

**Universidad de Costa Rica**

**Escuela de Estadística**

**Desarrollo metodológico para el cálculo del Índice de Desempeño Ambiental Cantonal  
(IDAC)**

**Práctica Profesional II**

**XS-4430**

**Yanancy Navarro Cerdas**

**B44898**

**5 de diciembre del 2025**

**II Semestre**

## Resumen Ejecutivo

El Índice de Desempeño Ambiental Cantonal (IDAC) se desarrolló como una herramienta metodológica destinada a evaluar y comparar las condiciones ambientales de los cantones de Costa Rica, mediante un enfoque alineado con estándares internacionales y ajustado a la disponibilidad de datos nacionales. Su creación responde a la necesidad de contar con un instrumento actualizado, replicable y capaz de reflejar las diferencias territoriales en materia ambiental, superando limitaciones del Índice de Sostenibilidad Ambiental Cantonal (ISAC), cuya dependencia de información censal restringe su periodicidad y comparabilidad.

El proyecto adaptó la estructura conceptual y metodológica del *Environmental Performance Index (EPI)* al nivel subnacional costarricense. Este proceso implicó analizar la pertinencia y calidad de diversas fuentes de datos ambientales nacionales, identificar vacíos de información y seleccionar cinco indicadores viables para una versión piloto del IDAC: cobertura forestal (FA), áreas protegidas (TPA), áreas clave de biodiversidad (TKP), residuos per cápita (WPC) y tasa de recuperación de residuos (WRR). La normalización se realizó mediante escalas min-max y se aplicó la media geométrica como método de agregación, con el fin de garantizar coherencia metodológica y penalizar desempeños desbalanceados.

Los resultados muestran un panorama ambiental predominantemente bajo o moderado. El IDAC nacional promedió 0.27, con valores cantonales que oscilaron entre 0.01 y 0.76, lo que evidencia brechas territoriales importantes. Las provincias de Cartago y Heredia alcanzaron los mejores desempeños, mientras que Guanacaste, Puntarenas y Limón concentraron los puntajes más bajos. Los análisis revelan que la cobertura forestal (FA) y la tasa de recuperación de residuos (WRR) son los indicadores que más influyen en las diferencias cantonales, destacando la necesidad de fortalecer la gestión de residuos y la protección de ecosistemas como prioridades estratégicas.

La versión piloto del IDAC permitió validar la coherencia conceptual del índice y demostrar su potencial como instrumento de monitoreo territorial. No obstante, el proceso reveló limitaciones relevantes en cuanto a la disponibilidad, calidad y periodicidad de los datos ambientales, lo que restringió la incorporación de dimensiones claves como calidad del aire, cambio climático y biodiversidad avanzada. Por ello, se recomienda fortalecer los sistemas nacionales de información ambiental, mejorar la articulación interinstitucional y ampliar progresivamente el conjunto de indicadores empleados.

En conjunto, el IDAC constituye un avance significativo hacia la consolidación de un sistema integral de evaluación ambiental cantonal en Costa Rica. Aunque requiere ampliaciones metodológicas y mayor cobertura de datos, sus resultados ofrecen un insumo valioso para la formulación de políticas públicas, la priorización territorial y el fortalecimiento de la gestión ambiental local.

## Índice de contenidos

Introducción .....	1
Marco Teórico-Conceptual .....	1
Principales aspectos metodológicos .....	4
Resultados .....	6
Conclusión.....	12
Bibliografía .....	12

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Resumen nacional del Índice de Desempeño Ambiental Cantonal (IDAC): promedio, valores mínimo y máximo, y número de cantones evaluados. ....	6
Ilustración 2. Distribución del Índice de Desempeño Ambiental Cantonal en los 84 cantones de Costa Rica. ....	6
Ilustración 3. Promedio del IDAC por provincia. ....	7
Ilustración 4. Promedios provinciales de TPA, TKP y FA. ....	8
Ilustración 5. Ranking cantonal del IDAC (mejores). ....	8
Ilustración 6. Ranking cantonal del IDAC (peores). ....	9
Ilustración 7. Relación entre WPC, WRR e IDAC. ....	10
Ilustración 8. Relación entre FA e IDAC. ....	10
Ilustración 9. Relación entre TPA e IDAC.....	11
Ilustración 10. Relación entre TKP e IDAC.....	11

## Introducción

El Índice de Desempeño Ambiental Cantonal (IDAC) surge como una iniciativa para fortalecer la capacidad analítica y de monitoreo del desempeño ambiental en Costa Rica desde una perspectiva territorial. Su desarrollo responde a la necesidad de contar con un instrumento metodológicamente robusto que permita evaluar, comparar y visibilizar las diferencias en las condiciones ambientales entre cantones, y al mismo tiempo ofrecer una herramienta técnica que oriente la toma de decisiones en la gestión ambiental local. Actualmente, el país cuenta con el Índice de Sostenibilidad Ambiental Cantonal (ISAC); sin embargo, su dependencia de los datos censales, su baja periodicidad de actualización y su limitada comparabilidad internacional restringen su utilidad para un seguimiento continuo y para la alineación con metodologías globales.

Ante estas limitaciones, el proyecto se propuso adaptar la estructura conceptual y metodológica del *Environmental Performance Index* (EPI), desarrollado por Yale, al nivel subnacional costarricense. La articulación entre ambos marcos permite no solo fortalecer la consistencia técnica del IDAC, sino también situar el desempeño ambiental cantonal en un contexto más amplio y comparable. Para ello, ha sido fundamental realizar un análisis exhaustivo de la disponibilidad, pertinencia y calidad de los datos ambientales generados por instituciones nacionales, así como evaluar la necesidad de emplear indicadores proxy o proyecciones en dimensiones donde la información resulta insuficiente o inexistente.

En este contexto, el objetivo general del proyecto consiste en desarrollar una metodología robusta para el cálculo del Índice de Desempeño Ambiental Cantonal (IDAC) en Costa Rica, basada en el análisis y adaptación del Índice de Desempeño Ambiental (EPI) global y la integración de fuentes de datos nacionales disponibles, con el fin de identificar las particularidades territoriales y coadyuvar con la gestión ambiental local hacia el desarrollo sostenible.

De manera complementaria, se definieron los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar y comparar la estructura metodológica del EPI y del ISAC para evaluar su compatibilidad y establecer los fundamentos conceptuales del IDAC.
2. Identificar, compilar y evaluar la pertinencia de fuentes de información nacionales y sectoriales disponibles para la construcción del índice.
3. Diseñar una propuesta metodológica preliminar que incluya dimensiones e indicadores adaptados al nivel cantonal, incorporando proxys o proyecciones cuando existan vacíos de información.

En conjunto, estos objetivos orientan el desarrollo del IDAC como una primera aproximación metodológica hacia un sistema de medición ambiental cantonal más robusto, actualizado y comparable, que pueda servir como insumo para futuras mejoras institucionales en la producción y calidad de datos ambientales en Costa Rica.

## Marco Teórico-Conceptual

La medición del desempeño ambiental constituye un componente fundamental para orientar la toma de decisiones públicas, promover la gestión sostenible de los recursos naturales y evaluar el avance hacia compromisos internacionales en materia ambiental. En este contexto, los índices se han convertido en herramientas ampliamente utilizadas, ya que permiten integrar información diversa en una métrica comprensible que facilita la comparación entre unidades territoriales o países. El desarrollo del Índice de

Desempeño Ambiental Cantonal (IDAC) se sustenta en estos principios y representa un esfuerzo por adaptar metodologías internacionales al nivel subnacional costarricense.

## **1. Desarrollo sostenible y desempeño ambiental**

El concepto de desarrollo sostenible, ampliamente difundido desde el Informe Brundtland (1987), establece la necesidad de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. Dentro de este paradigma, el desempeño ambiental se refiere al grado en que un territorio protege sus ecosistemas, gestiona eficientemente sus recursos y mitiga impactos ambientales. Para evaluar este desempeño, se requiere contar con información periódica, confiable y comparable en múltiples dimensiones, tales como calidad del aire, manejo de residuos, biodiversidad, uso del suelo y cambio climático.

En este marco, los índices ambientales permiten sintetizar fenómenos complejos y multifactoriales, facilitando el análisis de tendencias y la identificación de brechas territoriales. Su utilidad, no obstante, depende de la solidez metodológica con que se seleccionan los indicadores, se normalizan los datos y se aplican criterios de ponderación y agregación.

## **2. Índices ambientales como herramientas de medición**

Los índices compuestos se estructuran a partir de indicadores individuales que representan dimensiones específicas del desempeño ambiental. Para asegurar su consistencia metodológica, deben cumplir con tres principios fundamentales:

- Pertinencia: cada indicador debe reflejar un componente real, relevante y medible de la dimensión ambiental que representa.
- Comparabilidad: los datos deben ser normalizados a escalas homogéneas para permitir comparaciones válidas entre territorios.
- Transparencia metodológica: la forma en que se integran los indicadores (ponderación, agregación, manejo de valores faltantes) debe ser clara, replicable y conceptualmente justificada.

Estos principios son especialmente relevantes en contextos subnacionales, donde las brechas de información son más frecuentes y donde la comparabilidad entre unidades territoriales depende críticamente de la calidad y disponibilidad de los datos.

## **3. El Environmental Performance Index (EPI): bases conceptuales**

El Environmental Performance Index (EPI), desarrollado por Yale y otras instituciones, constituye una de las métricas globales más influyentes en el estudio del desempeño ambiental. Su estructura combina múltiples dimensiones agrupadas en temas como salud ambiental, vitalidad de los ecosistemas y mitigación del cambio climático. Cada indicador del EPI sigue un proceso metodológico riguroso que incluye: selección conceptual basada en evidencia científica; normalización mediante funciones que reflejan metas ambientales; ponderación diferenciada según la importancia relativa de cada dimensión; agregación utilizando generalmente promedios geométricos, que penalizan desempeños desbalanceados.

El valor del EPI como marco conceptual para el IDAC radica en su robustez metodológica, su transparencia y su amplia aceptación internacional. Adaptarlo al nivel cantonal implica identificar cuáles de sus indicadores pueden replicarse con datos nacionales, cuáles requieren proxys y cuáles no pueden incorporarse por limitaciones estructurales de información.

## **4. El Índice de Sostenibilidad Ambiental Cantonal (ISAC): aportes y limitaciones**

En Costa Rica, el principal antecedente subnacional es el ISAC, desarrollado por la Universidad de Costa Rica. Este índice ha permitido aproximar el desempeño ambiental cantonal, pero presenta limitaciones importantes: depende significativamente de información censal, lo que reduce su frecuencia de actualización; incorpora indicadores cuya disponibilidad y periodicidad no son consistentes; presenta dificultades de comparabilidad temporal; su alineación conceptual con metodologías globales es limitada.

Estas debilidades sustentan la necesidad de una propuesta metodológica nueva, más flexible y actualizable, que respete buenas prácticas internacionales sin perder pertinencia territorial.

## 5. Fundamentación conceptual del IDAC

El IDAC se concibe como un índice sintético que permite evaluar el desempeño ambiental de los cantones de Costa Rica mediante un esquema metodológico inspirado en el EPI y adaptado a la realidad nacional. Conceptualmente, el IDAC se estructura bajo los siguientes principios:

- Adaptabilidad: seleccionar indicadores viables según la disponibilidad nacional de datos.
- Consistencia metodológica: emplear procedimientos de normalización y agregación alineados con buenas prácticas internacionales.
- Enfoque territorial: resaltar heterogeneidades cantonales y permitir análisis comparativos entre regiones del país.
- Actualización periódica: evitar dependencias de datos de baja frecuencia y promover la integración con sistemas nacionales de información.
- Integración de proxys: cuando la información directa no existe, utilizar variables sustitutas que representen razonablemente la dimensión ambiental original, manteniendo claridad sobre su incertidumbre.

## 6. Conceptos clave para la construcción del IDAC

**Indicador ambiental:** Variable cuantitativa que representa un componente específico del desempeño ambiental (p. ej., residuos per cápita, tasa de recuperación, cobertura forestal).

**Normalización:** Proceso que transforma los indicadores a una escala común para permitir comparaciones entre cantones. En el IDAC, se emplea la normalización min–max o funciones derivadas del EPI según el indicador.

**Ponderación:** Asignación de pesos relativos a cada indicador o dimensión según su importancia conceptual. Puede ser uniforme o diferenciada; en este proyecto, se prioriza la simplicidad y la coherencia con el EPI.

**Agregación:** Proceso matemático mediante el cual se combinan los indicadores normalizados. El IDAC adopta la media geométrica, dado que penaliza desempeños desbalanceados y favorece la consistencia metodológica.

**Proxys y proyecciones:** Variables sustitutas que permiten representar dimensiones sin datos directos. Su uso introduce incertidumbre, por lo que deben estar plenamente justificadas y documentadas.

**Incertidumbre y calidad de los datos:** Todo indicador está sujeto a limitaciones derivadas de la forma en que los datos se recolectan, procesan y reportan. El IDAC debe reconocer explícitamente estas restricciones para evitar interpretaciones erróneas.

## **Principales aspectos metodológicos**

La construcción del Índice de Desempeño Ambiental Cantonal (IDAC) se fundamenta en un conjunto de lineamientos metodológicos diseñados para garantizar la coherencia conceptual, la comparabilidad entre cantones y la transparencia en las decisiones técnicas adoptadas. Si bien el proceso se inspira en la estructura metodológica del Environmental Performance Index (EPI), su adaptación al contexto costarricense requiere considerar la disponibilidad y calidad de los datos ambientales generados a nivel nacional, así como las limitaciones institucionales que condicionan su actualización periódica. A continuación, se presentan los principales aspectos metodológicos que orientan el diseño y la implementación del IDAC.

### **1. Selección y definición de indicadores**

El punto de partida consiste en identificar indicadores ambientales que sean pertinentes, conceptualmente válidos y medibles a nivel cantonal. Para ello, se revisan tres marcos de referencia: (i) la estructura del EPI global, (ii) los indicadores del Índice de Sostenibilidad Ambiental Cantonal (ISAC) y (iii) las fuentes nacionales de información disponibles. La selección incorpora aquellos indicadores que cumplen al menos con los siguientes criterios:

- Disponibilidad de datos a escala cantonal, ya sea directa o mediante variables proxy.
- Periodicidad razonable, que permita actualizaciones periódicas del índice.
- Relevancia conceptual respecto al objetivo de medir desempeño ambiental.
- Congruencia con estándares metodológicos internacionales, especialmente con el EPI.

En esta etapa también se identifican indicadores cuya información es parcial o incompleta. En tales casos, se evalúa la viabilidad de utilizar proxys, estimaciones o proyecciones, siempre documentando su justificación metodológica y las limitaciones asociadas.

### **2. Normalización de indicadores**

Dada la heterogeneidad de unidades y escalas de los indicadores ambientales, es necesario transformarlos a un rango común que permita su comparación. Para ello, se emplean dos enfoques de normalización:

- Normalización min–max, utilizada cuando no existe un estándar internacional claro para el indicador. Esta técnica transforma los valores en una escala de 0 a 100, donde 100 representa el mejor desempeño observado.
- Funciones de desempeño derivadas del EPI, aplicadas cuando el EPI define metas ambientales explícitas (p. ej., metas de reducción, umbrales de calidad).
- El objetivo de la normalización es preservar la interpretación sustantiva del indicador, evitando distorsiones y manteniendo la comparabilidad entre cantones.

### **3. Ponderación de indicadores y dimensiones**

La ponderación establece la importancia relativa de cada indicador dentro del índice. En el IDAC, se considera un enfoque de ponderación uniforme por dimensión, priorizando la simplicidad y la consistencia metodológica. Sin embargo, dentro de cada dimensión (p. ej., manejo de residuos, ecosistemas, salud ambiental), los indicadores se ponderan de forma proporcional de acuerdo con: su relevancia conceptual, la solidez de la información disponible, y la correspondencia con categorías del EPI.

Este esquema permite mantener coherencia con marcos internacionales sin imponer ponderaciones arbitrarias o basadas exclusivamente en criterios subjetivos.

### **4. Agregación mediante media geométrica**

El IDAC utiliza la media geométrica como método de agregación principal, siguiendo las recomendaciones del EPI y de la literatura especializada en índices ambientales. La media geométrica penaliza los desempeños desbalanceados, evitando que valores muy altos en un indicador compensen excesivamente valores muy bajos en otro. Esto resulta especialmente pertinente en mediciones ambientales, donde deficiencias severas en una dimensión suelen representar riesgos estructurales que no deben ser ocultados por buenos resultados en otras áreas.

La fórmula de agregación geométrica se aplica tanto para obtener los puntajes dentro de cada dimensión como para la construcción del índice final.

## **5. Manejo de brechas de información**

Una de las principales limitaciones para la construcción del IDAC es la existencia de brechas en los datos ambientales cantonales. Para enfrentar este desafío, se aplican las siguientes estrategias:

- Uso de indicadores proxy, cuando el indicador ideal no está disponible; por ejemplo, emplear tasas de generación de residuos para aproximar comportamientos de consumo o presión ambiental.
- Estimaciones basadas en registros administrativos cuando existe información parcial o agregada.
- Exclusión temporal de indicadores, cuando la información disponible es insuficiente para garantizar comparabilidad.
- Documentación explícita de incertidumbre, para que los usuarios del índice comprendan las limitaciones y alcances de los resultados.

El objetivo es construir una primera versión funcional del IDAC, aun cuando algunas dimensiones no puedan ser incluidas en la etapa inicial.

## **6. Validación conceptual y técnica**

Antes de calcular el índice, se realiza una validación metodológica que incluye: revisión de la consistencia interna entre dimensiones, verificación de sesgos derivados de valores extremos, evaluación de estabilidad frente a cambios en la normalización o ponderación.

Esta validación garantiza que el índice refleje de manera razonable el desempeño ambiental y que no esté excesivamente influenciado por errores o vacíos de información.

## **7. Construcción de la versión piloto del IDAC**

La versión piloto del IDAC constituye un paso fundamental en el proceso de validación metodológica del índice. A diferencia de una prueba restringida a un número reducido de cantones, esta versión preliminar se aplicó a la mayoría de los cantones del país, con el fin de evaluar la capacidad del índice para capturar variaciones territoriales reales y detectar patrones generales de desempeño ambiental. No obstante, su alcance se vio limitado por factores operativos y estructurales, entre ellos la insuficiencia de información ambiental actualizada, la inexistencia de datos en dimensiones clave del EPI y el tiempo restringido disponible para acceder y procesar información adicional mediante solicitudes institucionales.

Debido a estas restricciones, la versión piloto se construyó con un conjunto reducido de dimensiones e indicadores, priorizando aquellos para los cuales existían datos cantonales consistentes, verificables y comparables. Esta aproximación permitió generar un primer producto metodológicamente coherente, aun cuando no refleja la totalidad del marco conceptual previsto para el IDAC.

A través de esta implementación piloto, se evaluaron aspectos como: la estabilidad de los resultados frente a la normalización y agregación, la sensibilidad del índice a la falta de indicadores en ciertas dimensiones,

la consistencia interna entre los indicadores disponibles y el comportamiento del índice en cantones con patrones extremos o información limitada.

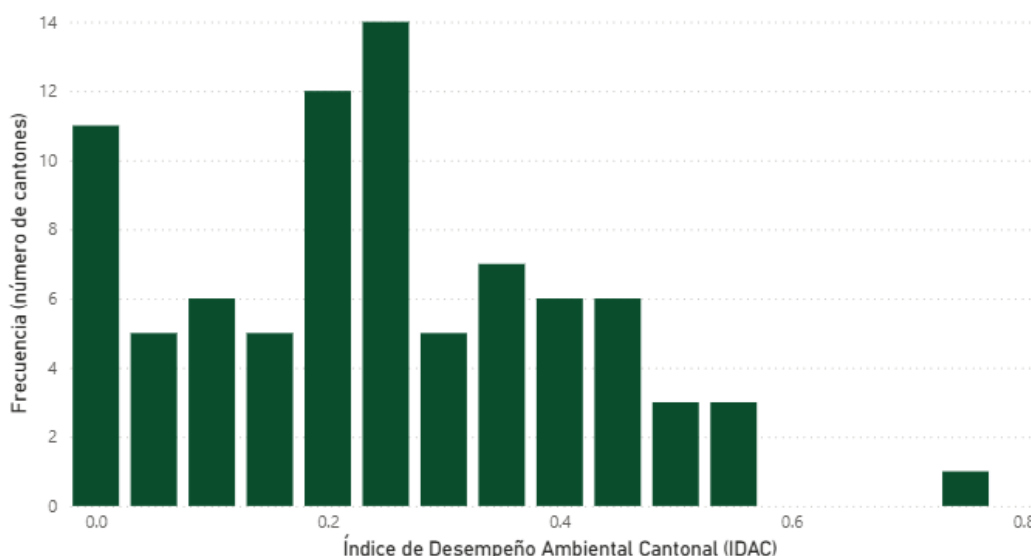
Los hallazgos derivados de esta etapa proporcionan insumos esenciales para ajustar las metodologías de selección de indicadores, fortalecer las estrategias de manejo de brechas de información y orientar los esfuerzos de recopilación de datos necesarios para el desarrollo de una versión más completa del IDAC en el futuro.

## Resultados

El análisis nacional revela que los valores del IDAC oscilan entre 0.01 y 0.76, con un promedio nacional de 0.27 para los 84 cantones evaluados (Figura 1). Estos valores indican que, si bien algunos cantones presentan niveles relativamente altos de desempeño ambiental, la mayoría se concentra en los rangos inferiores de la escala. Esta distribución se visualiza en la Figura 2, donde se observa que una parte significativa de los cantones se ubica entre 0.10 y 0.30, lo que sugiere que gran parte del territorio nacional enfrenta retos estructurales en materia de gestión ambiental, conservación y manejo de recursos.



*Ilustración 1. Resumen nacional del Índice de Desempeño Ambiental Cantonal (IDAC): promedio, valores mínimo y máximo, y número de cantones evaluados.*



*Ilustración 2. Distribución del Índice de Desempeño Ambiental Cantonal en los 84 cantones de Costa Rica.*

La Tabla 1 presenta los estadísticos descriptivos de los cinco indicadores base. Entre ellos, destaca FA, que presenta alta variabilidad y valores relativamente elevados en ciertos cantones, lo que evidencia diferencias sustantivas en cobertura forestal y prácticas de manejo ecosistémico. En contraste, los indicadores TPA y TKP exhiben valores más homogéneos entre cantones, lo cual podría deberse a que la designación y protección de áreas prioritarias dependen de decisiones de escala nacional o regional más que cantonal.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de los indicadores ambientales utilizados para el cálculo del IDAC.

Indicador	Media	Min	Max	DE
FA	0.51	0	1	0.24
TPA	0.23	0	1	0.24
TKP	0.44	0	1	0.34
WPC	0.83	0.06	1	0.16
WRR	0.15	0	1	0.19
IDAC	0.27	0.01	0.76	0.16

Nota. FA = *Forest Area*; TPA = *Territorial Protected Areas*; TKP = *Terrestrial Key Biodiversity Areas Protection*; WPC = *Waste per Capita*; WRR = *Waste Recovery Rate*; DE = Desviación estándar.

La interpretación general sugiere que el bajo desempeño de la mayoría de los cantones responde a la interacción de factores institucionales, ambientales y de gestión. Los resultados también señalan la necesidad de fortalecer capacidades locales para mejorar dimensiones críticas como la gestión de residuos y la protección de ecosistemas.

La Figura 3 muestra el promedio del IDAC por provincia, donde se identifican diferencias territoriales marcadas. La provincia de Cartago (0.42) presenta el mejor desempeño, mientras que Guanacaste (0.20) y Puntarenas (0.22) se encuentran en la parte inferior de la distribución. Provincias como San José, Heredia, Alajuela y Limón forman un grupo intermedio con desempeños moderados.

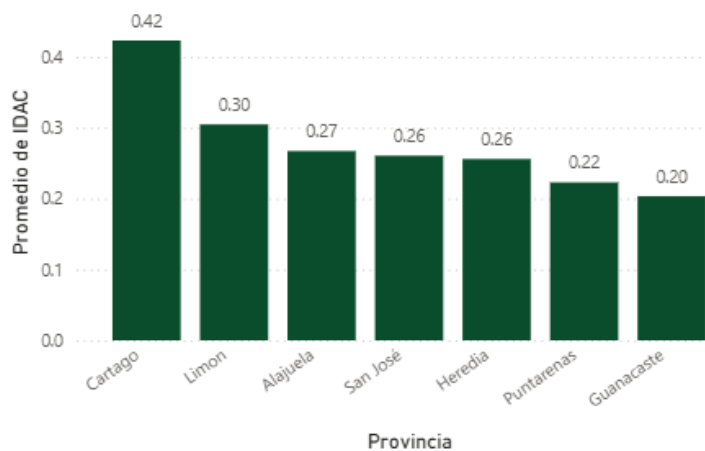


Ilustración 3. Promedio del IDAC por provincia.

La Figura 4 amplía esta lectura al mostrar los promedios provinciales de TPA, TKP y FA. Los resultados indican que: FA es el indicador con mayor influencia en las diferencias provinciales del IDAC. Las provincias ubicadas en zonas montañosas o con mayor cobertura forestal (Cartago, Heredia y partes de Alajuela) muestran mejores valores. Aunque TPA y TKP presentan menor variabilidad, sus valores contribuyen a elevar los resultados de provincias con extensas áreas de conservación.

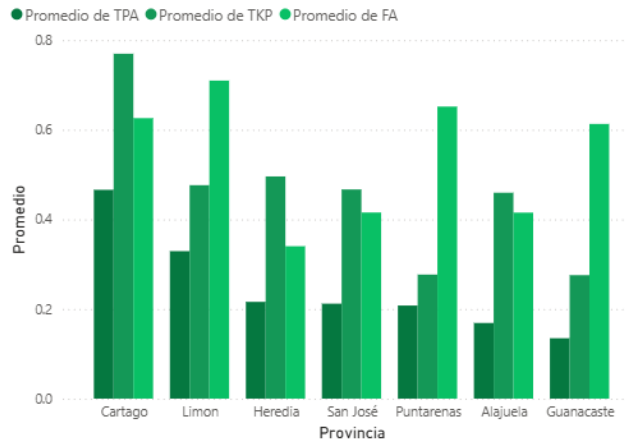


Ilustración 4. Promedios provinciales de TPA, TKP y FA.

Los componentes relacionados con residuos (WPC y WRR), aunque no incluidos en la figura, presentan tendencias heterogéneas que afectan especialmente a provincias costeras con menor infraestructura de gestión.

En conjunto, estos resultados sugieren que el contexto territorial y ecológico tiene un peso relevante en el desempeño ambiental provincial, pero que la gestión de residuos es un factor transversal que limita el desempeño de varias provincias.

El ranking cantonal del IDAC, presentado en la Figura 5, evidencia una distribución altamente heterogénea. Los cantones con puntajes más altos se concentran principalmente en Cartago, Heredia y Alajuela, lo que coincide con territorios que en general poseen mayor cobertura forestal, mejores condiciones de conservación y, en algunos casos, mejores indicadores de gestión de residuos.

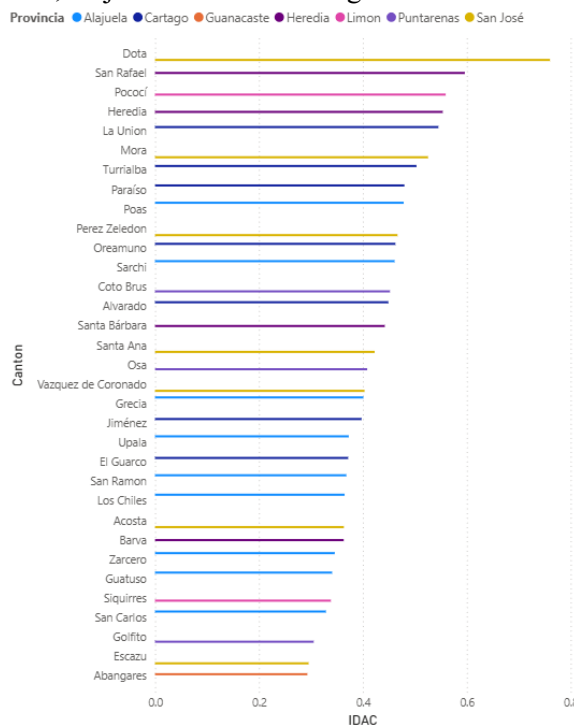


Ilustración 5. Ranking cantonal del IDAC (mejores).

Por el contrario, los cantones con valores más bajos (Figura 6) se concentran principalmente en Guanacaste y Limón, con algunos casos también en Puntarenas. Las condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas de estas regiones podrían influir tanto en la disponibilidad de recursos naturales como en las capacidades institucionales para la gestión ambiental.

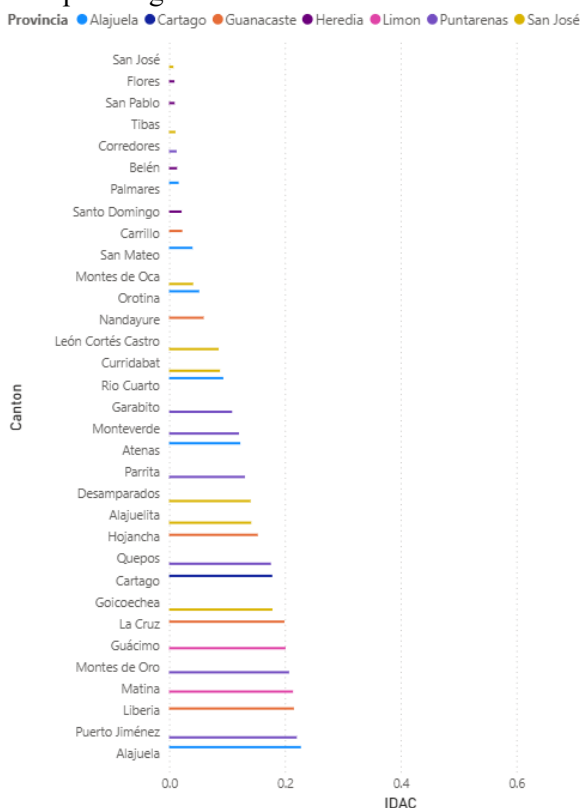


Ilustración 6. Ranking cantonal del IDAC (peores).

Las Tablas 2 y 3 ofrecen una comparación detallada de los indicadores por cantón. Su análisis muestra tres patrones principales:

- Cantones con desempeño ambiental alto y consistente: obtienen buenos valores en varios indicadores, especialmente FA, TPA y WRR.
- Cantones con fortalezas y debilidades específicas: por ejemplo, aquellos con buena cobertura forestal, pero bajo rendimiento en gestión de residuos.
- Cantones con valores bajos en la mayoría de los indicadores: lo que sugiere limitaciones estructurales.

Tabla 2. Valores de los cinco indicadores de los 10 mejores cantones.

Provincia	Cantón	TPA	TKP	FA	WPC	WRR	IDAC
San José	Dota	1	0.885	0.872	0.927	0.355	0.760
Heredia	San Rafael	0.188	1.000	0.473	0.845	1.000	0.596
Limón	Pococí	0.570	0.790	0.603	0.894	0.225	0.559
Heredia	Heredia	0.958	0.946	0.927	0.771	0.080	0.554
Cartago	La Unión	0.333	0.895	0.306	0.846	0.625	0.545
San José	Mora	0.299	0.608	0.633	0.827	0.420	0.525
Cartago	Turrialba	0.493	0.572	0.858	0.942	0.142	0.503
Cartago	Paraíso	0.731	0.839	0.870	0.927	0.051	0.480
Alajuela	Poas	0.131	0.891	0.272	0.905	0.873	0.479

Tabla 3. Valores de los cinco indicadores de los 10 cantones más bajos.

Provincia	Cantón	TPA	TKP	FA	WPC	WRR	IDAC
San José	San José	0	0	0.023	0.057	0.016	0.007
Heredia	Flores	0	0	0.004	0.411	0.041	0.009
Heredia	San Pablo	0	0	0	0.785	0.094	0.009
San José	Tibás	0	0	0.057	0.342	0.008	0.011
Puntarenas	Corredores	0	0	0.396	0.901	NA	0.013
Heredia	Belén	0	0	0.029	0.358	0.045	0.014
Alajuela	Palmares	0.008	0	0.078	0.913	0.002	0.016
Heredia	Santo Domingo	0	0	0.093	0.629	0.079	0.022
Guanacaste	Carrillo	0.039	0.338	0.460	NA	NA	0.023

Esta clasificación aporta insumos clave para el diseño de intervenciones diferenciadas según el tipo de desafío enfrentado por cada cantón.

Las relaciones entre indicadores permiten comprender mejor la estructura interna del índice. La Figura 7 muestra la interacción entre WPC, WRR e IDAC, revelando que una mayor tasa de recuperación de residuos (WRR) se asocia con un mejor desempeño ambiental general, independientemente de la cantidad de residuos generados per cápita (WPC). Esto sugiere que la efectividad de los sistemas de recuperación tiene un mayor impacto que la cantidad de residuos producidos.

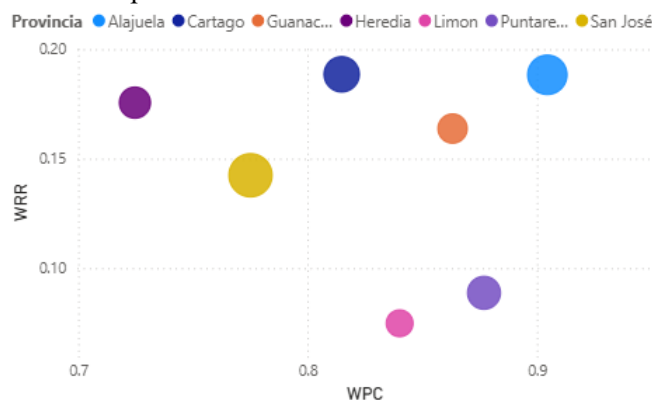


Ilustración 7. Relación entre WPC, WRR e IDAC.

Por otra parte, la Figura 8 ilustra la relación entre FA e IDAC. La tendencia positiva observada respalda la expectativa de que la cobertura forestal es un componente determinante del desempeño ambiental cantonal. Cantones con valores elevados de FA tienden a obtener mejores resultados globales, lo que enfatiza la relevancia de la protección y manejo de áreas boscosas.

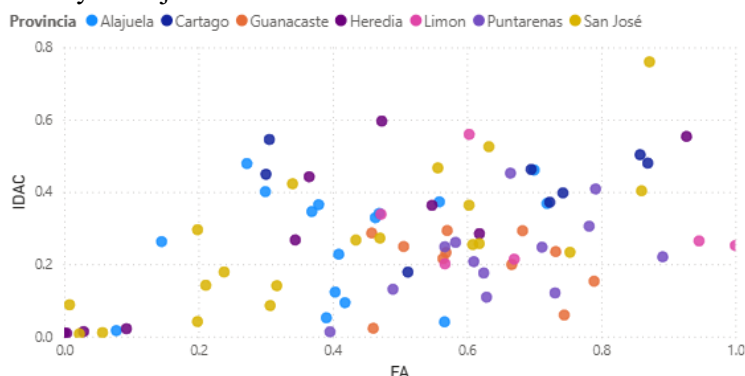


Ilustración 8. Relación entre FA e IDAC.

Las Figuras 9 y 10 muestran las relaciones entre TPA–IDAC y TKP–IDAC, respectivamente. Aunque las tendencias son positivas, la dispersión de los datos indica que estos indicadores, si bien importantes, no determinan por sí solos el desempeño global. Esto podría deberse a que la presencia de áreas protegidas o de biodiversidad no necesariamente garantiza prácticas de gestión ambiental complementarias, como el manejo forestal o la gestión de residuos.

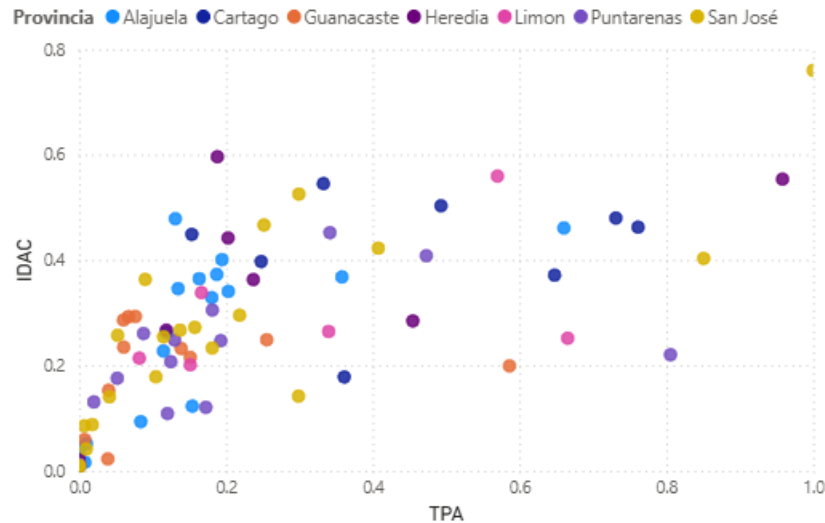


Ilustración 9. Relación entre TPA e IDAC

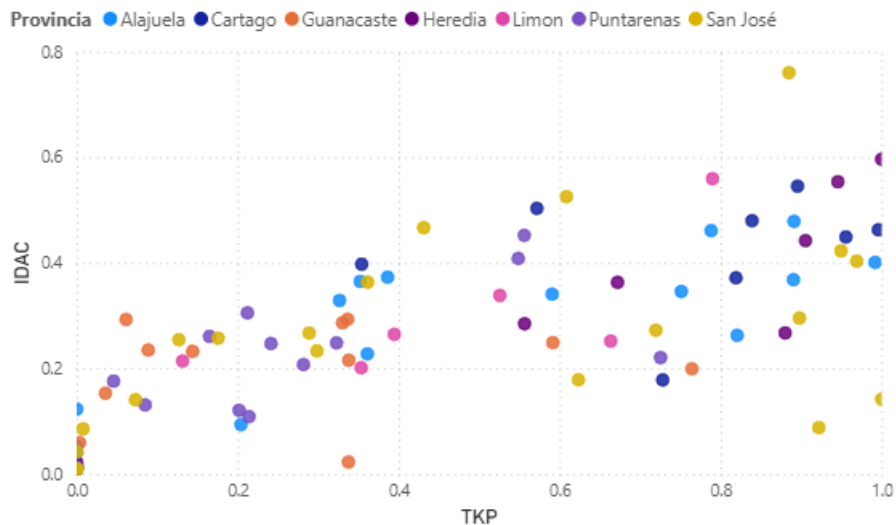


Ilustración 10. Relación entre TKP e IDAC.

Por último, la integración de los resultados muestra que:

- El desempeño ambiental nacional es predominantemente bajo o moderado, con pocos cantones alcanzando niveles altos.
- Existen diferencias territoriales claras, con provincias como Cartago destacándose sistemáticamente y zonas costeras mostrando retos más marcados.
- Los componentes FA y WRR son los principales impulsores del IDAC, evidenciando que la conservación forestal y la gestión de residuos son áreas prioritarias para el fortalecimiento del desempeño cantonal.

- Las condiciones ecológicas, institucionales y socioeconómicas se reflejan en los patrones territoriales, especialmente al comparar cantones del Valle Central con cantones costeros.
- El análisis conjunto de indicadores evidencia que la sostenibilidad ambiental es multidimensional, por lo que las intervenciones deben abordarse desde un enfoque integral.

## Conclusión

El desarrollo metodológico del Índice de Desempeño Ambiental Cantonal (IDAC) permitió construir una primera versión piloto del índice, basada en la adaptación conceptual del Environmental Performance Index (EPI) al contexto costarricense y en el uso de indicadores ambientales disponibles a nivel cantonal. Este proceso evidenció tanto la viabilidad técnica del IDAC como las limitaciones estructurales asociadas a la disponibilidad, calidad y periodicidad de los datos ambientales en el país.

Los resultados muestran que el desempeño ambiental cantonal en Costa Rica es predominantemente bajo o moderado, con un promedio nacional de 0.27 y únicamente un grupo reducido de cantones que alcanza valores altos. Esta tendencia refleja desafíos persistentes en gestión de residuos, protección ecosistémica y fortalecimiento institucional a escala local. Asimismo, se identificaron diferencias territoriales claras, donde provincias como Cartago y Heredia presentan consistentemente mejores valores, mientras que Guanacaste, Puntarenas y Limón concentran la mayoría de los puntajes bajos. Estas variaciones responden tanto a factores ecológicos (como la cobertura forestal) como a condiciones socioeconómicas y capacidades diferenciadas de gestión.

El análisis de los indicadores revela que FA (cobertura forestal) y WRR (tasa de recuperación de residuos) son los componentes con mayor influencia en el índice, lo que sugiere que las estrategias ambientales locales deben priorizar la conservación del bosque y el fortalecimiento de los sistemas de recuperación y valorización de residuos. Aunque indicadores como TPA y TKP muestran tendencias positivas con el IDAC, su variabilidad limitada indica que, por sí solos, no determinan el desempeño ambiental general.

En términos metodológicos, la experiencia adquirida permitió validar la pertinencia del uso de la media geométrica, la normalización min-max y la integración gradual de indicadores según disponibilidad y calidad. Sin embargo, las brechas de información limitaron la inclusión de dimensiones críticas del EPI, lo que subraya la necesidad de avanzar hacia un sistema nacional de datos ambientales más robusto, actualizado y accesible.

En conjunto, esta versión piloto del IDAC constituye un avance significativo hacia la creación de un instrumento integral de monitoreo ambiental cantonal. Aunque aún requiere fortalecerse con mayor cobertura de indicadores, mejor articulación institucional y mejoras metodológicas, sus resultados ofrecen una base sólida para orientar la toma de decisiones, identificar brechas territoriales y promover intervenciones focalizadas para el fortalecimiento ambiental a nivel local. El IDAC representa, por tanto, un paso inicial pero fundamental hacia la consolidación de un sistema de evaluación ambiental más completo, dinámico y alineado con estándares internacionales.

## Bibliografía

Block, S., Emerson, J. W., Esty, D. C., de Sherbinin, A., & Wendling, Z. A. (2024). 2024 *Environmental Performance Index: Technical Appendix*. Yale Center for Environmental Law & Policy. <https://epi.yale.edu>

Environmental Performance Index. (2022). *2022 Environmental Performance Index*. Yale Center for Environmental Law & Policy. <https://epi.yale.edu/>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). *División político-administrativa de Costa Rica* [Shapefile]. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.inec.cr/>

Microsoft. (2023). *Power BI Desktop* (versión 2.122) [Software]. Microsoft Corporation. <https://powerbi.microsoft.com/>

Ministerio de Ambiente y Energía, Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2023). *Cobertura boscosa y áreas protegidas 2023* [Conjunto de datos]. Ministerio de Ambiente y Energía.

Ministerio de Salud de Costa Rica, Unidad de Salud Ambiental. (2024). *Base de datos de residuos ordinarios municipales 2024* [Conjunto de datos]. Ministerio de Salud.

Ministerio de Salud de Costa Rica, Unidad de Salud Ambiental. (2024). *Indicador 11.6.1: Residuos sólidos urbanos* [Conjunto de datos]. Ministerio de Salud.