secuencia cadena de impacto → indicadores → normalización → ponderación → agregación sigue los lineamientos de GIZ (2017); el diseño muestral se apoya en Cochran (1977).

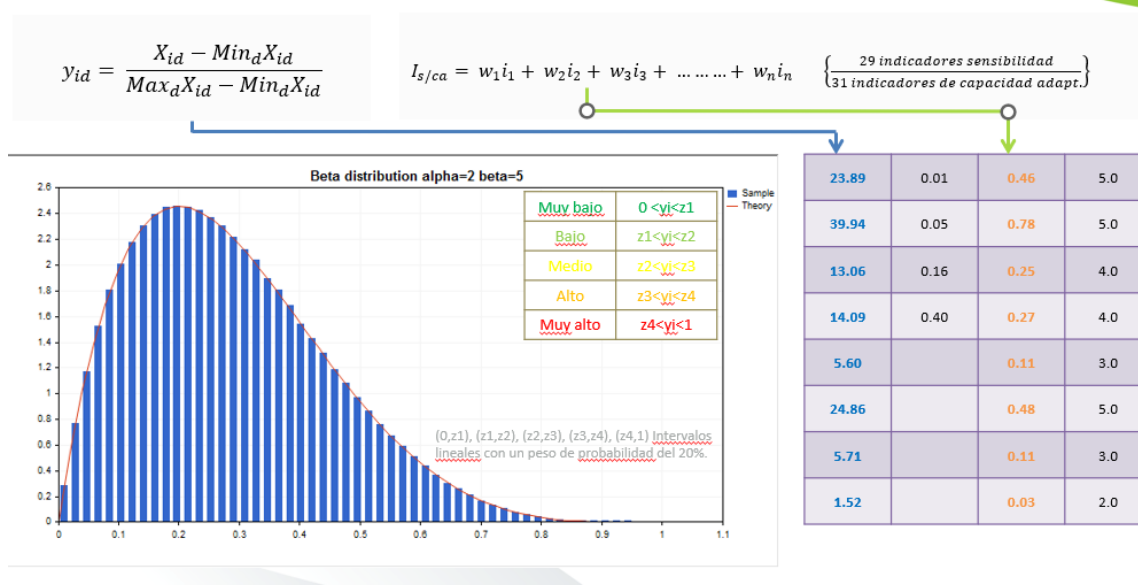


Figura 4b — De la fórmula a la clase de riesgo: normalización, distribución Beta($\alpha=2$, $\beta=5$) que define los umbrales muy bajo→muy alto, y tabla de resultados por unidad territorial. Fuente: Climate Change Lab S.A.S. (2026a).

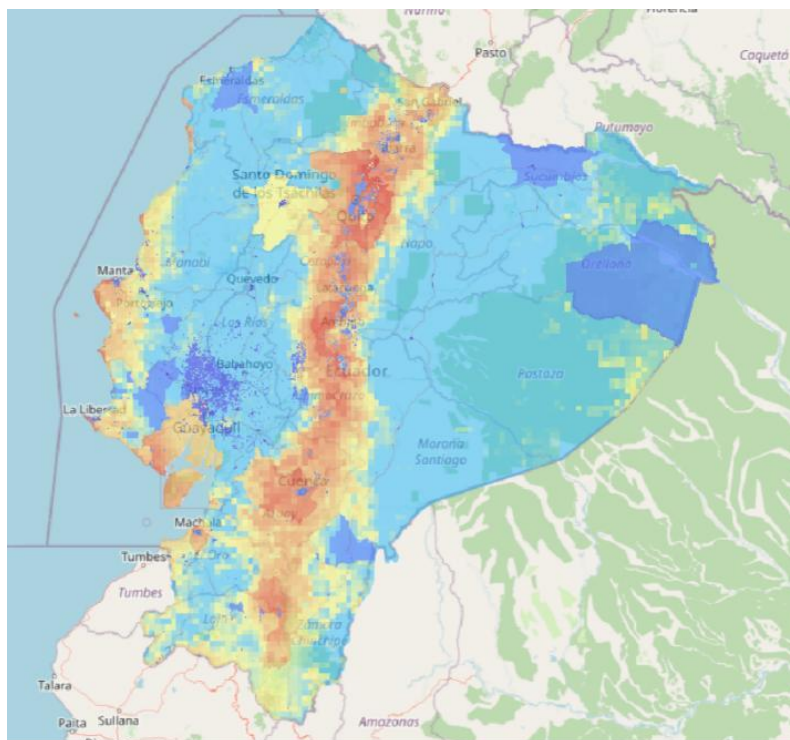


Figura 4c — Gradiente nacional del índice de riesgo, el mismo cálculo llevado a escala país. Fuente: GICC-RH / Climate Change Lab, 2026.

⚠ RIESGOS FRECUENTES

Ponderar todos los indicadores por igual, sin analizar su varianza real en el territorio, hace que un indicador irrelevante pese lo mismo que uno crítico, es relevante contar con una unidad de análisis, elemento expuesto y el universo estadístico de la evaluación. Además, convocar un taller sin cuota de género garantizada casi siempre termina reproduciendo, en el propio diagnóstico, la misma brecha de acceso que se quiere medir.

Para proyectos de infraestructura de agua, saneamiento y desechos sólidos de un GAD, el Anexo A (capítulo 16) propone una versión de Vulnerabilidad (V) que evita dividir S entre Ca directamente más estable cuando ambos se miden en escala ordinal 1-5. Esta corrección corrige el subestimación de la vulnerabilidad y riesgo climático de la formula clásica AR6

Integración y priorización

Los tres módulos se combinan en un mapa de riesgo por zona, clasificado en cinco niveles, que orienta directamente qué medidas priorizar primero.

Así se ve cuando ya está calculado, no como concepto sino como resultado — el Índice de Riesgo Integral (IRI) de una cuenca real, comparando el presente contra 2050:

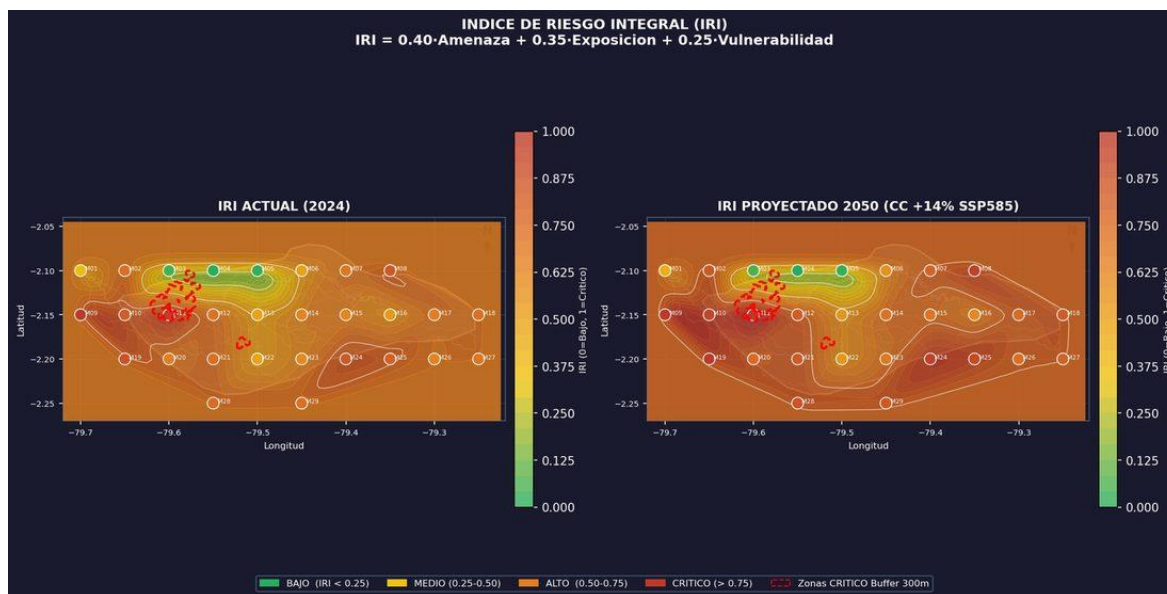


Figura 4d — $IRI = 0.40 \cdot \text{Amenaza} + 0.35 \cdot \text{Exposición} + 0.25 \cdot \text{Vulnerabilidad}$ — la misma ecuación del capítulo 2, calculada en 29 puntos de control, hoy y a 2050. Fuente: GICC-RH, cuenca de Milagro.

Y así es como se construye esa clasificación en general, cruzando los tres factores en una matriz:

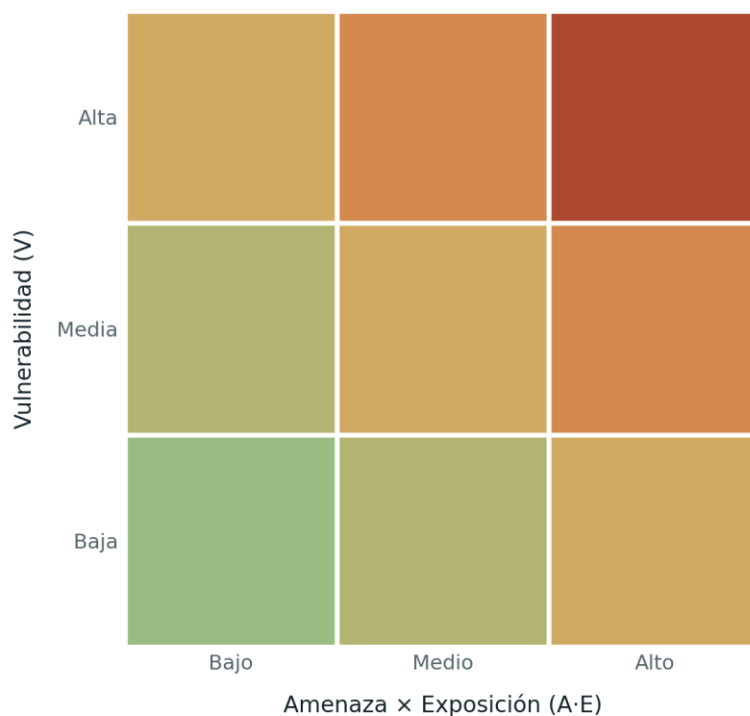


Figura 4 — Matriz de priorización: verde es riesgo bajo, rojo es riesgo muy alto.

Las medidas de prioridad alta corresponden a zonas con riesgo moderado a muy alto donde la medida reduce directamente la amenaza, la exposición o la vulnerabilidad. Las de prioridad media aportan beneficios adicionales de biodiversidad o carbono sin reducir el riesgo de forma directa. Las de prioridad baja tienen un carácter habilitante o de largo plazo.

Tres tipos de respuesta adaptativa (IPCC AR6)

No toda medida de adaptación cuesta lo mismo ni cambia lo mismo. Fedele et al. (2019) ordenan el espectro completo — de la inacción a la transformación — según cuánta inversión, cuántos actores y cuánto se aparta del statu quo exige cada una:

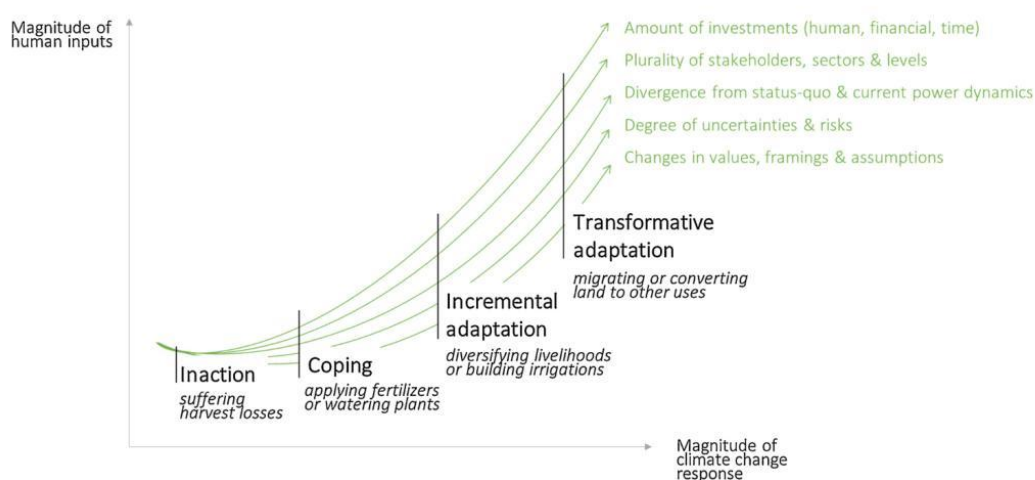


Figura 4e — El espectro de la adaptación: de “sufrir la pérdida de cosecha” (inacción) a “migrar o reconvertir el uso del suelo” (transformación). Fuente: Fedele et al. (2019).

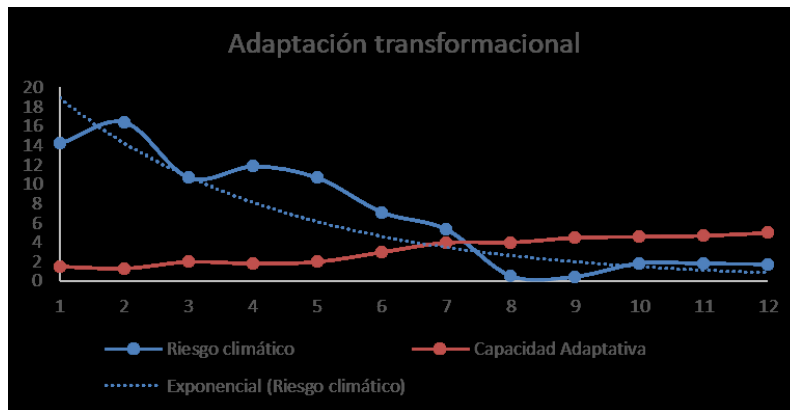


Figura 4f — Adaptación transformacional: el riesgo baja porque la capacidad adaptativa lo alcanza y lo supera.

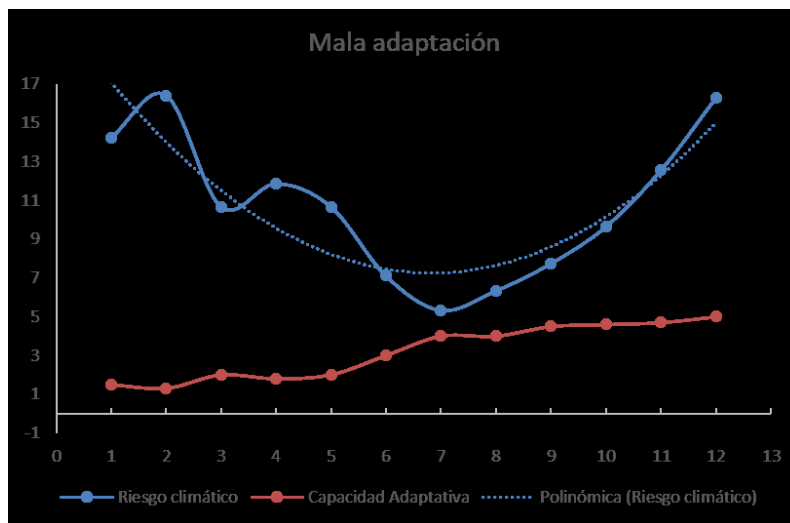


Figura 4g — Maladaptación: el riesgo cae al principio, pero sin capacidad adaptativa real vuelve a subir. Fuente: Schipper (2020).

Clasificación de nueve tipologías de medidas de adaptación según Biagini et al. (2014).

Aplicación:

Las siguientes figuras provienen del pipeline operativo que el GICC-RH ejecuta de extremo a extremo en cuencas costeras y altoandinas del Ecuador — la misma cadena descrita en los capítulos anteriores, mostrada aquí con datos reales.

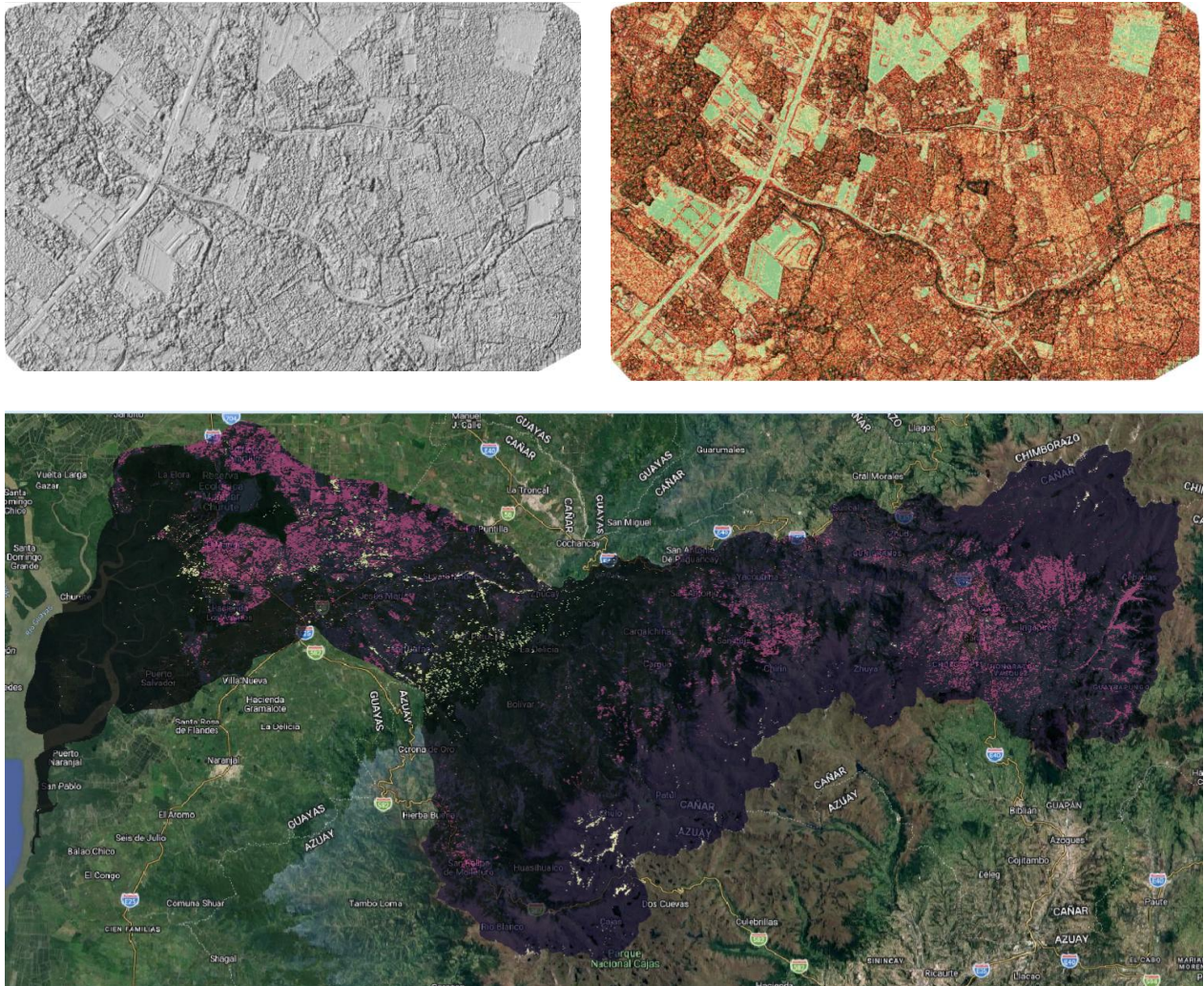


Figura 4h — MDT de 9 y 3 m, red hídrica y predios sobre el trazado PM2040.

Etapa 1 — Ingesta climática y selección de modelos

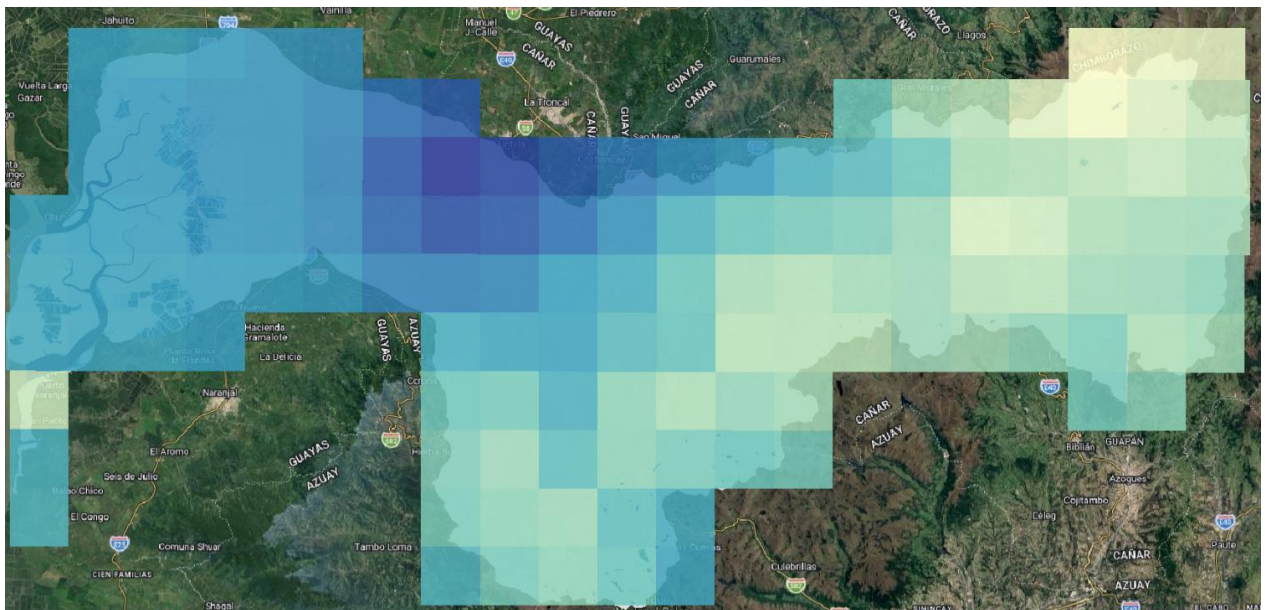
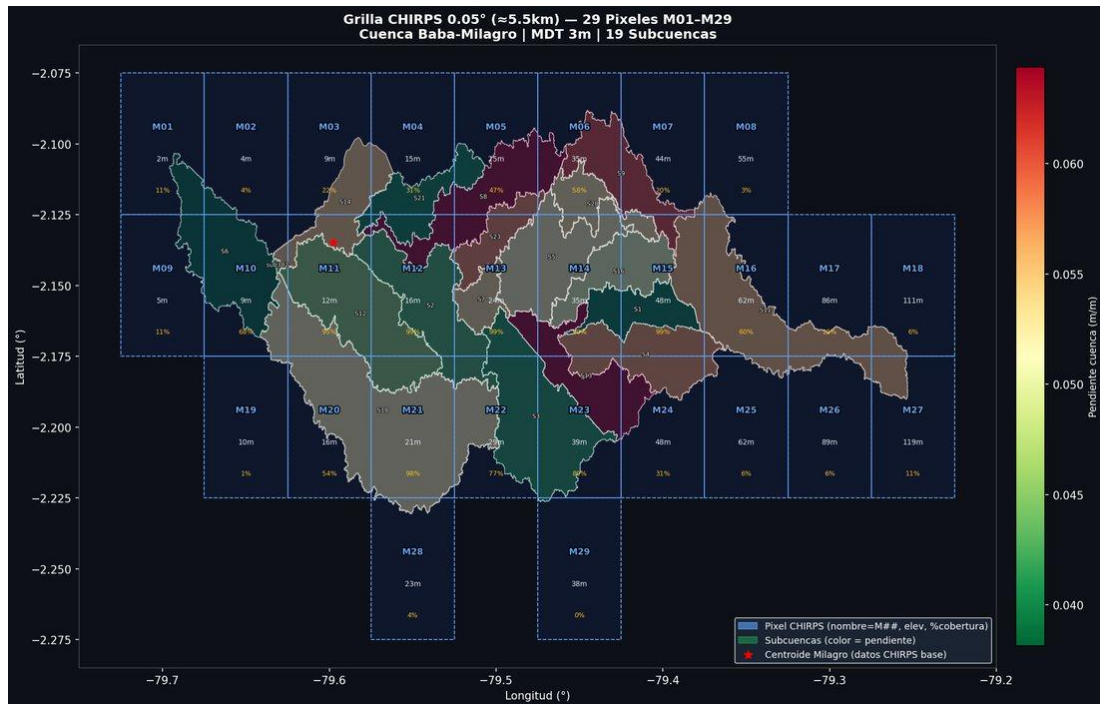


Figura 5 — Ingesta de la grilla CHIRPS en Google Earth Engine, cuenca de Milagro.

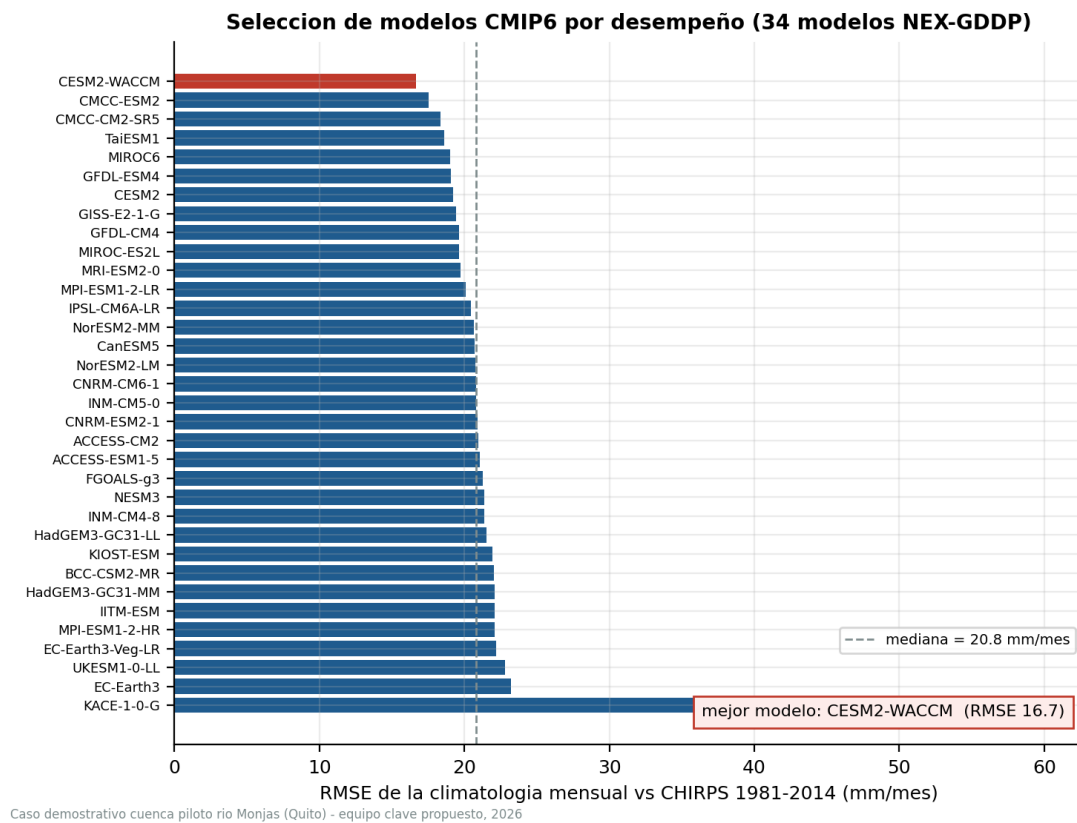


Figura 6 — Selección de modelos CMIP6 por desempeño histórico (RMSE), cuenca del Monjas.

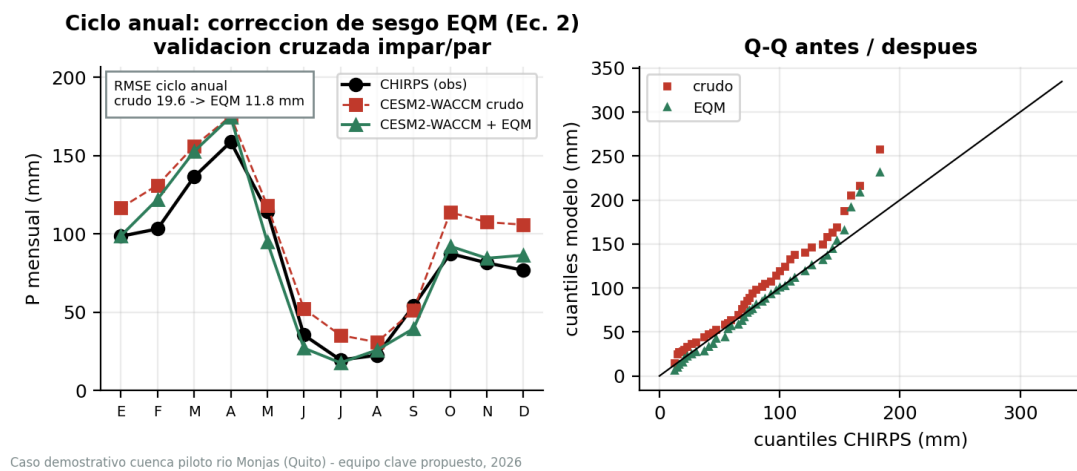


Figura 7 — Corrección de sesgo del modelo seleccionado (Escalamiento de Cuantiles Empírico).

Etapla 2 — El Niño / La Niña y extremos no estacionarios

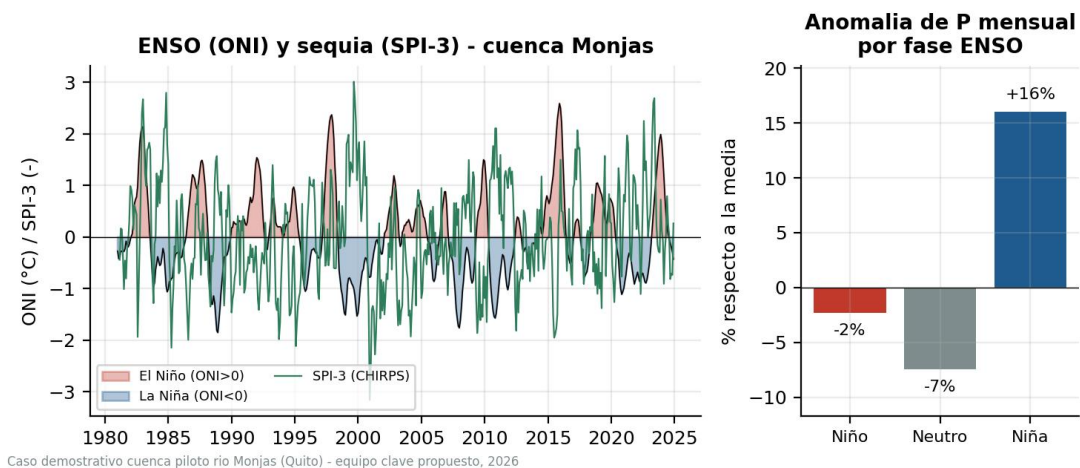


Figura 8 — Anomalías compuestas por fase El Niño / La Niña, cuenca del Monjas.

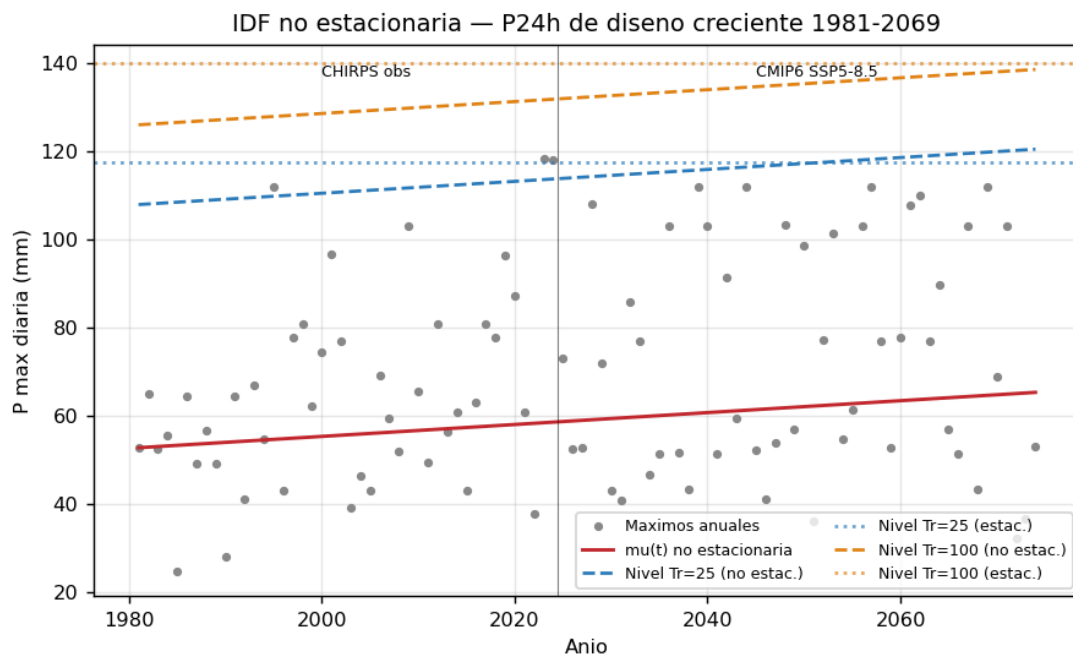


Figura 9 — Curvas de intensidad de lluvia que cambian con el clima futuro (IDF no estacionaria), cuenca del Cañar.

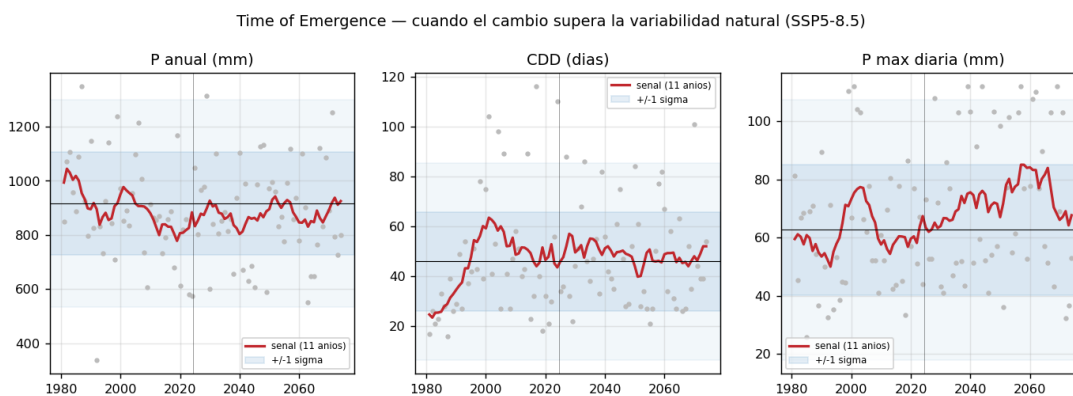


Figura 10 — Año en que la señal del cambio climático supera la variabilidad natural (Time of Emergence).

Etapa 3 — Procesos de cuenca alto-andina

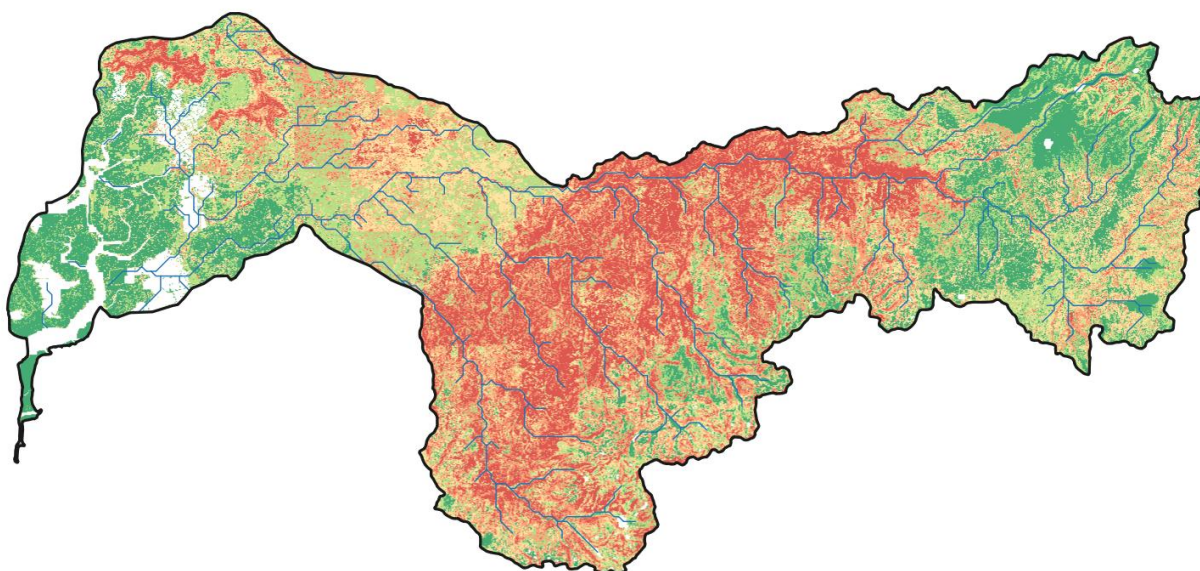
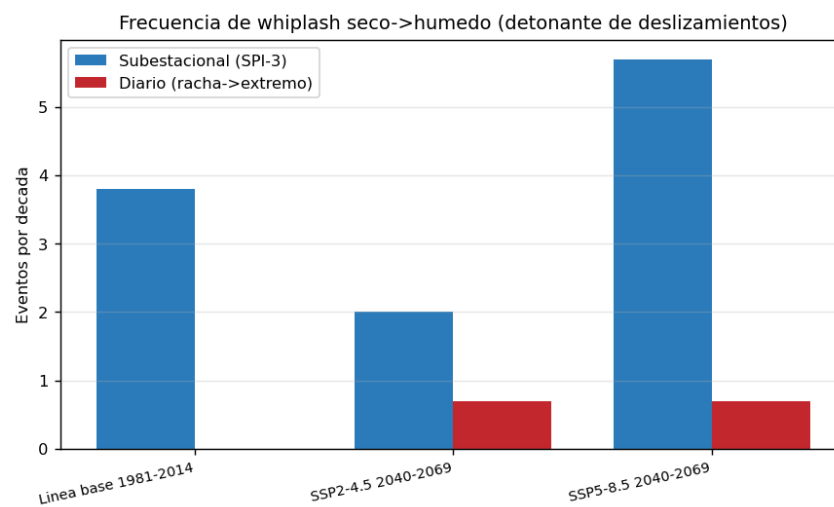


Figura 11 — Transiciones abruptas entre sequía y exceso hídrico (latigazo hidroclimático), cuenca del Cañar.

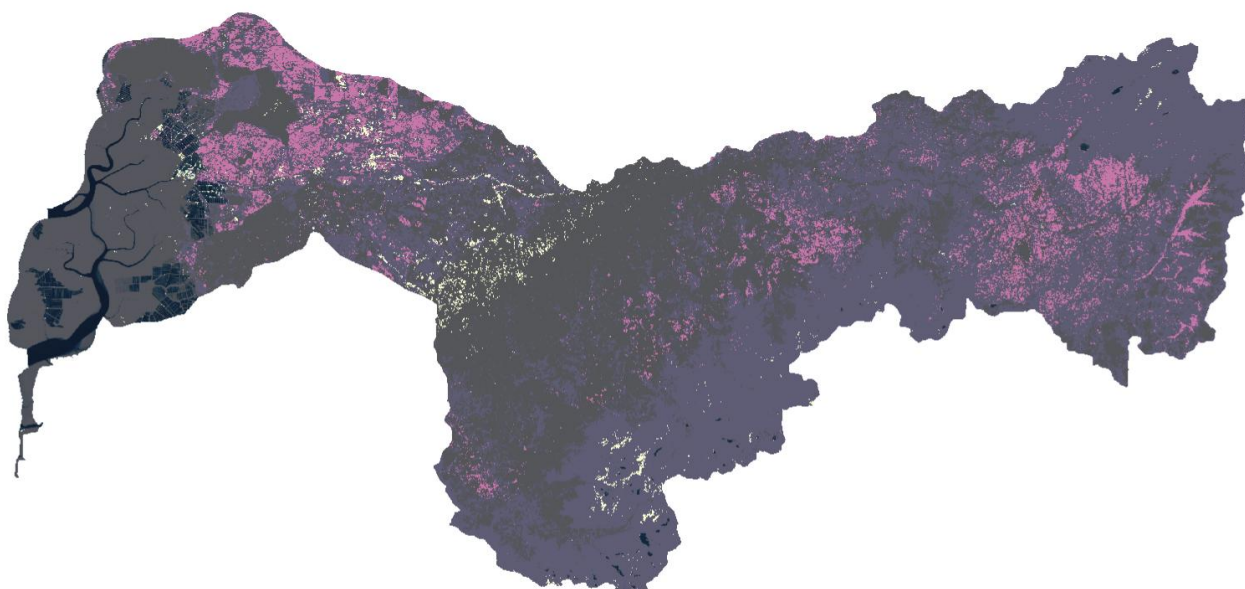
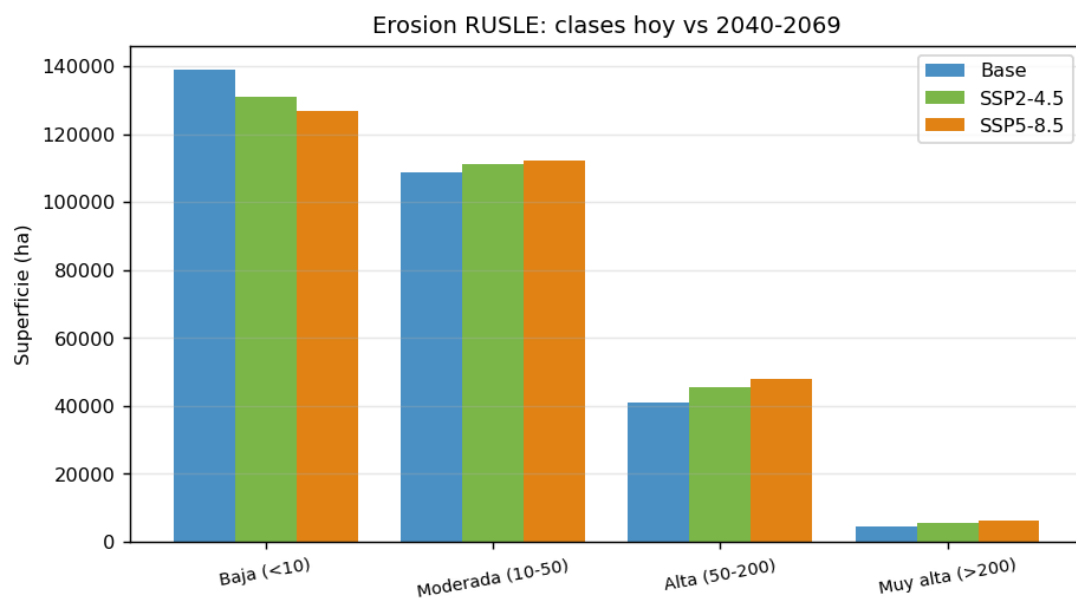


Figura 12 — Pérdida de suelo por erosión hídrica, cuenca del Cañar.

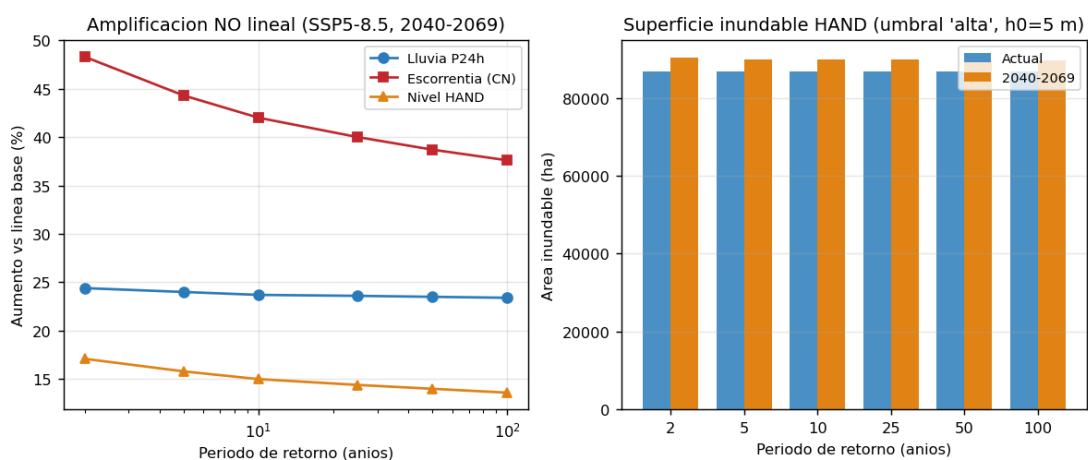


Figura 13 — Zonas inundables proyectadas (altura sobre el drenaje más cercano).

Etap 4 — Gemelo digital de dron

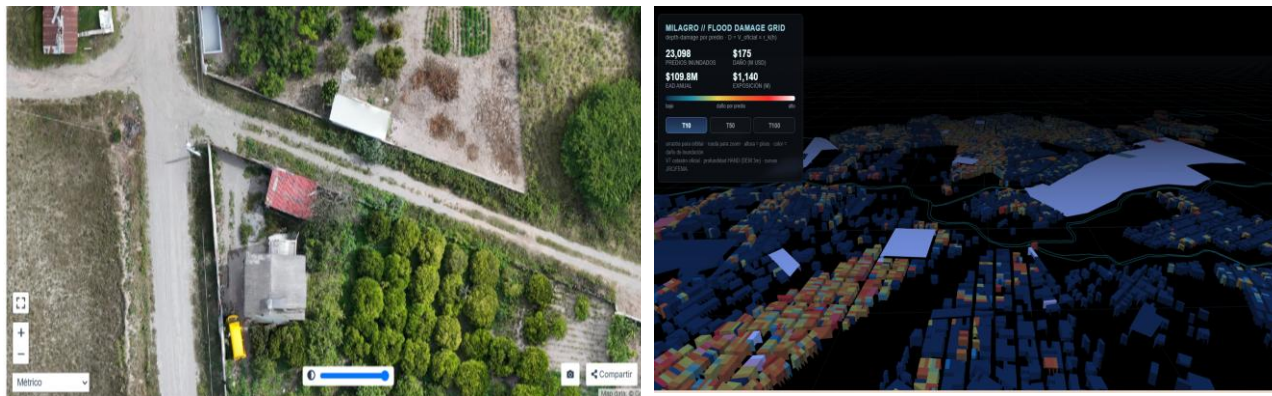


Figura 14 — Ortomosaico de dron.

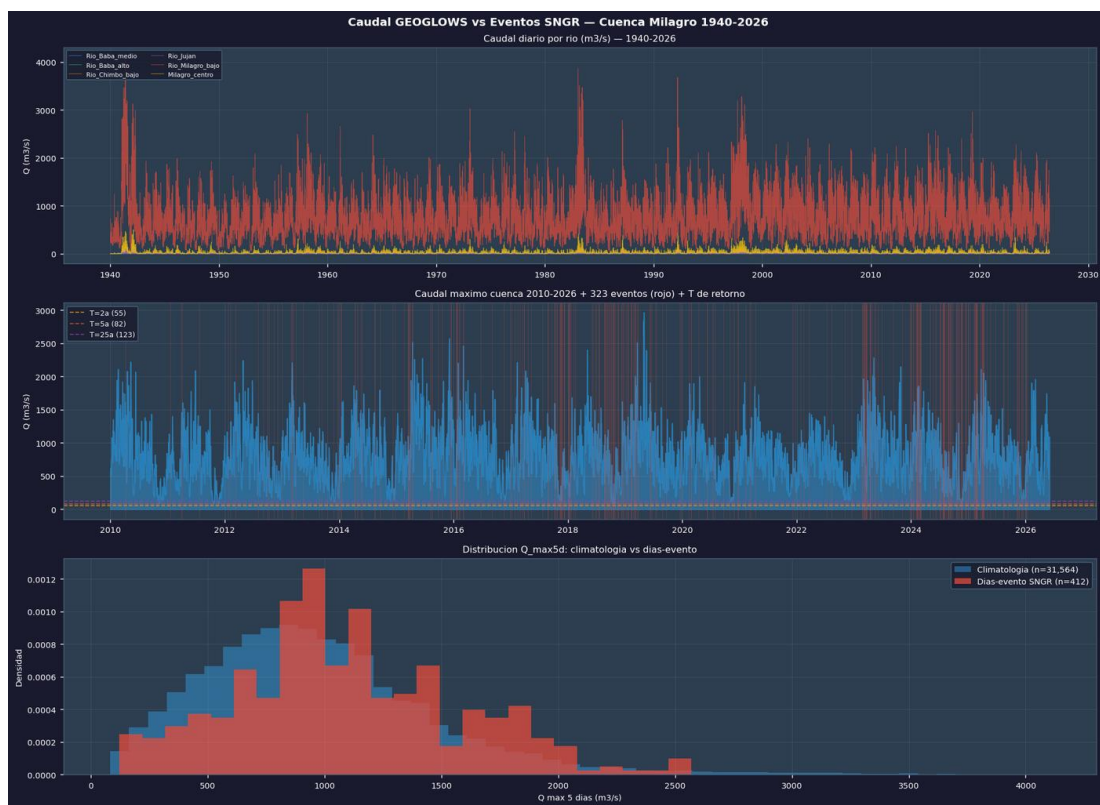


Figura 15 — Caudales de referencia GEOGLOWS, cuenca de Milagro.

Módulo C · Carbono y cobeneficios

Cuando el territorio incluye ecosistemas con reservas importantes de carbono — manglar, páramo, bosque húmedo — la guía suma un módulo de alta precisión (Tier 3) para cuantificar esos reservorios, articulado con el mismo gemelo digital del módulo de exposición.

ECUACIÓN 3

$$C \text{ total} = (\text{biomasa aérea} \times 0.47) + \text{biomasa subterránea} + (\text{necromasa} \times 0.47) + \text{carbono del suelo}$$

Se mide	Cómo
Biomasa aérea viva	Fórmulas de alometría (Chave 2014 / Komiyama 2008) + LiDAR
Biomasa subterránea	Relación raíz : tallo según especie
Necromasa	Inventario de madera muerta
Carbono del suelo	Núcleos de 0 a 100 cm, análisis de laboratorio

El sistema de reporte (MRV) construye una línea base histórica, demuestra que el proyecto genera un beneficio adicional real, gestiona los riesgos de fuga y reversión, y programa una re-medición cada cinco años con verificación independiente.

⚠ RIESGOS FRECUENTES

Usar un factor de conversión biomasa-carbono genérico (0.5) en vez del 0.47 recomendado por Howard et al. (2014) introduce un sesgo sistemático que se arrastra a todo el inventario. Y reportar un stock de carbono sin su intervalo de confianza es, para cualquier comprador de créditos de carbono azul, motivo automático de rechazo.

Procedimiento paso a paso

Ocho pasos que integran los módulos A, E y V — y, cuando corresponde, el módulo de carbono — pensados para que un equipo técnico territorial los aplique bajo el enfoque «aprender haciendo».

1 Delimitación y línea base

Definir los límites del territorio y sistematizar la información disponible.

2 Caracterización de la amenaza

Descenso de escala CMIP6, curvas IDF futuras, análisis ENOS y nivel del mar.

3 Gemelo digital de exposición

Vuelo de dron MeELiDAR/RGB, fusión con Sentinel y bibliotecas VOTEX.

4 Evaluación de la vulnerabilidad

Índice V (Sensibilidad y Respuesta) con enfoque de género, fuentes oficiales y participación comunitaria.

5 Cálculo del riesgo

Integración $RC = A \times E \times V$ y mapas temáticos por nivel de riesgo.

6 Cuantificación de carbono (si aplica)

Muestreo Tier 3 de biomasa y suelo, diseño del sistema MRV.

7 Validación participativa

Socialización de resultados con administradores y técnicos del territorio.

8 Portafolio de medidas y monitoreo

Priorización con criterios SMART e instalación del sistema de seguimiento.

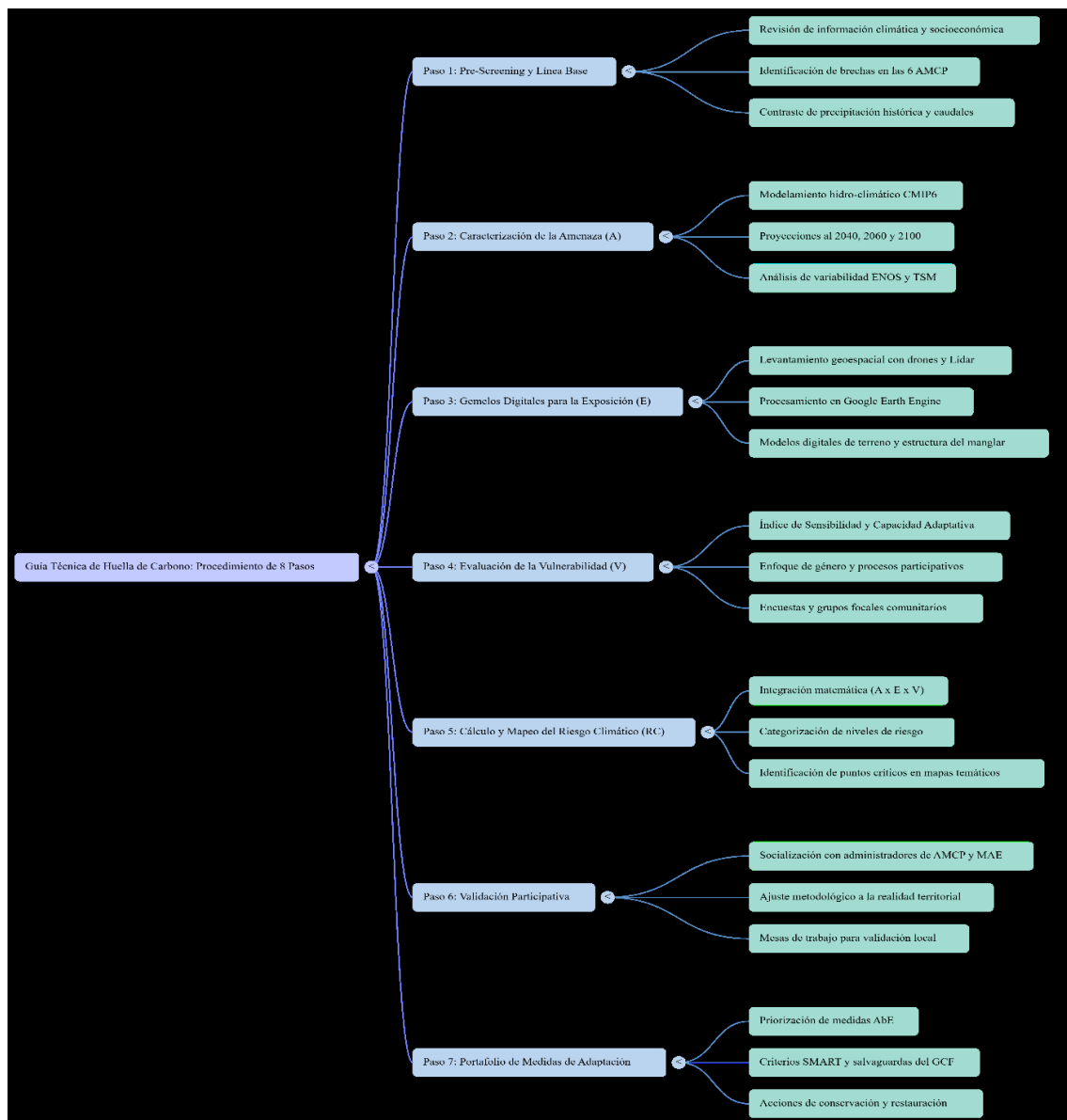


Figura 5b — El mismo procedimiento, tal como quedó documentado en una de las aplicaciones del método: versión de 7 pasos centrada en el análisis de riesgo, sin el módulo de carbono.

Sistema de monitoreo

Cada estudio entrega, además del informe técnico, un sistema de seguimiento abierto que no depende del equipo consultor para seguir funcionando en el tiempo.

Indicador	Unidad	Frecuencia	Fuente
Cambio de cobertura	%/año	anual	Sentinel-2 + alertas GLAD
Salud del ecosistema (NDVI)	0–1	trimestral	Sentinel-2
Stock de carbono	tC/ha	cada 5 años	parcelas permanentes + LiDAR
Liderazgo femenino local	ha y %	anual	registros desagregados por sexo

Los productos digitales se publican en formato web abierto (HTML / Google Earth Engine), no en software con licencia, para que el equipo territorial pueda actualizar el sistema sin costos adicionales. Todos los scripts, formularios y plantillas se entregan en un repositorio compartido.

Salvaguardas, género e interculturalidad

Todo levantamiento de información con comunidades sigue un proceso de participación inclusiva documentado, con un mecanismo de quejas accesible.

- ▶ Cuota de género: al menos 40% de mujeres en talleres y procesos de decisión.
- ▶ Logística que elimina barreras de acceso: transporte, horarios, cuidado de dependientes.
- ▶ Canal de quejas accesible, con respuesta inicial en un máximo de 5 días hábiles.
- ▶ Todos los indicadores se reportan desagregados por sexo, edad y grupo étnico.

Estándares y marco normativo

Instrumento	Alcance
IPCC AR5 (2014) / AR6 (2022)	Marco conceptual del riesgo climático $RC = A \times E \times V$
IPCC 2006 (Refinamiento 2019)	Factores de emisión e inventarios de GEI
Howard et al. (2014)	Protocolo de campo para carbono azul costero
ISO 14064-1	Cuantificación y reporte de huella de carbono
HQBC (2024) · Plan Vivo · Verra VM0033	Estándares de verificación de carbono azul
Segunda NDC Ecuador (2025–2035)	Metas nacionales de mitigación y adaptación
PLAMICC 2024–2070 · NAP Ecuador	Hoja de ruta de mitigación y plan nacional de adaptación
Acuerdo de París — Artículo 6	Mecanismos cooperativos de mercado de carbono
Marco de Sendai 2015–2030	Reducción del riesgo de desastres

Glosario breve

Término	Significado
ARC	Análisis de Riesgo Climático.
Downscaling	Descenso de escala: pasar de un modelo climático global a una resolución territorial útil.
SSP	Escenario socioeconómico compartido usado en CMIP6 (p. ej. SSP2-4.5, SSP5-8.5).
ENSO / ENOS	El Niño – Oscilación del Sur, principal variabilidad climática interanual del Pacífico.
IDF	Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de la lluvia.
Time of Emergence	Año en que la señal climática supera la variabilidad natural histórica.
RUSLE	Modelo de erosión hídrica del suelo.
HAND	Altura del terreno sobre el drenaje más cercano, usada para mapear zonas inundables.
VOTEX	Unidad de calibración de referencia para extrapolar mediciones puntuales al territorio.
MRV	Medición, Reporte y Verificación.
CLPI	Consentimiento Libre, Previo e Informado.

Referencias

Fuentes metodológicas y normativas citadas a lo largo de la guía, incluyendo las consultorías de Climate Change Lab / GICC-RH que sustentan técnicamente este documento.

- Asner, G. P., Mascaro, J., Muller-Landau, H. C., Vieilledent, G., Vaudry, R., Rasamoelina, M., Hall, J. S., y van Breugel, M. (2012). A universal airborne LiDAR approach for tropical forest carbon mapping. *Oecologia*, 168(4), 1147–1160.
- Biagini, B., Bierbaum, R., Stults, M., Dobardzic, S., y McNeeley, S. M. (2014). A typology of adaptation actions: A global look at climate adaptation actions financed through the Global Environment Facility. *Global Environmental Change*, 25, 97–108.
- Climate Change Lab S.A.S. (2026a). Propuesta técnica: Elaboración de guía metodológica para calcular el riesgo climático y la huella de carbono en 6 áreas marino costeras protegidas (Proceso CI-GCF-MPC-027A). Consultoría presentada a Conservación Internacional Ecuador, Proyecto Manglares para el Clima (GCF).
- Climate Change Lab S.A.S. (2026b). Propuesta técnica: Consultoría para la medición de carbono azul, estuarios de Guayas y Jambelí (Proceso CI-GV-001, Proyecto Golfo Vivo). Consultoría presentada a Conservación Internacional Ecuador.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., et al. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190.
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3.ª ed.). John Wiley & Sons.
- Fedele, G., Donatti, C. I., Harvey, C. A., Hannah, L., y Hole, D. G. (2019). Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems. *Environmental Science & Policy*, 101, 116–125.
- GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, y EURAC. (2017). El libro de la vulnerabilidad: Concepto y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad (Update 2017, Risk Supplement). GIZ.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., y Pidgeon, E. (Eds.). (2014). *Coastal blue carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows*. Conservation International, COI-UNESCO, UICN.
- High-Quality Blue Carbon Principles and Guidance Initiative. (2024). Principles and guidance for high-quality blue carbon (HQBC).
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad — Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del IPCC. Organización Meteorológica Mundial.
- IPCC. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribución del Grupo de trabajo II al Sexto Informe de Evaluación del IPCC. Cambridge University Press.
- IPCC. (2013). 2013 Supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC.
- IPCC. (2019). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories (Refinamiento 2019). IPCC.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 14064-1:2018 — Gases de efecto invernadero, Parte 1: cuantificación e informe de emisiones y remociones de GEI a nivel de las organizaciones. ISO.
- Komiyama, A., Ong, J. E., y Pongparn, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 128–137.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, Proyecto Ganadería Climáticamente Inteligente (GCI). (2020). Riesgo climático actual y futuro del sector ganadero del Ecuador. MAG.
- Plan Vivo Foundation. (2023). Plan Vivo standard for community climate and biodiversity: Coastal blue carbon methodology. Plan Vivo Foundation.
- Quishpe, D., y Hidrobo, H. (2025). Matriz de evaluación de vulnerabilidad y riesgo climático para proyectos de agua, saneamiento y desechos sólidos de GAD (adaptada de MAATE, 2019). GICC-RH / GIZ PROGAPSA. Aplicación: cantón Mera.
- Schipper, E. L. F. (2020). Maladaptation: When adaptation to climate change goes very wrong. *One Earth*, 3(4), 409–414.
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SGR). (2026). Base de eventos históricos catalogados, 2010–2026. Ecuador.
- Vera Hernández, R., et al. (2024). Brechas de información geoespacial y articulación interinstitucional para la gestión climática de áreas marino-costeras protegidas del Ecuador. Citado en Climate Change Lab S.A.S. (2026a).
- Verra. (2023). VM0033: Methodology for tidal wetland and seagrass restoration (v2.1). Verra.

Anexo: Escala ordinal coherente para Vulnerabilidad

La fórmula clásica $V = S/Ca$ (capítulo 2) tiene un problema poco discutido cuando S y Ca se miden en escalas ordinales tipo Likert (1 a 5, como casi siempre ocurre en campo): dividir dos enteros de 1 a 5 no devuelve un resultado en la misma escala. Un caso con $S = 5$ y $Ca = 1$ da $V = 5$; el caso inverso, $S = 1$ y $Ca = 5$, da $V = 0.2$ -- dos situaciones simétricamente opuestas que terminan en escalas completamente distintas, difíciles de mapear a los mismos cinco niveles de riesgo y que siempre tienden a subestimar el riesgo climático total

Para la evaluación de vulnerabilidad y riesgo climático de proyectos de infraestructura de agua, saneamiento y desechos sólidos de los GAD -- adaptando la Caja de Herramientas del MAATE (2019) e integrando el marco AR6 del IPCC -- el equipo propuso una alternativa que mantiene los cuatro factores (A , E , S , Ca) en la misma escala ordinal de 1 a 5 en todo el cálculo, sin dividir nunca un entero por otro.

1 — Triple lente en exposición, sensibilidad y capacidad

Cada factor se evalúa desde tres ángulos -- ambiental, socioeconómico e institucional -- y se agrega por promedio simple, no por suma ni por ponderación arbitraria:

ECUACIÓN A1

$E = \text{promedio}(E_{\text{ambiental}}, E_{\text{socioeconómico}}, E_{\text{institucional}})$

ECUACIÓN A2

$S = \text{promedio}(S_{\text{ambiental}}, S_{\text{socioeconómico}}, S_{\text{institucional}})$

ECUACIÓN A3

$CAr = \text{promedio}(CAr_{\text{ambiental}}, CAr_{\text{socioeconómico}}, CAr_{\text{institucional}})$

2 — Vulnerabilidad como relación entre dimensiones

En vez de dividir S entre Ca , se calcula la Respuesta: la distancia entre la capacidad adaptativa total que el sistema podría alcanzar tras el evento y la capacidad adaptativa actual que tiene hoy en el territorio. Esa Respuesta se promedia con la sensibilidad:

ECUACIÓN A4

$\text{Respuesta} = CAr_{\text{total}} - CAr_{\text{actual}}$ ($CAr_{\text{total}} = \text{máx.} + \text{mín. de la escala}$; en 1-5: $5+1=6$)

ECUACIÓN A5

$V = (S + \text{Respuesta}) / 2$ — sustituye a $V = S/Ca$

3 — Riesgo como media geométrica, no como producto

Multiplicar $A \times E \times V$ en escala 1-5 puede llegar a 125 -- un número sin lectura directa en la escala de partida. La media geométrica lo devuelve a la misma escala ordinal:

ECUACIÓN A6

$RC = \text{clasificación}((A \times E \times V)^{1/3})$ — 5 niveles: ≤ 1 muy bajo · ≤ 2.3 bajo · ≤ 3.4 moderado · ≤ 4.5 alto · > 4.5 muy alto

Por qué importa el uso de respuesta: el mismo proyecto, dos lecturas de riesgo

Con la misma amenaza ($A=5$) y exposición ($E=4$) de un componente de infraestructura, el método clásico y el corregido no solo difieren en el número de V -- cambian la categoría de riesgo que llega a la toma de decisiones:

Método	Cálculo de V	$RC = (A \cdot E \cdot V)^{1/3}$	Clasificación
Clásico, $V = S/Ca$	$4 / 2 = 2$	$(5 \cdot 4 \cdot 2)^{1/3} = 3.42$	Moderado
Corregido, $V = (S+Resp)/2$	$(4 + (6-2)) / 2 = 4$	$(5 \cdot 4 \cdot 4)^{1/3} = 4.31$	Alto

La fórmula clásica subestimó el riesgo de este componente en una categoría completa de moderado a alta precisamente en el caso donde la capacidad adaptativa actual es baja ($Ca=2$). Es el escenario que más le importa a un GAD priorizando inversión, y es justo el que la razón S/Ca comprime.

APLICACIÓN REAL

Esta versión mejorada se aplicó al análisis de riesgo climático de la segunda etapa del Plan Maestro de Alcantarillado Pluvial y Sanitario del cantón Mera y al sistema regional de agua potable de la parroquia Shimpis (cantón Logroño, Morona Santiago), ambos en el marco del proyecto GIZ PROGAPSA, evaluando cada componente frente a lluvias intensas, olas de calor, sequía y heladas, con la amenaza climática acoplada a las curvas IDF del INAMHI mediante el protocolo de acople GCM→IDF del propio equipo.

Metodología: Quishpe, D. y Hidrobo, H. (2025), adaptada de la Caja de Herramientas para PDOT del MAATE (2019). Código abierto: github.com/QuishpeL.

Anexo — Fuentes y herramientas

Todas las fuentes de datos y el software que sostiene esta guía son de acceso abierto. Se listan aquí con su enlace oficial de referencia.

 CHIRPS chc.ucsb.edu/data/chirps	 Google Earth Engine earthengine.google.com	Copernicus Copernicus · Sentinel-1/2/3 copernicus.eu
QGIS QGIS qgis.org	 WebODM opendronemap.org	GEOGLOWS Caudales globales geogloWS.ecmwf.int
CMIP6 ESGF — modelos climáticos esgf.llnl.gov	IPCC Data Distribution Centre ipcc.ch/data-atlas	AVISO+ Nivel del mar satelital aviso.altimetry.fr
GitHub Protocolo GCM→IDF INAMHI (GICC-RH) github.com/QuishpeL		

Ejemplo — ingesta de CHIRPS en Google Earth Engine

Script base que cualquier equipo territorial puede copiar y adaptar a su propia cuenca (reemplazando “cuenca” por su geometría importada en formato GeoJSON o Shapefile).

```
// Ingesta CHIRPS diario y climatología mensual -- GICC-RH / UCE
var cuenca = ee.FeatureCollection('users/gicc_rh/milagro_limite');

var chirps = ee.ImageCollection('UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY')
  .filterDate('1981-01-01', '2024-12-31')
  .filterBounds(cuenca);

var climatologiaMensual = ee.List.sequence(1, 12).map(function(mes) {
  return chirps.filter(ee.Filter.calendarRange(mes, mes, 'month'))
    .mean().set('mes', mes);
});
```

Créditos y citación

Esta guía es un producto del Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Cambio Climático (GICC-RH) de la Universidad Central del Ecuador, sistematizado a partir de la experiencia técnica del grupo en estudios de riesgo climático, hidrología y carbono azul en cuencas y territorios costeros del país.

Reconocimiento — este trabajo se desarrolla en coordinación con la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), actualmente en un proceso avanzado de convenio interinstitucional para la aplicación conjunta de esta metodología en el cantón Milagro.

Diego Quishpe — Riesgo climático y teledetección

Ingeniero Agrónomo, MSc. en Manejo de Cuencas (CATIE) y en Proyectos Energéticos (UCE). Más de 16 años de experiencia en adaptación al cambio climático, modelamiento CMIP6/CMIP5 y sensores remotos. Ex Director de Adaptación al Cambio Climático, Ministerio del Ambiente del Ecuador (2022–2024).

Fernando Jarrín — Modelación hidroclimática

PhD con experiencia relevante en Ecuador y EEUU en modelación hidrológica e hidráulica, con énfasis en la integración de escenarios climáticos en el diseño de infraestructura y la gestión de crecidas.

Teresa Palacios — Carbono, MRV y gestión hídrica

Doctora en Agua y Desarrollo Sostenible, Ingeniera Química, Directora del Grupo de Investigación en Cambio Climático y Recursos Hídricos (UCE). Experiencia institucional en inventarios de GEI y reportes de transparencia climática.

Cómo citar esta guía

CITACIÓN SUGERIDA

Quishpe, D., Jarrín, F. y Palacios, T. (2026). Guía de estudios de riesgo climático de alta resolución. Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Cambio Climático (GICC-RH), Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.