



CELESTE GEOImpact

Plataforma geoespacial de justicia climática de FEJUC

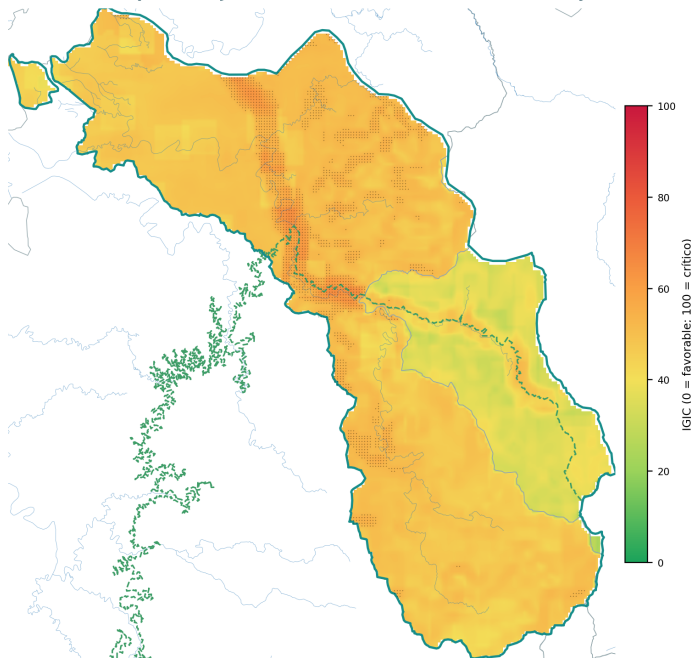
INFORME TÉCNICO INTEGRAL Y DE LÍNEA BASE

Análisis de justicia climática y sostenibilidad territorial

Subzona Hidrográfica 5310 · Cuenca del río Anchicayá

Vertiente del Pacífico · Valle del Cauca

Índice Geoespacial de Justicia Climática - SZH 5310 Río Anchicayá



46,6/100

IGJC territorial

20.723

celdas de 250 m

22

veredas analizadas

45,4 %

dentro del PNN

Dirección institucional: Federación para la Justicia Climática (FEJUC)

Autoría técnica, conceptual y metodológica: Juan Sebastián Debia Erazo

Versión 1.0 · Fecha de corte: 2 de agosto de 2026 · Colombia



Análisis
técnico

Créditos, autoría y condiciones de uso

Aviso de atribución y reserva de derechos

© 2026 Federación para la Justicia Climática (FEJUC) y Juan Sebastián Debia. Todos los derechos reservados sobre la redacción original del informe, la expresión del diseño metodológico, el código y la arquitectura desarrollados para CELESTE GEOImpact, las cartografías derivadas, las visualizaciones y la selección u organización original de la base de datos, sin perjuicio de los derechos, licencias y deberes de atribución correspondientes a las fuentes oficiales y a terceros.

La autoría moral de los aportes técnicos y metodológicos atribuidos en este documento corresponde a Juan Sebastián Debia. La marca, publicación institucional, operación de la plataforma y los activos desarrollados en el marco de FEJUC se reconocen a la Federación para la Justicia Climática, de acuerdo con los instrumentos contractuales, estatutarios o de licencia que resulten aplicables. Este aviso no sustituye un contrato de cesión o licencia de derechos patrimoniales entre las partes.

En el régimen andino y colombiano, las ideas, métodos o conceptos abstractos no se protegen por derecho de autor en sí mismos; sí se protege su forma original de expresión, incluidos textos, programas de ordenador, mapas, ilustraciones y bases de datos cuya selección o disposición sea original. El registro ante la Dirección Nacional de Derecho de Autor es declarativo y constituye un medio probatorio relevante.

Ficha de control documental

Campo	Contenido
Título	Informe técnico integral y de línea base: análisis de justicia climática y sostenibilidad territorial de la SZH 5310 - río Anchicayá
Código documental	CELESTE-IGJC-SZH5310-IT-001
Versión	1.0
Fecha de corte	2 de agosto de 2026
Ámbito	Subzona Hidrográfica 5310 - río Anchicayá
Autoría técnica	Juan Sebastián Debia
Dirección institucional	Federación para la Justicia Climática (FEJUC)
Plataforma territorial	https://anchicaya.fejuc.org/
Condición de uso	Documento técnico de línea base, sujeto a actualización por nuevos datos oficiales, validación territorial y control de versiones.

Forma recomendada de citación

Cita institucional sugerida

Federación para la Justicia Climática - FEJUC y Debia, J. S. (2026). Informe técnico integral y de línea base: análisis de justicia climática y sostenibilidad territorial de la Subzona Hidrográfica 5310 - río Anchicayá. CELESTE GEOImpact, versión 1.0. Colombia.

Resumen ejecutivo

La cuenca del río Anchicayá presenta una brecha de justicia climática de nivel medio en el agregado territorial, con un patrón espacial más desfavorable en la franja no protegida y en las veredas de Buenaventura asociadas al corredor hidroeléctrico, a la cuenca media-baja y a mayores déficits socioeconómicos. El promedio de 46,6 puntos no debe interpretarse como homogeneidad ni como ausencia de conflictos acumulativos.

El Índice Geoespacial de Justicia Climática (IGJC) de CELESTE GEOImpact integra amenaza climática, exposición, sensibilidad socioeconómica, déficit de capacidad adaptativa, presión ambiental y protección, derechos y gobernanza. El modelo opera sobre una malla de 250 m con 20.723 celdas, se agrega a 22 veredas y permite separar la lectura dentro y fuera del PNN Farallones de Cali. La clasificación y las estadísticas se recalculan con la población filtrada para evitar leyendas inconsistentes.

46,6 IGJC medio Brecha agregada media; mediana territorial de 47,9.	83,2 % medio-alto 81,9 % de celdas en nivel medio y 1,3 % en alto.	48,7 fuera del PNN Mediana mayor que dentro del parque: 47,0.
67,4 sensibilidad Principal condicionante estructural del resultado.	45,4 % traslape PNN 58.831 ha de la malla analítica dentro de Farallones.	±1,24 robustez Desviación mediana bajo perturbación moderada de pesos.

Hallazgos sustantivos

- La distribución absoluta se concentra en el nivel medio: 16.962 celdas (81,9 %). Otras 3.484 están en nivel bajo (16,8 %) y 277 en nivel alto (1,3 %). No aparecen celdas en las bandas muy baja o crítica con los umbrales absolutos de esta versión.
- La mediana fuera del PNN es 48,7 frente a 47,0 dentro del parque. La diferencia es moderada, pero consistente con una mayor acumulación de sensibilidad, presión y déficit de capacidad en la franja no protegida.
- Buenaventura concentra aproximadamente 79,6 % de las celdas y registra un promedio de 48,9. Dagua reúne 20,2 % y alcanza 37,7. Los contactos con Cali y Jamundí son marginales y no permiten inferencias municipales robustas.
- Cisneros, Zabaletas y Llano Bajo encabezan la agregación veredal. La alta sensibilidad social de Buenaventura y el corredor de accesibilidad/presión explican gran parte de su posición relativa.
- El límite de la cuenca y la climatología son temporales: el polígono procede de una republicación validada contra la SZH 5311, y precipitación/temperatura usan ERA5-Land y DEM Copernicus por indisponibilidad del servicio del IDEAM.
- No se incorporaron aún consejos comunitarios, territorios colectivos ni la geometría de las centrales Alto y Bajo Anchicayá. Estas omisiones impiden representar directamente el conflicto distributivo entre conservación, generación hidroeléctrica y derechos étnico-territoriales.

Prioridad territorial

Concentrar la primera fase de validación en Cisneros, Zabaletas, Llano Bajo, Guadualito y San José de Anchicayá, sin perder de vista San Isidro y La Cascada dentro del PNN. La respuesta debe articular POMCA, seguimiento a la operación hidroeléctrica, restauración, justicia hídrica, servicios rurales, consulta y participación efectiva de consejos comunitarios, y monitoreo independiente de calidad del agua y sedimentos.

Contenido

Sección	Contenido
1	Introducción
2	Objetivos, alcance y criterios de interpretación
3	Antecedentes territoriales, ecosistémicos e institucionales
4	CELESTE GEOImpact: plataforma, datos y arquitectura
5	Metodología precisa del IGJC
6	Resultados del análisis territorial
7	Interpretación desde la justicia climática
8	Diagnóstico de sostenibilidad territorial
9	Territorios prioritarios y plan de acción
10	Conclusiones
11	Limitaciones, validez y uso responsable
12	Recomendaciones para evolución e institucionalización
13	Autoría, derechos de propiedad intelectual y protección
14	Referencias
A-E	Anexos metodológicos, territoriales y de reproducibilidad

El PDF contiene marcadores de navegación para los títulos principales y subtítulos.

Siglas y abreviaturas

Sigla	Definición
ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.
CELESTE	Plataforma geoespacial de FEJUC para lectura territorial de justicia climática.
CHAA	Central Hidroeléctrica Alto Anchicayá.
CHBA	Central Hidroeléctrica Bajo Anchicayá.
CNPV	Censo Nacional de Población y Vivienda.
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
DEM	Modelo Digital de Elevación.
ERA5-Land	Reanálisis climático terrestre del Servicio de Cambio Climático de Copernicus.

Sigla	Definición
FEJUC	Federación para la Justicia Climática.
IGJC	Índice Geoespacial de Justicia Climática.
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.
IPM	Índice de Pobreza Multidimensional.
OSM	OpenStreetMap.
PNN	Parque Nacional Natural.
POMCA	Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográfica.
RUNAP	Registro Único Nacional de Áreas Protegidas.
SIG	Sistema de Información Geográfica.
SZH	Subzona Hidrográfica.
dMRV	Monitoreo, reporte y verificación digital.

Nota de alcance

El presente informe documenta la línea base calculada con los archivos contenidos en el paquete CELESTE GEOImpact de la SZH 5310. Las fuentes externas se utilizan para contextualizar el territorio, el marco jurídico, el POMCA y los proyectos hidroeléctricos; no reemplazan ni corrigen silenciosamente los datos del paquete.

1. Introducción

La crisis climática se expresa de manera territorialmente desigual. Un mismo evento hidrológico produce efectos distintos según la exposición de personas y ecosistemas, las condiciones socioeconómicas, el acceso a infraestructura, la capacidad institucional y comunitaria, el régimen de protección y la distribución de cargas y beneficios ambientales. Por ello, una lectura de justicia climática no se limita a estimar amenazas físicas: examina quiénes soportan el riesgo, con qué capacidades cuentan, qué derechos pueden ejercer y cómo se distribuyen las decisiones y los recursos.

La SZH 5310 se organiza alrededor del río Anchicayá, desde la alta montaña de la Cordillera Occidental hasta la vertiente del Pacífico. El paquete analítico representa un gradiente de 0 a 3.809 m s. n. m., una superficie de 129.519 ha y un traslape de 58.831 ha con el PNN Farallones de Cali. La cuenca sostiene biodiversidad, territorios colectivos, economías ribereñas, generación hidroeléctrica y conectividad ecológica, pero también concentra una historia de afectaciones ambientales y litigios por el vertimiento de sedimentos de 2001.

La Corte Constitucional ha descrito la cuenca como un territorio principalmente localizado en Buenaventura y Dagua, y ha reiterado la relevancia de los derechos de las comunidades negras y de la consulta previa en decisiones que afectan el río. La infraestructura de Alto y Bajo Anchicayá suma 429 MW de capacidad instalada según la empresa operadora; la ANLA identifica ambas centrales como proyectos de interés en seguimiento. Estas condiciones convierten la cuenca en un caso emblemático de justicia climática, hídrica y energética.

CELESTE GEOImpact responde a esta necesidad mediante un índice geoespacial reproducible, trazable y ajustable. El IGJC integra seis dominios, permite observar variación interna en una malla fina, consultar agregaciones por vereda, comparar regímenes dentro y fuera del parque y modificar pesos sin convertir la ausencia de información en una condición favorable. Este informe documenta el modelo, presenta resultados y establece una interpretación de sostenibilidad territorial.

1.1 Propósito

Producir una lectura integral, verificable y territorializada de las brechas de justicia climática y sostenibilidad de la cuenca del río Anchicayá, documentando de manera precisa el método de CELESTE GEOImpact y estableciendo prioridades de validación, ordenación, intervención, seguimiento, restauración e investigación.

1.2 Preguntas orientadoras

- ¿Dónde se concentran las mayores brechas climáticas y sociales dentro de la SZH 5310?
- ¿Qué dominios explican la desigualdad territorial observada?
- ¿Cómo cambia el resultado dentro y fuera del PNN Farallones de Cali?
- ¿Qué relación presenta el IGJC con el gradiente altitudinal, la accesibilidad, la protección y la estructura municipal?
- ¿Qué tan estable es la priorización frente a cambios razonables en los pesos?
- ¿Qué acciones mejoran simultáneamente justicia climática, gobernanza hídrica, conservación y resiliencia?

2. Objetivos, alcance y criterios de interpretación

2.1 Objetivo general

Evaluar la justicia climática y la sostenibilidad territorial de la SZH 5310 mediante un índice geoespacial compuesto, reproducible y multiescalar que permita identificar brechas, priorizar territorios y orientar decisiones públicas, comunitarias, empresariales y de cooperación.

2.2 Objetivos específicos

- Integrar variables climáticas, de relieve, ambientales, sociales, de infraestructura y protección en una unidad espacial común de 250 m.
- Cuantificar seis dominios del IGJC y documentar ponderación, normalización, cobertura y tratamiento de datos faltantes.
- Caracterizar la distribución espacial del índice a escala de celda, vereda, porción municipal y régimen de traslape con el PNN.
- Evaluar sensibilidad de resultados frente a escenarios alternativos de ponderación.
- Formular conclusiones, limitaciones, medidas prioritarias y recomendaciones para institucionalizar la plataforma y alimentar el POMCA.

2.3 Unidad territorial y periodo

El ámbito corresponde al polígono de la SZH 5310 integrado en el paquete CELESTE. Su superficie calculada es 129.519 ha y la malla contiene 20.723 celdas de 250 m, equivalentes a 129.519 ha por la geometría de inclusión. Las tablas nacionales del IDEAM reportan alrededor de 1.269 km² para la subzona; la diferencia con el polígono usado se asocia a la republicación cartográfica, generalización y ajuste de bordes. La validación cruzada del paquete, realizada sobre la SZH 5311, alcanzó una coincidencia espacial de 97,4 %.

La malla intersecta 22 veredas. Buenaventura y Dagua representan 99,8 % de las celdas; Cali y Jamundí aparecen mediante contactos marginales de divisoria y deben interpretarse con cautela. Las fuentes poseen vigencias heterogéneas: CNPV 2018 para variables sociales, DANE 2024 para veredas, RUNAP y OSM al corte integrado en 2026, ERA5-Land 2015-2024 para climatología alternativa y DEM Copernicus para relieve. Esta heterocronía se declara como limitación y exige actualización progresiva.

2.4 Regla de lectura

Interpretación

Un puntaje alto indica una combinación relativamente más desfavorable de amenaza, exposición, sensibilidad, déficit de capacidad, presión ambiental y desprotección relativa. No representa probabilidad de desastre, daño monetario esperado, infracción ambiental, responsabilidad jurídica, afectación individual ni cumplimiento de un plan de manejo. Es un índice de priorización territorial.

3. Antecedentes territoriales, ecosistémicos e institucionales

3.1 Delimitación y estructura territorial

La SZH 5310 conecta el macizo de Farallones con la llanura húmeda del Pacífico. El gradiente altitudinal produce contrastes simultáneos de precipitación, temperatura, pendiente, accesibilidad y cobertura. La cuenca alta se encuentra en gran medida dentro del PNN Farallones; la cuenca media y baja se articula con veredas de Buenaventura, el corredor vial Simón Bolívar y territorios comunitarios ribereños.

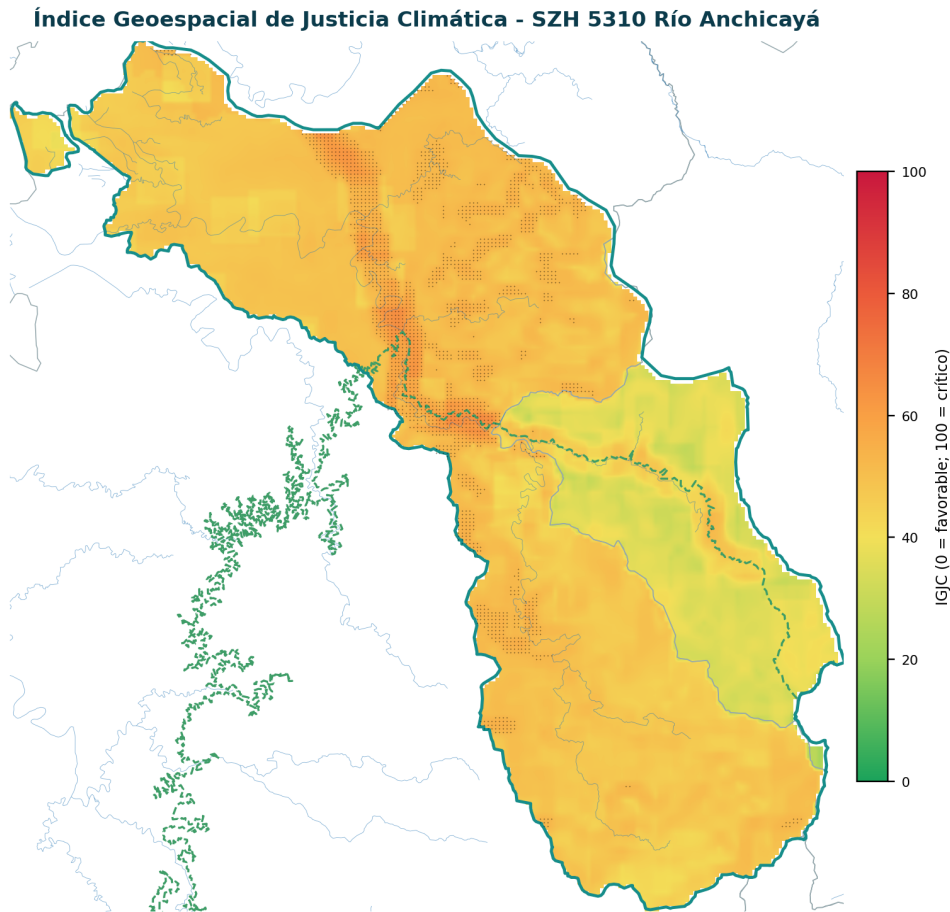


Figura 1. Distribución espacial del IGJC en la SZH 5310. La trama puntual resalta el decil superior de priorización.

3.2 Indicadores territoriales básicos

Indicador territorial	Valor / categoría	Lectura para justicia climática
Área del polígono integrado	129.519 ha	Marco espacial del análisis; no redefine el límite oficial del IDEAM.
Malla analítica	20.723 celdas de 250 m	Unidad de priorización; la superficie por inclusión de centros coincide con el paquete.
Traslape con PNN Farallones	58.831 ha · 45,4 %	Cambia el régimen jurídico, las autoridades competentes y las opciones de intervención.
Altitud	0-3.809 m s. n. m.	Gradiente que controla clima, ecosistemas, accesibilidad y localización de infraestructura.
Pendiente	0,0-35,3°	Proxy de complejidad topográfica y amenaza por remoción en masa.
Precipitación alternativa	6.478-16.809 mm/año	ERA5-Land; resolución aproximada de 9 km y alta incertidumbre orográfica.
Temperatura alternativa	5,8-25,4 °C	ERA5-Land ajustada por altitud con gradiente de 6,5 °C/km.
Veredas intersectadas	22	Agregación territorial; algunas unidades tienen muy pocas celdas.

3.3 Ecosistemas, agua y protección

El PNN Farallones de Cali protege un gradiente de selva húmeda tropical, bosque subandino, bosque altoandino y páramo. La ficha oficial del parque destaca su importancia como origen de numerosos ríos y hábitat de especies endémicas, incluida la rana venenosa de Anchicayá. En la SZH 5310, el traslape con el parque cubre 45,4 % de la malla; además, la Reserva Forestal Protectora Nacional Río Anchicayá intersecta aproximadamente 67.767 ha del polígono analizado.

Traslape de la SZH 5310 con el PNN Farallones de Cali

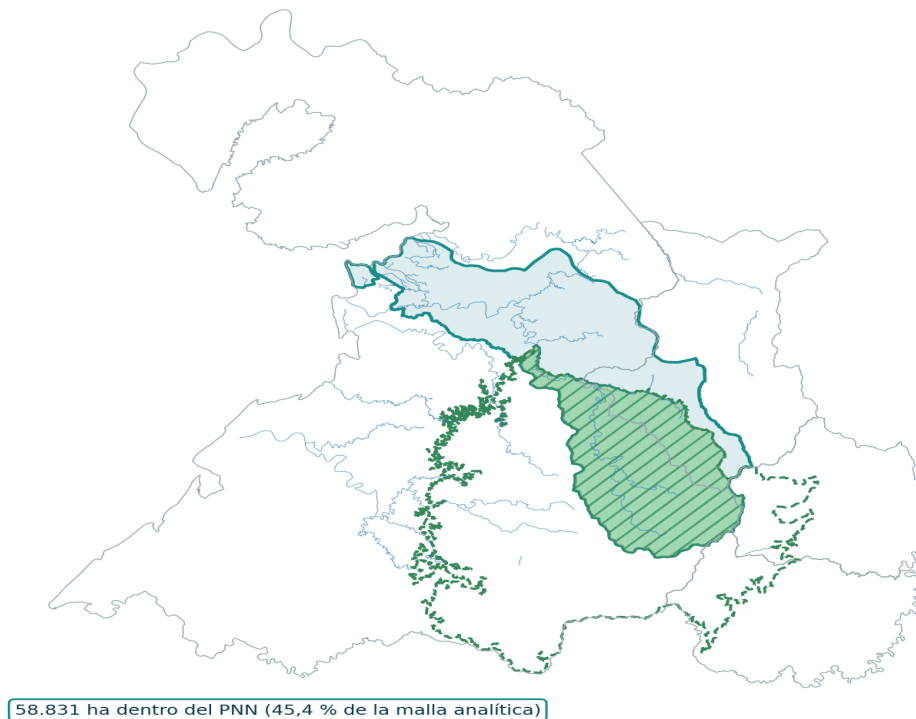


Figura 2. Traslape de la SZH 5310 con el PNN Farallones de Cali.

3.4 Infraestructura hidroeléctrica y conflicto distributivo

La ANLA registra la Central Hidroeléctrica Alto Anchicayá en operación desde 1974, con 355 MW de capacidad instalada y localización dentro del PNN Farallones de Cali. La Central Hidroeléctrica Bajo Anchicayá inició operaciones entre 1955 y 1957 y posee 74 MW. En conjunto, Celsia reporta 429 MW de capacidad instalada. Esta infraestructura aporta energía al sistema interconectado, genera transferencias territoriales y, simultáneamente, exige control sobre caudales, sedimentos, calidad del agua, compensaciones y participación social.

Brecha de información del modelo

La geometría de embalses, captaciones, casas de máquinas, conducciones, descargas y líneas asociadas no fue incorporada en el paquete. Por ello, la exposición y presión vinculadas a la infraestructura hidroeléctrica se capturan solo de forma indirecta mediante vías, drenajes y condiciones municipales.

3.5 Comunidades, derechos y memoria ambiental

La Defensoría del Pueblo documentó desde 2005 la situación ambiental del río Anchicayá y la afectación de comunidades afrocolombianas organizadas en consejos comunitarios por la descarga masiva de sedimentos del embalse del Bajo Anchicayá en 2001. La jurisprudencia posterior abordó reparación colectiva, debido proceso, consulta previa y reconocimiento de daños sobre pesca, agricultura y calidad de vida. La Sentencia SU-196 de 2023 reiteró la necesidad de respetar la consulta previa en el Plan de Manejo Ambiental, y la Sentencia SU-018 de 2024 volvió a describir la estructura territorial y la relevancia constitucional del caso.

La justicia climática en esta cuenca no puede reducirse a la localización de amenazas. Requiere reconocer autoridades étnicas, consejos comunitarios, prácticas de pesca y agricultura, movilidad fluvial, sitios de valor cultural y mecanismos de monitoreo comunitario. La ausencia de estas geometrías en el modelo es una omisión sustantiva, no un dato neutro.

3.6 Ordenación de cuenca y POMCA

Los informes de gestión de la CVC señalan que la formulación del POMCA de la SZH 5310 responde al cumplimiento de una decisión judicial y ha requerido múltiples gestiones institucionales. Al corte de la información revisada, no se identifica un POMCA adoptado y vigente para la SZH 5310. Por tanto, CELESTE debe funcionar como línea base complementaria y no como sustituto de la zonificación ambiental, el componente programático ni la participación formal del proceso de ordenación.

3.7 Fuente climática y advertencia

Limitación principal

Durante la generación del paquete, los servicios de consulta del IDEAM devolvieron errores persistentes. Para evitar un dominio de amenaza vacío se usaron ERA5-Land 2015-2024, DEM Copernicus y pendiente derivada. No se obtuvieron aridez, balance hídrico ni evapotranspiración; sus pesos internos se redistribuyen entre indicadores disponibles. La cobertura temática de amenaza es 74 %.

3.8 Marco normativo relevante

- Ley 70 de 1993 y Decreto 1745 de 1995: derechos territoriales y organización de comunidades negras.
- Ley 99 de 1993 y Decreto 1076 de 2015: Sistema Nacional Ambiental, licenciamiento, áreas protegidas y ordenación de cuencas.
- Ley 1523 de 2012: gestión del riesgo de desastres.
- Ley 1931 de 2018: gestión del cambio climático e integración de adaptación y mitigación en la planificación.
- Ley 2273 de 2022: aprobación del Acuerdo de Escazú sobre información, participación y justicia ambiental.
- Jurisprudencia constitucional y contenciosa del caso Anchicayá sobre reparación, consulta previa, debido proceso y derechos colectivos.

4. CELESTE GEOImpact: plataforma, datos y arquitectura

4.1 Función de la plataforma

CELESTE GEOImpact es una aplicación web geoespacial de acceso público que permite visualizar la malla del IGJC, alternar unidades de análisis, consultar capas, modificar pesos, cambiar el método de clasificación, filtrar por traslape con el PNN y exportar resultados. Los pesos se renormalizan sobre los dominios con dato, de modo que una ausencia no se convierte en cero.

Arquitectura técnica de la plataforma

Aplicación estática, autocontenida y trazable; cálculo en navegador con datos precalculados.

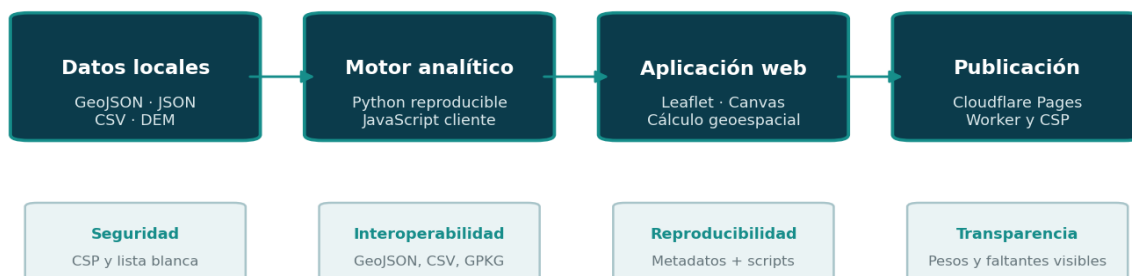


Figura 3. Arquitectura técnica de la plataforma web.

4.2 Arquitectura técnica

El preprocesamiento se ejecuta en Python y produce objetos estáticos JSON y GeoJSON. La aplicación web recombina los seis dominios ya normalizados. El despliegue utiliza Cloudflare Pages, Leaflet vendorizado y controles de seguridad de contenido. Esta arquitectura reduce dependencias de servidor, facilita auditoría, mejora portabilidad y permite que el visor siga funcionando con datos locales.

4.3 Función específica del filtro de traslape

- Cada celda registra si su centro está dentro del PNN Farallones de Cali.
- El selector permite analizar toda la cuenca, solo dentro o solo fuera del parque.
- La clasificación y las estadísticas se recalculan con la población visible.
- La trama diagonal distingue el régimen sin ocultar el valor del índice.
- La tabla comparativa contrasta mediana y máximo de ambos regímenes.
- En veredas, el filtro se aplica por mayoría de superficie para no fragmentar unidades administrativas.

4.4 Inventario de datos integrado

Insumo	Fuente	Vigencia / escala	Uso en el modelo
Límite SZH 5310	Republicación de zonificación hidrográfica IDEAM	Capa HOM 2024; validación indirecta	Delimitación del área de estudio.
PNN Farallones	RUNAP / PNN	Polígono integrado 2026	Filtro de régimen y protección.
Figuras superpuestas	RUNAP	4 registros	Desprotección relativa y contexto jurídico.
Precipitación	ERA5-Land	Normales 2015-2024 · ~9 km	Amenaza climática.
Temperatura	ERA5-Land + DEM	~9 km + desescalado altitudinal	Amenaza térmica.
Elevación	Copernicus DEM	90 m	Altitud y derivación de pendiente.
Red vial y caminos	OSM / fuentes integradas	Vector lineal	Acceso, aislamiento y presión.
Drenajes	OSM / fuentes integradas	Vector lineal	Exposición y proximidad hídrica.
Escuelas	DANE / fuentes integradas	Puntos	Acceso a educación y exposición.
IPM y servicios	DANE CNPV 2018	Municipal / censal agregado	Sensibilidad y capacidad adaptativa.
Veredas	DANE 2024	22 polígonos intersectados	Agregación territorial.

4.5 Catálogo y materialización

El visor integra capas agrupadas por tema. El IGJC v1.0 utiliza únicamente insumos materializados y documentados en los archivos locales. Las capas no disponibles se conservan como hoja de ruta para sustitución de proxies, actualización climática y ampliación de los dominios de derechos, gobernanza, energía y territorios étnicos.

Criterio de transparencia

La presencia de una capa en el catálogo no implica que participe en el índice. Solo los insumos materializados, normalizados y documentados en igjc_meta.json y los scripts de construcción forman parte del cálculo de la versión 1.0.

5. Metodología precisa del IGJC

Flujo metodológico de CELESTE GEOImpact

Arquitectura reproducible del IGJC para la Subzona Hidrográfica 5310 - Río Anchicayá.

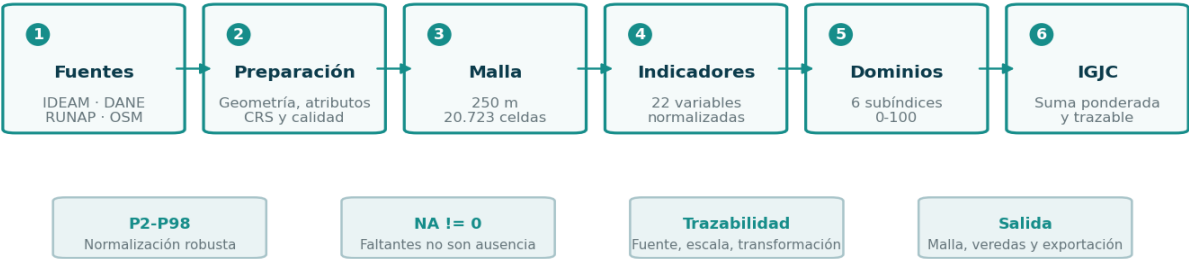


Figura 4. Flujo metodológico reproducible del IGJC.

5.1 Modelo conceptual

La unidad básica del IGJC es una celda *j*. En ella se calculan indicadores normalizados y seis dominios. Todos los dominios están orientados de forma que un valor alto represente una condición más desfavorable. El índice final se expresa de 0 a 100.

Estructura del índice

IGJC = Amenaza + Exposición + Sensibilidad + Déficit de capacidad adaptativa + Presión ambiental e inequidad distributiva + Protección, derechos y gobernanza, combinados mediante pesos explícitos y redistribuidos cuando un dominio carece de información.

5.2 Unidad de análisis

Se construyó una malla regular de 250 m. Para cada celda cuyo centro se encuentra dentro del polígono se almacenan seis valores de dominio, altitud, pendiente y una marca de pertenencia al PNN. La resolución permite reconocer variación interna, pero no debe interpretarse como precisión temática de 250 m para variables originalmente municipales o climáticas de 9 km.

5.3 Sistema de dominios y pesos

Dominio	Peso base	Indicadores y pesos internos
Amenaza climática y multiamenaza	25 %	precipitación (30 %), pendiente (26 %), temperatura (18 %), exceso hídrico (10 %), déficit hídrico (8 %), aridez (5 %), evapotranspiración (3 %)
Exposición humana, ecosistémica e infraestructura	20 %	densidad de vías (35 %), densidad de escuelas (30 %), densidad de drenaje (20 %), proximidad a drenaje (15 %)
Sensibilidad socioeconómica y territorial	20 %	IPM (50 %), analfabetismo (30 %), déficit de educación (20 %)
Déficit de capacidad adaptativa	15 %	sin acueducto (24 %), sin alcantarillado (24 %), sin internet (20 %), sin energía (12 %), distancia a escuela (12 %), distancia a vía (8 %)
Presión ambiental e inequidad distributiva	15 %	proximidad a vía primaria (35 %), densidad de vías (25 %), aridez (20 %), proximidad a drenaje (20 %)
Protección, derechos y gobernanza	5 %	desprotección relativa (100 %): 0 dentro del PNN y valores menores cuando existen figuras adicionales.

5.4 Preparación espacial

- Armonización de coordenadas y geometrías; reparación de geometrías inválidas cuando corresponde.
- Recorte por el polígono integrado de la SZH 5310.
- Cálculo de densidades lineales y puntuales, distancias euclidianas, altitud, pendiente y asignación de valores municipales.
- Conversión de coberturas de servicios a privaciones: sin acueducto, sin alcantarillado, sin energía y sin internet.
- Marcación del traslape con PNN Farallones y evaluación de figuras adicionales RUNAP.

5.5 Normalización robusta

Para cada indicador x se estiman los percentiles 2 y 98 dentro de la cuenca. El recorte percentilar evita que valores extremos compriman la variación del resto del territorio. Cuando un valor alto representa una condición favorable se invierte la orientación.

Ecuación 1

$z_{ij} = \text{clip}[(x_{ij} - Q_2) / (Q_{98} - Q_2), 0, 1]$. Cuando un valor alto representa una condición favorable, se aplica $z_{ij}^* = 1 - z_{ij}$.

5.6 Composición de dominios y datos faltantes

Los datos faltantes no se sustituyen por cero. Para el dominio d en la celda j , la media ponderada se calcula exclusivamente con indicadores disponibles. La cobertura temática es 74 % en amenaza, 100 % en exposición, 100 % en sensibilidad, 100 % en capacidad, 80 % en presión y 100 % en protección.

Ecuación 2

$D_{dj} = \sum_i (w_i \cdot z_{ij} \cdot I_{ij}) / \sum_i (w_i \cdot I_{ij})$, donde $I_{ij} = 1$ si el indicador está disponible y 0 en caso contrario.

5.7 Cálculo compuesto

Ecuación 3

$IGJC_j = 100 \times \sum_d (W_d \cdot D_{dj} \cdot I_{dj}) / \sum_d (W_d \cdot I_{dj})$. Pesos base: 25-20-20-15-15-5.

5.8 Agregación veredal y municipal

Para cada vereda se identifican los centros de celda contenidos en el polígono y se calcula la media de cada dominio y del índice. Se registra el número de celdas que soporta el promedio y el porcentaje de traslape con el PNN. Los resultados municipales corresponden únicamente a la porción intersectada por el polígono y se ponderan por número de celdas.

5.9 Clasificación cartográfica

La visualización predeterminada usa siete clases cuantílicas calculadas sobre la población mostrada. También están disponibles Jenks e intervalos iguales. Para comunicar el estado agregado, el tablero utiliza bandas absolutas: 0-<20 muy bajo; 20-<40 bajo; 40-<60 medio; 60-<80 alto; 80-100 crítico.

5.10 Trazabilidad y reproducibilidad

- Metadatos por dominio, pesos e indicadores.
- Rangos P2-P98 guardados en igjc_meta.json.
- Malla y veredas en formatos JSON/GeoJSON.
- Scripts Python de adquisición, preparación, construcción y agregación.
- Aplicación estática con cálculo del compuesto en cliente.
- Exportación de resultados y control de versión del paquete.

5.11 Sensibilidad e incertidumbre de pesos

Se evaluaron cuatro escenarios alternativos y una simulación Monte Carlo de 1.000 perturbaciones lognormales alrededor de los pesos base, con dispersión moderada de 0,15. Se midió el cambio en media, correlación de rangos y coincidencia del decil superior. La prueba evalúa incertidumbre de ponderación, no incertidumbre de las fuentes ni del modelo conceptual.

5.12 Criterios de calidad

Criterio	Aplicación	Riesgo residual
Validez geométrica	Recorte, prueba de contención, comparación de límites y reparación.	Desajustes de borde y generalización cartográfica.
Validez temática	Variables orientadas a condición desfavorable y metadatos.	Proxies imperfectos y vigencias heterogéneas.
Cobertura	Redistribución de pesos disponibles.	Cobertura no implica exactitud.
Robustez	Escenarios y Monte Carlo de pesos.	No cubre error de medición.
Reproducibilidad	Scripts, archivos locales y fórmulas explícitas.	Dependencia de disponibilidad y licencia de fuentes.
Transparencia	Pesos y faltantes visibles en la web.	La interacción requiere alfabetización de datos.

6. Resultados del análisis territorial

6.1 Resultado general

El IGJC promedio de la SZH 5310 es 46,6 puntos sobre 100, clasificado como medio. La mediana es 47,9, la desviación estándar 6,0, y el rango observado va de 21,2 a 66,4. El percentil 10 es 36,7 y el percentil 90 es 52,3. La media inferior a la mediana refleja un subconjunto de celdas de menor valor en la alta montaña y sectores de Dagua, mientras una masa extensa de Buenaventura se concentra cerca de 48-52 puntos.

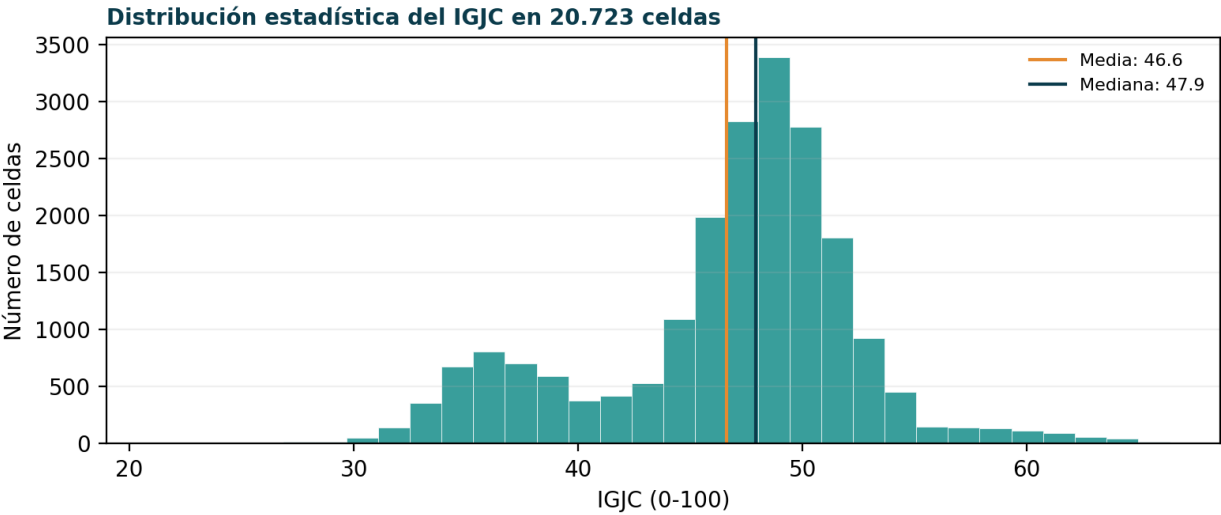


Figura 5. Distribución estadística del IGJC en las 20.723 celdas.

6.2 Distribución por bandas absolutas

Banda	Rango	Celdas	Participación
Muy bajo	0-<20	0	0,0 %
Bajo	20-<40	3.484	16,8 %
Medio	40-<60	16.962	81,9 %
Alto	60-<80	277	1,3 %
Crítico	80-100	0	0,0 %

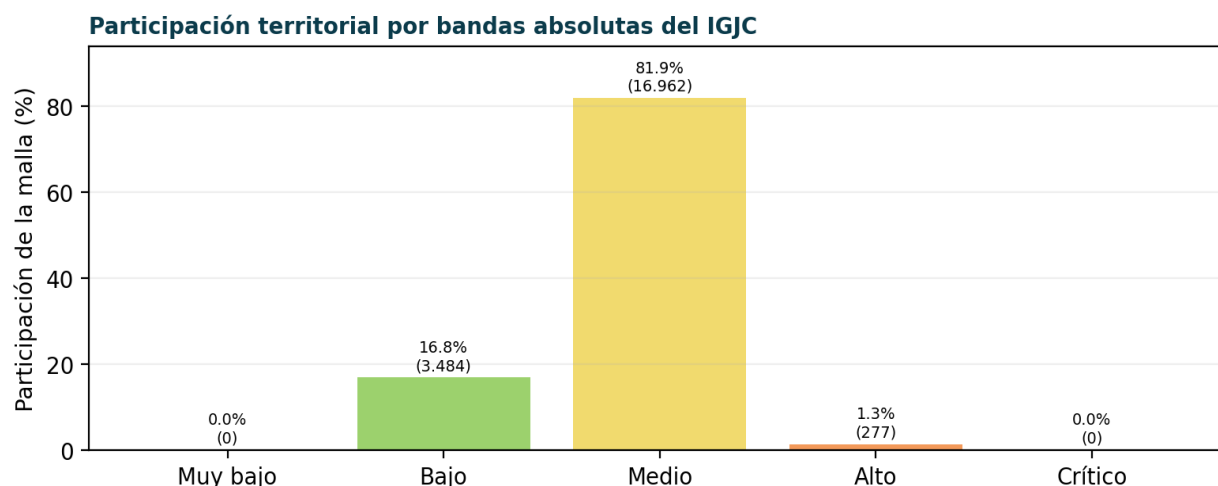


Figura 6. Participación territorial por bandas absolutas del IGJC.

Lectura clave

El 83,2 % de las celdas se encuentra entre nivel medio y alto. El nivel medio, con 81,9 %, es la categoría dominante. La distribución agregada no elimina urgencias locales: el decil superior se concentra en corredores y veredas específicos, y la comparación por régimen muestra una desventaja moderada fuera del PNN.

6.3 Patrón espacial y gradiente altitudinal

La cartografía muestra una estructura determinada por municipio, altitud, accesibilidad y régimen de protección. Buenaventura domina la superficie y conserva valores medios-altos a lo largo de la cuenca media y baja. Dagua presenta valores menores en el agregado, aunque existen focos en Cristales y El Danubio. La relación con la altitud no es lineal porque interactúa con sensibilidad municipal, vías, escuelas, drenajes y protección.

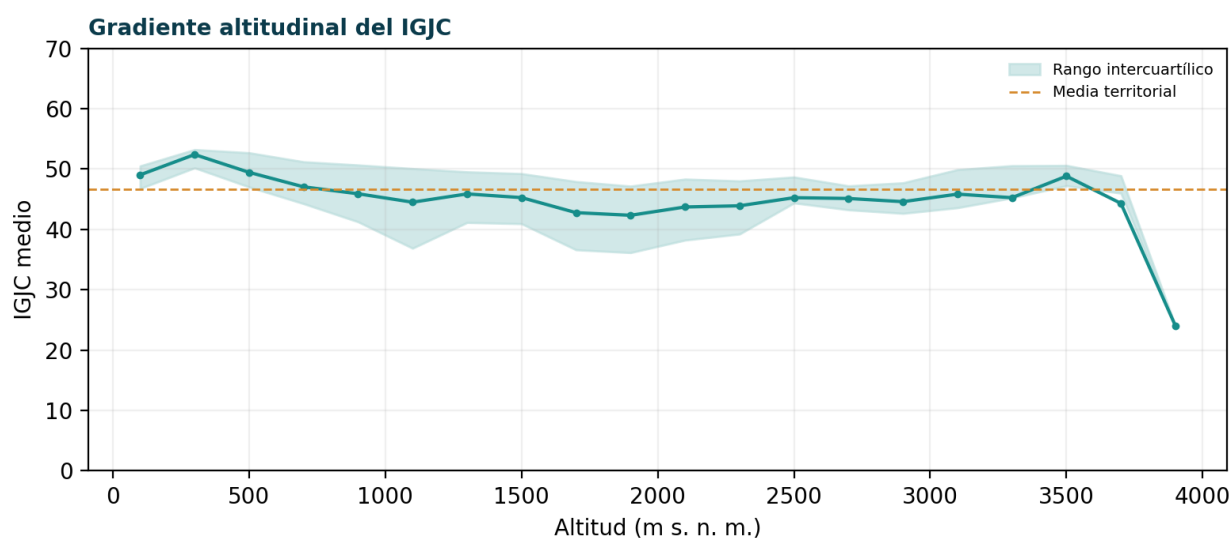


Figura 7. Gradiente altitudinal del IGJC; la banda representa el rango intercuartílico.

6.4 Perfil de dominios

Dominio	Media (0-100)	Interpretación
Amenaza climática y multiamenaza	53,4	Nivel medio-alto; condicionado por precipitación extrema, temperatura y pendiente, con fuente climática alternativa.
Exposición	37,8	Exposición moderada; depende de proxies de vías, escuelas y drenajes.
Sensibilidad socioeconómica	67,4	Principal condicionante estructural; alta en Buenaventura.
Déficit de capacidad adaptativa	44,0	Brechas de servicios, conectividad y acceso, más marcadas en áreas rurales.
Presión ambiental e inequidad	31,6	Media relativamente baja, con focos cercanos a vías primarias y drenajes.
Protección, derechos y gobernanza	17,8	Media baja por el amplio traslape con PNN y reserva forestal; no mide efectividad de manejo.

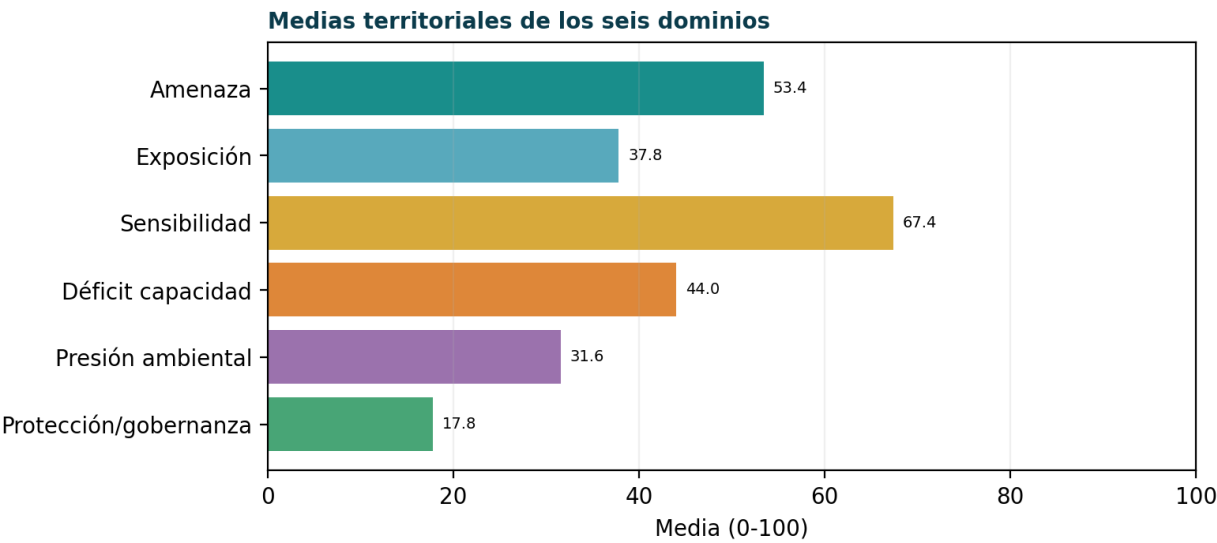
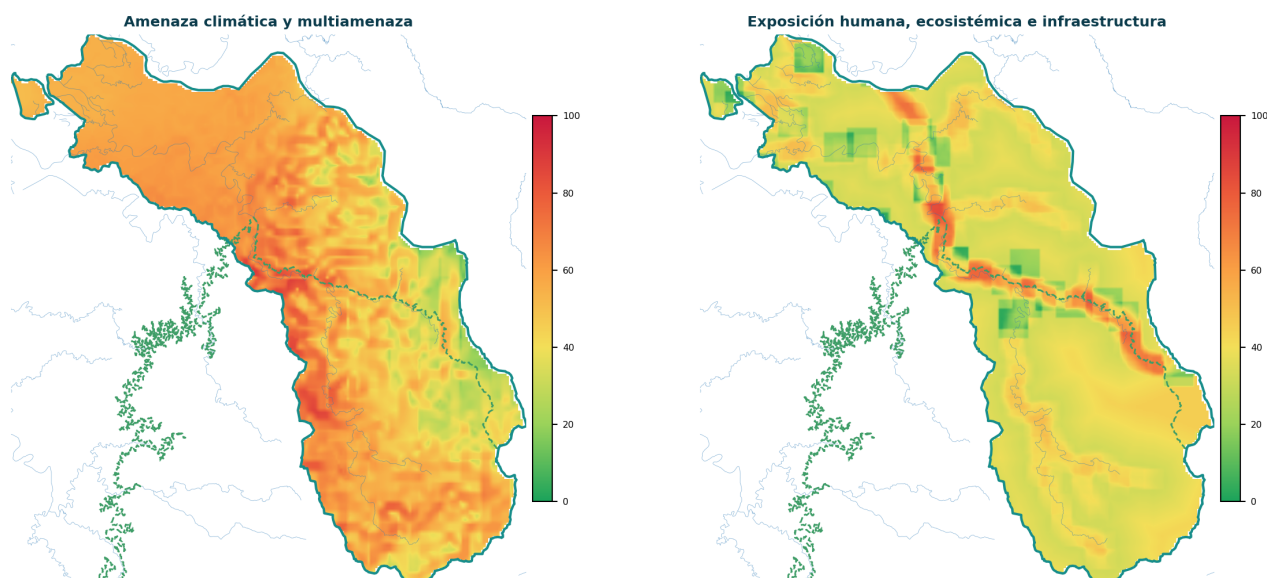
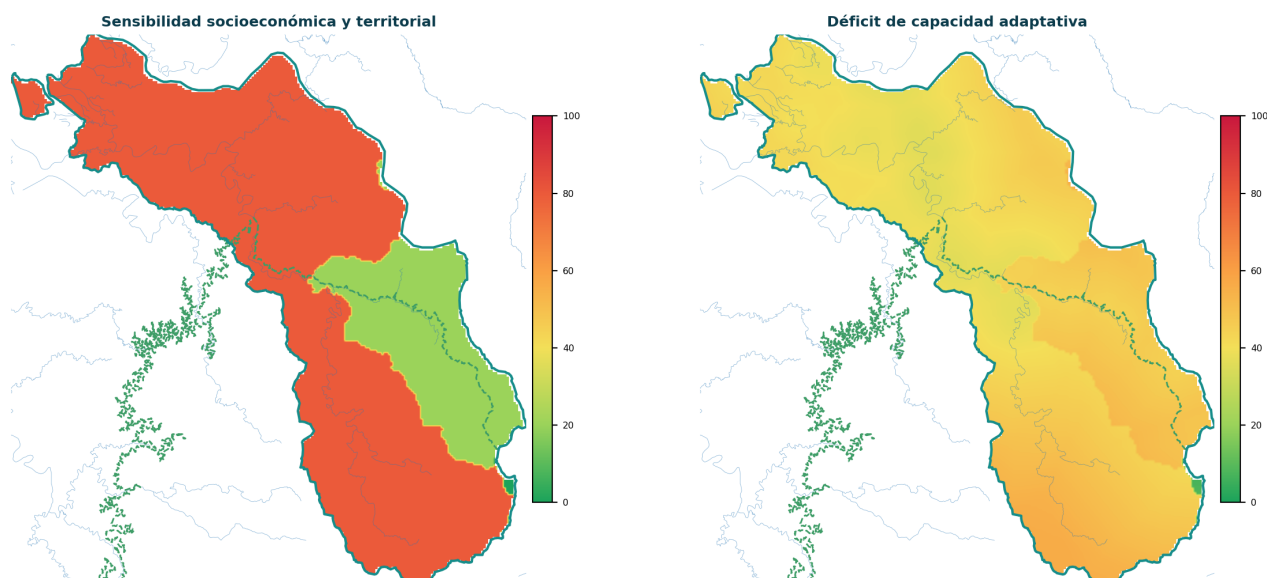


Figura 8. Medias territoriales de los seis dominios.

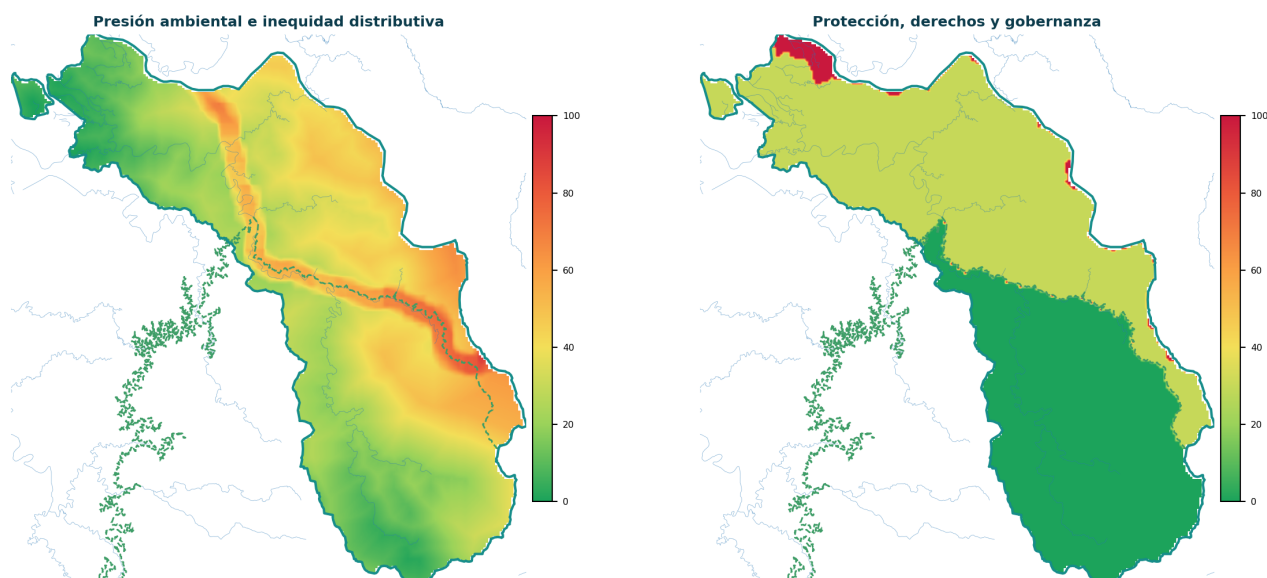
La sensibilidad socioeconómica es el componente de mayor promedio, seguida por amenaza y déficit de capacidad. Protección y gobernanza presenta el valor medio más bajo porque una proporción considerable de la cuenca está dentro del PNN o de figuras adicionales. Esta lectura no debe confundirse con eficacia institucional, garantía de derechos ni cumplimiento de planes de manejo.



Figuras 9 y 10. Amenaza climática y multiamenaza; exposición humana, ecosistémica e infraestructura.



Figuras 11 y 12. Sensibilidad socioeconómica y territorial; déficit de capacidad adaptativa.



Figuras 13 y 14. Presión ambiental e inequidad distributiva; protección, derechos y gobernanza.

Lectura integrada de los mapas

La sensibilidad presenta un patrón escalonado por municipio y domina buena parte de Buenaventura. La protección cambia con claridad entre la porción del PNN y el resto de la cuenca. Amenaza, exposición y presión introducen variación intramunicipal vinculada al relieve, la red de drenajes y la accesibilidad. La capacidad adaptativa permanece relativamente homogénea porque varios indicadores provienen de valores municipales, lo que limita la diferenciación local.

Precaución espacial

Los mapas continuos no aumentan la resolución real de las fuentes. La suavización visual facilita lectura, pero las variables municipales mantienen su escala original y las variables climáticas provienen de una malla de aproximadamente 9 km.

6.5 Resultados por porción municipal

Municipio	IGJC	Celdas	% de malla	% dentro PNN	Nota
Buenaventura	48,9	16.496	79,6 %	44,2 %	Intersección principal
Jamundí	42,6	7	0,0 %	100,0 %	Contacto marginal; no inferir desempeño municipal
Dagua	37,7	4.192	20,2 %	49,7 %	Intersección principal
Cali	26,4	28	0,1 %	100,0 %	Contacto marginal; no inferir desempeño municipal

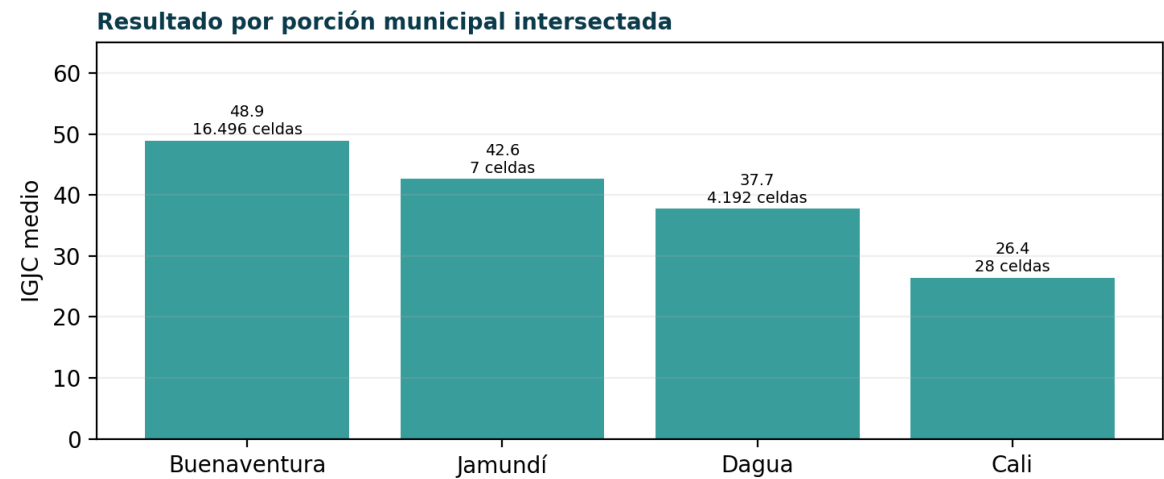


Figura 15. Resultado por porción municipal intersectada.

Buenaventura concentra aproximadamente 79,6 % de la malla y registra 48,9 puntos; Dagua concentra 20,2 % y registra 37,7. Los contactos con Cali y Jamundí suman solo 35 celdas y se ubican en alta montaña dentro del PNN, por lo que no representan el comportamiento municipal general. La interpretación institucional de la cuenca debe centrarse en Buenaventura y Dagua, coherente con la descripción judicial y la localización de los proyectos hidroeléctricos.

6.6 Resultados veredales prioritarios

Vereda	Municipio	IGJC	Celdas	Amenaza	Sensibilidad	Déficit capacidad	% PNN
Cisneros	Buenaventura	52,0	581	55,1	80,0	41,9	0,0 %
Zabaletas	Buenaventura	50,7	2.610	55,8	79,9	40,8	0,0 %
Llano Bajo	Buenaventura	50,3	5.726	59,8	79,7	40,8	39,9 %
Guadualito	Buenaventura	47,8	458	55,4	80,0	39,9	0,0 %
San Isidro	Buenaventura	47,3	4.298	55,1	79,3	50,3	100,0 %
San José De Anchicaya	Buenaventura	46,9	1.125	56,5	80,0	40,5	0,0 %
El Tigre	Buenaventura	46,2	985	58,1	80,0	41,5	0,0 %
La Cascada	Buenaventura	46,1	713	47,5	75,7	41,6	100,0 %
San Antonio	Jamundí	42,3	6	40,9	66,7	44,1	100,0 %
Cristales	Dagua	42,2	18	44,0	20,0	53,2	0,0 %

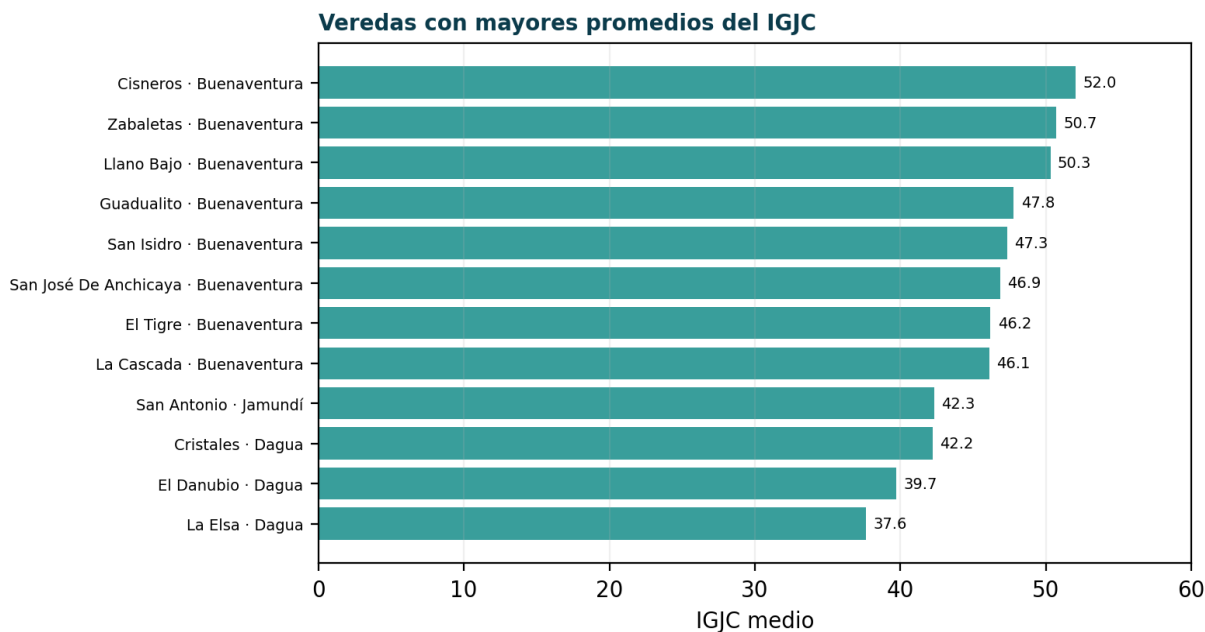


Figura 16. Veredas con mayores promedios del IGJC en la agregación disponible.

Cisneros alcanza 52,0 puntos, seguida por Zabaletas (50,7) y Llano Bajo (50,3). Llano Bajo reúne 5.726 celdas y San Isidro 4.298; por su extensión, ambas unidades tienen capacidad de influir sobre el resultado territorial. Las veredas extensas deben analizarse con la malla para evitar que el promedio oculte núcleos internos. Las unidades con menos de 20 celdas requieren cautela especial.

6.7 Traslape con el PNN y figuras protegidas

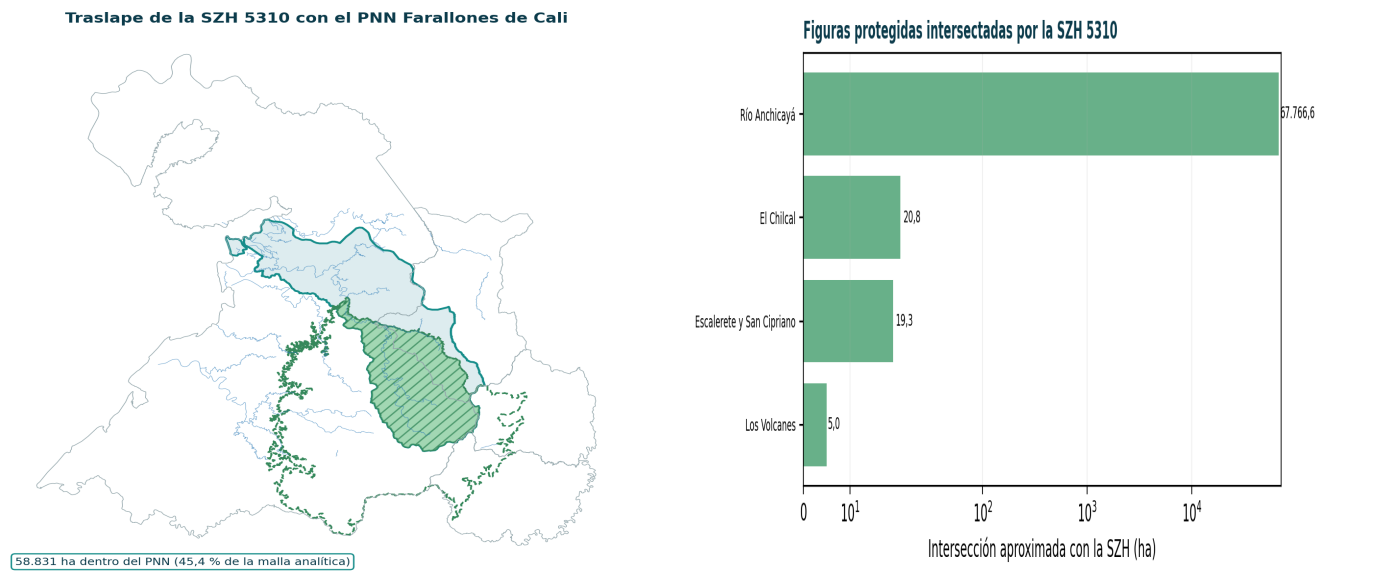


Figura 17. Traslape con el PNN y superficie aproximada de figuras adicionales dentro de la SZH.

Área protegida	Categoría	Intersección aprox. (ha)
Río Anchicayá	Reservas Forestales Protectoras Nacionales	67.766,6
El Chilcal	Distritos Regionales de Manejo Integrado	20,8
De la Cuenca Hidrográfica de los Ríos Escalere y San Cipriano	Reservas Forestales Protectoras Nacionales	19,3
Los Volcanes	Reserva Natural de la Sociedad Civil	5,0

La Reserva Forestal Protectora Nacional Río Anchicayá es la figura adicional dominante. Las demás intersecciones son pequeñas frente al área total de la cuenca. Las superficies se derivan de la superposición cartográfica del paquete y no sustituyen certificaciones jurídicas ni levantamientos oficiales.

Comparación por régimen

Dentro del PNN: 47,0 de mediana y 65,3 de máximo. Fuera del PNN: 48,7 de mediana y 66,4 de máximo. La diferencia de mediana es 1,75 puntos a favor de la porción protegida.

6.8 Sensibilidad a los pesos

Escenario	Pesos	Media IGJC	Correlación de rangos	Coincidencia top 10 %
Base FEJUC	25-20-20-15-15-5	46,63	1,000	100,0 %
Énfasis climático	40-20-15-10-10-5	47,49	0,955	78,7 %
Énfasis equidad	15-15-35-25-5-5	50,75	0,902	67,1 %
Énfasis gobernanza	15-15-15-10-20-25	38,96	0,717	64,9 %
Pesos iguales	1-1-1-1-1-1	42,00	0,868	71,5 %

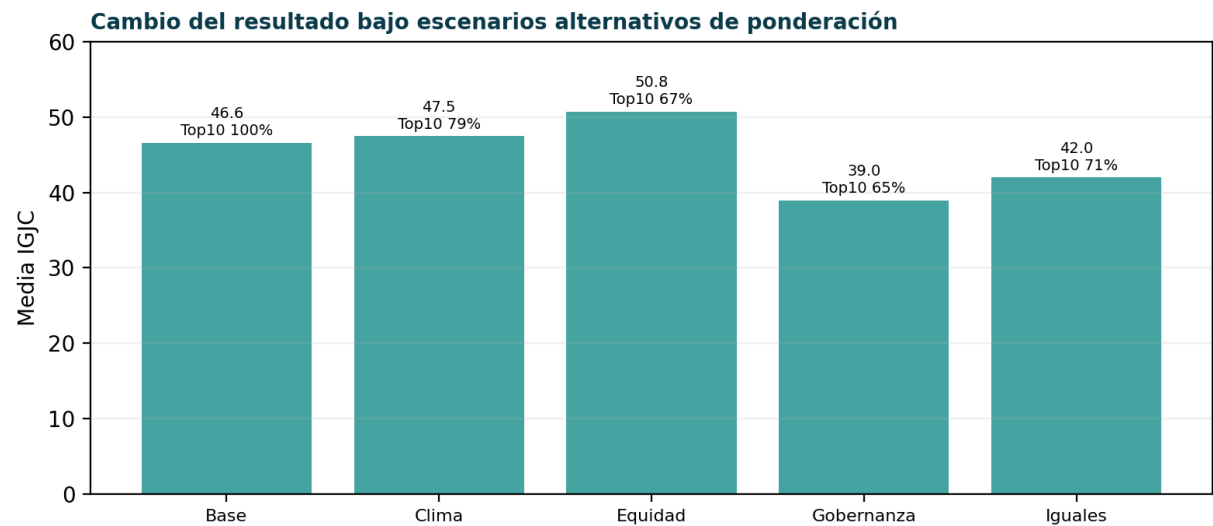


Figura 18. Cambio del resultado bajo escenarios alternativos de ponderación.

El énfasis climático conserva una correlación de rangos de 0,955 y 78,7 % de coincidencia en el decil superior. El énfasis de equidad eleva la media a 50,8 y reduce la coincidencia a 67,1 %. El énfasis de gobernanza modifica con mayor intensidad la priorización y reduce la media porque el dominio de protección presenta valores bajos en una porción amplia de la cuenca.

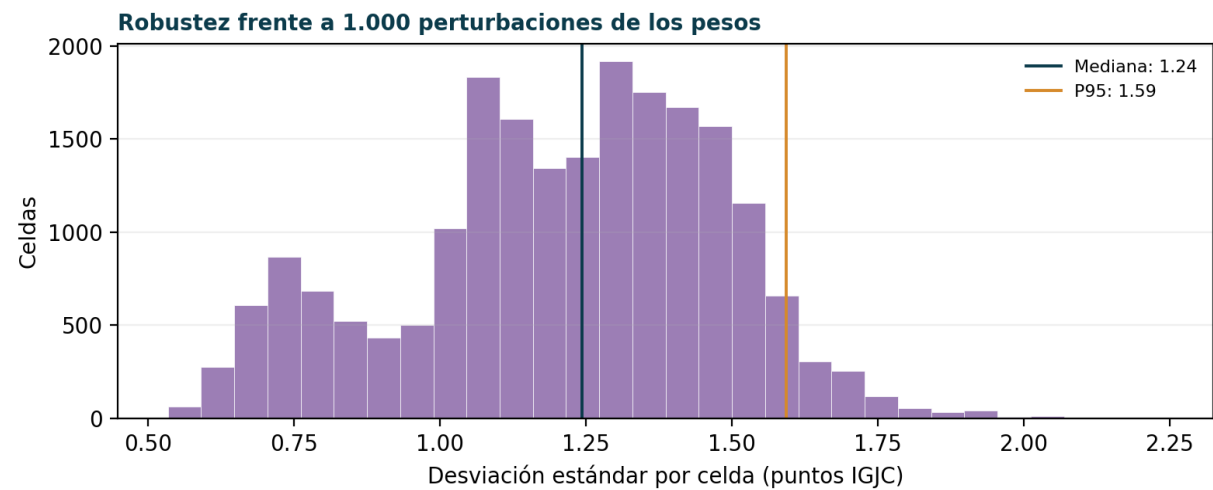


Figura 19. Robustez del IGJC frente a 1.000 perturbaciones moderadas de los pesos.

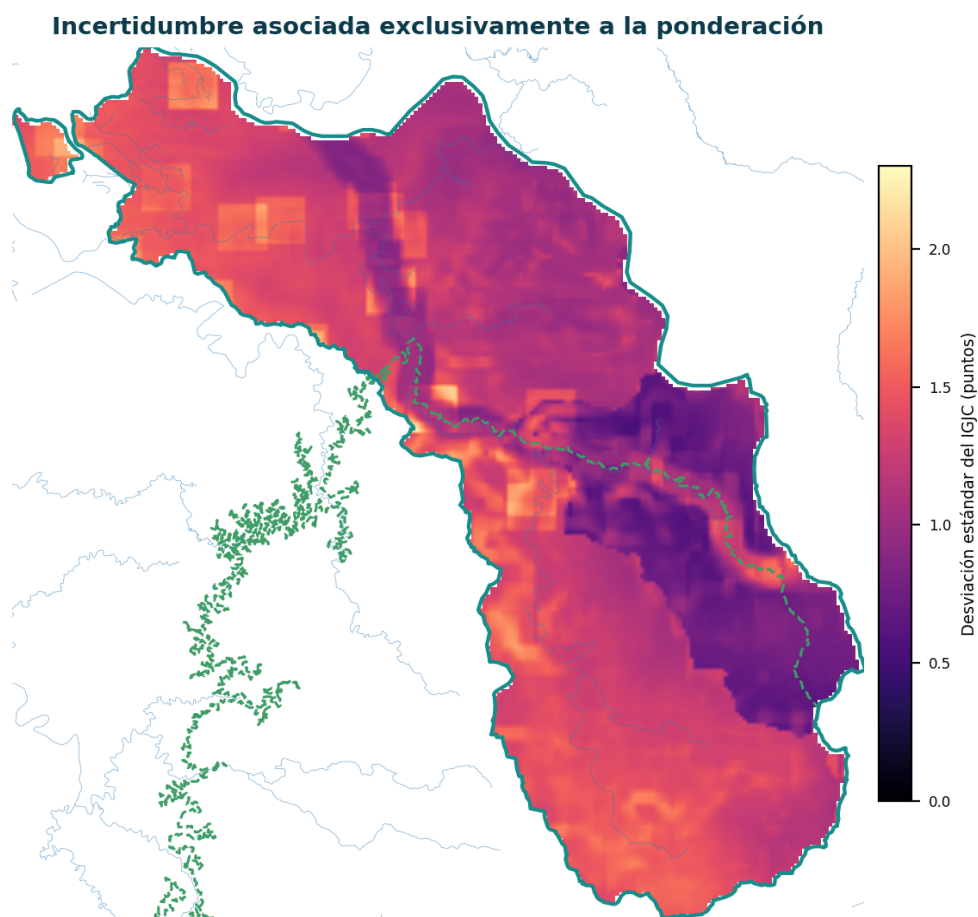


Figura 20. Distribución espacial de la incertidumbre asociada exclusivamente a la ponderación.

En la simulación Monte Carlo, la desviación estándar mediana por celda es 1,24 puntos, el percentil 95 es 1,59 y el máximo 2,24. La incertidumbre de ponderación es moderada frente al rango total del índice, pero no cubre error de medición, omisión de variables, dependencia espacial ni incertidumbre climática.

Lectura de robustez

Las zonas donde sensibilidad, capacidad, presión y protección divergen muestran mayor variación frente a los pesos. La estabilidad de una celda no implica exactitud: solo indica que su posición relativa cambia poco al perturbar la ponderación del modelo actual.

7. Interpretación desde la justicia climática

7.1 Justicia distributiva

La mayor brecha se concentra donde confluyen alta sensibilidad social, déficits de servicios y condiciones de exposición o presión. Buenaventura soporta gran parte de las cargas ecosistémicas, hídricas y energéticas de la cuenca mientras mantiene menores capacidades de respuesta. La inversión, asistencia técnica, restauración y distribución de beneficios de la generación deben priorizar esta desigualdad territorial.

7.2 Justicia de reconocimiento

La lectura geoespacial debe reconocer consejos comunitarios, comunidades negras, campesinado, organizaciones ribereñas, sistemas productivos tradicionales y saberes territoriales como sujetos de conocimiento y gobernanza, no únicamente como población expuesta. Las bases oficiales representan infraestructura y límites con mayor precisión que relaciones culturales, movilidad fluvial, sitios sagrados o sistemas comunitarios de cuidado.

7.3 Justicia procedimental

La transparencia de pesos y datos es necesaria, pero no suficiente. La legitimidad del índice exige participación incidente en selección de indicadores, interpretación de resultados, priorización y seguimiento. El Acuerdo de Escazú, la consulta previa y las órdenes judiciales del caso Anchicayá ofrecen un marco reforzado para acceso a información, participación y justicia ambiental.

7.4 Justicia energética

Las centrales Alto y Bajo Anchicayá convierten el agua y el territorio en un servicio energético regional. Una evaluación justa debe contrastar beneficios públicos, transferencias económicas, impactos acumulativos, riesgos operativos, calidad del agua, sedimentación, compensaciones y distribución de capacidades. El IGJC actual no contiene un módulo energético explícito y debe ampliarse antes de utilizarse para evaluar equidad de la operación hidroeléctrica.

7.5 Justicia intergeneracional

La degradación de riberas, sedimentación, pérdida de conectividad, deforestación, contaminación y debilitamiento de prácticas tradicionales comprometen funciones ecosistémicas futuras. Las decisiones sobre operación hidroeléctrica, restauración, vías, turismo, asentamientos y aprovechamientos deben considerar impactos acumulativos y la capacidad de las generaciones futuras para mantener seguridad hídrica, biodiversidad y medios de vida.

7.6 Síntesis causal prudente

No confundir asociación con causalidad

La sensibilidad presenta alta asociación con el índice porque es un componente del mismo y comparte estructura espacial con otros dominios. El IGJC no prueba que una variable cause el resultado, ni atribuye responsabilidad a una empresa o autoridad. Identifica configuraciones territoriales que deben verificarse mediante análisis causal, monitoreo ambiental, información sectorial, diálogo social y trabajo de campo.

8. Diagnóstico de sostenibilidad territorial

8.1 Sostenibilidad hídrica

La cuenca presenta alta oferta hídrica regional, pero la sostenibilidad no depende solo del volumen. Requiere calidad del agua, continuidad ecológica, manejo de sedimentos, caudales compatibles con funciones ecosistémicas y acceso equitativo. La ausencia de series de calidad, caudal y sedimentos en el paquete impide evaluar directamente el estado del río y los efectos de operación hidroeléctrica.

8.2 Sostenibilidad ecosistémica

El traslape con el PNN Farallones y la Reserva Forestal Protectora Nacional Río Anchicayá constituye una base jurídica fuerte. Sin embargo, la protección formal no equivale a integridad ecológica. Se requiere monitoreo de cobertura, fragmentación, conectividad, especies focales, restauración de riberas y presiones sobre el borde.

8.3 Sostenibilidad social y cultural

La sensibilidad de 67,4 puntos revela brechas estructurales vinculadas a IPM, analfabetismo y educación. El déficit de capacidad adaptativa de 44,0 puntos agrega privaciones de servicios y distancias. La sostenibilidad exige reconocer derechos colectivos, economías tradicionales y mecanismos de reparación, además de ampliar infraestructura básica sin degradar el territorio.

8.4 Sostenibilidad de infraestructura y movilidad

Vías y accesibilidad tienen una doble función: reducen aislamiento y facilitan servicios, pero también incrementan presión, ocupación y extracción. La infraestructura hidroeléctrica representa el principal sistema técnico de la cuenca; su sostenibilidad debe evaluarse mediante indicadores de seguridad, mantenimiento, sedimentos, caudal, cumplimiento del PMA y beneficio territorial.

8.5 Sostenibilidad institucional y comunitaria

La formulación del POMCA, el seguimiento de ANLA, la gestión del PNN, la competencia de la CVC y la gobernanza de consejos comunitarios requieren coordinación verificable. La falta de un repositorio territorial interoperable aumenta asimetrías de información. CELESTE puede funcionar como capa de integración pública si incorpora datos oficiales, evidencia comunitaria y control de versiones.

8.6 Matriz integrada

Dimensión	Estado indicativo	Brecha principal	Orientación
Hídrica	Alta oferta; información incompleta	Calidad, sedimentos, caudales y acceso	Monitoreo independiente y red de estaciones.
Ecosistémica	Alta protección formal	Efectividad de manejo y conectividad	Restauración y seguimiento de coberturas.
Social	Sensibilidad alta	Servicios, educación y reconocimiento	Inversión focalizada y participación étnica.
Energética	Infraestructura estratégica	Distribución de beneficios e impactos	Módulo energético y auditoría del PMA.
Institucional	POMCA en formulación	Fragmentación de datos y decisiones	Gobernanza interoperable y Escazú.

9. Territorios prioritarios y plan de acción

9.1 Priorización territorial

Prioridad	Territorio / sistema	Justificación	Acción inicial
1	Cisneros, Zabaletas y Llano Bajo	Mayores promedios; alta sensibilidad y presión.	Validación de campo, servicios, calidad del agua y actores.
2	Guadualito, San José de Anchicayá y El Tigre	Cuenca baja y media; exposición ribereña y gobernanza comunitaria.	Cartografía social, monitoreo y acuerdos de restauración.
3	San Isidro y La Cascada (Buenaventura)	Alta sensibilidad; porción dentro del PNN.	Coordinación PNN-comunidades y alternativas productivas.
4	Corredor Alto-Bajo Anchicayá	Infraestructura hidroeléctrica no materializada en el índice.	Inventario geográfico y tablero de cumplimiento del PMA.
5	El Danubio, La Elsa y El Queremal	Transición de Dagua; conectividad y cuenca alta.	Verificación de presión, riesgo y servicios.

9.2 Acciones inmediatas: 0-12 meses

- Obtener del IDEAM el límite oficial vigente, series de precipitación, temperatura, caudal, aridez, balance hídrico y evapotranspiración.
- Incorporar geometrías de consejos comunitarios y territorios colectivos con consentimiento, salvaguardas y validación de autoridades propias.
- Materializar embalses, captaciones, conducciones, casas de máquinas, descargas y áreas de influencia de Alto y Bajo Anchicayá.
- Crear una mesa técnica de datos para el POMCA con CVC, ANLA, PNN, alcaldías, comunidades y operador hidroeléctrico.
- Diseñar una red comunitaria e institucional de calidad de agua, sedimentos y caudales con protocolos públicos.
- Publicar ficha de metadatos, versión, hash y nota de limitaciones del paquete CELESTE.

9.3 Acciones de corto plazo: 1-3 años

- Integrar resultados del IGJC con diagnóstico, prospectiva, zonificación y programa de ejecución del POMCA.
- Desarrollar un módulo de justicia energética con beneficios, transferencias, impactos, compensaciones y cumplimiento de PMA.
- Actualizar variables sociales con desagregación rural, enfoque étnico y datos de acceso real a servicios.
- Implementar restauración de riberas y conectividad en territorios priorizados, con empleo local y seguimiento dMRV.
- Establecer un observatorio público del caso Anchicayá que vincule decisiones judiciales, reparación, compromisos y evidencias.

9.4 Acciones estructurales: 3-10 años

- Consolidar gobernanza de cuenca con representación efectiva de consejos comunitarios y mecanismos de decisión verificables.
- Asegurar sostenibilidad financiera del monitoreo y restauración mediante transferencias, compensaciones, cooperación y presupuestos públicos.
- Incorporar escenarios de cambio climático, operación hidroeléctrica, sedimentación y conectividad ecológica en la planificación.
- Adoptar estándares abiertos para intercambio de datos entre CVC, ANLA, PNN, municipios, operador y organizaciones comunitarias.
- Evaluar periódicamente la distribución territorial de beneficios y cargas, con indicadores de reparación y no repetición.

9.5 Matriz de gestión

Línea	Responsables principales	Indicador 12 meses	Producto
Datos oficiales	IDEAM, CVC, FEJUC	Límite y clima actualizados	Versión 1.1 del IGJC.
Derechos étnicos	Consejos comunitarios, MinInterior, ANT	Cobertura cartográfica validada	Módulo de reconocimiento.
Hidroeléctricas	ANLA, operador, PNN, CVC	Infraestructura y PMA georreferenciados	Tablero de justicia energética.
Monitoreo hídrico	CVC, IDEAM, comunidades, universidades	Estaciones y protocolo acordados	Serie pública de agua/sedimentos.
POMCA	CVC y consejo de cuenca	Datos CELESTE incorporados	Memoria técnica y trazabilidad.
Restauración	PNN, CVC, comunidades, cooperación	Hectáreas y supervivencia	Portafolio dMRV.

Principio de implementación

Ninguna priorización debe ejecutarse sin verificación territorial, participación incidente y salvaguardas. El índice orienta dónde preguntar y dónde invertir primero; no reemplaza consulta previa, licenciamiento, POMCA, evaluación de impacto ni decisiones judiciales.

10. Conclusiones

- 1** La SZH 5310 registra un IGJC de 46,6, nivel medio. La mediana de 47,9 y el rango de 21,2 a 66,4 muestran heterogeneidad suficiente para priorizar territorialmente.
- 2** El 81,9 % de la malla está en nivel medio y 1,3 % en alto. La concentración en una banda no elimina focos internos ni conflictos acumulativos.
- 3** La sensibilidad socioeconómica, con 67,4, es el condicionante estructural más importante. Amenaza alcanza 53,4 y déficit de capacidad 44,0.
- 4** La mediana fuera del PNN es 48,7 frente a 47,0 dentro. La figura de protección se asocia con una condición relativamente más favorable, pero no prueba efectividad de manejo.
- 5** Buenaventura reúne 79,6 % de las celdas y un promedio de 48,9. Dagua registra 37,7. Cali y Jamundí son contactos marginales sin representatividad municipal.
- 6** Cisneros, Zabaletas y Llano Bajo encabezan la agregación veredal. Las unidades extensas deben examinarse con la malla para identificar núcleos internos.
- 7** El caso Anchicayá exige integrar justicia climática, hídrica, étnica y energética. La infraestructura hidroeléctrica y los territorios colectivos son variables indispensables que aún no están materializadas.
- 8** La fuente climática y el límite son las principales restricciones cartográficas. ERA5-Land, DEM y la republicación del límite permiten una línea base, pero deben sustituirse por datos oficiales.
- 9** La ponderación es moderadamente robusta: la desviación estándar mediana bajo Monte Carlo es 1,24 puntos. Esta estabilidad no cubre omisiones ni error de medición.
- 10** CELESTE GEOImpact es útil como línea base trazable para POMCA, monitoreo y participación, siempre que se mantenga control de versiones, transparencia y validación comunitaria.

11. Limitaciones, validez y uso responsable

Dimensión	Limitación	Implicación
Límite	Republicación de la zonificación; servicio IDEAM no disponible.	Área y contactos municipales sujetos a ajuste.
Clima	ERA5-Land ~9 km y corrección altitudinal.	Incertidumbre alta en relieve orográfico.
Hidrología	Sin caudal, calidad, sedimentos, aridez, balance ni evapotranspiración.	No permite diagnóstico hídrico integral.
Social	Cinco indicadores municipales y ausencia de IPM rural completo.	Poca variación intraveredal y riesgo de simplificación.
Étnico-territorial	Sin consejos comunitarios ni territorios colectivos.	No representa reconocimiento, autoridad propia ni derechos.
Energía	Sin infraestructura Alto/Bajo Anchicayá ni PMA geográfico.	No evalúa directamente justicia energética.
OSM	Cartografía colaborativa escasa en áreas remotas.	Subestimación de drenajes, caminos y objetos.
POMCA	Sin instrumento adoptado identificado al corte.	No hay zonificación oficial local para contraste.
Incertidumbre	Monte Carlo solo perturba pesos.	No cubre fuentes, indicadores, causalidad o dependencia espacial.

Usos no permitidos

El IGJC no debe emplearse como prueba única para sancionar, negar derechos, establecer responsabilidad ambiental, definir indemnizaciones, declarar riesgo individual, fijar límites jurídicos, sustituir consulta previa o determinar cumplimiento de una licencia o PMA.

11.1 Validez interna

La versión 1.0 es internamente reproducible respecto de los archivos del paquete: pesos, dominios, rangos, celdas y agregaciones pueden reconstruirse. La validez interna no implica que las fuentes sean completas ni que la representación territorial sea exhaustiva.

11.2 Validez externa

La transferencia del índice a otras cuencas requiere recalibrar indicadores, rangos, gobernanza y contexto jurídico. La comparabilidad entre territorios es metodológica, no una equivalencia automática de puntajes.

12. Recomendaciones para evolución e institucionalización

12.1 Mejoras científicas

- Sustituir clima alternativo por series oficiales y productos de alta resolución validados localmente.
- Incorporar caudal ecológico, calidad del agua, sedimentos, erosión, inundación, remoción en masa y conectividad ecosistémica.
- Aplicar análisis de incertidumbre de fuentes, propagación de error y validación cruzada con observaciones de campo.
- Desarrollar escenarios climáticos y operativos de las centrales hidroeléctricas.

12.2 Mejoras de gobernanza

- Conformar comité de datos con representación de consejos comunitarios y protocolos de soberanía de datos.
- Integrar el índice al POMCA como insumo abierto, sin reemplazar espacios formales de participación.
- Publicar decisiones, pesos, fuentes y cambios en lenguaje accesible y conforme al Acuerdo de Escazú.
- Crear mecanismo de controversia y corrección de datos territoriales.

12.3 Mejoras tecnológicas

- Implementar descarga de informe dinámico por territorio, filtros y pesos vigentes.
- Agregar catálogo STAC/OGC, API de metadatos y hashes de archivos.
- Optimizar visualización móvil, accesibilidad y modo de baja conectividad.
- Incorporar dMRV para proyectos de restauración, calidad de agua y compensaciones.

12.4 Indicadores de seguimiento

Indicador	Línea base	Meta sugerida
Cobertura climática oficial	0 % en v1.0	100 % de variables críticas materializadas.
Territorios étnicos validados	0 capas	Cobertura acordada con autoridades propias.
Infraestructura hidroeléctrica	No materializada	100 % de activos y áreas de influencia documentados.
Monitoreo agua/sedimentos	No integrado	Serie pública con estaciones y protocolos.
Versiones publicadas	v1.0	Actualización anual y registro de cambios.
Participación	No cuantificada	Actas, observaciones y respuestas trazables.

13. Autoría, derechos de propiedad intelectual y protección

13.1 Elementos protegibles

- Redacción original, diseño editorial, ilustraciones, cartografías derivadas y visualizaciones.
- Código fuente y estructura de la aplicación CELESTE GEOImpact.
- Selección, disposición y organización original de bases de datos, sin perjuicio de derechos sobre fuentes oficiales.
- Documentación metodológica, manuales, fichas y expresión concreta del modelo.

13.2 Elementos no monopolizables por derecho de autor

Las ideas, fórmulas matemáticas, métodos abstractos, datos públicos, normas, decisiones judiciales y hechos territoriales no se monopolizan por derecho de autor. Su reproducción puede exigir atribución, cumplimiento de licencias, protección de datos, reserva legal o respeto de derechos étnicos y comunitarios.

13.3 Recomendaciones de formalización

- Registrar software, informe y obras cartográficas ante la Dirección Nacional de Derecho de Autor.
- Definir mediante contrato la titularidad patrimonial, licencias y uso de la marca entre autor y FEJUC.
- Publicar una licencia específica para código, datos derivados y contenidos, diferenciando fuentes de terceros.
- Conservar repositorio de versiones, hashes, fechas, autores, revisores y evidencia de publicación.
- Implementar términos de uso, política de privacidad y protocolo para datos comunitarios sensibles.

13.4 Aviso recomendado para la plataforma

Aviso de uso

CELESTE GEOImpact es una herramienta de priorización y transparencia. Sus resultados no sustituyen decisiones de autoridad, estudios de detalle, consulta previa, licenciamiento, POMCA ni verificación de campo. La información debe citar versión, fecha, territorio, pesos y fuentes.

14. Referencias

1. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA. (2026). Proyecto de interés en seguimiento: Central Hidroeléctrica Alto Anchicayá. Expediente LAM3563. <https://www.anla.gov.co/proyectos-de-interes-en-seguimiento/pis-central-hidroelectrica-alto-anchicaya>
2. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA. (2026). Proyecto de interés en seguimiento: Central Hidroeléctrica Bajo Anchicayá. Expediente LAM2230. <https://www.anla.gov.co/proyectos-de-interes-en-seguimiento/pis-central-hidroelectrica-bajo-anchicaya>
3. Celsia. (2026). Centrales hidroeléctricas en Colombia y Panamá: Alto y Bajo Anchicayá. <https://www.celsia.com/es/centrales-hidroelectricas/>
4. Colombia. Congreso de la República. (1993). Ley 70 de 1993, por la cual se desarrolla el artículo transitorio 55 de la Constitución Política.
5. Colombia. Congreso de la República. (1993). Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el SINA.
6. Colombia. Congreso de la República. (2012). Ley 1523 de 2012, política nacional de gestión del riesgo de desastres.
7. Colombia. Congreso de la República. (2018). Ley 1931 de 2018, directrices para la gestión del cambio climático.
8. Colombia. Congreso de la República. (2022). Ley 2273 de 2022, aprobación del Acuerdo de Escazú.
9. Comisión de la Comunidad Andina. (1993). Decisión 351: Régimen común sobre derecho de autor y derechos conexos.
10. Copernicus Climate Change Service. (2026). ERA5-Land monthly averaged data, normales 2015-2024 utilizadas por CELESTE GEOImpact.
11. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC. (2018). Evaluación Regional del Agua del Valle del Cauca.
12. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC. (2025). Informe de gestión, primer semestre de 2025. Referencia al POMCA SZH 5310 - Anchicayá.
13. Corte Constitucional de Colombia. (2023). Sentencia SU-196 de 2023.
14. Corte Constitucional de Colombia. (2024). Sentencia SU-018 de 2024.
15. Defensoría del Pueblo. (2005). Resolución Defensorial No. 35: Situación ambiental del río Anchicayá, Buenaventura - Valle del Cauca.
16. Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda.
17. IDEAM. (2013). Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia.
18. IDEAM. (2022/2024). Estudio Nacional del Agua 2022 y anexos por subzona hidrográfica.
19. IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report.
20. Muñoz-Sabater, J., et al. (2021). ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13, 4349-4383.
21. OpenStreetMap contributors. (2026). OpenStreetMap data extract used in CELESTE GEOImpact.
22. Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2026). Parque Nacional Natural Farallones de Cali. <https://www.parquesnacionales.gov.co/nuestros-parques/pnn-farallones-de-cali/>
23. Schlosberg, D., & Collins, L. B. (2014). From environmental to climate justice. *WIREs Climate Change*, 5(3), 359-374.
24. Federación para la Justicia Climática - FEJUC; Debia, J. S. (2026). CELESTE GEOImpact: Índice de Justicia Climática de la SZH 5310 - Río Anchicayá. Paquete técnico versión 1.0.

Anexo A. Metadatos de indicadores y rangos de normalización

Indicador	Dominio	Q2	Q98	Unidad	Orientación
Precipitación	Amenaza	6.857,97	14.172,21	mm/año	Directo
Temperatura	Amenaza	10,49	25,24	°C	Directo
Densidad de vías	Exposición	0,00	43,95	km/km²	Directo
Densidad de escuelas	Exposición	0,00	0,01	puntos/km²	Invertido
Densidad de drenaje	Exposición	0,00	77,58	km/km²	Directo
Proximidad a drenaje	Exposición/presión	0,00	7.371,32	m	Directo
Proximidad a vía primaria	Presión	9.545,94	40.109,65	m	Invertido
Distancia a vía	Capacidad	250,00	23.278,17	m	Directo
Distancia a escuela	Capacidad	603,55	20.313,71	m	Directo
IPM	Sensibilidad	18,70	30,20	%	Directo
Analfabetismo	Sensibilidad	11,04	20,47	%	Directo
Sin acueducto	Capacidad	18,12	26,83	%	Directo
Sin alcantarillado	Capacidad	39,04	55,27	%	Directo
Sin energía	Capacidad	5,02	9,20	%	Directo
Sin internet	Capacidad	72,32	84,93	%	Directo
Déficit educación	Sensibilidad	4,02	4,31	%	Invertido
Desprotección	Protección	0,00	1,00	índice	Directo
Altitud	Contexto	10,26	3.060,71	m	No integra IGJC
Pendiente	Amenaza	0,17	24,03	°	Directo

Lectura

Los percentiles Q2-Q98 se calculan dentro del polígono analizado. Por ello, la normalización es relativa a esta cuenca y esta versión; no debe usarse para comparar valores crudos entre territorios sin una referencia común.

Anexo B. Resultados municipales detallados

Municipio	Celdas	IGJC medio	Mediana	Mínimo	Máximo	% PNN	Lectura
Buenaventura	16.496	48,9	48,8	22,4	66,4	44,2 %	Representativo de la porción de cuenca
Jamundí	7	42,6	45,1	24,0	48,5	100,0 %	Contacto marginal
Dagua	4.192	37,7	36,9	21,2	55,3	49,7 %	Representativo de la porción de cuenca
Cali	28	26,4	26,7	22,6	35,5	100,0 %	Contacto marginal

Variables socioeconómicas municipales integradas

Municipio	IPM	Acueducto	Alcantarillado	Internet	Analfabetismo
Cali	11,8	99,0 %	97,8 %	71,3 %	5,7
Buenaventura	30,2	73,2 %	61,0 %	27,7 %	20,5
Dagua	18,7	81,9 %	44,7 %	15,1 %	11,0
Jamundí	9,3	95,1 %	87,4 %	54,4 %	N/D
Calima El Darién	N/D	85,3 %	69,9 %	19,2 %	N/D

Precaución municipal

Las variables se asignan a celdas por municipio y no representan variación rural interna. Cali y Jamundí tienen contactos marginales con la malla; sus valores no deben interpretarse como diagnóstico de la cuenca en esos municipios.

Anexo C. Veredas con mayores y menores promedios

Vereda	Municipio	IGJC	Celdas	% PNN	Condición
Cisneros	Buenaventura	52,0	581	0,0 %	Mayor prioridad relativa
Zabaletas	Buenaventura	50,7	2.610	0,0 %	Mayor prioridad relativa
Llano Bajo	Buenaventura	50,3	5.726	39,9 %	Mayor prioridad relativa
Guadualito	Buenaventura	47,8	458	0,0 %	Mayor prioridad relativa
San Isidro	Buenaventura	47,3	4.298	100,0 %	Mayor prioridad relativa
San José De Anchicaya	Buenaventura	46,9	1.125	0,0 %	Mayor prioridad relativa
El Tigre	Buenaventura	46,2	985	0,0 %	Mayor prioridad relativa
La Cascada	Buenaventura	46,1	713	100,0 %	Mayor prioridad relativa
San Antonio	Jamundí	42,3	6	100,0 %	Mayor prioridad relativa
Cristales	Dagua	42,2	18	0,0 %	Mayor prioridad relativa
El Danubio	Dagua	39,7	644	4,8 %	Mayor prioridad relativa
La Elsa	Dagua	37,6	1.822	49,5 %	Mayor prioridad relativa
El Pato	Cali	26,0	3	100,0 %	Menor prioridad relativa
Pance Cabecera	Cali	26,2	1	100,0 %	Menor prioridad relativa
Carpatos	Cali	26,4	14	100,0 %	Menor prioridad relativa
El Diamante	Cali	26,7	10	100,0 %	Menor prioridad relativa
San José Del Salado	Dagua	34,3	37	0,0 %	Menor prioridad relativa
El Limonar	Dagua	35,1	9	0,0 %	Menor prioridad relativa
Santa María	Dagua	35,7	6	0,0 %	Menor prioridad relativa
El Queremal	Dagua	37,2	1.205	58,2 %	Menor prioridad relativa
La Cascada	Dagua	37,2	452	100,0 %	Menor prioridad relativa
La Elsa	Dagua	37,6	1.822	49,5 %	Menor prioridad relativa

Interpretación

“Menor prioridad relativa” no significa ausencia de riesgo, valor ecológico, derechos o necesidad de conservación. La clasificación expresa posición dentro del modelo y de esta versión de datos. Las veredas con pocas celdas no permiten inferencias estables.

Anexo D. Figuras protegidas, cobertura y auditoría de fuentes

Nombre	Categoría RUNAP	Organización	Área total (ha)	Intersección (ha)
Río Anchicayá	Reservas Forestales Protectoras Nacionales	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	75.306,02	67.766,56
El Chilcal	Distritos Regionales de Manejo Integrado	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca	914,85	20,85
De la Cuenca Hidrográfica de los Ríos Escalere y San Cipriano	Reservas Forestales Protectoras Nacionales	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	5.555,73	19,27
Los Volcanes	Reserva Natural de la Sociedad Civil	Parques Nacionales Naturales de Colombia	27,00	5,02

Auditoría de cobertura temática

Dominio	Cobertura efectiva	Observación
Amenaza	74 %	Sin aridez, balance hídrico ni evapotranspiración; clima ERA5-Land.
Exposición	100 %	Proxies OSM/DANE; baja densidad de objetos en áreas remotas.
Sensibilidad	100 %	Datos municipales; IPM rural incompleto se trata como faltante en la fuente.
Capacidad	100 %	Servicios municipales y distancias espaciales.
Presión	80 %	Aridez no disponible; pesos redistribuidos.
Protección	100 %	PNN y figuras adicionales; no mide efectividad de gestión.

Auditoría de fuente climática

Componente	Fuente usada	Resolución / tratamiento	Estado
Precipitación	ERA5-Land 2015-2024	~9 km; interpolación espacial	Temporal
Temperatura	ERA5-Land + DEM	~9 km; corrección 6,5 °C/km	Temporal
Elevación	Copernicus DEM	90 m; interpolada a malla	Disponible
Pendiente	Derivada del DEM	Diferencias centrales a 250 m	Disponible
Aridez	IDEAM	Consulta fallida	No disponible
Balance hídrico	IDEAM	Consulta fallida	No disponible
Evapotranspiración	IDEAM	Consulta fallida	No disponible

Anexo E. Protocolo de reproducción y control de versión

- 1 Conservar copia del polígono de la SZH 5310 y registrar fuente, fecha, versión y hash.
- 2 Obtener el límite oficial del IDEAM cuando el servicio esté disponible y calcular diferencias geométricas.
- 3 Instalar el entorno Python y ejecutar los scripts de adquisición/preparación con dependencias versionadas.
- 4 Validar geometrías, CRS, conteo de entidades y cobertura de atributos.
- 5 Construir malla de 250 m y verificar el conteo de 20.723 celdas para la versión 1.0.
- 6 Calcular indicadores crudos, normalización P2-P98 y registrar rangos.
- 7 Componer dominios con redistribución por datos disponibles.
- 8 Exportar igjc_grid.json, igjc_veredas.geojson, municipios_igjc.geojson e igjc_meta.json.
- 9 Ejecutar pruebas de integridad de módulos, rutas, JSON/GeoJSON y sintaxis JavaScript.
- 10 Desplegar en entorno de prueba, comparar estadísticas y cartografía con la versión aprobada.
- 11 Publicar paquete, hash, fecha, nota de cambios, fuentes climáticas y responsables.
- 12 Activar protocolo de revisión comunitaria y corrección documentada de datos.

Valores de control de la versión 1.0

Control	Valor esperado
Celdas	20.723
Tamaño de celda	250 m
Veredas	22
Área del polígono	129.519 ha
Traslape PNN	58.831 ha · 45,4 %
Media IGJC	46,6273
Mediana	47,9200
Mínimo / máximo	21,2150 / 66,3650
Altitud mínima / máxima	0 / 3.809 m
Pendiente mínima / máxima	0,0 / 35,3°
Fuente climática	ERA5-Land 2015-2024 (temporal)
Desviación Monte Carlo mediana	1,2428