UNED RESEARCH JOURNAL
CUADERNOS DE INVESTIGACIÓN UNED

Participación ciudadana y evaluación de integridad ecológica en corredores biológicos con un índice compuesto

Juan Carlos Villegas-Arguedas[1]

1. Universidad Nacional de Costa Rica, Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo, Heredia, Costa Rica; jcvilleg@gmail.com

Recibido 06-VII-2026 ● Corregido 24-IX-2026 ● Aceptado 26-X-2026
DOI: https://doi.org/10.22458/urj.v18i1.6694

ABSTRACT. "Citizen participation and ecological integrity assessment in biological corridors using a composite index". **Introduction:** Ecological integrity reflects the ability of ecosystems to maintain their natural composition, structure, and functions in the face of disturbances. However, few studies have assessed ecological integrity using citizen science data. **Objective:** To assess the ecological condition of biological corridors in Costa Rica using citizen science and indicators of tetrapod diversity and forest fragmentation. **Methods:** I calculated a composite index, the Ecological Integrity Index, combining the Forest Fragmentation Index (based on forest cover maps from 2021 and 2023) and the alpha diversity of amphibians, reptiles, birds, and mammals, estimated using Hill numbers (q = 1) from citizen science records. **Results:** In 2021, the highest composite index value was recorded for the San Juan La Selva biological corridor (1.00), while the lowest was recorded for the Interurbano María Aguilar corridor (0.00). In 2023, the highest and lowest values were recorded for Amistosa (0.99) and El Achiote (0.00). **Conclusion:** The increase in species evenness and changes in ecological composition suggest local restructuring or short-term functional recovery, but no significant changes were observed between the two years.

Keywords: fragmentation, citizen science, landscape connectivity, Hill numbers, species diversity, forest cover, biodiversity monitoring.

RESUMEN. Introducción: la integridad ecológica refleja la capacidad de los ecosistemas para mantener su composición, estructura y funciones naturales frente a perturbaciones, pero hay pocos estudios sobre su evaluación aprovechando datos de ciencia ciudadana. **Objetivo:** evaluar la condición ecológica de los corredores biológicos de Costa Rica mediante ciencia ciudadana e indicadores de diversidad de tetrápodos y fragmentación forestal. **Métodos:** calculé un índice compuesto, el Índice de Integridad Ecológica con el Índice de Fragmentación del bosque (mapas de cobertura forestal de 2021 y 2023), y la diversidad alfa de anfibios, reptiles, aves y mamíferos, estimada mediante números de Hill (q = 1) a partir de registros de ciencia ciudadana. **Resultados**: En 2021, el mayor Índice Compuesto correspondió al corredor San Juan La Selva (1,00) y el menor al Interurbano María Aguilar (0,00). En 2023, los valores equivalentes fueron Amistosa (0,99) y El Achiote (0,00). **Conclusión:** la ganancia en equitatividad y composición ecológica sugiere procesos de reestructuración local o recuperación funcional a corto plazo, pero no hubo cambios significativos entre estos dos años.

Palabras clave: fragmentación, ciencia ciudadana, conectividad del paisaje, números de Hill, diversidad de especies, cobertura forestal, monitoreo de biodiversidad.

La ciencia ciudadana es la participación de todo tipo de público en tareas de investigación científica o la participación social interesada en el acercamiento con las autoridades nacionales en temas particulares sean sociales, ambientales o políticos (Calvera-Isabal et al., 2023). Entre los beneficios educativos y científicos que con las actividades de ciencia ciudadana se tienen, vemos mejoras en el conocimiento y entendimiento científico, el desarrollo de habilidades técnicas/científicas, motivación hacia carreras STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) y valores como sostenibilidad o respeto por el medio ambiente, desarrollando materiales educativos que promueven actividades de formación para preparar a los participantes en las tareas científicas que llevarán a cabo, tales como registrar o clasificar datos (Gensollen & Jiménez-Rolland, 2022).

En países como Reino Unido, España, Austria y Alemania han diseñado 72 páginas electrónicas de grupos de trabajo locales de ciencia ciudadana para recolección de datos y metadatos, los cuales se centran en promover la estandarización de estos, cuyos registros se encuentran en Wiki Aves (WA, https://www.wikiaves.com.br/), the Macaulay Library (ML, https://www.macaulaylibrary.org/), the Internet Bird Collection (IBC, ahora incorporada a la Macaulay Library), Flickr (www.flickr.com). En Costa Rica se cuenta con una plataforma pública en línea: Naturalista CR (https://costarica.inaturalist.org/), que permite la participación ciudadana en estos quehaceres de la colecta científica de información de fauna.

La integridad ecológica se refiere a la capacidad de un ecosistema para mantener su composición, estructura y funciones naturales, así como su resiliencia frente a perturbaciones de origen antrópico o ambiental. Su evaluación permite determinar en qué medida las comunidades de organismos de un territorio conservan características biológicas y funcionales similares a las de un hábitat natural de referencia de la misma región geográfica. Desde esta perspectiva, un ecosistema íntegro mantiene una composición y diversidad de especies, una organización biológica y unos procesos ecológicos que reflejan su condición natural. Este concepto se fundamenta en las definiciones propuestas por Cairns (1977) y Karr y Dudley (1981).

Esta investigación se desarrolló con el objetivo de analizar la distribución geográfica de los cuatro grupos de tetrápodos silvestres (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) en Costa Rica, así como su relación con la cobertura forestal y la fragmentación en los corredores biológicos. A partir de los registros recopilados en una plataforma pública de ciencia ciudadana, propongo un método para evaluar los corredores biológicos mediante un índice que combina la condición estructural y la diversidad efectiva relativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

La consideración de variables de la comunidad biológica como la diversidad, riqueza, estructura o función, u otras que consideren condiciones medioambientales como la fragmentación, conectividad, degradación, o restauración, regímenes de fuego, calidad del agua o el ambiente, presiones antropogénicas como cacería, tala o contaminación, entre muchas otras, genera que el resultado final sea un índice biológico o ecológico de integridad (IBI / IIE), una herramienta multiparamétrica que permite, a partir de una muestra de la comunidad biológica, indicar la condición ambiental de un sitio dado en un momento determinado (Ramírez-Herrejón et al., 2012).

Utilicé los datos de los cuatro grupos tetrápodos: anfibios, reptiles, aves y mamíferos de la plataforma denominada iNaturalist, versión Costa Rica, donde los ciudadanos pueden registrar avistamientos de especies. Para los cuatro grupos descargué la totalidad de registros verificados de los años 2021 y 2023, mismos años para los que se cuenta con los estudios de tipos de bosque en Costa Rica (Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC], 2021, 2023). Para garantizar la comparabilidad de los datos biológicos frente a los sesgos propios de la ciencia ciudadana, el cálculo

de la diversidad efectiva mediante las series de Hill (q = 1) lo estructuré siguiendo las directrices metodológicas de Chao et al. (2014) sobre el manejo del esfuerzo de muestreo y la completitud de las listas de especies. Asimismo, aseguré una estricta correspondencia espacial y temporal entre los registros biológicos de iNaturalist, agrupados para los periodos 2021 y 2023, y la cartografía oficial de cobertura forestal del SINAC (2021, 2023), vinculando cada observación al mapa correspondiente a su respectivo año de registro en cada unidad de análisis.

Con la ubicación de avistamiento que provee las bases de datos Global Biodiversity Information Facility (Global Biodiversity Information Facility [GBIF], 2026; Naturalista Costa Rica, 2024) de los cuatro grupos tetrápodos mayores de la plataforma iNaturalist, georreferencié, utilizando ArcGIS 10.5™ de ESRI© (Enviroment Systems Research Institute Inc.), y calculé la diversidad alfa mediante series de Hill (q = 1) con la intención de dar preponderancia a la dominancia específica dentro de cada corredor biológico de Costa Rica.

Con la finalidad de estimar el estado de la fragmentación en los distintos bloques de cobertura forestal (SINAC, 2021, 2023), medí el número de parches, su dispersión, densidad y superficie. Con esta información calculé el índice de fragmentación de Morera-Beita y Sandoval-Murillo (2018), el cual es una interfaz gráfica que facilita el análisis espacial de parches o fragmentos en el paisaje, mediante el software Patch Analyst de ArcView 3.3™ de ESRI© (Enviroment Systems Reserch Institute Inc.), según Elkie et al. (1999).

Las variables de fragmentación constan del cálculo vectorial de la superficie de tipos de bosque o ecosistemas en hectáreas (CA), la superficie total del área de estudio en hectáreas (TLA), correspondiente a corredores biológicos, y el número de parches por tipo de cobertura o ecosistemas (NumP); para el cálculo de la distancia euclidiana media al vecino más cercano o distancias entre parches por ecosistema o cobertura en metros y luego hectómetros (MNN), utilicé la capa en formato raster de los tipos de bosque por área de estudio de interés, calculando a partir del software Patch Grid de ArcView 3.3™ de ESRI© (Enviroment Systems Reserch Institute Inc.), según Elkie et al. (1999).

Según Morera-Beita y Sandoval-Murillo (2018), para cada bloque, la tendencia del índice se evalúa en función de su incremento o disminución. El índice propuesto utiliza una escala directamente proporcional al grado de fragmentación del paisaje; así, un aumento del valor del índice se relaciona con un aumento del grado de fragmentación en detrimento de la integridad ecológica, y viceversa; esto se debe, atendiendo a la fórmula del índice, a que un incremento de la fragmentación se relaciona con un aumento de la superficie total de las manchas, un mayor número de fragmentos (parches) y una mayor dispersión de estas. A partir de los datos como insumos utilicé el índice según:

$$IF = \left[\frac{\left(\frac{TLA}{CA}\right)}{(Nump\ .\ MNN)} \right]$$

donde,

- TLA= superficie total del área de estudio en Ha.
- CA= Superficie total de tipo de bosque (o ecosistema)
- NUMP= número de parches
- MNN= distancia media en metros desde el borde de un parche hasta el borde del parche más cercano

Los valores teóricos máximos del índice siguen los criterios de Morera-Beita y Sandoval-Murillo (2018).(TABLA 1)

TABLA 1

Rangos y valores del Índice de Fragmentación/Conectividad

Rangos del Índice	Valores del Índice	Característica ecológica
Bajo	0,00- 3,00	Mínimos procesos de fragmentación
Moderado	3,01 – 15,00	Procesos de fragmentación moderados
Alto	Más de 15,01	Altos procesos de fragmentación

Fuente: Morera-Beita y Sandoval-Murillo (2018).

Asimismo, los valores mínimos del índice (máxima fragmentación), debido al limitado número de parches que pueden existir en el territorio, no son tan altos como los que pueden alcanzar los ambientes de bosque, matorral o herbáceas (Gurrutxaga-San Vicente, 2003).

Para evaluar el estado de conservación del área de estudio, utilicé una aproximación a la integridad ecológica operacionalizada, mediante un índice compuesto de condición estructural y diversidad efectiva (IC) integrado a partir de dos dimensiones fundamentales del ecosistema: la estructura del paisaje y la composición biológica. Para relacionar ambas dimensiones, formulé el índice mediante un modelo multiplicativo estandarizado en un rango de 0 a 1:

$$IC_i = (1 - IF_i) \times \left(\frac{1D_i}{1D_{max}}\right)$$

donde,

- IC_i representa el índice compuesto estimado en la unidad de análisis i.
- IF_i es el Índice de Fragmentación del paisaje en la unidad i, estandarizado entre 0 (paisaje continuo/no fragmentado) y 1 (máxima fragmentación). Por consiguiente, el término $(1 - IF_i)$ representa el complemento estructural de la fragmentación, expresado como el grado de conservación o cohesión del hábitat, según Morera-Beita y Sandoval-Murillo (2018), utilizando como matriz base los mapas de tipos de bosques para los años 2021 y 2023 (SINAC, 2021; 2023), donde el denominador y la estandarización son comunes entre años, corredores y tipos de bosque evaluados.
- $1D_i$ es la diversidad equivalente de primer orden de la serie de números de Hill ($q = 1$), calculada como el exponencial (logaritmos naturales) del índice de Shannon $1D = \exp(H')$ para la comunidad biológica evaluada en la unidad i (Chao et al., 2014; Jost, 2006); donde los CB con muestras sin individuos, estimaciones no calculables y/o datos faltantes no fueron consideradas en el análisis. Para mitigar sesgos en el esfuerzo de muestreo, los estimadores se estandarizan de acuerdo con las directrices de Chao et al. (2014).
- $1D_{max}$ corresponde al valor máximo de diversidad efectiva observado en el área de estudio, utilizado como escalamiento de la diversidad efectiva respecto a esta referencia.

Adopté una formulación multiplicativa para la agregación del índice como una decisión metodológica orientada a introducir una compensación restringida y no lineal. A diferencia de los modelos aditivos tradicionales —que permiten que un valor alto compense completamente a uno bajo—, el operador multiplicativo penaliza los déficits severos al asegurar que el índice global

disminuya proporcionalmente ante caídas drásticas en cualquiera de sus componentes. Bajo este enfoque, una severa degradación en la estructura del paisaje ($IF_i \to 1$) o una pérdida drástica en la diversidad equivalente ($^1D_i \to 0$) reduce el IC global, evitando que valores elevados en un componente enmascaren el deterioro del otro. Si bien este modelo no representa una deducción única del principio clásico de factores limitantes ni prueba por sí mismo una interdependencia ecológica absoluta, lo implementé como una herramienta analítica conservadora para reflejar de manera más estricta los desequilibrios estructurales.

Para evaluar el cambio temporal en los 55 corredores biológicos ($N = 55$) entre 2021 y 2023, apliqué un procedimiento de re-muestreo por bootstrap/permutación pareada ($99\,999$ iteraciones de Monte Carlo) en el entorno de programación R versión 4.3.3 (R Core Team, 2023); este enfoque no paramétrico de re-muestreo lo seleccioné para evitar los supuestos de normalidad y homocedasticidad, dada la asimetría observada en las distribuciones del índice de fragmentación (IF) y la diversidad de Hill ($q = 1$). La significancia del cambio intra-sitio entre periodos se evaluó a un nivel $\alpha = 0{,}05$ mediante la distribución nula generada por el re-muestreo.

Para evaluar las variaciones espacio-temporales e intra-sitio en los corredores biológicos entre 2021 y 2023, utilicé un enfoque estadístico no paramétrico e iterativo en el entorno de programación R versión 4.3.3, librería Vegan (R Core Team, 2023). Las variables continuas del índice de fragmentación (IF), la diversidad de Hill (q = 1) y el índice compuesto (IC) fueron estandarizadas antes del análisis. En primer lugar, exploré la estructura multivariada de las comunidades mediante un Análisis de Coordenadas Principales (PCoA) basado en matrices de distancia Euclidiana.

La significancia estadística del desplazamiento espacio-temporal de los centroides entre años lo evalué mediante un Análisis Multivariado de Varianza con Permutaciones (PERMANOVA, 9 999 permutaciones). Para identificar la contribución individual y la orientación de cada variable sobre el espacio de ordenación, proyecté los vectores continuos mediante la función envfit. En segundo lugar, para evaluar de forma independiente el cambio temporal intra-sitio de cada indicador sin asumir normalidad ni homocedasticidad, apliqué un procedimiento de re-muestreo pareado por permutación de Monte Carlo y bootstrap no paramétrico (99 999 iteraciones). Este enfoque permitió calcular la mediana observada del cambio, los errores estándar e intervalos de confianza al 95% (ajustados por percentil), contrastando los estadísticos observados frente a la distribución nula empírica a un nivel de significancia α = 0,05.

A su vez, establecí un rango de atención según el IC, el cual determina un estado cualitativo de conservación para cada corredor biológico, sugiriendo una interpretación ecológica para dicho estado, recomendándose una acción de intervención (TABLA 2):

TABLA 2

Criterios de clasificación para la interpretación del Índice de Integridad Ecológica

Rango del Índice Compuesto	Estado de conservación	Interpretación ecológica	Acción sugerida
0,00 - 0,20	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
0,21 – 0,40	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
0,41 – 0,60	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
0,61 – 0,80	Excelente	Saludable con ligeras presiones	Promover el registro de información p. ej., GBIF
0,81 – 1,00	Óptimo	Alta riqueza y paisaje conectado	Gestión comunal participativa

La matriz completa de resultados para los índices de fragmentación, diversidad e integridad ecológica (IC), y los resultados de sugerencias de manejo de los corredores biológicos los presento en la sección de apéndices.

RESULTADOS

El análisis de permutación de Monte Carlo y *bootstrap* pareado (99 999 iteraciones) evidenció que la diversidad de Hill (q=1) presentó un cambio temporal significativo entre 2021 y 2023 (N=52; cambio mediano = 14,13; $IC_{95\%}$=[9,69; 22,97]; p<0,0001). En contraste, las variaciones temporales observadas en el Índice de Fragmentación (N=55; cambio mediano = 0,54; p=0,4557) y en el Índice Compuesto (N=52; cambio mediano = 0,04; p=0,0887) no alcanzaron la significancia estadística (α=0,05). (TABLA 3).

TABLA 3

Resumen de estadísticos del análisis de bootstrap respecto a la significancia de los índices evaluados

Variable / Indicador	N	2021 (Mediana)	2023 (Mediana)	Cambio Intra-sitio (Medianas) [a]	SE Bootstrap [b]	pboot (Monte Carlo)
Índice de Fragmentación (**IF**)	55	0,09	0,78	+0,54	0,1096	0,4557
Diversidad de Hill (**q=1**)	52	55,10	72,38	+14,13	3,3576	<0,0001 *
Integridad Ecológica (**IC=IIE**)	52	0,28	0,57	+0,04	0,014	0,0887

[a] Corredores Biológicos

[b] Valores de p derivados del procedimiento de re-muestreo por bootstrap/permutación pareada (99 999 iteraciones de Monte Carlo).

[*] Cambios estadísticamente significativos al nivel α=0,05; ns: no significativo (p>0,05).

Para el año 2021 el mayor IC se registró para el CB. San Juan La Selva (IC = 1,00), mientras que el menor fue para el CB. Interurbano María Aguilar (IC = 0,00). En el año 2023 el mayor IC fue para el CB. Amistosa (IC = 0,99), mientras que el menor fue para el CB. El Achiote (IC = 0,00), (APÉNDICES 1 y 2).

Para sendos años de evaluación 2021 y 2023, observé que la mayoría de los corredores biológicos están en una categoría de conservación “deficiente” (2021 n = 23; 2023 n = 22), y son pocos los que se encuentran en estado “óptimo” de conservación a partir de su integridad ecológica (2021 n = 3; 2023 n = 4) (Fig. 1 y Fig 3); considero que el estado actual de los corredores biológicos, tomando como último año de evaluación 2023, la mayoría (n = 22) presentan ecosistemas degradados (APÉNDICE 3).

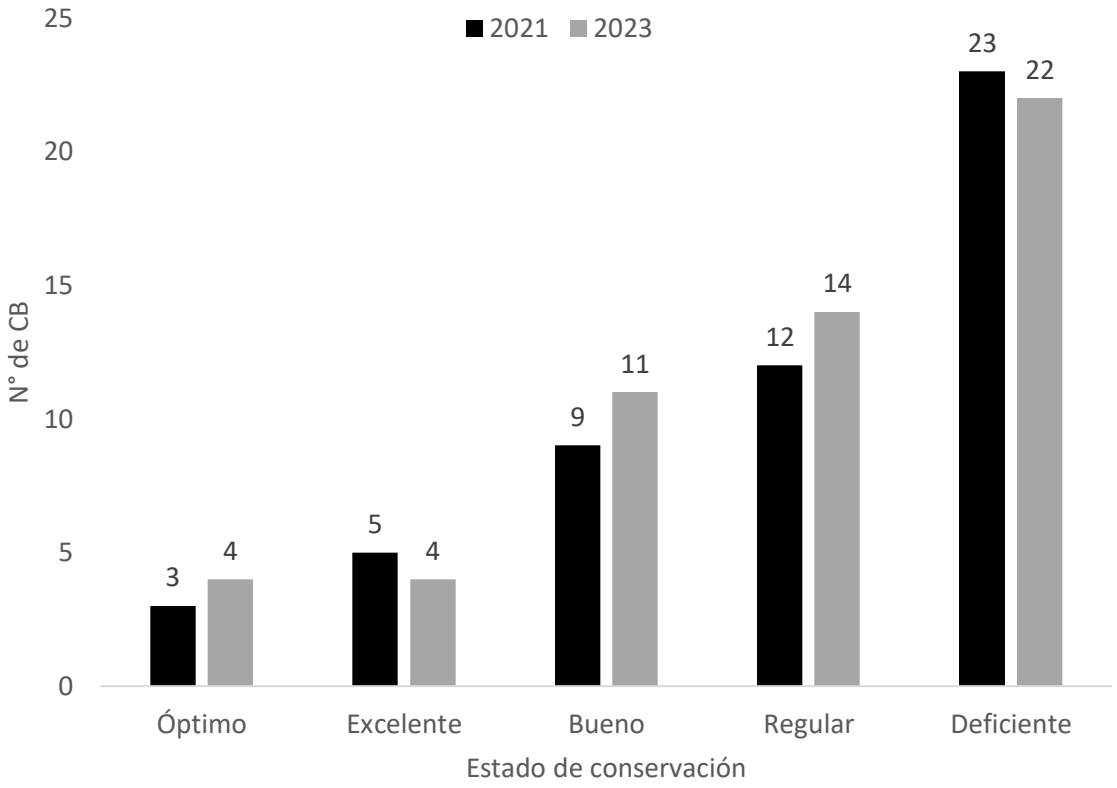


Fig. 1. Estado de conservación de los 55 corredores biológicos por año de evaluación.

El análisis de coordenadas principales (PCoA) basado en la distancia Euclidiana sobre los datos estandarizados mostró un 99,7% de la varianza total acumulada en los dos primeros ejes (Eje 1: 67,5%; Eje 2: 32,2%). La ordenación multivariada reveló una reorganización espacial significativa entre los periodos analizados (PERMANOVA $F_{1,105} = 4{,}80, R^2 = 0{,}044, p = 0{,}021$). El Eje 1 se caracterizó principalmente por la contribución de los gradientes de diversidad de Hill e integridad ecológica, orientados hacia el cuadrante negativo de dicho eje. Por su parte, el Eje 2 reflejó la variación en la fragmentación, cuyo vector presentó una proyección marcadamente positiva. Como se aprecia en las elipses de confianza, el año 2023 mostró una mayor dispersión hacia valores altos en el Eje 2 (95%) en comparación con el periodo 2021 (67,5%) (Fig. 2).

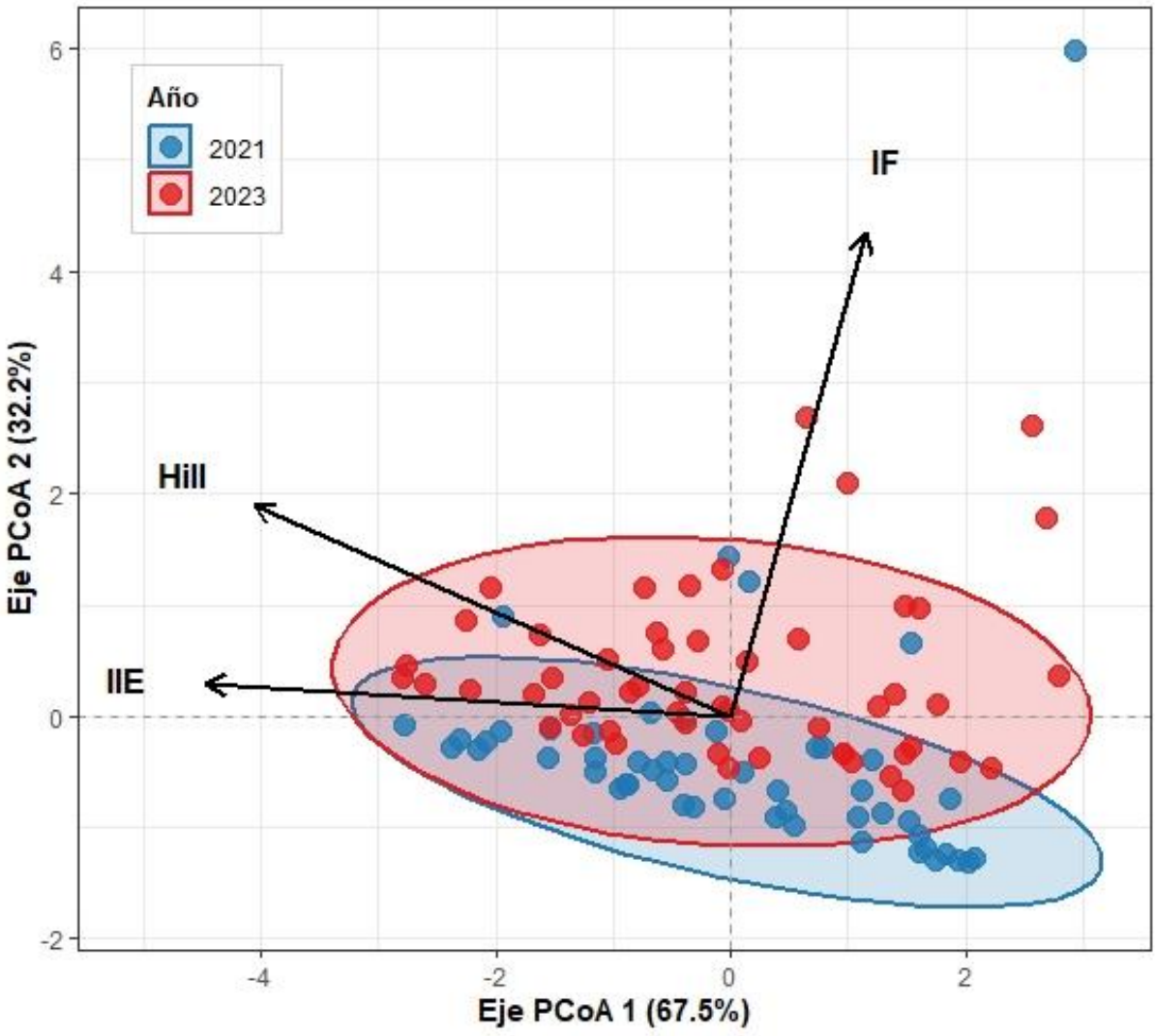


Fig. 2. Análisis de Coordenadas Principales (PCoA) de 55 corredores biológicos en 2021 y 2023 basado en métricas estandarizadas de fragmentación (IF), diversidad (Hill q = 1) e integridad ecológica (IIE).

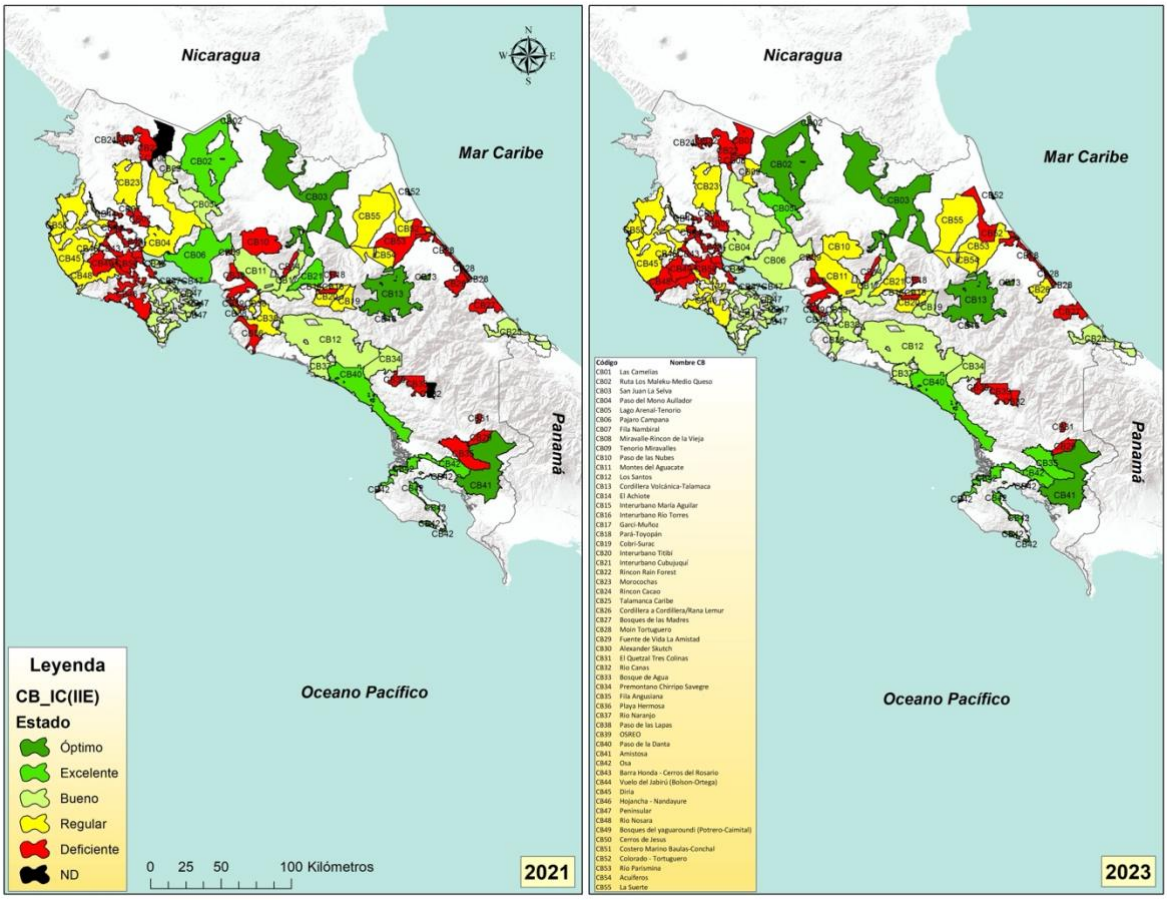


Fig. 3. Ubicación de los 55 corredores biológicos y su estado de conservación por año de evaluación. [Ver imagen en mejor calidad]

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos sugieren que la información suministrada por la ciudadanía podría contribuir a la evaluación de la integridad ecológica, aunque es necesario profundizar en su alcance y validar su utilidad para este propósito. Esta posibilidad resulta relevante para conocer el grado de perturbación por la intervención humana en los ecosistemas, lo que a su vez podría ser de utilidad para generar información sobre la composición, estructura y función que los mismos conservan, no solo desde la perspectiva de las especies, sino para analizar su entorno y su capacidad de recuperación (Wurtzebach & Schultz, 2016).

El análisis categórico del estado de conservación muestra una marcada inercia estructural en la red de corredores biológicos entre 2021 y 2023, lo que parece estar relacionado con un predominio de condiciones más desfavorables. En ambos periodos se evidenció que más de dos tercios de los sitios evaluados se concentraron en las categorías “Regular” (12 CB en 2021 vs. 14 CB en 2023) y Deficiente (23 CB en 2021 vs. 22 CB en 2023), mientras que la condición “Óptima” permaneció restringida a un núcleo marginal (≤ 4 CB), lo que sugiere que la mayoría de los corredores podrían estar enfrentando severas restricciones estructurales que limitarían alcanzar niveles óptimos de conservación, lo que evidencia la necesidad de fortalecer la gestión de estos espacios mediante instrumentos de planificación comunal y una mayor articulación con el Programa Nacional de Corredores Biológicos. Asimismo, su consideración en iniciativas de restauración

ecológica y adaptación al cambio climático podría contribuir a mejorar su gestión y conservación.

El uso de datos procedentes de plataformas digitales de ciencia ciudadana requiere procesos rigurosos de validación y depuración, debido a la posible presencia de registros erróneos, identificaciones taxonómicas incorrectas, imprecisiones geográficas y observaciones de especies domésticas. Por ello, es necesario aplicar criterios de selección y verificación que permitan reducir los sesgos asociados a estas fuentes de información. En el presente estudio, utilicé bases de datos verificadas y realicé procesos de revisión y depuración de los registros como medidas para mejorar la calidad de la información analizada.

La evaluación de la integridad ecológica también puede contribuir al seguimiento de las políticas públicas y las estrategias de conservación, al aportar información sobre las condiciones ecológicas de los territorios donde estas se implementan. En Costa Rica, los corredores biológicos constituyen un marco territorial pertinente para este tipo de análisis, dada su articulación con otras modalidades de conservación, como los Espacios Naturales Protegidos, los territorios indígenas y las iniciativas privadas y comunitarias (Herrera & Corrales, 2004).

En este contexto, los resultados del presente estudio permiten examinar el estado de la integridad ecológica en los corredores biológicos y explorar su utilidad como indicador para el seguimiento de esta estrategia nacional de conservación. Sin embargo, la distribución territorial de los corredores biológicos no constituye, por sí sola, evidencia de la aceptación social ni de la efectividad de la política pública. Estas dimensiones requieren evaluaciones específicas que permitan determinar su implementación, sus resultados ecológicos y su contribución efectiva a la conservación.

El incremento significativo en la diversidad de Hill ($q = 1$) a escala de sitio, acoplado a la no variación temporal del Índice de Fragmentación (IF) y del Índice Compuesto (integridad ecológica), sugiere una respuesta individualizada entre los componentes estructurales del paisaje y la dinámica interna de las comunidades en los corredores biológicos evaluados. La ganancia en la equitatividad y composición ecológica ($p < 0{,}0001$) evidencia procesos de reestructuración local o recuperación funcional en el corto plazo, posiblemente facilitados por la configuración espacial preexistente. Sin embargo, la ausencia de cambios estadísticamente significativos en la integridad ecológica ($p = 0{,}0887$) y en los patrones de fragmentación ($p = 0{,}4557$) indica que las presiones antropogénicas y los atributos del hábitat (parches, número de parches, distancia entre parches, etc.) a nivel macro se mantienen relativamente inalterados. Este comportamiento resalta la resiliencia de la cobertura vegetal frente a perturbaciones mayores, pero también advierte que las mejoras observadas en la diversidad interna ocurren bajo una estructura paisajística que aún no demuestra una consolidación o restauración física apreciable en el intervalo de dos años analizados.

Extender la aplicación de Índices de Integridad Ecológica a territorios indígenas y Espacios Naturales Protegidos como el que propone esta investigación, podría ser de utilidad para facilitar evaluaciones estandarizadas de conectividad. Un análisis de este tipo permitiría contrastar la efectividad de las distintas categorías de manejo y estrategias de conservación, permitiendo verificar cómo la integridad del paisaje se mantiene o se fortalece en la transición entre los Espacios Naturales Protegidos y los corredores biológicos, fundamentando técnicamente la toma de decisiones en el territorio, y en la institución.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Mauricio Castillo Núñez por cederme acceso a las capas digitales de información de tipos de bosque de Costa Rica; a Jairo Sancho Rodríguez por la información referente a corredores biológicos y acceso a la plataforma iNaturalist del Ministerio del Ambiente y Energía de Costa Rica, y a todas las personas interesadas en la temática de la ciencia ciudadana.

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Declaro haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la preparación de este documento; que no hay conflictos de interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, estoy de acuerdo con la versión editada final de esta publicación. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

La declaración de contribución de cada autor es la siguiente: J.C.V.A: diseño del estudio, recolección y análisis de datos, preparación y aprobación final del manuscrito.

REFERENCIAS

Cairns, J., Jr. (1977). Quantification of biological integrity. In R. K. Ballentine & L. J. Guarraia (Eds.), *The integrity of water: A symposium* (pp. 171–185). U.S. Environmental Protection Agency.

Calvera-Isabal, M., Santos, P., Ulrich, H., & Schulten, C. (2023). Cómo automatizar la extracción y análisis de información sobre ciencia ciudadana con propósitos educativos. *Rev. Comunicar 74* (31): ISSN: 1134-3478; e-ISSN: 1988-3293. http://doi.org/10.3916/C74-2023-02

Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in biodiversity studies. *Ecological Monographs*, *84*(1), 45–67. https://doi.org/10.1890/13-0133.1

Elkie, P. C., Rempel, R. S., & Carr, A. P. (1999). *Patch Analyst user's manual: A tool for quantifying landscape structure* (Technical Manual TM-002). Ontario Ministry of Natural Resources, Northwest Science & Technology.

Gensollen, M., & Jiménez-Rolland, M. (2022). Ciencia ciudadana: pluralidad científica y pensamiento crítico. *CIENCIA ergo-sum, 29*(2), Artículo e164. https://doi.org/10.30878/ces.v29n2a6

Global Biodiversity Information Facility. (2026). *Free and open access to biodiversity data*. https://www.gbif.org/

Gurrutxaga-San Vicente, M. (2003). *Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la Comunidad Autónoma del País Vasco.* IKT, Gobierno Vasco. https://www.euskadi.eus/web01-a2ingdib/es/contenidos/documentacion/indicadores_biodiversidad/es_doc/adjuntos/fragmentacion_2003.pdf

Herrera, B., & Corrales, L. (2004). *Midiendo el éxito de las acciones en las áreas protegidas de Centroamérica: Evaluación y monitoreo de la integridad ecológica.* PROARCA/APM.

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, *113*(2), 363–375. https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x

Karr, J. R., & Dudley, D. R. (1981). Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management, 5*(1), 55–68. https://doi.org/10.1007/BF01866609

Naturalista Costa Rica. (2024). Portal de biodiversidad y ciencia ciudadana. iNaturalist. https://costarica.inaturalist.org

Morera-Beita, C., & Sandoval-Murillo, L. F. (2018). Fragmentación y conectividad de la cobertura natural a nivel cantonal en Costa Rica durante los años 2000 y 2015. *Revista Geográfica de América Central, 4*(61E), 37–61. https://doi.org/10.15359/rgac.61-4.2

R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.3.3) [Software]. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Ramírez-Herrejón, J. P., Mercado-Silva, N., Medina-Nava, M., & Domínguez-Domínguez, O. (2012). Validación de dos índices biológicos de integridad (IBI) en la subcuenca del río Angulo en el centro de México. *Revista de Biología Tropical, 60*(4), 1669–1685. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442012000400024

Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2021). *Mapa de tipos de bosques de Costa Rica* (Versión 2021) [Conjunto de datos cartográficos]. Departamento de Información y Regularización del Territorio. https://www.snitcr.go.cr/ico_servicios_ogc_info?k=bm9kbzo6NDA=&nombre=SINAC

Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2023). *Mapa de tipos de bosques de Costa Rica* (Versión 2023) [Conjunto de datos cartográficos]. Departamento de Información y Regularización del Territorio. https://www.snitcr.go.cr/ico_servicios_ogc_info?k=bm9kbzo6NDA=&nombre=SINAC

Wurtzebach, Z., & Schultz, C. (2016). Measuring ecological integrity: History, practical applications, and research opportunities. *BioScience, 66*(6), 446–457. https://doi.org/10.1093/biosci/biw037

APÉNDICES

APÉNDICE 1

Resumen de Índice de Fragmentación, diversidad e Índice Compuesto por corredor biológico por año de evaluación

ID	NOMBRE	2021			2023		
		IF	Hill (q=1)	IC	IF	Hill (q=1)	IC
CB01	Las Camelias	0,14	ND	ND	0,83	4,86	0,02
CB02	Ruta Los Maleku-Medio Queso	0,04	144,72	0,75	1,09	189,29	0,82
CB03	San Juan La Selva	0,03	192,43	1,00	0,24	196,90	0,92
CB04	Paso del Mono Aullador	0,15	67,55	0,35	0,24	96,34	0,45
CB05	Lago Arenal-Tenorio	0,04	113,63	0,59	1,13	147,04	0,63
CB06	Pájaro Campana	0,09	141,10	0,73	0,18	122,72	0,58
CB07	Fila Nambiral	2,93	15,27	0,07	3,86	18,58	0,06
CB08	Miravalles-Rincón de la Vieja	0,22	ND	ND	8,37	4,14	0,01
CB09	Tenorio-Miravalles	0,03	92,48	0,48	2,85	91,57	0,33
CB10	Paso de Las Nubes	0,03	31,30	0,16	0,57	73,35	0,33
CB11	Montes del Aguacate	0,21	97,94	0,51	1,59	56,69	0,23
CB12	Los Santos	0,01	80,57	0,42	0,18	91,61	0,43
CB13	Cordillera Volcánica-Talamanca	0,01	163,48	0,85	0,35	212,88	0,98
CB14	El Achiote	0,61	15,43	0,08	11,66	24,37	0,00
CB15	María Aguilar	38,51	56,07	0,00	7,29	57,20	0,10
CB16	Río Torres	4,05	68,97	0,32	3,49	81,78	0,27
CB17	Garci-Muñoz	0,52	78,89	0,40	0,61	131,17	0,59
CB18	Pará-Toyopán	0,61	25,65	0,13	2,30	44,19	0,17
CB19	Cobri-Surac	3,48	58,59	0,28	2,52	108,81	0,41
CB20	Tiribí	0,53	66,74	0,34	1,75	75,49	0,31
CB21	Cubujuquí	1,35	157,78	0,79	1,67	94,28	0,39
CB22	Rincón Rain Forest	0,02	4,37	0,02	1,39	18,64	0,08
CB23	Morococha	0,20	42,61	0,22	0,76	55,55	0,25
CB24	Rincón Cacao	0,06	1,00	0,01	2,91	1,00	0,00
CB25	Talamanca Caribe	0,02	79,51	0,41	0,65	93,50	0,42
CB26	Cordillera a Cordillera/Rana Lemur	0,06	29,42	0,15	0,47	67,91	0,31
CB27	CB de las Madres	0,38	4,76	0,02	0,59	21,99	0,10
CB28	Moín Tortuguero	0,09	6,73	0,03	1,68	16,42	0,07
CB29	Fuente de Vida La Amistad	0,15	8,00	0,04	0,47	12,34	0,06
CB30	Alexander Skutch	0,11	15,00	0,08	0,75	11,90	0,05
CB31	El Quetzal Tres Colinas	0,04	1,65	0,01	1,68	8,71	0,04
CB32	Río Cañas	0,06	ND	ND	0,88	2,00	0,01
CB33	Bosque de Agua	0,03	5,74	0,03	0,51	20,09	0,09
CB34	Premontano Chirripó Savegre	0,02	78,15	0,41	0,45	109,16	0,50
CB35	Fila Angusiana	0,03	2,83	0,01	0,39	137,76	0,63
CB36	Playa Hermosa	0,14	32,26	0,17	0,78	91,25	0,41
CB37	Río Naranjo	0,11	77,35	0,40	1,02	108,92	0,47

CB38	Paso de las Lapas	0,06	65,18	0,34	0,17	106,11	0,50
CB39	OSREO	0,59	26,68	0,14	0,83	30,04	0,13
CB40	Paso de la Danta	0,02	147,60	0,77	0,29	170,56	0,79
CB41	Amistosa	0,03	160,30	0,83	0,25	212,78	0,99
CB42	Osa	0,18	117,37	0,61	1,72	185,67	0,75
CB43	Barra Honda - Cerros del Rosario	0,05	5,00	0,03	0,59	21,73	0,10
CB44	Vuelo del Jabirú (Bolsón-Ortega)	0,15	11,90	0,06	3,84	21,40	0,07
CB45	Diriá	0,09	71,36	0,37	0,27	54,36	0,25
CB46	Hojancha - Nandayure	0,02	26,99	0,14	0,19	49,96	0,23
CB47	Peninsular	0,08	94,50	0,49	0,29	116,38	0,54
CB48	Río Nosara	0,01	53,95	0,28	0,34	41,54	0,19
CB49	Bosques del Yaguarundi (Potrero-Caimital)	0,02	13,81	0,07	0,36	10,00	0,05
CB50	Cerros de Jesús	0,05	3,00	0,02	0,88	11,00	0,05
CB51	Costero Marino Baulas Conchal	0,05	45,75	0,24	0,77	58,30	0,26
CB52	Colorado Tortuguero	0,51	54,13	0,28	9,21	99,91	0,10
CB53	Parismina	0,28	16,42	0,08	0,66	50,23	0,23
CB54	Acuíferos	0,01	56,98	0,30	1,41	87,50	0,37
CB55	La Suerte	0,16	60,32	0,31	0,84	71,41	0,32

IF: Índice de Fragmentación
Hill (*q*=1): Índice de diversidad mediante series de Hill
IC: Índice Compuesto / Integridad ecológica
ND: No hay datos

APÉNDICE 2

Resumen del estado de conservación, interpretación ecológica y la acción sugerida para los corredores biológicos de CR según el año de evaluación 2021

ID	NOMBRE	IC	Estado	Interpretación	Acción sugerida
CB03	San Juan La Selva	1,00	Óptimo	Alta riqueza y paisaje conectado	Gestión comunal participativa
CB13	Cordillera Volcánica-Talamanca	0,85	Óptimo	Alta riqueza y paisaje conectado	Gestión comunal participativa
CB41	Amistosa	0,83	Óptimo	Alta riqueza y paisaje conectado	Gestión comunal participativa
CB21	Cubujuquí	0,79	Excelente	Saludable con ligeras presiones	Promover el registro de información e.g. GBIF
CB40	Paso de la Danta	0,77	Excelente	Saludable con ligeras presiones	Promover el registro de información e.g. GBIF
CB02	Ruta Los Maleku-Medio Queso	0,75	Excelente	Saludable con ligeras presiones	Promover el registro de información e.g. GBIF
CB06	Pájaro Campana	0,73	Excelente	Saludable con ligeras presiones	Promover el registro de información e.g. GBIF
CB42	Osa	0,61	Excelente	Saludable con ligeras presiones	Promover el registro de información e.g. GBIF

CB05	Lago Arenal-Tenorio	0,59	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB11	Montes del Aguacate	0,51	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB47	Peninsular	0,49	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB09	Tenorio-Miravalles	0,48	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB12	Los Santos	0,42	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB25	Talamanca Caribe	0,41	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB34	Premontano Chirripó Savegre	0,41	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB17	Garci-Muñoz	0,40	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB37	Río Naranjo	0,40	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB45	Diriá	0,37	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB04	Paso del Mono Aullador	0,35	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB20	Tiribí	0,34	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB38	Paso de las Lapas	0,34	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB16	Río Torres	0,32	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB55	La Suerte	0,31	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB54	Acuíferos	0,30	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB48	Río Nosara	0,28	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB52	Colorado Tortuguero	0,28	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB19	Cobri-Surac	0,28	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB51	Costero Marino Baulas Conchal	0,24	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB23	Morococha s	0,22	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB36	Playa Hermosa	0,17	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB10	Paso de Las Nubes	0,16	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB26	Cordillera a Cordillera/Rana Lemur	0,15	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB46	Hojancha - Nandayure	0,14	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB39	OSREO	0,14	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB18	Pará-Toyopán	0,13	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB53	Parismina	0,08	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB14	El Achiote	0,08	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB30	Alexander Skutch	0,08	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB07	Fila Nambiral	0,07	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva

CB49	Bosques del Yaguarundi (Potrero-Caimital)	0,07	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB44	Vuelo del Jabirú (Bolsón-Ortega)	0,06	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB29	Fuente de Vida La Amistad	0,04	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB28	Moín Tortuguero	0,03	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB33	Bosque de Agua	0,03	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB43	Barra Honda - Cerros del Rosario	0,03	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB27	CB de las Madres	0,02	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB22	Rincón Rain Forest	0,02	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB50	Cerros de Jesús	0,02	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB35	Fila Angusiana	0,01	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB31	El Quetzal Tres Colinas	0,01	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB24	Rincón Cacao	0,01	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB15	María Aguilar	0,00	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB01	Las Camelias	ND	ND	ND	ND
CB08	Miravalles-Rincón de la Vieja	ND	ND	ND	ND
CB32	Río Cañas	ND	ND	ND	ND

ND: No hay datos

APÉNDICE 3

Resumen del estado de conservación, interpretación ecológica y la acción sugerida para los corredores biológicos de CR según último año de evaluación 2023

ID	NOMBRE	IC	Estado	Interpretación	Acción sugerida
CB41	Amistosa	0,99	Óptimo	Alta riqueza y paisaje conectado	Gestión comunal participativa
CB13	Cordillera Volcánica-Talamanca	0,98	Óptimo	Alta riqueza y paisaje conectado	Gestión comunal participativa
CB03	San Juan La Selva	0,92	Óptimo	Alta riqueza y paisaje conectado	Gestión comunal participativa
CB02	Ruta Los Maleku-Medio Queso	0,82	Óptimo	Alta riqueza y paisaje conectado	Gestión comunal participativa
CB40	Paso de la Danta	0,79	Excelente	Saludable con ligeras presiones	Promover el registro de información e.g. GBIF
CB42	Osa	0,75	Excelente	Saludable con ligeras presiones	Promover el registro de información e.g. GBIF
CB35	Fila Angusiana	0,63	Excelente	Saludable con ligeras presiones	Promover el registro de información e.g. GBIF
CB05	Lago Arenal-Tenorio	0,63	Excelente	Saludable con ligeras presiones	Promover el registro de información e.g. GBIF

CB17	Garci-Muñoz	0,59	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB06	Pájaro Campana	0,58	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB47	Peninsular	0,54	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB34	Premontano Chirripó Savegre	0,50	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB38	Paso de las Lapas	0,50	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB37	Río Naranjo	0,47	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB04	Paso del Mono Aullador	0,45	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB12	Los Santos	0,43	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB25	Talamanca Caribe	0,42	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB19	Cobri-Surac	0,41	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB36	Playa Hermosa	0,41	Bueno	Alerta: Fragmentación inicial	Restaurar, reforestar corredores biológicos
CB21	Cubujuquí	0,39	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB54	Acuíferos	0,37	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB10	Paso de Las Nubes	0,33	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB09	Tenorio-Miravalles	0,33	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB55	La Suerte	0,32	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB26	Cordillera a Cordillera/Rana Lemur	0,31	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB20	Tiribí	0,31	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB16	Río Torres	0,27	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB51	Costero Marino Baulas Conchal	0,26	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB45	Diriá	0,25	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB23	Morococha s	0,25	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB46	Hojancha - Nandayure	0,23	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB11	Montes del Aguacate	0,23	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB53	Parismina	0,23	Regular	Integridad comprometida	Intervención urgente
CB48	Río Nosara	0,19	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB18	Pará-Toyopán	0,17	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB39	OSREO	0,13	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB15	María Aguilar	0,10	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB52	Colorado Tortuguero	0,10	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB27	CB de las Madres	0,10	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB43	Barra Honda - Cerros del Rosario	0,10	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva

CB33	Bosque de Agua	0,09	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB22	Rincón Rain Forest	0,08	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB44	Vuelo del Jabirú (Bolsón-Ortega)	0,07	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB28	Moín Tortuguero	0,07	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB07	Fila Nambiral	0,06	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB29	Fuente de Vida La Amistad	0,06	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB30	Alexander Skutch	0,05	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB50	Cerros de Jesús	0,05	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB49	Bosques del Yaguarundi (Potrero-Caimital)	0,05	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB31	El Quetzal Tres Colinas	0,04	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB01	Las Camelias	0,02	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB32	Río Cañas	0,01	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB08	Miravalles-Rincón de la Vieja	0,01	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB24	Rincón Cacao	0,00	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva
CB14	El Achiote	0,00	Deficiente	Ecosistema degradado	Rehabilitación masiva