



# CELESTE GEOImpact

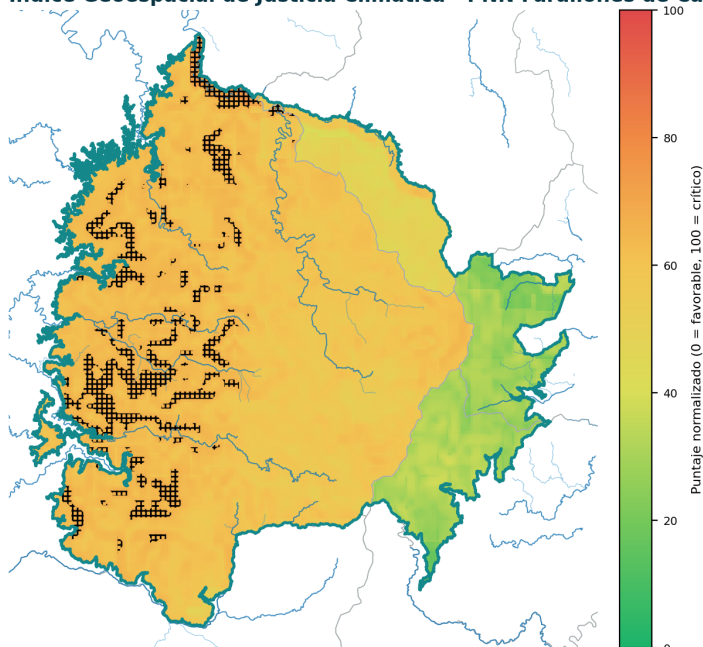
Plataforma geoespacial de justicia climática de FEJUC

## INFORME TÉCNICO INTEGRAL Y DE LÍNEA BASE

### Análisis de justicia climática y sostenibilidad territorial

Parque Nacional Natural Farallones de Cali · Vertientes Andina y Pacífica

Índice Geoespacial de Justicia Climática - PNN Farallones de Cali



55,9/100

IGJC territorial

31.560

celdas de 250 m

34

veredas analizadas

4

figuras RUNAP superpuestas

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 del PNN Farallones de Cali   |
| Código documental       | CELESTE-IGJC-PNNFAR-IT-001                                                                                                         |
| Versión                 | 1.0                                                                                                                                |
| Fecha de corte          | 2 de agosto de 2026                                                                                                                |
| Ámbito                  | Parque Nacional Natural Farallones de Cali                                                                                         |
| Autoría técnica         | Juan Sebastián Debia                                                                                                               |
| Dirección institucional | Federación para la Justicia Climática (FEJUC)                                                                                      |
| Plataforma oficial      | <a href="https://farallones.fejuc.org/">https://farallones.fejuc.org/</a>                                                          |
| 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 del Parque Nacional Natural Farallones de Cali. CELESTE GEOImpact, versión 1.0. Colombia.

# Resumen ejecutivo

El PNN Farallones de Cali presenta una brecha de justicia climática de nivel medio en el agregado territorial, pero con una distribución fuertemente asimétrica: la vertiente Pacífica y la extensa porción de Buenaventura concentran la mayoría de las celdas de nivel alto, mientras las vertientes orientales muestran valores comparativamente menores. El promedio no debe ocultar esa heterogeneidad.

El Índice Geoespacial de Justicia Climática (IGJC) de CELESTE GEOImpact integra amenaza climática, exposición, sensibilidad socioeconómica, déficit de capacidad adaptativa, presión ambiental y presión sobre la figura de protección. El modelo opera sobre una malla de 250 m con 31.560 celdas, se agrega a 34 veredas y permite recomponer los seis dominios en el navegador con pesos transparentes y datos precalculados mediante Python.

|                                                                                                                                 |                                                                                                                  |                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>55,9</div> <div>IGJC medio</div> <div>Brecha agregada media, con una masa territorial alta en la vertiente Pacífica.</div> | <div>86,3 %</div> <div>medio-alto</div> <div>38,1 % de celdas en nivel medio y 48,2 % en nivel alto.</div>       | <div>60,9</div> <div>Buenaventura</div> <div>Mayor promedio municipal y 79,4 % de la malla analizada.</div> |
| <div>83,6</div> <div>sensibilidad</div> <div>Principal condicionante estructural del resultado.</div>                           | <div>78,3</div> <div>presión de protección</div> <div>Cercanía al borde y ausencia de figuras adicionales.</div> | <div>±1,66</div> <div>robustez</div> <div>Desviación mediana bajo perturbación moderada de pesos.</div>     |

## Hallazgos sustantivos

- La distribución absoluta es asimétrica: 0,3 % de las celdas está en nivel muy bajo, 13,5 % en bajo, 38,1 % en medio, 48,2 % en alto y dos celdas alcanzan el umbral crítico.
- Buenaventura registra 60,9 puntos y concentra 25.067 celdas. Dagua alcanza 49,4; Buenos Aires 46,3 sobre solo dos celdas; Jamundí 31,2 y Cali 28,3.
- Las veredas con mayores promedios son Silva, Llano Bajo, San Isidro, El Pital y La Cascada, todas en Buenaventura; El Danubio, en Dagua, aparece a continuación.
- La sensibilidad socioeconómica y el déficit de capacidad adaptativa son elevados, pero parte de estas variables es municipal y no representa variación intraveredal observada.
- La climatología utiliza ERA5-Land 2015-2024 y un DEM Copernicus porque el servicio de consulta del IDEAM no respondió durante la generación del paquete. El dominio de amenaza tiene cobertura temática efectiva del 74 %.
- La priorización no equivale a una declaración formal de riesgo, infracción, ocupación ni afectación individual. Es una línea base geoespacial para focalizar verificación, participación, restauración, control de presiones e inversión.

### Prioridad territorial

Concentrar la primera fase de validación e intervención en la vertiente Pacífica, especialmente en las veredas de Buenaventura que permanecen en el decil superior. La respuesta debe articular restauración, justicia hídrica, servicios rurales, acuerdos de conservación, control de minería y ocupación, conectividad y reconocimiento de gobernanzas comunitarias.

# 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 todos los títulos principales y subtítulos.

## Siglas y abreviaturas

| Sigla     | Definición                                                                      |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| CELESTE   | Plataforma geoespacial de FEJUC para lectura territorial de justicia climática. |
| 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.                         |
| RUNAP | Registro Único Nacional de Áreas Protegidas.     |
| SIG   | Sistema de Información Geográfica.               |
| SPNN  | Sistema de Parques Nacionales Naturales.         |
| VOC   | Valores Objeto de Conservación.                  |

# 1. Introducción

La crisis climática se expresa de manera territorialmente desigual. Un mismo evento hidroclimático produce efectos distintos según la exposición de personas y ecosistemas, las condiciones socioeconómicas, el acceso a infraestructura, la capacidad institucional y comunitaria, 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.

El Parque Nacional Natural Farallones de Cali articula el gradiente entre los Andes y el Pacífico colombiano. En su interior están representados selva húmeda tropical, bosque subandino húmedo, bosque altoandino húmedo y páramo; el relieve analizado asciende desde 72 hasta 3.809 m s. n. m. Esta continuidad sostiene nacimientos de agua, biodiversidad, territorios ancestrales y comunidades rurales, pero también concentra presiones por minería, ocupación, tala, actividades agropecuarias, infraestructura y uso público no autorizado.

CELESTE GEOImpact responde a esta necesidad mediante un índice geoespacial reproducible, trazable y ajustable. El IGJC integra seis dominios, permite observar la variación interna del parque en una malla fina, consultar agregaciones por vereda 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 del PNN Farallones de Cali, documentando de manera precisa el método de CELESTE GEOImpact y estableciendo prioridades de intervención, seguimiento, restauración e investigación.

## 1.2 Preguntas orientadoras

- ¿Dónde se concentran las mayores brechas climáticas dentro del parque?
- ¿Qué dominios explican la desigualdad territorial observada?
- ¿Cómo cambia el resultado entre la vertiente Pacífica, las cuencas de Dagua y las vertientes de Cali y Jamundí?
- ¿Qué relación presenta el IGJC con el gradiente altitudinal y la cercanía al borde del área protegida?
- ¿Qué tan estable es la priorización frente a cambios razonables en los pesos?
- ¿Qué acciones mejoran simultáneamente justicia climática, conservación, resiliencia y gobernanza?

## 2. Objetivos, alcance y criterios de interpretación

### 2.1 Objetivo general

Evaluar la justicia climática y la sostenibilidad territorial del PNN Farallones de Cali mediante un índice geoespacial compuesto, reproducible y multiescalar que permita identificar brechas, priorizar territorios y orientar decisiones públicas, comunitarias 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 su ponderación, normalización, cobertura y tratamiento de datos faltantes.
- Caracterizar la distribución espacial del índice a escala de celda, vereda y porción municipal intersectada.
- Evaluar la sensibilidad de los resultados frente a escenarios alternativos de ponderación.
- Formular conclusiones, limitaciones, medidas prioritarias y recomendaciones para institucionalizar la plataforma.

### 2.3 Unidad territorial y periodo

El ámbito corresponde al polígono RUNAP integrado en el paquete CELESTE. Su atributo reporta 196.954,5 ha; la superficie geodésica calculada es cercana a 197.238 ha y la malla de 31.560 celdas representa 197.250 ha por inclusión del centroide. La ficha pública vigente de Parques Nacionales informa 196.429,90 ha. Estas diferencias deben tratarse como variaciones de versión, generalización y método de cálculo, no como una redefinición jurídica del parque.

El instrumento de declaratoria ubica el PNN en Cali, Jamundí, Dagua y Buenaventura. La superposición digital utilizada por CELESTE también produce contactos marginales con Buenos Aires y López de Micay; solo Buenos Aires contiene dos centros de celda y López de Micay no soporta un promedio de malla. Este resultado cartográfico requiere verificación oficial de límites y no modifica la jurisdicción establecida en los actos administrativos.

Las fuentes poseen vigencias heterogéneas. Los datos censales se basan principalmente en CNPV 2018; la división veredal corresponde a DANE 2024; RUNAP y OSM reflejan el corte integrado en 2026; la climatología alternativa usa normales ERA5-Land 2015-2024 y el relieve procede de un DEM Copernicus de 90 m. 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 presión sobre la figura de protección. No representa probabilidad de desastre, daño monetario esperado, infracción ambiental ni diagnóstico individual. Es un índice de priorización territorial.

## 3. Antecedentes territoriales, ecosistémicos e institucionales

### 3.1 Delimitación y estructura territorial

El PNN Farallones de Cali conecta las provincias biogeográficas del Chocó y Norandina, y forma una divisoria entre cuencas que drenan al Pacífico y al río Cauca. La topografía abrupta produce gradientes simultáneos de precipitación, temperatura, accesibilidad, cobertura y uso del suelo. La malla muestra un contraste claro entre la vertiente Pacífica, de mayor sensibilidad agregada, y las vertientes orientales.

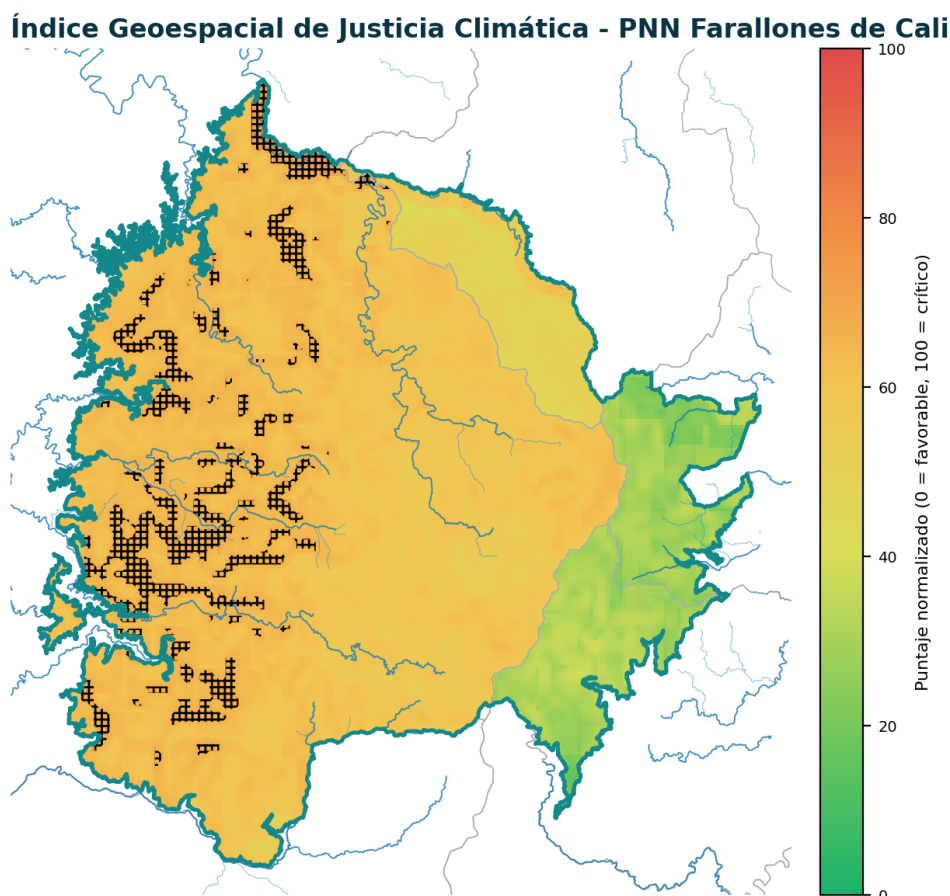


Figura 1. Distribución espacial del IGJC en el PNN Farallones de Cali. La trama resalta el decil superior de priorización.

### 3.2 Antecedentes ecosistémicos e hídricos

Parques Nacionales reconoce cuatro ecosistemas principales: selva húmeda tropical entre 200 y 1.200 m, bosque subandino húmedo entre 1.200 y 2.000 m, bosque altoandino húmedo entre 2.000 y 3.500 m y páramo por encima de 3.500 m. Los objetivos de conservación incluyen mantener la oferta hídrica, conservar muestras representativas de ecosistemas y especies, permitir la coexistencia con culturas materiales y vivas, y proteger la formación geomorfológica de los Farallones.

| Indicador territorial     | Valor / categoría          | Lectura para justicia climática                                                                      |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Área RUNAP integrada      | 196.954,5 ha               | Marco espacial del análisis; difiere de otras publicaciones por versión y método.                    |
| Malla analítica           | 31.560 celdas · 197.250 ha | Unidad de priorización; no sustituye el área jurídica oficial.                                       |
| Altitud                   | 72-3.809 m s. n. m.        | Gradiente que controla clima, ecosistemas y accesibilidad.                                           |
| Pendiente                 | 0,1-36,5°                  | Proxy de complejidad topográfica y amenaza por remoción en masa.                                     |
| Precipitación alternativa | 4.466-22.574 mm/año        | ERA5-Land; resolución aproximada de 9 km y alta incertidumbre orográfica.                            |
| Temperatura alternativa   | 5,9-25,7 °C                | ERA5-Land ajustada por altitud mediante gradiente de 6,5 °C/km.                                      |
| Veredas intersectadas     | 34                         | Agregación territorial; 20 en Cali, 5 en Buenaventura, 4 en Dagua, 4 en Jamundí y 1 en Buenos Aires. |

### 3.3 Antecedentes de manejo y presiones

El PNN fue declarado mediante la Resolución 092 de 1968, aprobada por el Decreto 282 del mismo año. El Plan de Manejo fue adoptado mediante la Resolución 049 de 2007 y continúa siendo citado como instrumento rector en actos administrativos recientes. La Resolución 193 de 2018 adoptó medidas de control ante minería, ocupación, tala, actividades agropecuarias, infraestructura no autorizada y extracción de recursos.

En 2024 Parques Nacionales reportó 57 acuerdos individuales y colectivos con familias campesinas de la zona de amortiguación, acompañados de restauración participativa, mantenimiento de siembras y fortalecimiento de viveros. Estas acciones muestran que la conservación requiere combinar control, acuerdos territoriales y reconocimiento social.

### 3.4 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 %.

### 3.5 Marco normativo relevante

- Ley 2 de 1959, Decreto Ley 2811 de 1974 y Decreto 1076 de 2015: régimen de protección y usos de los parques nacionales.
- 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.
- Decisión Andina 351 de 1993 y régimen colombiano de derecho de autor: protección de textos, mapas, software y bases de datos originales.

## 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 y exportar resultados. Los pesos se

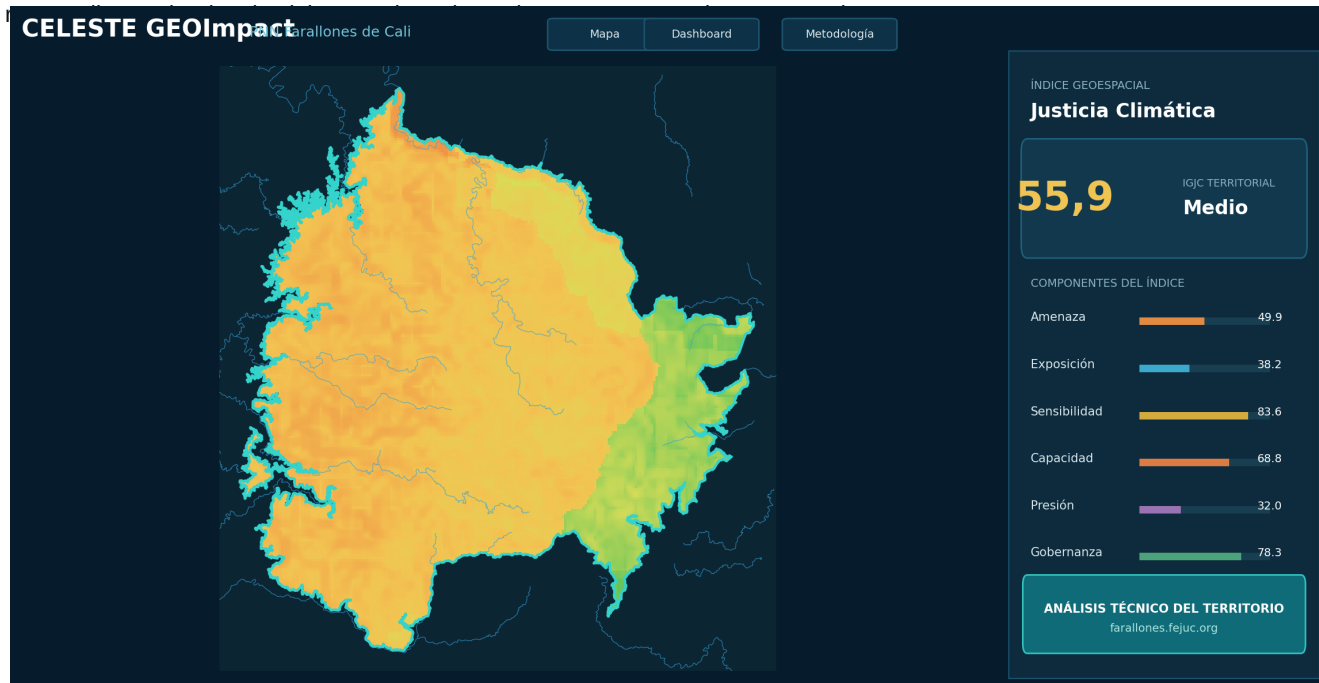


Figura 2. Interfaz de resultados de CELESTE GEOImpact para el PNN Farallones de Cali. Fuente: plataforma FEJUC, corte 2026.

Análisis técnico: <https://farallones.fejuc.org/>

### 4.2 Arquitectura técnica

#### Arquitectura técnica de la plataforma

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

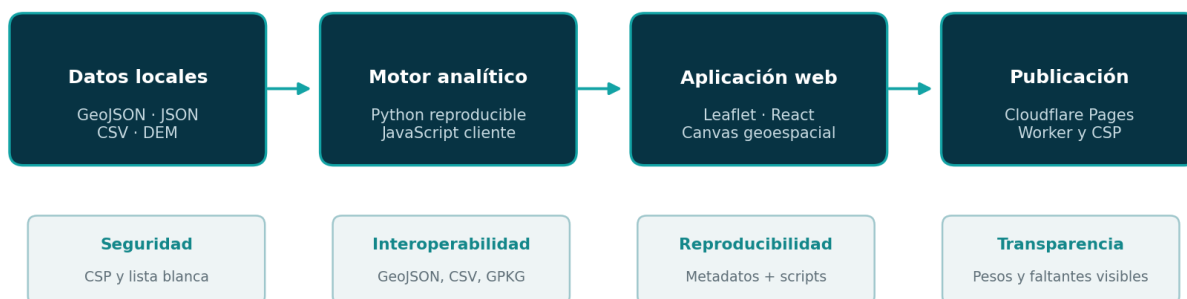


Figura 3. Arquitectura técnica de la plataforma web.

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 y controles de seguridad de contenido. Esta arquitectura reduce dependencias de servidor y facilita auditoría, portabilidad y reproducción.

4.3 Inventario de datos integrado

| Insumo                | Fuente                    | Vigencia / escala               | Uso en el modelo                       |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| Límite PNN Farallones | RUNAP / PNN               | Polígono integrado 2026         | Delimitación del área de estudio.      |
| Figuras superpuestas  | RUNAP                     | 4 registros                     | Presión sobre la figura de protección. |
| 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.     |
| Pendiente             | Derivada del DEM          | Malla 250 m                     | Amenaza por complejidad topográfica.   |
| 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.   |
| Analfabetismo         | DANE, campo heredado      | Municipal                       | Sensibilidad; requiere actualización.  |
| Veredas               | DANE 2024                 | 34 polígonos intersectados      | Agregación territorial.                |

4.4 Catálogo y materialización

El visor integra 14 capas agrupadas por tema. El IGJC v1.0 utiliza únicamente los insumos materializados y documentados en los archivos de datos. Las fichas o capas no disponibles se conservan como hoja de ruta para sustitución de proxies, actualización climática y ampliación del dominio de gobernanza.

## 5. Metodología precisa del IGJC

### Flujo metodológico de CELESTE GEOImpact

Arquitectura reproducible del Índice Geoespacial de Justicia Climática (IGJC) para el PNN Farallones de Cali.



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 + Presión sobre la figura de protección, 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 y pendiente. 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 %)      |

| Dominio                                    | Peso base | Indicadores y pesos internos                                                                          |
|--------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Presión ambiental e inequidad distributiva | 15 %      | proximidad a vía primaria (35 %), densidad de vías (25 %), aridez (20 %), proximidad a drenaje (20 %) |
| Presión sobre la figura de protección      | 5 %       | presión de borde (65 %), ausencia de figura adicional superpuesta (35 %)                              |

A diferencia del análisis de una subzona hidrográfica, todo el ámbito de Farallones ya es un Parque Nacional Natural. Por ello, el dominio de protección no mide presencia o ausencia de RUNAP; mide presión sobre la figura mediante cercanía al límite y ausencia de protecciones adicionales. Un valor alto no significa desprotección jurídica.

## 5.4 Preparación espacial

- Armonización de coordenadas y geometrías; reparación de geometrías inválidas cuando corresponde.
- Recorte por el polígono RUNAP del PNN Farallones de Cali.
- 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.
- Cálculo de presión de borde y presencia de cuatro figuras adicionales superpuestas.

## 5.5 Normalización robusta

Para cada indicador  $x$  se estiman los percentiles 2 y 98 dentro del parque. 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

$z_{ij} = \text{clip}[(x_{ij} - Q2_i) / (Q98_i - Q2_i), 0, 1]$ . 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 media es 74 % en amenaza, 100 % en exposición, 81 % en sensibilidad, 100 % en capacidad, 80 % en presión y 100 % en protección.

### Ecuación 2

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

## 5.7 Cálculo compuesto

### Ecuación 3

$IGJC_j = 100 \times \text{suma}_d(W_d \cdot D_{dj} \cdot I_{dj}) / \text{suma}_d(W_d \cdot I_{dj})$ . 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 aritmética de cada dominio. Se registra el número de celdas que soporta el promedio. Los resultados municipales corresponden únicamente a la porción intersectada por el parque 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 y reparación/simplificación. | Desajustes de límites 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/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 del PNN Farallones de Cali es 55,9 puntos sobre 100, clasificado como medio. La mediana es 59,8, la desviación estándar 11,4 y el rango observado va de 16,2 a 80,2. El percentil 10 es 32,4 y el percentil 90 es 64,9. La mediana superior a la media refleja una distribución en la que una extensa masa territorial se ubica cerca de 60 puntos, mientras sectores orientales de menor valor reducen el promedio.

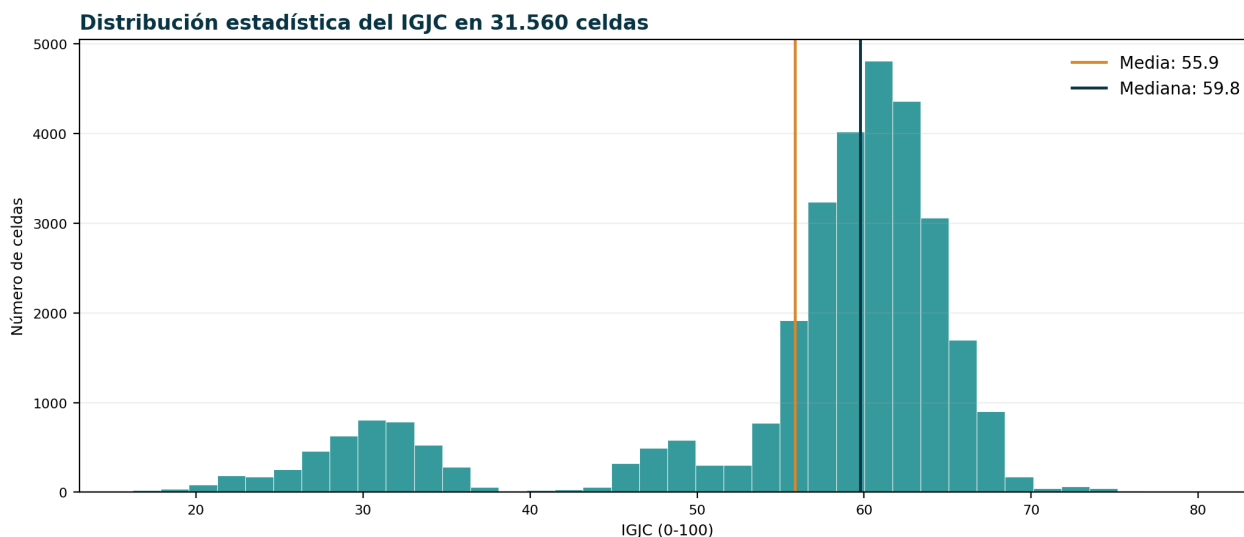


Figura 5. Distribución estadística del IGJC en las 31.560 celdas.

### 6.2 Distribución por bandas absolutas

| Banda    | Rango  | Celdas | Participación |
|----------|--------|--------|---------------|
| Muy bajo | 0-<20  | 80     | 0,3 %         |
| Bajo     | 20-<40 | 4.250  | 13,5 %        |
| Medio    | 40-<60 | 12.029 | 38,1 %        |
| Alto     | 60-<80 | 15.199 | 48,2 %        |
| Crítico  | 80-100 | 2      | 0,0 %         |

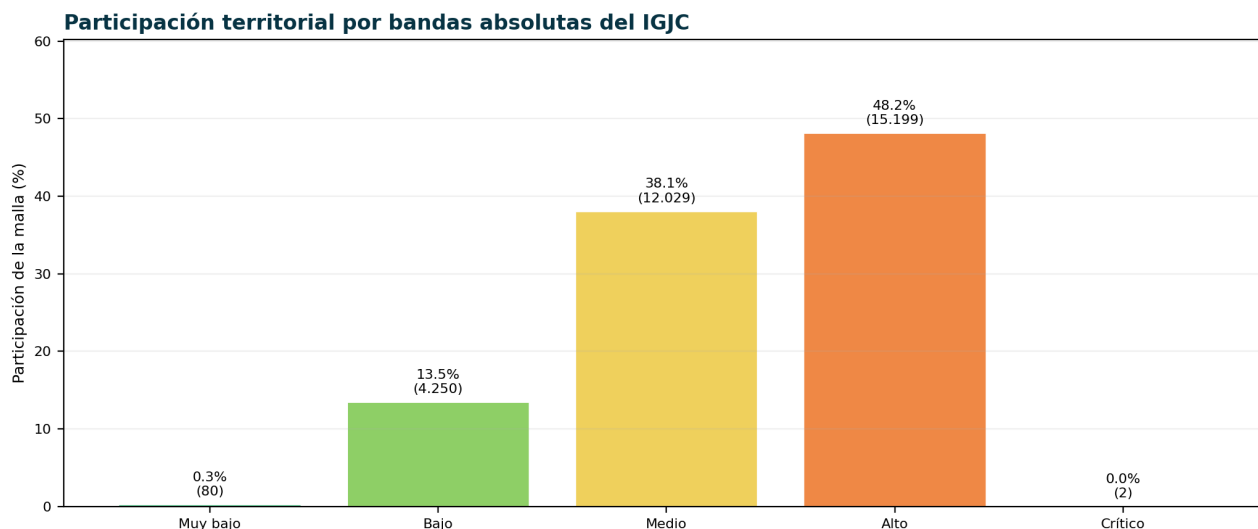


Figura 6. Participación territorial por bandas absolutas del IGJC.

#### Lectura clave

El 86,3 % de las celdas se encuentra entre nivel medio y alto. El nivel alto, con 48,2 %, es la categoría dominante. El promedio medio no significa uniformidad ni ausencia de urgencia: combina la extensa vertiente Pacífica en valores altos con sectores orientales bajos.

### 6.3 Patrón espacial y gradiente altitudinal

La cartografía muestra una estructura determinada por vertiente, municipio y altitud. Buenaventura domina la superficie del parque y conserva valores altos en un rango altitudinal amplio; Cali y Jamundí presentan promedios menores; Dagua funciona como transición. El gradiente altitudinal no es lineal porque interactúa con sensibilidad municipal, acceso y presión de borde.

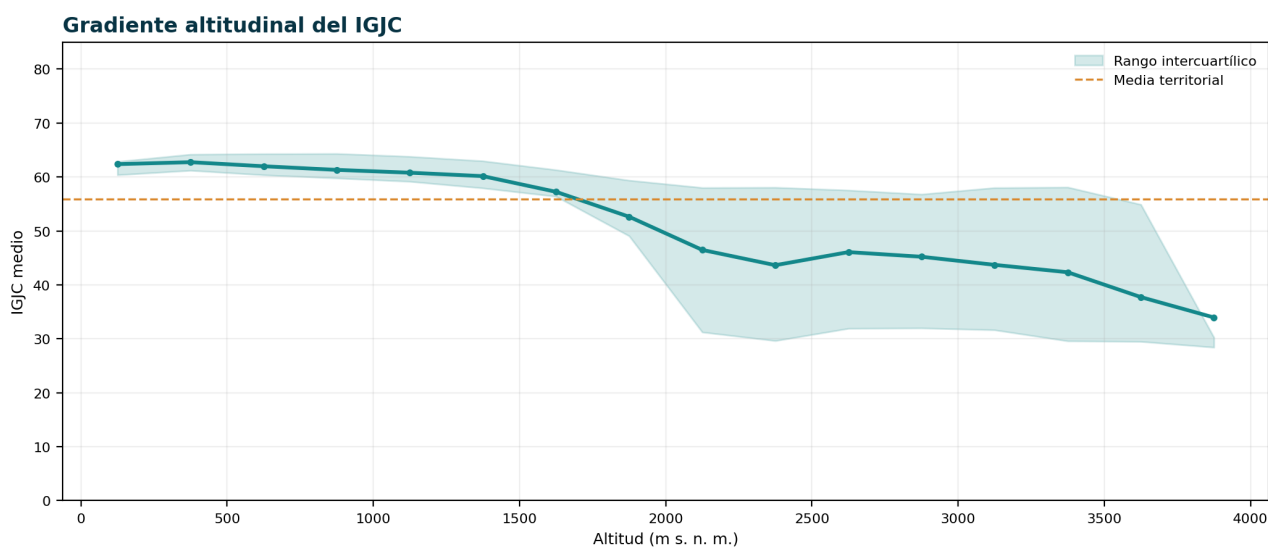


Figura 7. Gradiente altitudinal del IGJC; la banda representa el rango intercuartílico.

6.4 Perfil de dominios

| Dominio                            | Media (0-100) | Interpretación                                                                                               |
|------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Amenaza climática y multiamenaza   | 49,9          | Nivel intermedio; condicionado por precipitación, temperatura y pendiente, con fuente climática alternativa. |
| Exposición                         | 38,2          | Exposición moderada; depende de proxies de vías, escuelas y drenajes.                                        |
| Sensibilidad socioeconómica        | 83,6          | Principal condicionante estructural; alta en la vertiente Pacífica.                                          |
| Déficit de capacidad adaptativa    | 68,8          | Brechas relevantes de servicios, conectividad y acceso.                                                      |
| Presión ambiental e inequidad      | 32,0          | Media relativamente baja, con focos cercanos a vías y drenajes.                                              |
| Presión sobre figura de protección | 78,3          | Alta por cercanía al borde y escasa superposición de figuras adicionales.                                    |

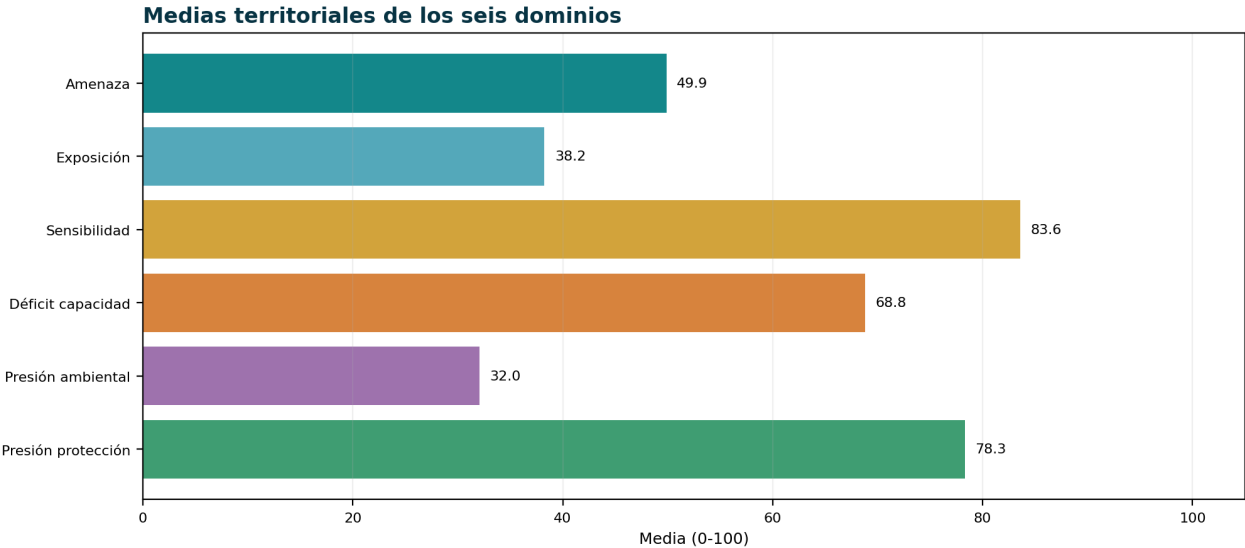
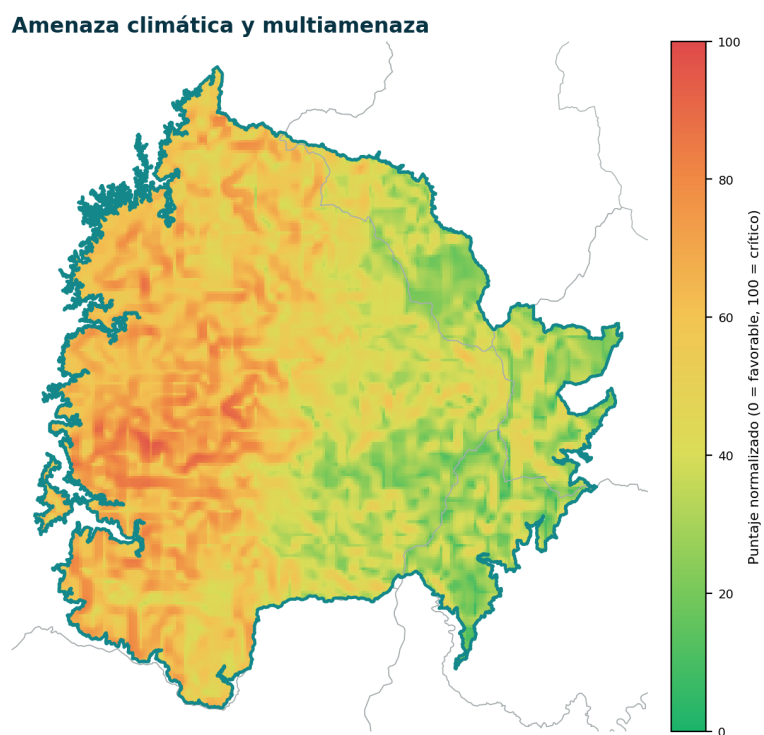
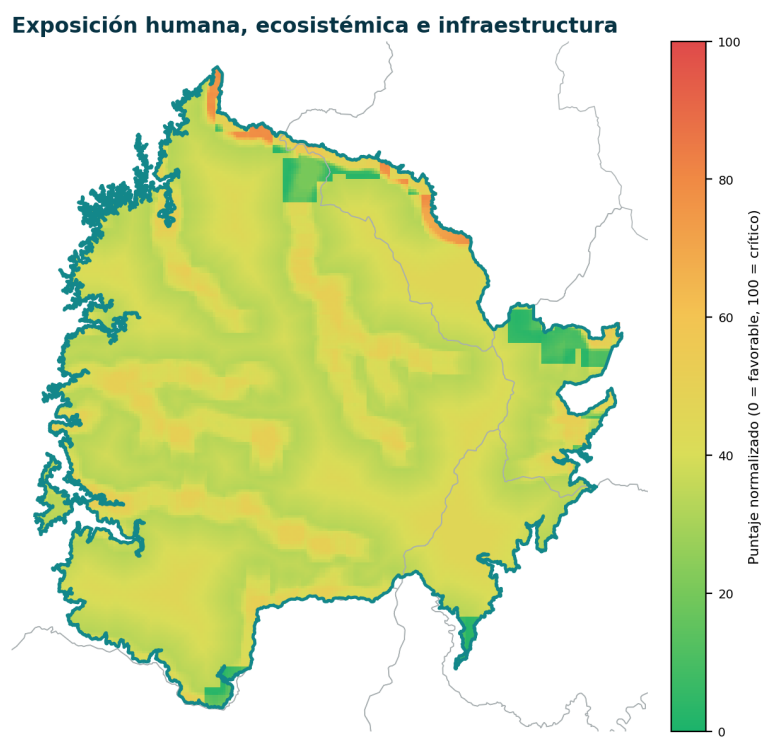


Figura 8. Medias territoriales de los seis dominios.

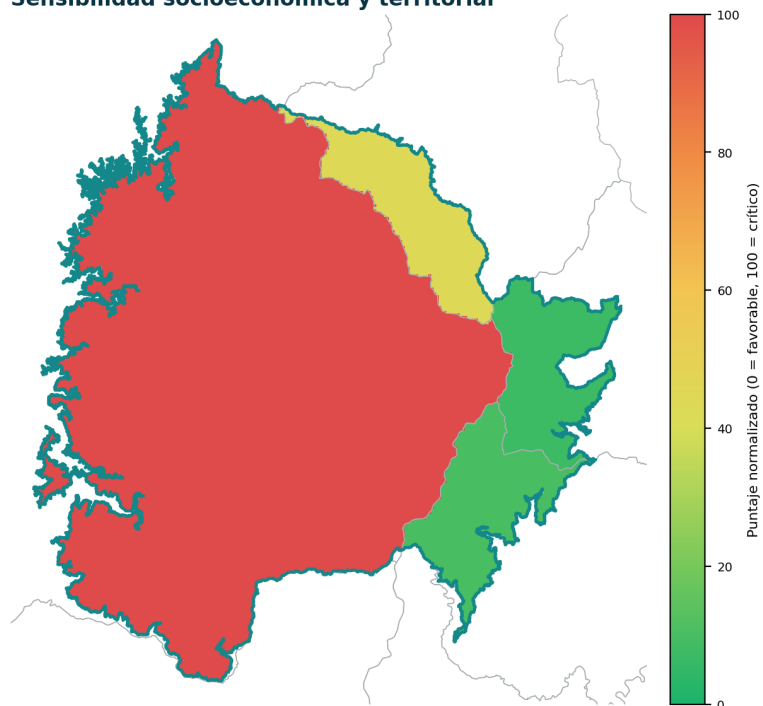
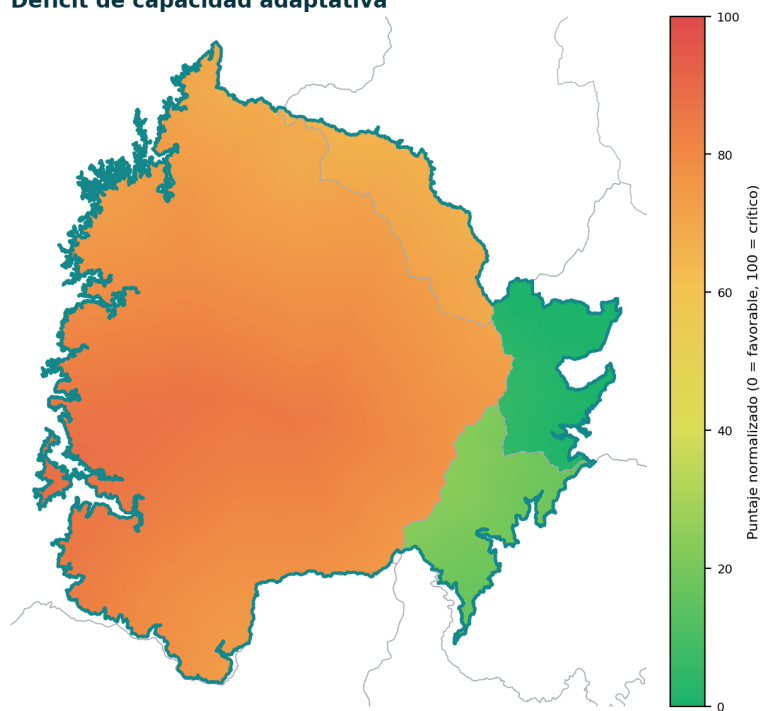
La sensibilidad socioeconómica y el déficit de capacidad adaptativa explican buena parte de la brecha distributiva. La presión sobre la figura de protección alcanza el segundo promedio más alto, pero pesa 5 % en el índice y no mide eficacia de manejo. Su lectura debe centrarse en el borde, la ocupación y la necesidad de gobernanza reforzada.



*Figura 9. Amenaza climática y multiamenaza.*



*Figura 10. Exposición humana, ecosistémica e infraestructura.*

**Sensibilidad socioeconómica y territorial***Figura 11. Sensibilidad socioeconómica y territorial.***Déficit de capacidad adaptativa***Figura 12. Déficit de capacidad adaptativa.*

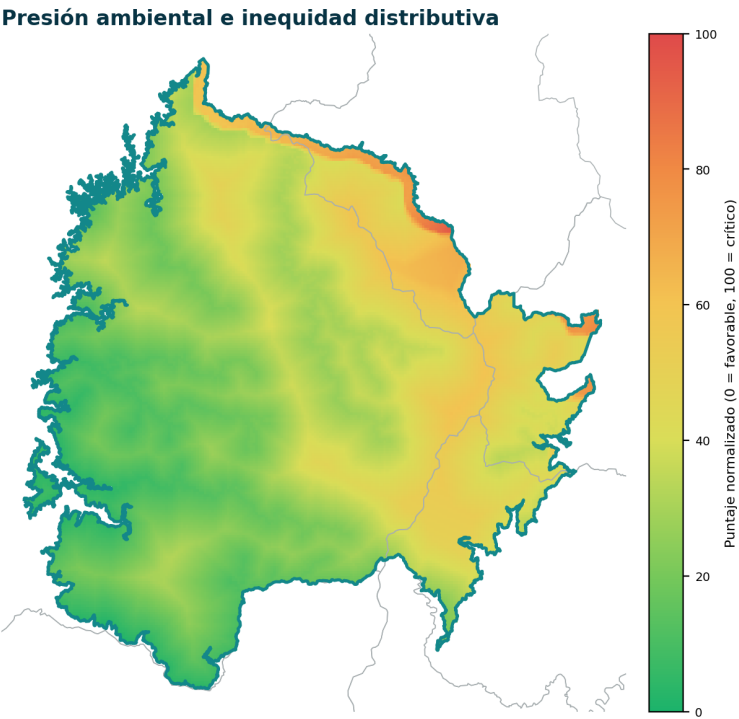


Figura 13. Presión ambiental e inequidad distributiva.

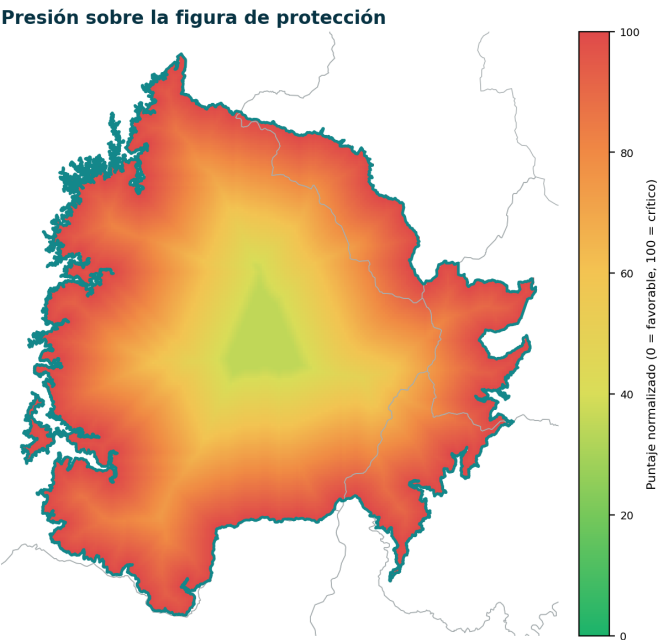
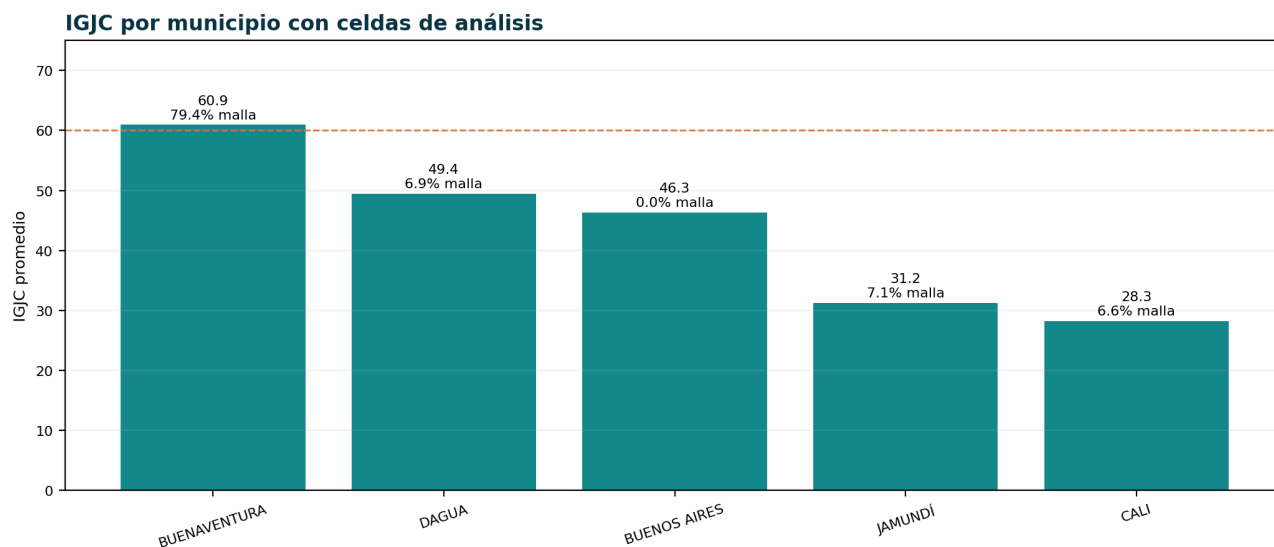


Figura 14. Presión sobre la figura de protección.

6.5 Resultados por porción municipal

| Municipio      | IGJC | Celdas | % de malla | Nota                                                        |
|----------------|------|--------|------------|-------------------------------------------------------------|
| Buenaventura   | 60,9 | 25.067 | 79,4 %     |                                                             |
| Dagua          | 49,4 | 2.162  | 6,9 %      |                                                             |
| Buenos Aires   | 46,3 | 2      | 0,0 %      |                                                             |
| Jamundí        | 31,2 | 2.231  | 7,1 %      |                                                             |
| Cali           | 28,3 | 2.098  | 6,6 %      |                                                             |
| López de Micay | —    | 0      | 0,0 %      | Contacto geométrico sin centro de celda; no se estima IGJC. |



**Figura 15. IGJC promedio por municipio con celdas de análisis.**

Buenaventura concentra el 79,4 % de la malla y registra 60,9 puntos; Dagua concentra 6,8 % y registra 49,4. Cali y Jamundí reúnen 13,7 % de las celdas con valores comparativamente bajos. Buenos Aires se basa en solo dos celdas y no admite inferencia municipal. López de Micay aparece en el contacto geométrico del polígono, pero no contiene centros de celda en esta discretización.

| Municipio    | Amenaza | Exposición | Sensibilidad | Capacidad | Presión | Prot. | Celdas |
|--------------|---------|------------|--------------|-----------|---------|-------|--------|
| Buenaventura | 54,3    | 38,4       | 100,0        | 78,7      | 27,5    | 75,0  | 25.067 |
| Dagua        | 35,3    | 42,3       | 43,3         | 68,6      | 57,8    | 90,6  | 2.162  |
| Buenos Aires | 28,5    | 35,0       | 50,7         | 86,2      | 27,6    | 100,0 | 2      |
| Jamundí      | 29,6    | 38,8       | 9,8          | 20,6      | 43,6    | 89,5  | 2.231  |
| Cali         | 33,0    | 32,1       | 7,5          | 1,9       | 47,7    | 92,9  | 2.098  |

6.6 Resultados veredales prioritarios

| Vereda      | Municipio    | IGJC | Celdas | Amenaza | Sensibilidad | Déficit capacidad |
|-------------|--------------|------|--------|---------|--------------|-------------------|
| Silva       | Buenaventura | 62,7 | 339    | 60,9    | 100,0        | 75,8              |
| Llano Bajo  | Buenaventura | 62,2 | 5.745  | 57,2    | 100,0        | 73,6              |
| San Isidro  | Buenaventura | 60,6 | 18.175 | 53,7    | 100,0        | 80,6              |
| El Pital    | Buenaventura | 60,1 | 94     | 56,9    | 100,0        | 72,5              |
| La Cascada  | Buenaventura | 59,8 | 714    | 44,9    | 100,0        | 71,5              |
| El Danubio  | Dagua        | 55,8 | 49     | 48,9    | 43,3         | 66,3              |
| La Cascada  | Dagua        | 49,9 | 451    | 46,9    | 43,3         | 67,4              |
| El Queremal | Dagua        | 49,7 | 724    | 29,9    | 43,3         | 68,9              |
| La Elsa     | Dagua        | 48,7 | 938    | 33,1    | 43,3         | 69,0              |
| El Naya     | Buenos Aires | 46,3 | 2      | 28,5    | 50,7         | 86,2              |

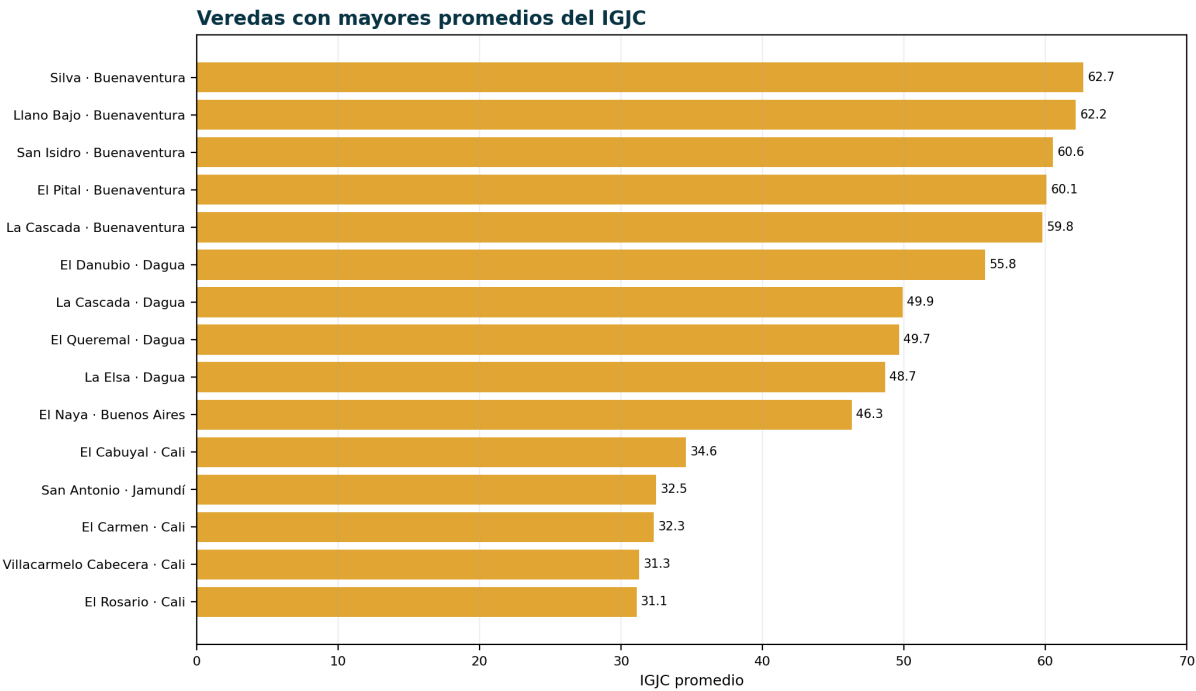


Figura 16. Veredas con mayores promedios del IGJC en la agregación disponible.

Silva alcanza 62,7 puntos, seguida por Llano Bajo (62,2), San Isidro (60,6), El Pital (60,1) y La Cascada (59,8), todas en Buenaventura. San Isidro reúne 18.175 celdas y Llano Bajo 5.745; sus promedios dominan el resultado general. Las veredas extensas deben analizarse con la malla para evitar que el promedio oculte núcleos internos.

### 6.7 Figuras protegidas superpuestas y presión de borde

Todo el territorio analizado pertenece al PNN Farallones de Cali. La base integrada contiene cuatro figuras adicionales que se superponen parcialmente: las reservas forestales protectoras nacionales Río Anchicayá, Río Cali y Río Meléndez, y el Distrito Regional de Manejo Integrado Pance. La intersección calculada es pequeña frente al área total del parque y debe leerse como refuerzo normativo localizado, no como medida de efectividad.

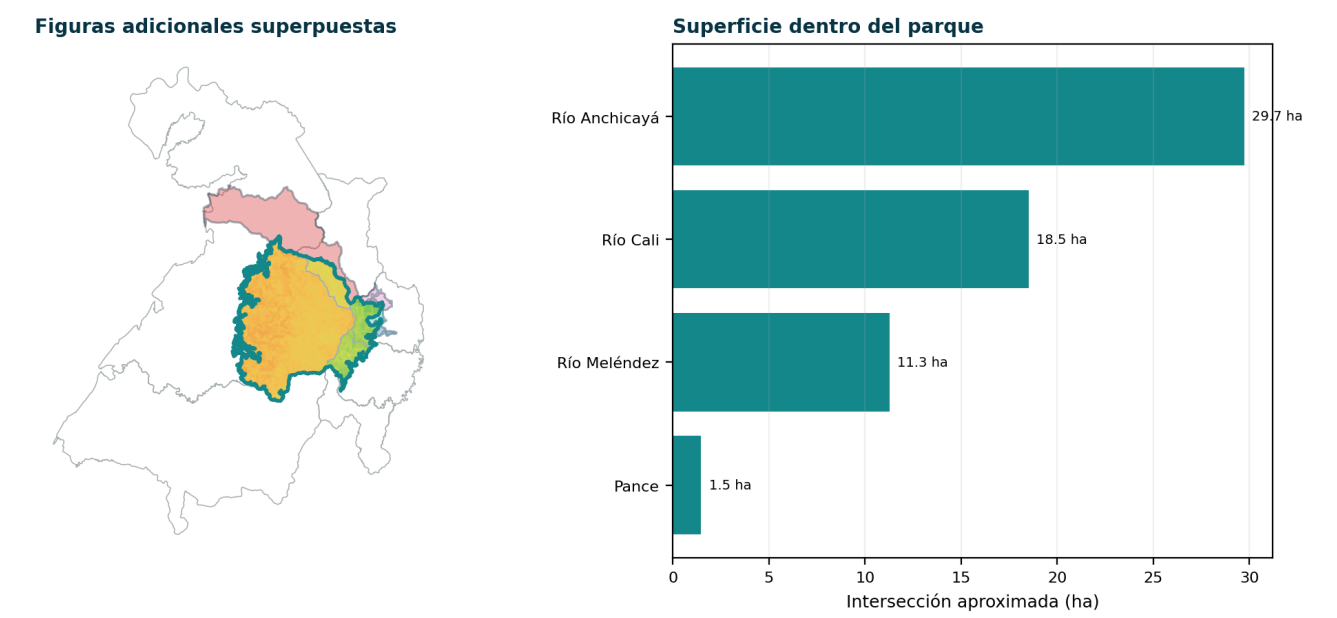
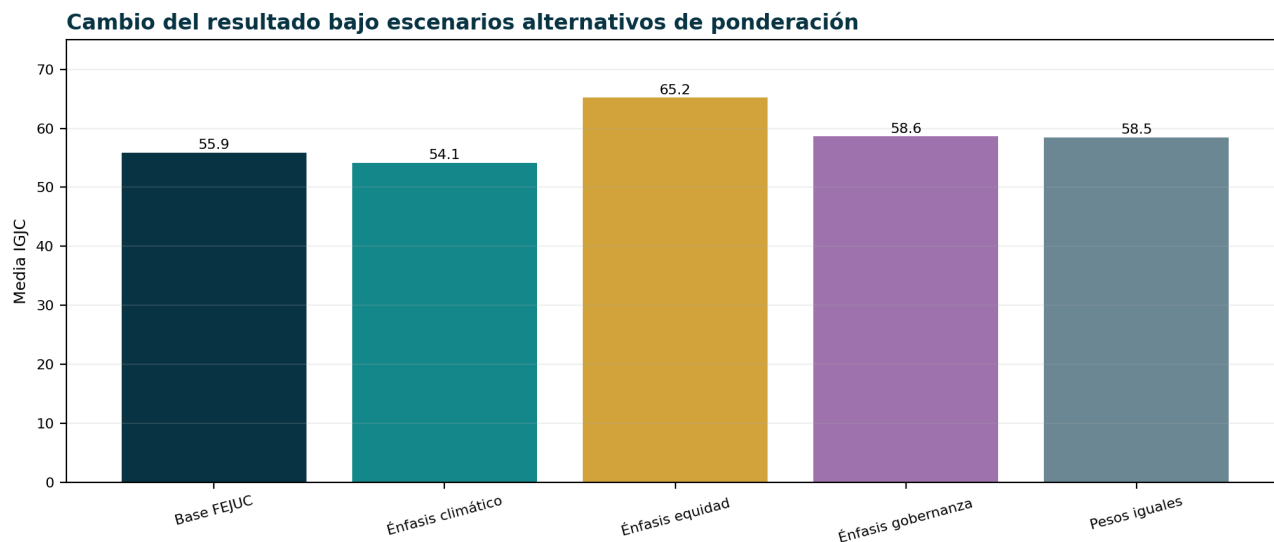


Figura 17. Figuras adicionales superpuestas y superficie aproximada dentro del PNN.

| Área protegida | Categoría                                  | Intersección aprox. (ha) |
|----------------|--------------------------------------------|--------------------------|
| Río Anchicayá  | Reservas Forestales Protectoras Nacionales | 29,74                    |
| Río Cali       | Reservas Forestales Protectoras Nacionales | 18,52                    |
| Río Meléndez   | Reservas Forestales Protectoras Nacionales | 11,27                    |
| Pance          | Distritos Regionales de Manejo Integrado   | 1,47                     |

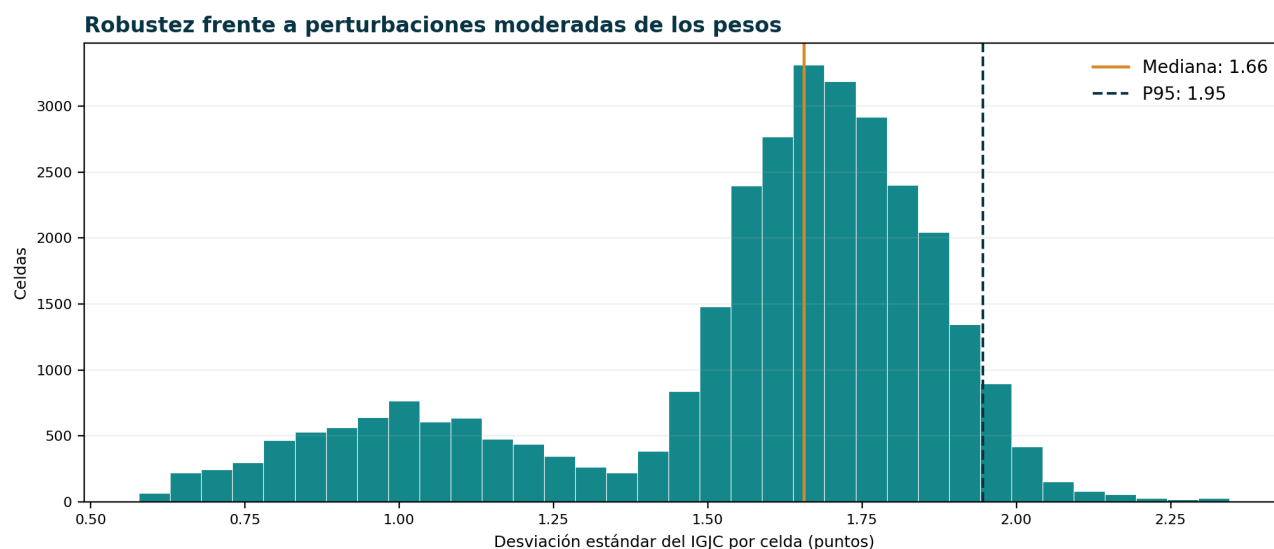
### 6.8 Sensibilidad a los pesos

| Escenario          | Pesos             | Media IGJC | Correlación de rangos | Coincidencia top 10 % |
|--------------------|-------------------|------------|-----------------------|-----------------------|
| Base FEJUC         | 25-20-20-15-15-5  | 55,87      | 1,000                 | 100,0 %               |
| Énfasis climático  | 40-20-15-10-10-5  | 54,14      | 0,984                 | 88,9 %                |
| Énfasis equidad    | 15-15-35-25-5-5   | 65,18      | 0,952                 | 71,6 %                |
| Énfasis gobernanza | 15-15-15-10-20-25 | 58,62      | 0,763                 | 50,1 %                |
| Pesos iguales      | 1-1-1-1-1-1       | 58,47      | 0,897                 | 65,5 %                |



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

El énfasis climático conserva una correlación de rangos de 0,984 y 88,9 % de coincidencia en el decil superior. El énfasis de equidad eleva la media a 65,2 y reduce la coincidencia a 71,6 %. El énfasis de gobernanza modifica con mayor intensidad la priorización, porque asigna 25 % al dominio de presión sobre la figura de protección; la correlación cae a 0,763 y la coincidencia del decil superior a 50,1 %.



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

En la simulación Monte Carlo, la desviación estándar mediana por celda es 1,66 puntos, el percentil 95 es 1,95 y el máximo 2,35. La incertidumbre de ponderación es moderada frente al rango total del índice, pero no cubre error de medición, omisión de variables ni incertidumbre climática.

### Incertidumbre asociada exclusivamente a la ponderación

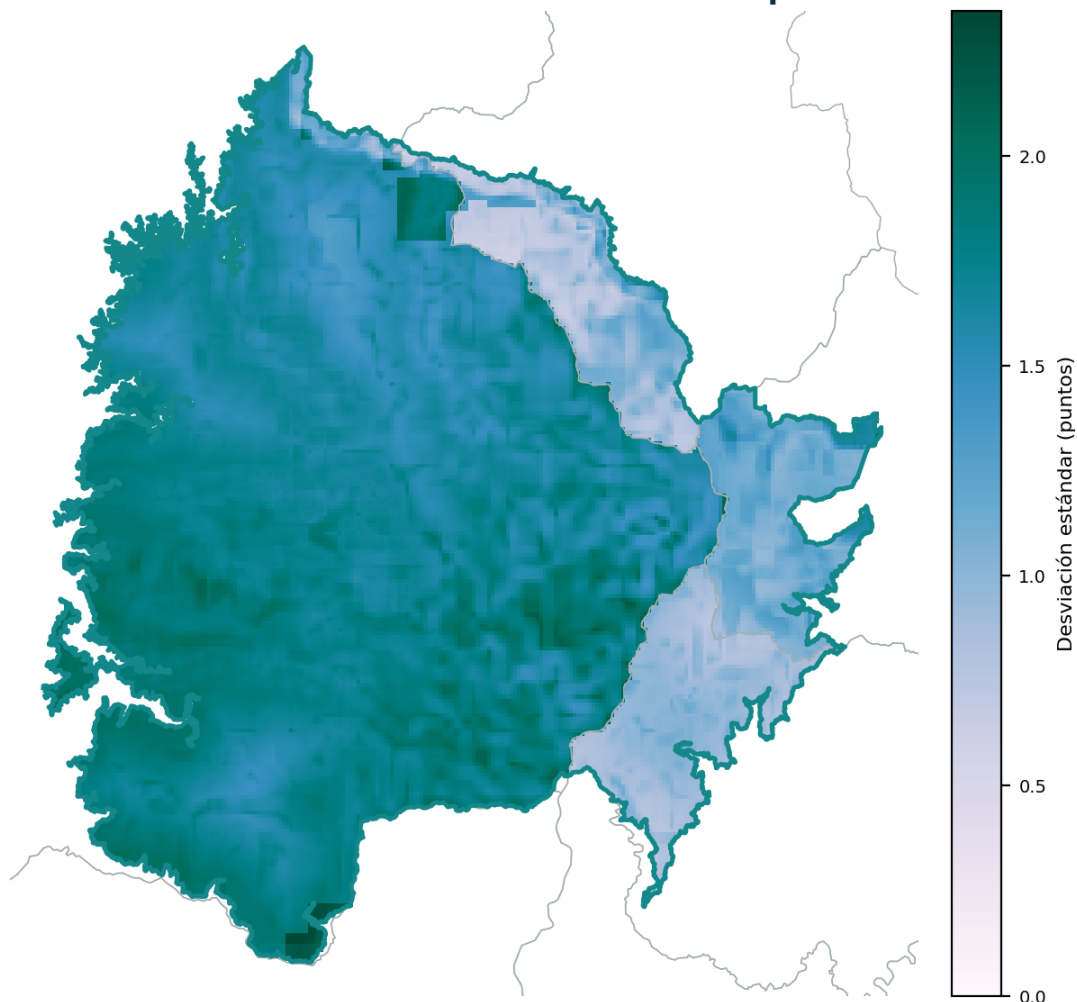


Figura 20. Distribución espacial de la incertidumbre asociada exclusivamente a la ponderación.

#### Lectura de robustez

Las zonas donde sensibilidad, capacidad y presión de borde 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, déficit de servicios y condiciones climáticas o topográficas exigentes. La vertiente Pacífica soporta gran parte de las cargas ecosistémicas y climáticas mientras mantiene menores capacidades de respuesta. La inversión, asistencia técnica y restauración deben priorizar esta desigualdad territorial.

### 7.2 Justicia de reconocimiento

La lectura geoespacial debe reconocer comunidades negras, indígenas y campesinas, acueductos comunitarios, organizaciones rurales 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 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 ofrece el marco para acceso a información, participación y justicia ambiental.

### 7.4 Justicia intergeneracional

La minería, ocupación, deforestación, fragmentación, incendios y contaminación comprometen funciones ecosistémicas futuras. Las decisiones sobre control, restauración, turismo, vías y asentamientos deben considerar impactos acumulativos y la capacidad de las generaciones futuras para mantener seguridad hídrica, biodiversidad y medios de vida.

### 7.5 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. Identifica configuraciones territoriales que deben verificarse mediante análisis causal, información sectorial, diálogo social y trabajo de campo.

## 8. Diagnóstico de sostenibilidad territorial

### 8.1 Sostenibilidad hídrica

Farallones protege nacimientos y cuencas que abastecen centros poblados y acueductos veredales. La sostenibilidad hídrica exige controlar minería y cargas contaminantes, proteger rondas, restaurar microcuencas, fortalecer monitoreo comunitario y articular captaciones, saneamiento y conservación.

### 8.2 Sostenibilidad ecosistémica

El parque conserva un gradiente completo desde selva húmeda tropical hasta páramo. La alta presión de borde del modelo señala la necesidad de conectividad, restauración y manejo de zonas de amortiguación. Las cuatro figuras superpuestas refuerzan sectores puntuales, pero no sustituyen la gestión integral.

### 8.3 Sostenibilidad social

La sensibilidad de 83,6 y el déficit de capacidad de 68,8 muestran que conservación y adaptación no pueden separarse de agua segura, educación, conectividad, energía, saneamiento y reducción de pobreza. Las intervenciones exclusivamente biofísicas pueden reproducir inequidades.

### 8.4 Sostenibilidad de infraestructura y movilidad

La baja densidad vial reduce fragmentación en áreas remotas, pero también limita acceso a servicios, respuesta a emergencias y monitoreo. La planificación debe diferenciar infraestructura esencial y resiliente de obras que inducen ocupación, turismo no regulado o presión sobre ecosistemas.

### 8.5 Sostenibilidad institucional y comunitaria

La presión sobre la figura de protección usa un proxy espacial. La gobernanza real exige medir capacidad de Parques Nacionales, CVC, municipios, consejos comunitarios, resguardos, organizaciones campesinas y acueductos; recursos de control; acuerdos; participación; cumplimiento; y acceso a justicia ambiental.

### 8.6 Matriz integrada

| Dimensión       | Estado                                   | Evidencia                                          | Implicación                                          |
|-----------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Climática       | Intermedia y variable                    | Amenaza 49,9; fuente ERA5-Land y pendiente.        | Actualizar con IDEAM y eventos extremos.             |
| Hídrica         | Estratégica y presionada                 | Objetivo de conservación; minería y ocupación.     | Justicia hídrica, monitoreo y restauración.          |
| Social          | Brecha muy alta                          | Sensibilidad 83,6; déficit de capacidad 68,8.      | Inversión social como adaptación.                    |
| Ecosistémica    | Protección nacional con borde vulnerable | Presión de protección 78,3.                        | Zonas de amortiguación y conectividad.               |
| Infraestructura | Acceso desigual                          | Exposición 38,2; grandes distancias internas.      | Respuesta a emergencias sin inducir ocupación.       |
| Gobernanza      | Información incompleta                   | Proxy de borde; territorios étnicos no integrados. | Indicadores participativos y acuerdos territoriales. |

## 9. Territorios prioritarios y plan de acción

### 9.1 Priorización territorial

| Zona                                     | Señal IGJC          | Problemas dominantes                                                                | Enfoque recomendado                                                                    |
|------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Vertiente Pacífica - Buenaventura</b> | Alta                | Sensibilidad extrema, déficit de servicios, presión ecosistémica y acceso limitado. | Justicia hídrica, acuerdos de conservación, servicios rurales, restauración y control. |
| <b>Corredor Anchicayá - Dagua</b>        | Media-alta          | Accesibilidad, vías, drenajes, presión de borde y movimientos en masa.              | Gestión del riesgo, taludes, cuencas, turismo regulado y restauración.                 |
| <b>Cuencas Cali - Meléndez - Pance</b>   | Baja-media relativa | Ocupación, uso público, minería localizada, incendios y presión periurbana.         | Control de borde, saneamiento, educación, regulación de ingreso y restauración.        |
| <b>Alta montaña y páramo</b>             | Variable            | Fragilidad ecosistémica, acceso difícil y cambio climático.                         | Monitoreo climático, protección estricta y prevención de incendios.                    |

### 9.2 Acciones inmediatas: 0-12 meses

- Conformar mesa técnica y comunitaria de validación del IGJC con Parques Nacionales, FEJUC, CVC, municipios y representación territorial.
- Verificar en campo el decil superior y documentar minería, ocupación, incendios, captaciones, saneamiento, movilidad, organizaciones y servicios.
- Actualizar clima con capas oficiales IDEAM y materializar aridez, balance hídrico, evapotranspiración, incendios y movimientos en masa.
- Integrar cartografía de resguardos indígenas, consejos comunitarios, zonificación de manejo y acuerdos de restauración.
- Publicar metadatos, versión, licencias, rangos y bitácora de cambios de la plataforma.
- Cruzar resultados con el Plan de Manejo, POMCA, gestión del riesgo municipal y proyectos de inversión.

### 9.3 Acciones de corto plazo: 1-3 años

- Diseñar un programa de justicia hídrica y saneamiento rural para las veredas prioritarias.
- Implementar restauración ecológica participativa y control de erosión en microcuencas y corredores de borde.
- Fortalecer conectividad, educación climática, monitoreo y sistemas de alerta comunitarios.
- Evaluar resiliencia de vías, puentes, taludes, senderos y drenajes ante lluvias extremas.
- Consolidar acuerdos de conservación y alternativas económicas compatibles con los objetivos del parque.

9.4 Acciones estructurales: 3-10 años

- Consolidar financiación plurianual para control, restauración, monitoreo y gobernanza del PNN.
- Eliminar focos de minería y reducir cargas contaminantes con garantías sociales y debido proceso.
- Fortalecer zonas de amortiguación y conectividad con otras áreas protegidas y estrategias complementarias de conservación.
- Asegurar participación vinculante de comunidades en restauración, turismo, infraestructura y distribución de beneficios.
- Integrar escenarios climáticos SSP, cambios de cobertura y proyecciones de población para planificación prospectiva.

9.5 Matriz de gestión

| Línea                         | Actores principales                                    | Indicador de avance                          | Horizonte |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------|
| Validación territorial        | FEJUC, PNN, comunidades, CVC, municipios               | Actas, mapas participativos y ajustes        | 12 meses  |
| Actualización climática       | IDEAM, academia, FEJUC                                 | Capas oficiales y cobertura >95 %            | 18 meses  |
| Justicia hídrica              | CVC, municipios, acueductos comunitarios               | Calidad, continuidad y cobertura             | 36 meses  |
| Restauración y borde          | PNN, CVC, comunidades                                  | Hectáreas y tramos restaurados               | 5 años    |
| Control de presiones          | PNN, Fiscalía, fuerza pública, autoridades             | Focos intervenidos y recuperación verificada | Continuo  |
| Gobernanza étnica y campesina | MinInterior, ANT, consejos, resguardos, organizaciones | Cartografía, acuerdos y participación        | 3 años    |
| Monitoreo abierto             | FEJUC y aliados                                        | Versiones anuales del IGJC                   | Anual     |

**Criterio de implementación**

Las acciones de control deben combinar protección estricta del área con participación, alternativas compatibles, garantías de derechos y diferenciación de responsabilidades. El IGJC no puede utilizarse como prueba individual de infracción.

## 10. Conclusiones

1. El PNN Farallones de Cali registra un IGJC de 55,9, nivel medio, pero el resultado agregado oculta una desigualdad territorial marcada. La vertiente Pacífica y Buenaventura concentran las mayores brechas.
2. El 86,3 % de la malla está en niveles medio o alto. El nivel alto representa 48,2 % y constituye la categoría dominante del parque.
3. La sensibilidad socioeconómica, con 83,6, es el condicionante estructural más importante; el déficit de capacidad adaptativa alcanza 68,8. La conservación requiere servicios, educación, conectividad y reducción de pobreza.
4. La presión sobre la figura de protección alcanza 78,3, pero no significa ausencia de protección legal. Mide cercanía al borde y falta de superposición de figuras adicionales; debe evolucionar hacia un indicador real de gobernanza y efectividad.
5. Buenaventura reúne 79,4 % de las celdas y un promedio de 60,9. Por su peso territorial, las limitaciones de datos sociales municipales influyen de forma decisiva en el resultado general.
6. La fuente climática es la principal restricción de esta versión. ERA5-Land y el DEM permiten una línea base, pero deben ser sustituidos por capas oficiales IDEAM y variables de eventos extremos.
7. La malla de 250 m mejora la lectura espacial, aunque no aumenta la resolución real de variables municipales o climáticas gruesas. La precisión cartográfica debe distinguirse de la precisión temática.
8. La priorización es moderadamente robusta frente a perturbaciones de pesos, con desviación mediana de 1,66 puntos. Las diferencias entre escenarios muestran que las decisiones de ponderación deben ser participativas y documentadas.
9. CELESTE GEOImpact constituye una herramienta transparente y reproducible para control social y planificación, siempre que se mantenga versionada, participativa y vinculada a instrumentos oficiales del PNN.

# 11. Limitaciones, validez y uso responsable

| Limitación               | Implicación                                                                                                                 |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Clima no oficial         | ERA5-Land 2015-2024 sustituye temporalmente las consultas IDEAM; la resolución de ~9 km es insuficiente para el relieve.    |
| Cobertura de amenaza     | Aridez, balance hídrico y evapotranspiración no se materializaron; el dominio tiene 74 % de cobertura temática.             |
| Escala social            | Varias variables sociales y de servicios son municipales; su réplica en celdas no implica variación submunicipal observada. |
| Pobreza rural            | Registros rurales con valor cero fueron tratados como faltantes; el IPM activo es principalmente municipal/urbano agregado. |
| Exposición               | No existe una capa de población georreferenciada activa; se emplean proxies de vías, escuelas y drenajes.                   |
| Cartografía colaborativa | OSM tiene baja densidad dentro del parque, por lo que exposición y presión pueden subestimarse en zonas poco mapeadas.      |
| Gobernanza               | No se incorporaron territorios étnicos, zonificación de manejo, acuerdos ni capacidad institucional.                        |
| Límites municipales      | Los contactos digitales con Cauca son marginales y requieren validación; no modifican la declaratoria legal.                |
| Riesgo formal            | El IGJC no sustituye estudios reglamentarios de amenaza y riesgo, plan de manejo ni conceptos de autoridad.                 |
| Incertidumbre            | El Monte Carlo evalúa pesos, no error de medición, elección de indicadores ni dependencia espacial.                         |
| Causalidad               | El índice identifica asociaciones y prioridades; no demuestra relaciones causales ni infracciones.                          |

**Condición de uso responsable**

No utilizar el IGJC para negar derechos, excluir comunidades, imponer cargas, valorar predios, ordenar desalojos o adoptar sanciones. Su uso apropiado es orientar diagnóstico, participación, inversión, investigación, restauración y seguimiento, con verificación de campo, competencia institucional y garantías de debido proceso.

## 12. Recomendaciones para evolución e institucionalización

### 12.1 Mejoras científicas

- Sustituir ERA5-Land por climatología oficial IDEAM y agregar escenarios futuros y eventos extremos.
- Incorporar población y edificaciones georreferenciadas con protección de datos.
- Sustituir proxies municipales por información censal o participativa submunicipal.
- Incluir calidad de agua, erosión, movimientos en masa, incendios y cambios de cobertura con resolución oficial.
- Aplicar validación cruzada, análisis espacial y comparación con daños o presiones observadas.

### 12.2 Mejoras de gobernanza

- Construir indicadores participativos de capacidad organizativa, incidencia, acceso a información y justicia ambiental.
- Integrar resguardos, territorios colectivos, acuerdos campesinos y zonificación del Plan de Manejo.
- Crear comité metodológico con PNN, academia, comunidades, autoridades y FEJUC.
- Publicar actas de cambio de pesos, inclusión de capas y decisiones metodológicas.

### 12.3 Mejoras tecnológicas

- Separar explícitamente datos, modelo, estilos y versión de interfaz.
- Incluir metadatos descargables por celda y vereda.
- Implementar pruebas automáticas de integridad, rutas, valores y geometrías antes de cada despliegue.
- Conservar hash y copia archivada de cada versión publicada.
- Añadir comparación temporal y reporte PDF automatizado.

### 12.4 Indicadores de seguimiento

| Indicador                | Línea base                        | Meta sugerida                                                                  |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Actualización climática  | ERA5-Land; cobertura amenaza 74 % | IDEAM y eventos extremos; cobertura >95 %.                                     |
| Validación comunitaria   | No consolidada                    | Cobertura de veredas prioritarias y publicación de ajustes.                    |
| Variables submunicipales | Limitadas                         | IPM, servicios, población y educación a unidad censal o comunitaria.           |
| Gobernanza               | Proxy de borde                    | Índice específico de participación y capacidad institucional/comunitaria.      |
| Versionamiento           | v1.0                              | Repositorio de versiones, hashes y notas de cambio.                            |
| Uso en planificación     | Exploratorio                      | Citas y adopción técnica en plan de manejo, POMCA, proyectos y control social. |

## 13. Autoría, derechos de propiedad intelectual y protección del desarrollo

### 13.1 Elementos protegibles

Conforme al régimen andino, son protegibles la redacción original, el manual metodológico, el código fuente y objeto, la interfaz gráfica original, los mapas y visualizaciones, y la selección o disposición original de la base de datos. Las fuentes oficiales y de terceros mantienen sus propios derechos, términos de uso, licencias y deberes de atribución.

### 13.2 Elementos no monopolizables por derecho de autor

No se protege la idea abstracta de construir un índice, las fórmulas matemáticas en sí mismas, los métodos generales, los hechos, los datos oficiales ni el conocimiento técnico subyacente. La protección recae en la forma concreta, original y verificable en que FEJUC y Juan Sebastián Debia expresan, implementan, documentan y organizan el desarrollo.

### 13.3 Recomendaciones de formalización

- Suscribir un acuerdo escrito entre Juan Sebastián Debia y FEJUC que defina autoría moral, derechos patrimoniales, licencias, mantenimiento, explotación, sublicencias y uso de marca.
- Registrar ante la DNDI, en expedientes diferenciados cuando corresponda, el software, este informe/manual, las piezas cartográficas y la base de datos original.
- Conservar evidencias de creación: repositorios, fechas, hashes, archivos fuente, actas, correos y versiones de despliegue.
- Incluir avisos de atribución y licencias de terceros dentro de la plataforma y en los paquetes descargables.
- Definir una licencia de uso público que permita consulta y citación, pero prohíba apropiación de marca, supresión de créditos o redistribución engañosa.

### 13.4 Aviso recomendado para la plataforma

#### Texto sugerido

© 2026 Federación para la Justicia Climática (FEJUC) y Juan Sebastián Debia. CELESTE GEOImpact y sus contenidos originales están protegidos por las normas aplicables de derecho de autor. Los datos oficiales y de terceros conservan sus respectivas licencias y atribuciones. Se permite la consulta y citación con reconocimiento de la fuente; no se autoriza suplantar la autoría, eliminar créditos, usar la marca sin autorización ni presentar resultados modificados como oficiales.

## 14. Referencias

1. Colombia. Congreso de la República. (1959). Ley 2 de 1959 sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables.
2. Colombia. Congreso de la República. (2018). Ley 1931 de 2018, por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático.
3. Colombia. Congreso de la República. (2022). Ley 2273 de 2022, por medio de la cual se aprueba el Acuerdo de Escazú.
4. Comisión de la Comunidad Andina. (1993). Decisión 351: Régimen común sobre derecho de autor y derechos conexos.
5. Parques Nacionales Naturales de Colombia. (1968). Resolución 092 de 1968 y Decreto 282 de 1968, declaratoria del PNN Farallones de Cali.
6. Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2007). Resolución 049 de 2007, por medio de la cual se adopta el Plan de Manejo del PNN Farallones de Cali.
7. Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2018). Resolución 193 de 2018, medidas de control para mitigar presiones antrópicas en el PNN Farallones de Cali.
8. Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2026). Ficha pública del Parque Nacional Natural Farallones de Cali y Registro Único Nacional de Áreas Protegidas - RUNAP.
9. Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2024). Acciones para proteger el PNN Farallones de Cali de la minería ilegal y acuerdos de restauración participativa.
10. Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 y Marco Geoestadístico Nacional.
11. Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2024). Marco Geoestadístico Nacional: división veredal.
12. Copernicus Climate Change Service. (2026). ERA5-Land hourly data and derived 2015-2024 normals used as temporary climate source.
13. Copernicus Programme / Open-Meteo. (2026). Digital elevation data used for altitudinal correction and slope derivation.
14. OpenStreetMap contributors. (2026). OpenStreetMap data extract used in CELESTE GEOImpact.
15. Federación para la Justicia Climática - FEJUC; Debia, J. S. (2026). CELESTE GEOImpact: Índice de Justicia Climática del PNN Farallones de Cali. <https://farallones.fejuc.org/>
16. IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report.
17. Reid, C. E., et al. (2021). A geospatial approach to identifying populations vulnerable to climate-related health impacts. *Environmental Health*, 20.
18. Schlosberg, D., & Collins, L. B. (2014). From environmental to climate justice. *WIREs Climate Change*, 5(3), 359-374.

# Anexo A. Metadatos de indicadores y rangos de normalización

| Indicador            | Dominio(s)          | P2        | P98       | Dirección |
|----------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| Precipitacion        | Amenaza             | 6.417,86  | 21.795,74 | Directo   |
| Temperatura          | Amenaza             | 8,90      | 24,38     | Directo   |
| Aridez               | Amenaza, presión    | Sin dato  | Sin dato  | Directo   |
| Deficit Hidrico      | Amenaza             | Sin dato  | Sin dato  | Directo   |
| Exceso Hidrico       | Amenaza             | Sin dato  | Sin dato  | Directo   |
| Evapotranspiracion   | Amenaza             | Sin dato  | Sin dato  | Directo   |
| Densidad Vias        | Exposición, presión | 0,00      | 23,12     | Directo   |
| Densidad Escuelas    | Exposición          | 0,00      | 0,01      | Invertido |
| Densidad Drenaje     | Exposición          | 0,00      | 64,88     | Directo   |
| Prox Drenaje         | Exposición, presión | 0,00      | 6.492,64  | Directo   |
| Prox Via Primaria    | Presión             | 10.113,96 | 59.714,99 | Invertido |
| Dist Via             | Capacidad           | 853,55    | 42.634,78 | Directo   |
| Dist Escuela         | Capacidad           | 1.103,55  | 25.571,07 | Directo   |
| lpm                  | Sensibilidad        | 9,30      | 30,20     | Directo   |
| Analfabetismo        | Sensibilidad        | 5,71      | 20,47     | Directo   |
| Sin Acueducto        | Capacidad           | 1,02      | 26,83     | Directo   |
| Sin Alcantarillado   | Capacidad           | 2,20      | 55,27     | Directo   |
| Sin Energia          | Capacidad           | 0,27      | 9,20      | Directo   |
| Sin Internet         | Capacidad           | 28,67     | 84,93     | Directo   |
| Deficit Educacion    | Sensibilidad        | 4,02      | 4,02      | Invertido |
| Altitud              | Contexto            | 266,93    | 3.313,66  | Directo   |
| Pendiente            | Amenaza / contexto  | 2,11      | 24,93     | Directo   |
| Presion Borde        | Protección          | 250,00    | 16.750,00 | Invertido |
| Sin Figura Adicional | Protección          | 0,30      | 1,00      | Directo   |

# Anexo B. Resultados municipales detallados

| Municipio      | IGJC  | Amenaza | Exposición | Sensibilidad | Capacidad | Presión | Prot. | Celdas |
|----------------|-------|---------|------------|--------------|-----------|---------|-------|--------|
| Buenaventura   | 60,93 | 54,3    | 38,4       | 100,0        | 78,7      | 27,5    | 75,0  | 25.067 |
| Dagua          | 49,44 | 35,3    | 42,3       | 43,3         | 68,6      | 57,8    | 90,6  | 2.162  |
| Buenos Aires   | 46,32 | 28,5    | 35,0       | 50,7         | 86,2      | 27,6    | 100,0 | 2      |
| Jamundí        | 31,24 | 29,6    | 38,8       | 9,8          | 20,6      | 43,6    | 89,5  | 2.231  |
| Cali           | 28,27 | 33,0    | 32,1       | 7,5          | 1,9       | 47,7    | 92,9  | 2.098  |
| López de Micay | —     | —       | —          | —            | —         | —       | —     | 0      |

Nota: los resultados corresponden exclusivamente a celdas cuyo centro cae dentro del parque y de la unidad municipal o veredal asignada. Buenos Aires se soporta en dos celdas. López de Micay presenta contacto geométrico marginal, pero no contiene centros de celda en esta malla; no se calcula promedio.

## Anexo C. Veredas con mayores y menores promedios

| Vereda                | Municipio    | IGJC  | Celdas | Grupo          |
|-----------------------|--------------|-------|--------|----------------|
| Silva                 | Buenaventura | 62,69 | 339    | Alta prioridad |
| Llano Bajo            | Buenaventura | 62,16 | 5.745  | Alta prioridad |
| San Isidro            | Buenaventura | 60,56 | 18.175 | Alta prioridad |
| El Pital              | Buenaventura | 60,09 | 94     | Alta prioridad |
| La Cascada            | Buenaventura | 59,80 | 714    | Alta prioridad |
| El Danubio            | Dagua        | 55,76 | 49     | Alta prioridad |
| La Cascada            | Dagua        | 49,91 | 451    | Alta prioridad |
| El Queremal           | Dagua        | 49,68 | 724    | Alta prioridad |
| La Elsa               | Dagua        | 48,69 | 938    | Alta prioridad |
| El Naya               | Buenos Aires | 46,32 | 2      | Alta prioridad |
| El Cabuyal            | Cali         | 34,61 | 43     | Alta prioridad |
| San Antonio           | Jamundí      | 32,49 | 1.477  | Alta prioridad |
| El Carmen             | Cali         | 32,32 | 18     | Alta prioridad |
| Villacarmelo Cabecera | Cali         | 31,29 | 14     | Alta prioridad |
| El Rosario            | Cali         | 31,10 | 1      | Alta prioridad |
| La Voragine           | Cali         | 29,70 | 29     | Alta prioridad |
| La Candelaria         | Cali         | 29,50 | 196    | Alta prioridad |

| Vereda            | Municipio | IGJC  | Celdas | Grupo                    |
|-------------------|-----------|-------|--------|--------------------------|
| El Porvenir       | Cali      | 22,05 | 1      | Menor prioridad relativa |
| Quebrada Honda    | Cali      | 22,91 | 47     | Menor prioridad relativa |
| El Faro           | Cali      | 23,01 | 3      | Menor prioridad relativa |
| El Otoño          | Cali      | 24,37 | 1      | Menor prioridad relativa |
| Pueblo Nuevo      | Cali      | 25,21 | 46     | Menor prioridad relativa |
| Dos Quebradas     | Cali      | 26,08 | 2      | Menor prioridad relativa |
| Peñas Blancas     | Cali      | 26,32 | 136    | Menor prioridad relativa |
| Pichindé Cabecera | Cali      | 26,68 | 42     | Menor prioridad relativa |
| Los Andes         | Cali      | 26,76 | 165    | Menor prioridad relativa |
| El Pato           | Cali      | 27,13 | 129    | Menor prioridad relativa |
| El Diamante       | Cali      | 27,31 | 192    | Menor prioridad relativa |
| Puente Velez      | Jamundí   | 27,98 | 40     | Menor prioridad relativa |
| Carpatos          | Cali      | 28,27 | 408    | Menor prioridad relativa |
| San Francisco     | Cali      | 28,64 | 48     | Menor prioridad relativa |
| La Meseta         | Jamundí   | 28,79 | 596    | Menor prioridad relativa |
| San Vicente       | Jamundí   | 29,12 | 118    | Menor prioridad relativa |
| Pance Cabecera    | Cali      | 29,38 | 577    | Menor prioridad relativa |

### Interpretación

“Menor prioridad relativa” no significa ausencia de riesgo, valor ecológico o necesidad de conservación. La clasificación expresa posición dentro del modelo y de esta versión de datos; el PNN mantiene un régimen de protección integral.

# Anexo D. Figuras protegidas y contactos territoriales

| Nombre        | Categoría RUNAP                            | Organización                                      | Área total (ha) | Intersección (ha) |
|---------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Río Anchicayá | Reservas Forestales Protectoras Nacionales | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible    | 75.306,02       | 29,74             |
| Río Cali      | Reservas Forestales Protectoras Nacionales | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible    | 4.328,63        | 18,52             |
| Río Meléndez  | Reservas Forestales Protectoras Nacionales | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible    | 1.817,60        | 11,27             |
| Pance         | Distritos Regionales de Manejo Integrado   | Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca | 1.405,21        | 1,47              |

## Contactos municipales del polígono

| Municipio      | Condición en el paquete      | Celdas | Lectura                                                    |
|----------------|------------------------------|--------|------------------------------------------------------------|
| Buenaventura   | Intersección principal       | 25.067 | 79,4 % de la malla; promedio representativo de la porción. |
| Jamundí        | Intersección                 | 2.231  | 7,1 % de la malla.                                         |
| Dagua          | Intersección                 | 2.162  | 6,9 % de la malla.                                         |
| Cali           | Intersección                 | 2.098  | 6,6 % de la malla.                                         |
| Buenos Aires   | Contacto marginal            | 2      | No permite inferencia municipal.                           |
| López de Micay | Contacto geométrico marginal | 0      | Sin centro de celda; verificar con límite oficial.         |

**Precaución jurídica y cartográfica**

La declaratoria y los actos de manejo identifican Cali, Jamundí, Dagua y Buenaventura. Los contactos digitales con Cauca derivan de la superposición de versiones cartográficas y no constituyen una modificación de límites ni jurisdicción.

# Anexo D. Auditoría de cobertura y variables municipales

| 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 | 81 %               | IPM rural incompleto y educación con disponibilidad limitada.       |
| Capacidad    | 100 %              | Servicios municipales y distancias espaciales.                      |
| Presión      | 80 %               | Aridez no disponible; pesos redistribuidos.                         |
| Protección   | 100 %              | Presión de borde y figura adicional superpuesta.                    |

## Variables socioeconómicas municipales integradas

| Municipio      | IPM  | Acueducto | Alcantarillado | Internet | Analfabetismo |
|----------------|------|-----------|----------------|----------|---------------|
| Buenos Aires   | 22,4 | 52,0 %    | 16,5 %         | 2,1 %    | 10,2 %        |
| López de Micay | 39,5 | 11,6 %    | 10,9 %         | 0,3 %    | 26,4 %        |
| 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 %   | 9,6 %         |

## Auditoría de fuente climática

| Componente         | Fuente usada        | Resolución / tratamiento      | Estado        |
|--------------------|---------------------|-------------------------------|---------------|
| Precipitación      | ERA5-Land 2015-2024 | ~9 km; interpolación IDW      | 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

- Conservar copia del polígono RUNAP y registrar fuente, fecha, versión y hash.
- Instalar el entorno Python y ejecutar los scripts de adquisición/preparación con dependencias versionadas.
- Validar geometrías, CRS, conteo de entidades y cobertura de atributos.
- Construir malla de 250 m y verificar el conteo de 31.560 celdas para la versión 1.0.
- Calcular indicadores crudos, normalización P2-P98 y registrar rangos.
- Componer dominios con redistribución por datos disponibles.
- Exportar igjc\_grid.json, igjc\_veredas.geojson, municipios\_igjc.geojson e igjc\_meta.json.
- Ejecutar pruebas de integridad de módulos, rutas, JSON/GeoJSON y sintaxis JavaScript.
- Desplegar en entorno de prueba, comparar estadísticas y cartografía con la versión aprobada.
- Publicar paquete, hash, fecha, nota de cambios, fuentes climáticas y responsables.

## Valores de control de la versión 1.0

| Control                          | Valor esperado                 |
|----------------------------------|--------------------------------|
| Celdas                           | 31.560                         |
| Tamaño de celda                  | 250 m                          |
| Veredas                          | 34                             |
| Figuras adicionales superpuestas | 4                              |
| Área de malla                    | 197.250 ha                     |
| Media IGJC                       | 55,8733                        |
| Mediana                          | 59,7750                        |
| Mínimo / máximo                  | 16,2100 / 80,2250              |
| Altitud mínima / máxima          | 72 / 3.809 m                   |
| Pendiente mínima / máxima        | 0,1 / 36,5°                    |
| Fuente climática                 | ERA5-Land 2015-2024 (temporal) |