



INFORME TÉCNICO DE LAS JORNADAS PARTICIPATIVAS DE BIOMONITOREO DE RÍOS EN LA CUENCA BINACIONAL DEL RÍO SIXAOLA, 2023

CONSULTORÍA: “IMPLEMENTACIÓN DE ACCIONES DE BIOMONITOREO DE RÍOS EN LA CUENCA BINACIONAL DEL RÍO SIXAOLA”

Proyecto Hacia la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)
transfronterizos de la Cuenca del Río Sixaola compartida por Costa Rica y
Panamá, también conocido como Proyecto Conectando Comunidades y
Ecosistemas – Cuenca Binacional del Río Sixaola

Elaborado por: Asociación ANAI
Presentado a: Organización para Estudios Tropicales (OET)
Fecha de presentación: junio 15 de 2023

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. MARCO REFERENCIAL	5
2.1. Descripción de la Cuenca Binacional del Río Sixaola	5
2.2. Conceptos claves en biomonitoreo	6
3. METODOLOGÍA.....	9
3.1. Selección de los sitios para biomonitoreo de ríos 2023	9
3.2. Temporalidad	9
3.3. Actores involucrados.....	9
3.4. Técnicas de muestreo	12
3.4.1. Peces.....	12
3.4.2. Macroinvertebrados bentónicos	18
3.4.3. Valoración de hábitat	21
3.4.4. Determinación de la bioclase global y tendencias	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Involucramiento de actores	24
4.2. Biomonitoreo	26
4.2.1 Peces.....	26
4.2.2 Macroinvertebrados acuáticos	28
4.2.3 Bioclases 2023	29
4.2.4 Análisis por subcuenca con perspectiva histórica e identificación de tendencias	39
4.2.4.1 Subcuenca Telire.....	39
4.2.4.2 Subcuenca Urén.....	48
4.2.4.3 Subcuenca Yorkín	49
4.2.4.4 Subcuenca Bajo Sixaola.....	53
4.2.4.5 Subcuenca Laguna de Gandoca	65
4.2.5 Síntesis de los problemas ambientales identificados.....	67
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS.....	83
ANEXOS	87

INFORME TÉCNICO DE LAS JORNADAS DE BIOMONITOREO DE RÍOS PARTICIPATIVAS EN LA CUENCA BINACIONAL DE RÍO SIXAOLA, 2023

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Sixaola, compartida por Costa Rica y Panamá, se caracteriza por su extensa biodiversidad, su gran diversidad cultural y sus contrastes en aspectos sociales, económicos y políticos. En un área de 2848.3 km² conviven y se desarrollan grupos humanos tan diversos como pueblos indígenas, afrodescendientes, criollos, mestizos e inmigrantes de diversos países.

En este entorno diverso y lleno de contrastes, a menudo los esquemas de planificación y gestión de los ecosistemas y del entorno humano, insuficientemente descentralizados y contextualizados, no han logrado resolver las aspiraciones del desarrollo rural sostenible. Un reflejo de esta situación de deficiencia en la planificación territorial se manifiesta en la forma de serias limitaciones en la gestión, la conservación y la sostenibilidad del recurso hídrico en toda la cuenca, pero especialmente en los sectores más poblados y con las mayores extensiones de cultivos de exportación. La escasa o débil gobernanza del sector, junto con una insuficiente gestión institucional, aportan complejidad al problema. En estos sectores de la cuenca están en gran riesgo los procesos naturales que dan sostenibilidad a este recurso vital.

En este contexto surgió el Proyecto Hacia la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos transfronterizos de la Cuenca del Río Sixaola compartida por Costa Rica y Panamá, el cual se enmarca en el Convenio de Cooperación para el Desarrollo Fronterizo Costa Rica-Panamá, y es financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF). Es implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) como garante técnico y la Organización para Estudios Tropicales (OET) como socio ejecutor. El Proyecto tiene como propósito “crear condiciones de largo plazo para una mejor gobernanza compartida de la cuenca, con información oportuna para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en la Cuenca Binacional del Río Sixaola entre Costa Rica y Panamá, y contribuir a reducir la contaminación por agroquímicos y los riesgos asociados a las inundaciones periódicas en la cuenca” (PNUD, 2021).

Entre las actividades a impulsar por el Proyecto se encuentra la implementación de acciones participativas de biomonitoreo de ríos, con pobladores y organizaciones locales. Esto con el propósito de sentar las bases de un sistema binacional de monitoreo participativo de la salud ecológica de los ríos de la Cuenca Binacional del

Río Sixaola y su zona de influencia, que contribuya de manera permanente y oportuna con información para: a) el manejo integrado del recurso hídrico, b) la elaboración y desarrollo del Plan de Acción Estratégica del Proyecto, c) alimentar los procesos técnicos desarrollados en el componente 2 del Proyecto y d) apoyar al Grupo de Monitoreo y Control de la Contaminación de la CBCRS y la Plataforma de diálogo entre múltiples partes interesadas.

La implementación de estas acciones se realizará con base en la experiencia de una iniciativa local y participativa generada desde la sociedad civil en la cuenca: el Programa de Biomonitorio de Ríos de la Asociación ANAI. La Asociación ANAI, fundada en 1983, es una organización costarricense sin fines de lucro que trabaja en el Caribe Sur de Costa Rica, en conservación y desarrollo sostenible. El Programa de Biomonitorio de Ríos de ANAI, fundado en el 2000, tiene como objetivo promover la conservación de los ríos y cuencas de La Amistad Caribe de Costa Rica y Panamá, mediante el involucramiento de los pobladores locales en las actividades de biomonitorio de ríos y la educación ambiental (ANAI, 2023).

El Programa es pionero por ser una de las pocas iniciativas de biomonitorio continuo en el neotrópico y además por promover la participación ciudadana. Entre 2000 y 2022 el Programa había realizado más de 635 monitoreos participativos en 200 sitios de La Amistad Caribe de Costa Rica y en menor medida en Panamá. En 23 años de existencia, más de 2000 personas han participado en las jornadas de biomonitorio.

En este documento se presentan los resultados y análisis de 17 jornadas de biomonitorio de ríos en la cuenca, las cuales además de generar información valiosa para la toma de decisiones, pretenden fortalecer el biomonitorio en la cuenca, mediante el involucramiento y articulación de actores como: dirigencias indígenas, guardarrecursos (personas vigilantes del buen uso de los recursos naturales en los territorios indígenas con base en la cultura y la ancestralidad), bioeducadores (líderes comunitarios capacitados por ANAI en biomonitorio de ríos), Ministerios de Ambiente de ambos países, grupos comunitarios organizados y pobladores locales.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Descripción de la Cuenca Binacional del Río Sixaola

La Cuenca del Río Sixaola hace parte de la región de La Amistad Caribe. Con una superficie de 2848.3 km², corresponde a una cuenca binacional compartida por Costa Rica (81% del área) y Panamá (19% del área), como se aprecia en la Figura 1. La parte alta de la cuenca es escasamente poblada y está protegida por el Parque Internacional La Amistad (PILA; ambos países), la Reserva Biológica Hitoy Cerere (Costa Rica) y el Bosque Protector Palo Seco (Panamá). Con una extensión combinada de 4061.5 km² (49% en Costa Rica y 51% en Panamá), el PILA es la más extensa de estas importantes áreas silvestres protegidas estatales. En la cuenca media se encuentran territorios indígenas de las etnias Bribri, Cabécar, Naso y Ngäbe. En la cuenca baja se ubican los mayores asentamientos humanos.

En la Cuenca habitan alrededor de 33000 personas, según los censos de población del 2011 para Costa Rica y 2010 para Panamá. Se incluyen en esta estimación los distritos Telire, Bratsi y Sixaola, del cantón Talamanca, y los corregimientos Las Tablas, Las Delicias, La Mesa y Guabito del Distrito Changuinola, provincia Bocas del Toro (PNUD, 2021).

De acuerdo con la Comisión Binacional Cuenca del Río Sixaola (CBCRS, 2017), existen grandes extensiones de terreno dedicadas a la producción industrial de banano y en menor medida de plátano y cultivos estacionales. De hecho, la principal actividad económica generadora de empleo que se desarrolla en el área de la cuenca y su zona de influencia es la agricultura intensiva dedicada a la exportación de banano. Esta actividad es efectuada mayoritariamente por la empresa transnacional Chiquita Brands International, en ambos países, y la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) en Costa Rica. En los corregimientos Las Tablas y La Mesa del distrito Changuinola, así como en los distritos Sixaola, Bratsi y Telire del cantón Talamanca, un número importante de productores independientes se dedican a la producción de plátano para los mercados nacionales. Adicionalmente, en la cuenca media y alta se realiza la producción de cacao orgánico y convencional, principalmente por agricultores indígenas. Además, en toda la cuenca hay pequeña producción de maíz, frijoles, yuca, ayote, variedad de frutales y ganado vacuno.

Otra actividad económica en desarrollo es el turismo, especialmente en las áreas de influencia de la cuenca (zonas costeras e insulares). Un número considerable de los establecimientos turísticos (restaurantes, hoteles y cabinas de baja capacidad y densidad) se ha desarrollado con un enfoque ecoturístico, generando fuentes de empleo a mucha población local y de otras regiones (CBCRS, 2017).

En la zona costera se encuentran dos áreas protegidas: el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo, en Costa Rica, con 104.52 km² de extensión (SINAC, 2017), y el Humedal de Importancia Internacional San San Pond Sak, en Panamá, con 200.2 km² de extensión (Autoridad Nacional del Ambiente/Corredor Biológico Mesoamericano del Atlántico Panameño, 2004). La cuenca hace parte además de designaciones especiales como el Sitio de Patrimonio Mundial Reservas de la Cordillera de Talamanca–La Amistad /Parque Nacional de la Amistad (UNESCO, 2023) y la Reserva de la Biosfera La Amistad (Comisión Costarricense de Cooperación con la UNESCO, 2021).

2.2. Conceptos claves en biomonitoreo

De acuerdo con Cornejo et al. (2019), el *biomonitoreo* es un proceso mediante el cual se realizan evaluaciones a lo largo del tiempo de los elementos naturales de los ecosistemas fluviales, utilizando para ello, las comunidades de seres vivos. Se integran la estimación de la diversidad y la densidad de diferentes grupos de organismos indicadores (*bioindicadores*) y la evaluación del medio físico o de hábitats. Esto permite entender los procesos que dan integridad a los ecosistemas acuáticos para su gestión sostenible.

En este contexto, los *bioindicadores* son organismos vivos (animales, plantas, microorganismos y otros) que son estudiados para evaluar el estado de salud de un ecosistema. Los cambios en su diversidad o en sus poblaciones pueden reflejar la existencia o el aumento de la contaminación o cualquier otro factor que pueda dañar el equilibrio del ecosistema natural (Science Learning Hub, 2023). Según Roldán (2020), gracias a sus características ecológicas los bioindicadores cuentan con una elevada sensibilidad a los diferentes cambios ambientales que se dan en la naturaleza, reaccionando frente a ellos como si fueran estímulos específicos.

En contraposición, de acuerdo con Springer (2010), los *indicadores fisicoquímicos*, representan la condición del agua en el momento del muestreo, mientras que los bioindicadores muestran tendencias a través del tiempo, es decir, se pueden comparar condiciones pasadas y presentes. Algunos indicadores físicos son turbidez, sólidos suspendidos, color, temperatura y conductividad; mientras tanto, indicadores químicos son pH, dureza, oxígeno disuelto, materia orgánica, nutrientes, plaguicidas y metales pesados (Fernández y Volpedo, 2020). Mediante el uso de indicadores biológicos es posible detectar eventos puntuales de toxicidad por contaminación, los cuales a menudo no son detectados por las mediciones fisicoquímicas estándares.

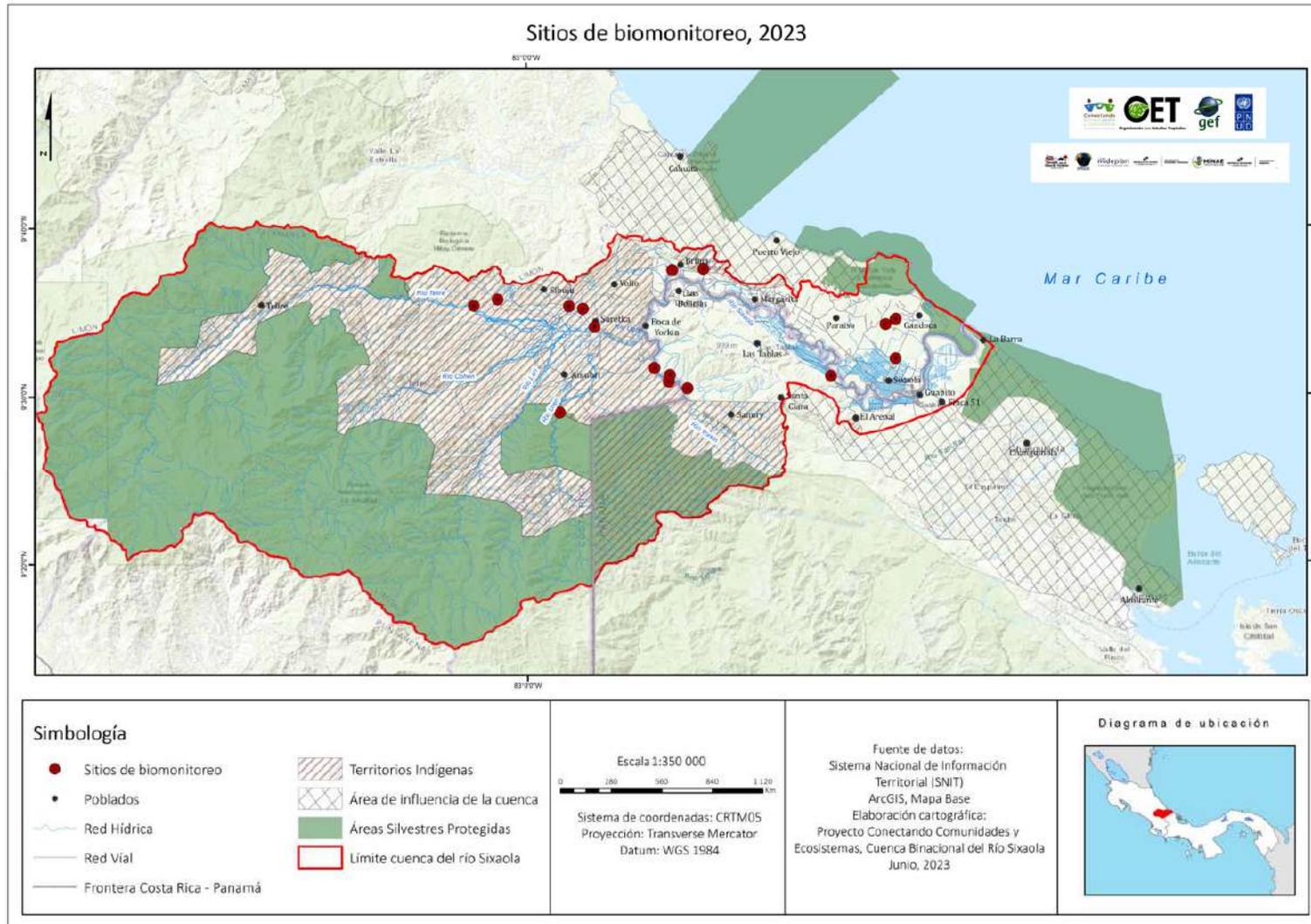
No obstante, el uso de bioindicadores también tiene sus limitaciones, especialmente para determinar la calidad de agua para consumo humano, porque no necesariamente detecta la presencia de patógenos o condiciones químicas potencialmente peligrosas para la salud humana. Además, las comunidades de organismos indicadores pueden verse afectados por otros factores ambientales, como la calidad del hábitat o las condiciones climáticas (Springer, 2010).

Las metodologías de biomonitoreo incluyen el uso de *índices bióticos*, que son valores numéricos que relacionan los taxones (grupos de organismos emparentados) presentes en el sitio monitoreado, que usualmente se presentan como familias, géneros o especies, con su nivel de tolerancia a las alteraciones. Estos valores, a su vez, son utilizados en conjunto con la riqueza taxonómica (índices cualitativos) o en combinación con las abundancias relativas (índices cuantitativos) para llegar a un valor final del índice (Gamboa et al., 2008; Springer 2010). Estos índices son ampliamente utilizados en la evaluación de la calidad biológica de las aguas, en especial de los ríos y riachuelos (Cornejo et al., 2019).

Estos índices bióticos son combinados con otras métricas o valoraciones, para elaborar *índices multimétricos* (Springer, 2010). Estos índices se encuentran entre las metodologías más utilizadas en la actualidad, y usualmente incluyen de 5 a 12 métricas que deben ser construidas o adaptadas específicamente para cada ecorregión o incluso subcuenca (Moya et al., 2007). En esta categoría se encuentra el Índice de Integridad Biótica (IBI, por sus siglas en inglés), desarrollado por Karr (1991) originalmente para peces, y en el cual se basa el programa de Biomonitoreo de Ríos de la Asociación ANAI (Asociación ANAI-Programa de Biomonitoreo de Ríos, 2021).

Finalmente, de acuerdo con Narcís et al. (2009), en general los cambios a nivel de comunidad y de ecosistema se conocen como “cambios en la salud ecológica”; no obstante, hay muchos términos que significan más o menos lo mismo (integridad biológica, estado ecológico, calidad ecológica). Muchos investigadores tienden a utilizar dos términos principales: la *calidad biológica*, que indica los cambios estructurales medidos mediante la comunidad de organismos (por ejemplo los peces o los macroinvertebrados macroinvertebrados) y el *estado ecológico*, que tiene un sentido más amplio, pues además de la calidad biológica integra otros cambios a nivel del ecosistema, como el régimen hidrológico, la morfología de la cuenca, los aspectos fisicoquímicos y la vegetación de ribera (Moya et al, 2007; Narcís et al., 2009). Este último concepto es el asumido por el Programa de Biomonitoreo de Ríos de la Asociación ANAI para enfocar el trabajo realizado mediante esta consultoría.

Figura 1. Cuenca Binacional del Río Sixaola con indicación de algunos de sus principales elementos y la ubicación de los 17 sitios visitados en las jornadas participativas de biomonitoreo de ríos en 2023.



3. METODOLOGÍA

3.1. Selección de los sitios para biomonitoreo de ríos 2023

Se seleccionaron 17 sitios en ríos y quebradas para efectuar biomonitoreo en la Cuenca Binacional de Río Sixaola en 2023 (Figura 1, Cuadro 1). Estos se concentraron en la parte media y baja de la cuenca, pues es donde se presentan los principales impactos humanos. Los sitios fueron seleccionados con base en los siguientes criterios:

- La experiencia previa de ANAI, considerando resultados técnicos y relación con comunidades locales.
- Los resultados de un proceso participativo previo realizado con SINAC y guardarrecursos indígenas donde se priorizaron sitios para biomonitoreo en el Sitio de Patrimonio La Amistad Caribe.
- Comunicación con las Dirigencias de los Territorios Indígenas de Panamá y bioeducadores de Panamá.
- Usos de suelo.
- Seguimiento a esfuerzos de restauración.
- Relación con los sitios usados por el Proyecto Conectando Comunidades y Ecosistemas para toma de muestras de aguas para análisis químicos y de residuos de plaguicidas.

3.2. Temporalidad

Las jornadas de biomonitoreo de ríos se ejecutaron entre febrero e inicios mayo de 2023. Esto corresponde a la temporada tradicional de campo del Programa de Biomonitoreo de Ríos de ANAI. En este periodo suelen haber pocas lluvias, por lo que los ríos tienden a presentar niveles bajos de agua y baja turbidez. Los resultados aquí presentados son comparables con la información previa de biomonitoreo de ríos generada por ANAI en la Cuenca Binacional del Río Sixaola y la región de La Amistad Caribe en general.

3.3. Actores involucrados

La implementación de acciones en biomonitoreo de ríos y quebradas en la Cuenca Binacional del Río Sixaola se realizó mediante un proceso participativo en el que se promovió el involucramiento de actores clave como: pobladores y organizaciones de las comunidades locales, dirigencias indígenas, bioeducadores capacitados por ANAI, guardarrecursos indígenas y funcionarios de los Ministerios de Ambiente.

Cuadro 1. Sitios en los que se realizaron jornadas participativas de biomonitoreo de ríos en la Cuenca Binacional del Río Sixaola, 2023. Se indica la subcuenca, el nombre del río o quebrada, ubicación por país (CR = Costa Rica, PAN = Panamá, FRO = Frontera), sitio específico, código dado por ANAI, criterios de selección del sitio, disponibilidad de información previa y actores involucrados.

Subcuenca	Río o Quebrada	País	Código ANAI	Sitio	Criterios selección	Info. previa	Principales actores involucrados
Telire	R. Blei	CR	BLENJ-204	En la comunidad El Progreso	Levantamiento de línea base. Priorizado por guardarrecursos y SINAC.	No	SINAC, guardarrecursos de ADITICA, miembros de la comunidad, ANAI
	R. Jamey	CR	JAMGA-203	En la comunidad de Gavilán Canta	Levantamiento de línea base. Priorizado por guardarrecursos y SINAC.	No	SINAC, guardarrecursos de ADITICA, miembros de la comunidad, ANAI
	R. Shiroles	CR	SHIAB-067	Por el aeropuerto	Concentración de desarrollo urbanístico, deforestación, canalización y contaminación por residuos sólidos. Priorizado por ADITIBRI y SINAC.	Sí	SINAC, guardarrecursos de ADITIBRI, miembros de la comunidad.
	Q. Gerardina	CR	GERSH-144	En Shiroles	Finca sistema agroforestal en Shiroles. Cambios ensamblajes peces posiblemente por cambio climático.	Sí	Guardarrecursos de ADITIBRI, bioeducadores, ACOMUITA.
	R. Cocolis	CR	COCSU-065	Antes de la desembocadura en el R. Telire	Concentración de desarrollo urbanístico, contaminación por residuos sólidos. Priorizado por ADITIBRI y SINAC.	Sí	SINAC, guardarrecursos de ADITIBRI, Consejo de vecinos de Suretka.
Urén	R. Urén	CR	URESO-135	En Tsoki	Límite con el PILA sector Tsoki. Priorizado ADITIBRI y SINAC.	Sí	SINAC, bioeducadores, miembros de la comunidad.
Yorkín	R. Brai	PAN	BRABO-069	Antes de la desembocadura en el R. Yorkín	Recibe la influencia de las comunidades Ngábe de Alto Yorkín.	Sí	Dirigentes Agua Salud, Consejo Territorio Indígena Bribri Panamá, bioeducadores.
	R. Tscui	CR	TSCYO-057	Antes de la desembocadura en el R. Yorkín	Seguimiento al proceso de restauración parte baja. Hay ganadería en parte alta.	Sí	SINAC, MIAMBIENTE, Stibrawpa, miembros comunidad.
	Q. Sinádira	PAN	SINYO-096	Antes de la desembocadura en el R. Yorkín	Deforestación en la parte alta para creación de potreros.	Sí	Consejo Territorio Indígena Bribri Panamá, Se Yámipa.

	R. Yorkín	FRO	YORBR-205	Aguas arriba desembocadura del R. Bris	Información de la condición del río en la parte baja. Incremento del cultivo de plátano.	No	SINAC, MIAMBIENTE.
Bajo Sixaola	R. Carbón	CR	CARPU-202	Antes de la desembocadura en el R. Sixaola	Influencia del centro poblado de Bribri, ganadería y agricultura. Sitio usado para análisis fisicoquímicos.	No	SINAC, UCR, Guardarrecursos de Tjai.
	R. Sand Box	CR	SBCAN-112	En extremo alto de la Platanera Río Sixaola	Seguimiento reforestación y eventos de canalización. Involucramiento de La Platanera Río Sixaola.	Sí	Platanera Río Sixaola, miembros de la comunidad, Proyecto Conectando Comunidades y Ecosistemas.
	Q. Quebra Caña	CR	QCEGA-093	En el puente carretera a Gandoca	Canalizado y recibe gran parte de las aguas del sector bananero del Valle del Sixaola en CR. Sitio usado para análisis fisicoquímicos.	Sí	Representante comunidad.
	Canal Washout	PAN	WASMP-P026	Abajo puente carretera a Barranco	Canalizado y recibe gran parte de las aguas del sector bananero del Valle del Sixaola en PAN. Sitio usado para análisis fisicoquímicos.	No	Comité Cuenca Hidrográfica del Río Sixaola, MiAmbiente, MIDA, Municipalidad de Changuinola.
Laguna de Gandoca	Q. Mata de Limón	CR	MDLFL-041	En bosque Finca Lomas	Cambios ensamblajes peces posiblemente por cambio climático. Alimentan Laguna de Gandoca RVSGM. Peces endémicos amenazados. Sitio en conservación.	Sí	Público en general
	Criquet Azul	CR	CAZFL-045	En bosque en Mata de Limón	Cambios ensamblajes peces posiblemente por cambio climático. Alimentan Laguna de Gandoca RVSGM. Peces endémicos amenazados. Sitio en conservación.	Sí	Público en general
	R. Gandoca	CR	GANRC-038	En bosque Finca ACBTC	Cambios ensamblajes peces posiblemente por cambio climático. Alimentan Laguna de Gandoca RVSGM. Peces endémicos amenazados. Sitio en conservación.	Sí	Público en general

Para la programación de cada jornada de biomonitoreo ANAI se encargó de la comunicación y la coordinación con todos los actores a involucrar. En el caso de actores como el SINAC y MiAmbiente, se realizaron varias reuniones presenciales y virtuales para presentar la iniciativa y elaborar una programación conjunta de los biomonitoreos a realizar.

3.4. Técnicas de muestreo

Para la evaluación de la salud ecológica de los ríos y quebradas en la Cuenca Binacional del Río Sixaola, se usaron las metodologías de muestreo normalmente utilizadas por el Programa de Biomonitoreo de Ríos de ANAI. La mayoría de estas han sido adaptadas a los ríos de La Amistad Caribe de Panamá y Costa Rica y han sido implementadas exitosamente en procesos participativos con comunidades indígenas, campesinas y afrocaribeñas. El Programa evalúa tres aspectos para definir la salud ecológica de un río o quebrada: el ensamblaje de peces, los macroinvertebrados bentónicos y la condición del hábitat físico. A continuación, se describen las metodologías implementadas en las jornadas de biomonitoreo y el proceso de asignación de la bioclase global.

3.4.1. Peces

De acuerdo con las características del sitio (ubicación, tamaño del río, visibilidad bajo el agua, nivel de contaminación y profundidad), para la obtención de información sobre los peces se optó por censos visuales (metodología que no implica captura), o bien realizar la recolecta para manipulación temporal mediante unidades de electropesca tipo mochila y redes (redes de mano, chinchorros y/o, atarraya).

Captura con electropesca y redes: el trabajo inició con la selección del sitio de monitoreo. Este debió ser un trecho típico del río, en el cual estuvieran representados todos los hábitats. El largo a muestrear fue de al menos 15 veces el ancho promedio del río. El trecho se dividió en submuestras de acuerdo con el tipo de hábitat: remanso, rápido, poza y poza aislada.

En la parte más baja de cada submuestra se colocó un chinchorro que cubriera el ancho del río o bien el tamaño máximo del trasmallo (8 m). Con el personal provisto de trajes aislantes y empleando una o dos unidades de electropesca tipo mochila, se procedió a inmovilizar los peces. El voltaje y frecuencia de descarga se ajustaron en cada sitio de acuerdo con la salinidad y los sólidos disueltos. Los peces fueron capturados en el chinchorro por efecto de la corriente y se usaron redes de mano durante la aplicación de la electricidad para retirar los peces del agua lo más pronto posible. Los

organismos recolectados se pusieron inmediatamente en baldes con agua del río para que se recuperaran (Fotos 1 y 2).

Al finalizar cada submuestra se procedió al conteo e identificación a nivel de especie de todos los peces capturados. A cada individuo se le evaluó además la condición de salud externa (enfermedades, parásitos u otras anomalías externas). Al realizar este proceso se mostraron a los participantes las especies capturadas y se les contó acerca de la historia de vida de las mismas (Fotos 3 y 4). Los peces, así como cualquier animal capturado incidentalmente, se devolvieron vivos aguas abajo para prevenir que fueran electrizados, manipulados y/o contados dos veces. El muestreo continuó aguas arriba hasta obtener lo que se denomina una muestra representativa. Un número mínimo de peces para constituir una muestra válida en términos estadísticos es 200. Otra consideración que se tomó para dar por culminado el muestreo es que no aparecieran especies nuevas en las últimas dos submuestras.

Es muy importante mencionar que esta metodología es aplicable en quebradas y ríos de tamaño pequeño y mediano. Ríos como el Telire y el Sixaola no pueden ser evaluados con esta metodología por dos razones: no se dispone de sitios de referencia para comparar y además no se podría muestrear con unidades de electropesca tipo mochila, sino que se necesitarían botes especializados.



Foto 1. Muestreo de peces con unidades de electropesca y redes en Río Tscui. Participación de funcionarios de SINAC, MiAmbiente y ANAI, así como representantes de la comunidad de Yorkín y de la organización Stibrawpa.



Foto 2. Recolección de los peces capturados en el chinchorro en el Río Carbón. Los peces fueron puestos en baldes con agua para su posterior revisión.



Foto 3. Proceso de revisión, identificación y conteo de los peces recolectados durante el muestreo en el Río Cocolis. Posteriormente fueron regresados vivos al agua.



Foto 4. Presentación a los participantes de las especies de peces recolectadas en el biomonitoreo en Río Sand Box. ANAI dispone de guías para la identificación de los peces de la región con los nombres de las especies en los 4 idiomas indígenas de La Amistad Caribe: Bribri, Cabécar, Naso y Ngäbe.

Censos visuales: se basa en la identificación visual de los peces a nivel de especie y la aproximación de números por medio de inventarios dentro del río, usando mascarar. Esta técnica normalmente no involucra la captura de peces. Sin embargo, en ciertas situaciones especiales (por ejemplo, pequeñas pozas aisladas lodosas) se podrían emplear redes de mano para determinar la presencia de especies pequeñas, raras o crípticas. Una descripción detallada de esta metodología es presentada en la Guía de Campo elaborada por Arias-Moreno *et al.* (2023).

Esta metodología es idónea para ríos medianos y grandes con aguas claras (Foto 5). No es aplicable en quebradas y ríos muy pequeños. Debido a la turbidez, tampoco se usa en ríos de la región de Gandoca y San Miguel. Capturas del trabajo con esta metodología son mostradas en las Fotos 6 y 7.



Foto 5. Río Urén en el PILA, sector Tsoki, un sitio en el que se usan censos visuales con máscara para el estudio del ensamblaje de peces.



Foto 6. Bioeducador de Tsoki instalando los mecates como parte de protocolo para el muestreo de peces con censos visuales en el Río Urén en el PILA.



Foto 7. Observaciones de peces con máscara para el cálculo del IBI-VI en las aguas internacionales del Río Yorkín.

Aplicando cualquiera de las dos metodologías el producto fue un listado de especies con conteos (en el caso de captura con electropesca) o estimaciones de abundancia (censos visuales) por cada submuestra. Esta información se empleó para el cálculo de los Índices de Integridad Biótica (IBI) desarrollados por ANAI: IBI-TAL o IBI-VI, según correspondiera.

El IBI-TAL es una versión del Índice de Integridad Biótica originalmente desarrollado por el Dr. James Karr en el estado de Illinois (Karr *et al.*, 1981) y posteriormente adaptado para su uso en muchas partes del mundo. La versión local de este índice está basada en muchos años de experiencia de ANAI en la región de La Amistad Caribe y otras partes, reforzada con opiniones de expertos en peces de agua dulce y/o biomonitoreo a nivel nacional e internacional. Es un índice multimétrico que puede ser calculado a partir de conteos en campo. Se emplea para comparar cualquier sitio dado con una condición ideal de "referencia"- en teoría, un sitio prístino, virgen con características similares a las naturales-. En la práctica, la condición de referencia es a menudo determinada por el análisis de los mejores sitios disponibles, que pueden ser mucho menos que prístinos.

Algunos aspectos evaluados en los IBI incluyen: diversidad de especies, porcentaje de especies en diferentes grupos tróficos, frecuencia de enfermedades y parásitos, tasa de captura, etc. De acuerdo con los puntajes obtenidos para los diferentes parámetros se asigna al sitio una bioclase que oscila entre Excelente (condición natural, no se perciben impactos humanos) y Muy Pobre (muy intervenido).

ANAI ha desarrollado 4 versiones del IBI-TAL de acuerdo con la zona geográfica, (determina el tipo de río) y el área de drenaje:

- Ríos de zonas bajas de Gandoca y San Miguel con área de drenaje menor a 10 km².
- Ríos de zonas bajas de Gandoca y San Miguel con área de drenaje igual o mayor a 10 km².
- Ríos fuera de Gandoca y San Miguel con área de drenaje menor a 10 km².
- Ríos fuera de Gandoca y San Miguel con área de drenaje igual o mayor a 10 km².

Se desarrollaron índices exclusivos para la región de Gandoca y San Miguel, debido a que a diferencia de los demás ríos y quebradas de la cuenca del Río Sixaola, estos ríos se caracterizan por presentar muy baja gradiente, sustratos suaves (carecen de roca ígnea) y no presentan rápidos. En el Anexo 1 se presentan las versiones del IBI-TAL empleadas en el presente estudio, así como el fundamento de sus métricos. Otro IBI desarrollado a partir de las bases de datos históricas de ANAI puede ser consultado en Van Oosterhout y Van Der Velde (2015).

El IBI-VI es similar al IBI-TAL, pero se basa en observaciones visuales, no en captura y conteo. Es una invención propia del Programa de Biomonitorio de ANAI, derivada de la amplia experiencia con el IBI-TAL. Se dispone de dos versiones de este índice, una para ríos con área de drenaje menor a 10 km² y otra para ríos con área de drenaje igual o mayor a 10 km².

3.4.2. Macroinvertebrados bentónicos

Para el monitoreo biológico de la calidad del agua con macroinvertebrados bentónicos se empleó el índice Biological Monitoring Working Party adaptado para Costa Rica (BMWP-CR), el cual está incluido en el Reglamento No. 33903 del MINAE-S, para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales (La Gaceta, 2007). Empleando una red “D” de 500 µm, en cada sitio se tomaron tres submuestras multihábitat de tres minutos cada una (Foto 8). El material recolectado se revisó en campo para la separación de los macroinvertebrados mediante bandejas de fondo blanco y pinzas entomológicas suaves (Fotos 9 y 10). Todos los organismos recolectados se preservaron en viales con alcohol al 75% para su posterior identificación. En campo se levantaron listados preliminares de las familias presentes para facilitar la discusión de resultados con los participantes locales. Debido al tiempo que demanda el procesamiento de las muestras y la identificación hasta el nivel de familia, este trabajo se realizará en laboratorio con ayuda de estereoscopios en los meses de mayo y junio.

El BMWP-CR se calcula sumando las puntuaciones asignadas a las distintas familias de macroinvertebrados bentónicos, según su grado de sensibilidad a la contaminación (La Gaceta, 2007). El puntaje se asigna una sola vez por familia, independientemente de la cantidad de individuos o géneros encontrados. La suma de los puntajes de todas las familias encontradas en el sitio brinda el valor final del índice, que según el puntaje puede oscilar entre aguas de Muy Mala calidad a aguas de Excelente calidad. Esta metodología es aplicable en quebradas y ríos de todos los tamaños.



Foto 8. Muestreo de macroinvertebrados bentónicos en el fronterizo Río Yorkín por parte de funcionaria de ANAI y directora del PILA Caribe Costa Rica.



Foto 9. Separación de la muestra de macroinvertebrados en el Río Jamey en el Territorio Indígena Talamanca Cabécar. Se contó con la participación de SINAC, guardarrrecursos de ADITICA y pobladores locales.



Foto 10. Revisión participativa de la muestra de macroinvertebrados bentónicos en el Río Shiroles, Territorio Indígena Talamanca Bribri. Se comparte información acerca de la historia de vida de diferentes familias y el nivel de tolerancia a la contaminación.

3.4.3. Valoración de hábitat

El índice SVAP (Stream Visual Assessment Protocol) es una valoración visual del hábitat desarrollada por el Departamento de Agricultura de los EEUU (USDA, 1998). Este fue adaptado para la región de La Amistad Caribe por la Asociación ANAI. Una descripción detallada de esta metodología es brindada en Mafla *et al.* (2005). Se basa en observaciones del entorno tomadas durante el proceso de monitoreo. Se compone de 15 métricas que evalúan aspectos como: claridad del agua, sedimentos, vegetación ribereña, hábitat para peces y macroinvertebrados, presencia de desechos sólidos, enriquecimiento orgánico, sombra, entre otros (Foto 11). De acuerdo con lo observado en el sitio a evaluar, a cada uno de los métricos se le asigna un puntaje entre 1 (peor condición) y 10 (mejor condición). Los puntajes se promedian, y al igual que los demás índices, se asigna una bioclase que va de Excelente a Muy Pobre. La metodología está diseñada para quebradas y ríos pequeños y medianos. El SVAP agrega valor al proceso de evaluación de ríos y quebradas, pues señala la importancia de elementos del hábitat físico como sombra, profundidad, estructura, etc. Esto resulta relevante, pues en la mayoría de casos la salud de un río se concibe solo en términos de la calidad físico/química del agua.



Foto 11. Valoración de hábitat en el Río Brai en Panamá por parte de pobladores Ngäbe de Agua Salud.

3.4.4. Determinación de la bioclase global y tendencias

Al finalizar cada jornada de campo se realizó una discusión con el grupo de trabajo para compartir los resultados de las metodologías utilizadas y asignar una bioclase global al sitio (Foto 12). Según lo establecido por el Programa, cuando las bioclases de los tres aspectos evaluados coinciden, la bioclase global es la misma. Pero cuando hay resultados diferentes se emplea el criterio de experto. Se puede dar más o menos peso a los índices de acuerdo con las características del monitoreo. Por ejemplo, en un sitio físicamente muy difícil, donde el muestreo de peces resulta complicado, se puede rebajar peso a este componente. O si se encuentra un hábitat atípico, se da menos énfasis al SVAP. Una descripción general de los atributos de un sitio según la bioclase global es brindada en el Cuadro 2.

Para los sitios para los que ANAI disponía de información previa se identificaron tendencias en la salud ecológica. La tendencia se clasificó como: Positiva, cuando se observan mejoras en el sitio; Negativa, cuando hay disminución de la salud ecológica; Estable, cuando no se observan cambios significativos en la salud a través de tiempo; e Inestable, cuando las bioclases suben y bajan frecuentemente.



Foto 12. Discusión final de resultados de la Quebrada Sinádira en las instalaciones de Se Yámipa en el Territorio Indígena Bribri de Panamá. Participaron pobladores locales y una representante del Consejo General del Territorio Bribri de Panamá.

Cuadro 2. Atributos generales de un sitio y valores para el IBI, BMWP-CR y SVAP de acuerdo con la bioclase global asignada. Notar que no se usa el código de colores propuesto para el BMWP-CR (La Gaceta, 2007). El código de colores se ajustó a los usados por ANAI en los otros índices, según la descripción de calidad de agua.

Bioclase	Atributos	IBI	BMWP	SVAP
Excelente	Puede compararse con un bosque en donde el hombre no ha causado daños. Se encuentran muchas especies de peces y familias de macroinvertebrados. Los animales no tienen enfermedades y se encuentran todos los tamaños y edades. Las orillas están protegidas por árboles grandes y hay muy poco sedimento. Tiene buena sombra, cuenta con pozas, rápidos y remansos.	58 a 60	>120	9.1 a 10
Bueno	Hay un poco de daño en el río, pero se puede recuperar fácilmente. Hay menos diversidad de especies de peces y familias de macroinvertebrados, principalmente los intolerantes a la contaminación pueden ser escasos o no estar presentes. El tamaño de los animales es más pequeño y no hay de todas las edades. Aunque las orillas están protegidas se empieza a ver erosión. Las pozas tienen un poco de sedimento, la sombra no es completa y puede haber cultivos o animales domésticos cerca.	48 a 52	101 a 120	7.4 a 9.0
Regular	Se notan daños por el hombre, pero hay oportunidades de recuperación. Faltan algunos animales intolerantes a la contaminación. Hay escasos individuos carnívoros grandes. La mayoría de los macroinvertebrados son tolerantes a la contaminación. Las orillas muy poco protegidas de raíces y se ven más cultivos cerca. Las pozas se están llenando de sedimento. Hay basura en el río y algas (lana) dentro del agua.	39 a 44	61 a 100	5.8 a 7.3
Pobre	Más presencia de peces tolerantes a la contaminación y pocos que requieren hábitats especiales. Pocos carnívoros. Generalmente presentan enfermedades, parásitos y anomalías. Baja diversidad de macroinvertebrados, dominan los tolerantes. Zona ribereña deforestada, las orillas están erosionadas, hay árboles cayendo. Las pozas, rápidos y remansos son inestables se están llenando de sedimento. Puede haber cultivos y animales hasta la orilla. Pesca con venenos.	28 a 35	36 a 60	2.7 a 5.7
Muy Pobre	Los peces pueden ser pocos o muchos. Dominan los tolerantes a la contaminación (panzonas y sardinas con enfermedades, parásitos y/o anomalías). Muy baja diversidad de macroinvertebrados, dominan los más tolerantes. El río puede estar canalizado, hay pérdida de pozas, rápidos y remansos. Las orillas están deforestadas, sin raíces y sin sombra. Abundantes algas (lana) en época seca. El fondo es suave por la cantidad de sedimento. Se está haciendo un cañón y puede haber cultivos, animales, basura y/o tubos de drenaje por la orilla.	12 a 23	≤35	1.0 a 2.6

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se logró la ejecución de las 17 jornadas de biomonitoreo de ríos propuestas para la Cuenca Binacional del Río Sixaola en 2023. De los 17 sitios en los que se hizo biomonitoreo, 13 se ubicaron en Costa Rica, 3 en Panamá y 1 en la frontera entre ambos países (Cuadro 1). En términos de subcuencas, 4 sitios se ubicaron en la subcuenca del Río Telire, 1 en la del Río Urén, 4 en la del Río Yorkín, 4 en la subcuenca baja del Río Sixaola y 3 la de la Laguna de Gandoca. Del total de sitios, 10 se ubicaron en pueblos indígenas de Costa Rica y Panamá y 7 en tierras privadas. De estos últimos 7 sitios, 1 se encontró en el centro poblado de Bribri, 3 en áreas bananeras y 3 en propiedades bajo conservación estricta por parte de ANAI y la Asociación de Organizaciones del Corredor Biológico Talamanca Caribe. El Programa de Biomonitoreo de Ríos de ANAI disponía de información previa para 70% de los sitios estudiados en 2023 (Cuadro 1), estos habían sido monitoreados entre 2 y 14 ocasiones entre 2001 y 2022.

4.1. Involucramiento de actores

Desde la perspectiva del Programa de Biomonitoreo de Ríos de ANAI, cada jornada de biomonitoreo representa una oportunidad educativa para todos los participantes, pues se involucran activamente tanto en el muestreo como en la interpretación de resultados. En la presente iniciativa se tuvo éxito en la participación local. Un total de 58 personas participaron en las jornadas de biomonitoreo. De estas, 24% fueron mujeres y 76% hombres. Con excepción de los 3 sitios ubicados en la cuenca de La Laguna de Gandoca, los cuales son quebradas muy pequeñas y están en lugares remotos no poblados, la participación promedio por jornada fue de 10 personas. Este es un listado de los actores involucrados:

- SINAC.
- MiAmbiente.
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario.
- Municipalidad de Changuinola.
- Asociación de Desarrollo Integral del Territorio Indígena Talamanca Bribri, a través de los guardarrecursos.
- Asociación de Desarrollo Integral del Territorio Indígena Talamanca Cabécar, a través de los guardarrecursos.
- Comité de la Cuenca Hidrográfica del Río Sixaola.
- Consejo General del Territorio Bribri de Panamá.
- Red Multicultural de Bioeducadores de La Amistad Caribe.
- Consejo de Vecinos de Suretka.
- Proyecto Conectando Comunidades y Ecosistemas.
- Stibrawpa.

- Se Yámipa.
- ACOMUITA.
- Platanera Río Sixaola S.A.
- Guardarrecursos del Territorio Indígena Tjai.
- Universidad de Costa Rica, a través de una tesiaría.
- Pobladores de las comunidades de Yorkín, El Guabo, Changuinola, Tscui, Agua Salud, Sand Box, Tsoki, Shiroles, Gavilán Canta, Suretka, San Miguel, Boca Urén, Orochico, El Progreso, Hone Creek, Carbón 1 y Bribrí.

Resulta importante destacar la alta participación del SINAC y/o MiAmbiente (47%) y los guardarrecursos y/o bioeducadores de territorios indígenas (53%) en las jornadas de biomonitoreo. Esto se logró gracias a la articulación estratégica con el Consejo Local del Sitio Patrimonio Natural de la Humanidad La Amistad Caribe (COLAC SPNH La Amistad), órgano que busca la gobernanza compartida del Sitio, y que priorizó el biomonitoreo de ríos en el PILA y los territorios indígenas. Esta articulación inició en 2019 y se viene afianzando en 2022 y 2023. De igual manera, a través de la Administradora del PILA Caribe en Costa Rica, la Sra. Jeimy Carranza, fue posible el involucramiento de su contraparte en Panamá, el Sr. Rogelio Rivas. Mediante este enlace se logró algo histórico para la región: una gira de biomonitoreo de ríos binacional en la subcuenca del Río Yorkín con participación de pobladores y organizaciones locales, SINAC y MiAmbiente.

Con la colaboración del Sr. Jorge Guerra, jefe del Departamento de Recurso Hídrico de la Regional de MiAmbiente de Bocas del Toro, fue posible la realización de la jornada de biomonitoreo del Canal Washout con la participación de miembros de Comité de la Cuenca Hidrográfica del Río Sixaola.

Aunque el Programa de Biomonitoreo de Ríos de la Asociación ANAI ha generado información importante e implementado iniciativas para integrar a los habitantes locales de la Cuenca Binacional del Río Sixaola en el estudio y manejo de los ríos, el impacto del trabajo ha sido limitado por la necesidad de articulación estratégica con las dirigencias indígenas, los grupos comunitarios organizados, los bioeducadores, empresas privadas y las agencias gubernamentales competentes a nivel binacional.

Sin lugar a duda el desarrollo del presente trabajo fortaleció el biomonitoreo de ríos participativo en la cuenca, al contribuir a consolidar un proceso de articulación binacional de actores para la evaluación y vigilancia de la salud ecológica de los ríos de la Cuenca Binacional del Río Sixaola. A su vez se espera que contribuya al uso de la información generada para la toma de decisiones. Esto es acorde con lo recientemente publicado por Vargas et al. (2023), quienes a partir de programas

comunitarios de biomonitoreo de macroinvertebrados en México, concluyeron que el trabajo en red con otros actores facilitará conocer y asimilar los saberes institucionales que permitan garantizar el ejercicio pleno de los derechos humanos relacionados con el ambiente sano y al agua. Asimismo, la consolidación de redes entre las comunidades a lo largo de los ríos es fundamental para que estos procesos integren el necesario enfoque de cuenca que permita una gestión adecuada y sustentable del agua en beneficio de los habitantes.

4.2. Biomonitoreo

En todos los sitios monitoreados, con excepción de los sitios ubicados en Panamá, se aplicaron las 3 metodologías de evaluación propuestas por ANAI: peces, macroinvertebrados bentónicos y hábitat. Para los 3 sitios ubicados en Panamá no se pudo realizar el muestreo de macroinvertebrados, pues los permisos de investigación con los cuales ya contaba ANAI, previos a esta consultoría, no incluyen el estudio de este grupo de organismos. ANAI comunicó esto a los encargados de OET y se está en el proceso encontrar una organización panameña que sirva como contraparte para la solicitud de un nuevo permiso de investigación ante la Dirección de Áreas Protegidas de Panamá. La dificultad en este aspecto es que no se ha identificado una organización similar a ANAI en la provincia de Bocas del Toro.

4.2.1 Peces

El muestreo de peces con censos visuales se realizó en 3 de los sitios monitoreados: Río Yorkín, Río Urén y Río Brai. Estos eran los ríos más grandes por monitorear en 2023 en la Cuenca del Río Sixaola. En los restantes 14 sitios, el muestreo de peces se realizó con unidades de electropesca. Los resultados obtenidos de la captura, conteo e inspección de los peces mediante las técnicas de electropesca y conteos visuales se muestran en el Cuadro 3.

Un total de 33 especies, pertenecientes a 15 familias y 28 géneros, fueron registradas en las 17 jornadas de biomonitoreo realizadas en 2023 (Cuadro 3). Aunque para los géneros *Eleotris*, *Hiatirhaphis* y *Sicydium* se han descrito 2 especies para la región, por la dificultad de diferenciarlas en campo, ANAI las trata a nivel de género. En la presente consultoría se registró el 80% de las especies reportadas históricamente por ANAI en sus labores de biomonitoreo en la cuenca Binacional del Río Sixaola (41 especies, Cuadro 3) y 52% de las especies reportadas en la totalidad de estudios ictiológicos realizados en la cuenca (63 especies; McLarney et al., En prep.). De acuerdo con McLarney et al. (En prep.) del total de 264 especies de peces nativas de agua dulce descritas para Costa Rica y

de las 207 especies listadas para Panamá, 23.9% y 30.4%, respectivamente, han sido reportadas para la Cuenca Binacional del Río Sixaola.

La abundancia total de peces en las 14 muestras realizadas con electropesca fue de 14247 individuos. No se incluyen datos de censos visuales, pues para estos solo se realizan estimaciones de las abundancias. La abundancia por especie osciló entre 2 y 5284 individuos. Las especies más abundantes (más de 500 individuos capturados) fueron la panzona común, *Poecilia gillii*, con 5284; la olomina Alfaro, *Alfaro cultratus*, con 1975; el chupapiedra *Sicydium* spp., con 1272; la sardina de quebrada, *Eretmobrycon scleroparius*, con 1250; la sardina común, *Astyanax nicaraguensis*, con 975; la olomina de aletas anaranjadas, *Priapichthys annectens*, con 697; y el tepemechín *Dajaus monticola*, con 575. Estas 7 especies fueron dominantes y en conjunto representaron el 84,4% de la abundancia de especies.

La abundancia promedio de peces por muestra fue de 1018 ± 508.8 DE (380 mínima - 1946 máxima) individuos y la riqueza de 13 ± 3.5 DE (6 mínima - 19 máxima) especies. Los ríos con mayor abundancia de individuos y riqueza de especies fueron Sand Box, Cocolis y Jamey. El primer sitio se ubica en el Valle del Sixaola y los otros 2 en el Valle de Talamanca.

De acuerdo con los resultados históricos de ANAI, los peces diádromos, que necesitan migrar entre aguas dulces y salobres para completar su ciclo de vida, están representados en la Cuenca Binacional del Río Sixaola por 11 especies (Cuadro 3). Entre estas se encuentran peces importantes en la pesquería de subsistencia de los pueblos indígenas de la cuenca: el bobo *Joturus pichardi*, la lisa *D. monticola*, la guabina *Gobiomorus dormitor* y el ronco *Rhonciscus crocro*. El porcentaje de abundancia de peces diádromos por muestra en 2023 fue de 13 ± 21.0 DE (0 mínimo - 81 máximo). Llama la atención el R. Tscui, donde 81% de los peces registrados fueron diádromos. De acuerdo con ANAI, contraintuitivamente, cuanto más se ingresa tierra adentro en la cuenca, mayor es el dominio de los diádromos. En el caso extremo, por encima de las cascadas altas, los únicos peces presentes suelen ser las chupapiedras (*Sicydium* spp.), que tienen la capacidad de escalar superficies verticales húmedas. Incluso en tramos fluviales accesibles, por encima de los 100 m elevación, la proporción de diádromos en las muestras normalmente supera el 75% (McLarney et al., 2010). La presencia de peces migratorios refuerza la necesidad de ríos conectados libremente con el mar que mantengan buenas características de hábitat, calidad de agua y zonas ribereñas forestadas. Esto es fundamental para la conservación de los ríos de la región de La Amistad. Arias-Moreno et al. (2019) estudiaron los impactos en las poblaciones de peces diádromos por la construcción de represas hidroeléctricas en la vecina cuenca del Changuinola/Teribe.

De las 41 especies reportadas históricamente por ANAI para la cuenca, 11 están amenazadas de acuerdo con IUCN (2020): la anguila americana *Anguilla rostrata*, la sardina blanca *Astyanax anai*, la sardinita *Hyphessobrycon bussingi*, la olomina de 4 puntos *Phallichthys quadripunctatus*, la chogorra *Amatitlania myrnae*, el sargento *Amatitlania kanna*, las mojarra reales *Cribroheros bussingi* y *C. rhytisma* y la chupapiedra *S. adelum* están catalogadas como En Peligro (EN). Por su parte, la olomina de aleta negra *H. parismina* y la otra especie de chupapiedras *S. altum* están catalogadas como Vulnerables (VU). De estas especies, 8 son endémicas a la región La Amistad Caribe (que se extiende aproximadamente desde la cuenca del Río Estrella en Costa Rica hasta el Río Changuinola en Panamá). En Costa Rica esta región, ocupa el segundo lugar, después de la Zona Sur/Osa, en términos de grado de endemismo y amenaza, por lo que su manejo es muy importante para la conservación de la biodiversidad.

En cuanto a peces exóticos en 2023 se encontraron las 3 especies exóticas invasoras reportadas históricamente para la cuenca: el pleco o pez diablo *Pterygoplichthys pardalis*, oriundo de Sur América, la tilapia *Oreochromis niloticus*, oriunda de África y el guapote tigre *Parachromis managuensis*, oriundo de la zona norte del Costa Rica. Por el potencial invasor de estas especies y los efectos negativos que pueden generar en los ríos es necesario que se generen acciones para su control.

4.2.2 Macroinvertebrados acuáticos

Un total de 7380 individuos pertenecientes a 67 familias, fueron encontrados en las 14 muestras de macroinvertebrados acuáticos tomadas en la Cuenca Binacional del Río Sixaola en 2023 (Cuadro 4). Los insectos fueron dominantes en abundancia de individuos y riqueza de familias, representaron el 91% de la abundancia total y el 79% de la riqueza.

La mayoría de las familias de macroinvertebrados (47) fueron raras (<1% de la abundancia total), 15 comunes (1 - 5%) y 5 abundantes (>5%). Tres familias de efímeras (Leptohyphidae, Leptophlebiidae y Baetidae), un díptero (Simuliidae) y un tricóptero (Hydropsychidae) dominaron la abundancia con 63.7% del total de individuos. Al considerar la frecuencia de aparición, Baetidae, Leptohyphidae, Chironomidae, Leptophlebiidae, Naucoridae, Veliidae, Coenagrionidae, Leptoceridae, Libellulidae e Hydropsychidae se encontraron en más del 79% de las muestras.

La abundancia promedio de macroinvertebrados por muestra fue de 527.1 ± 368.8 DE (140 mínima - 1208 máxima) individuos y la riqueza de 26.6 ± 7.4 DE (9 mínima - 36 máxima) familias. Los ríos con mayor abundancia de individuos fueron Yorkín, Jamey y Blei. Estos 2 primeros en conjunto con el Río Tscui, fueron también los que presentaron mayor riqueza de familias.

En el estudio se reportaron familias como Blephariceridae, Ephemeridae, Euthyplocidae, Heptageniidae e Hydrobiosidae, consideradas poco comunes en el país. Con excepción de Ephemeridae que no tiene un puntaje asignado en el BMWP y Euthyplocidae de tolerancia intermedia, las demás son muy intolerantes.

También resulta importante mencionar la presencia de camarones de las familias Palaemonidae y Atyidae en 93% de las muestras, pues al ser diádromos son indicadores de conectividad biológica. Aunque en el presente estudio no fueron dominantes en abundancia, pues la técnica de muestreo no es la idónea para camarones, de acuerdo con McLarney et al. (2010) en la región de La Amistad Caribe los peces y camarones diádromos representan en conjunto la mayoría de la fauna acuática, aparte de los insectos, ya sea en términos de diversidad de especies, número de individuos o biomasa.

4.2.3 Bioclases 2023

Como se mencionó anteriormente, el biomonitoreo permite la comparación entre sitios en un momento dado y de un mismo sitio a través del tiempo. A continuación se presentan los resultados obtenidos para los 17 sitios estudiados en 2023 (Figura 2 y Cuadro 5). Adicionalmente, para los 13 sitios para los que ANAI disponía de información previa, se presenta un análisis histórico y se asigna una tendencia.

En cuanto a las bioclases por componente se encontró que:

- Los índices con base en peces (IBI e IBIVI) mostraron una variedad de bioclases, 5 sitios apuntaron Bueno, 6 Regular, 1 Pobre y 5 Muy Pobre. Ningún sitio apuntó Excelente. Los sitios que apuntaron Muy Pobre se ubicaron en zonas bananeras (Quebra Caña y Canal Washout) y en ríos que reciben impactos de algunos de los principales centros poblados de la cuenca; Río Carbón en Bribri, Río Shiroles en la comunidad del mismo nombre y Río Cocolis en Suretka.

Cuadro 3. Especies de peces registradas por ANAI en las labores de biomonitorio de ríos en la Cuenca Binacional del Río Sixaola, 2001-2023. Se indica familia, nombre común, estado de conservación según IUCN (2020), patrón migratorio y la captura para los sitios monitoreados en 2023. Para los sitios en los que se trabajó con censos visuales solo se da una estimación cualitativa de la abundancia como R: Raro, C: Común y A: Abundante. Las siglas para el estado de conservación son: NE: No Evaluado, DD: Datos Deficientes, LC: Menor Preocupación, NT: Casi Amenazada, VU: Vulnerable, EN: En Peligro, CR: En Peligro Crítico, EW: Extinto en la Naturaleza y EX: Extinto. Las especies endémicas se marcan con un asterisco después del nombre científico.

Familia	Especie	Nombre común español	Patrón migratorio	UICN	BLENJ-204	JAMGA-203	SHIAB-067	GERSH-144	COCSU-065	URESO-135	BRABO-069	TSCYO-057	SINYO-096	YORBR-205	CARPU-202	SBCAN-112	QCEGA-091	WASMP-P026	MDLF-041	CAZFL-045	GANRC-038	
Anguillidae	<i>Anguilla rostrata</i>	Anguila de mar	Catádromo	EN																		
Characidae	<i>Astyanax anai*</i>	Sardina blanca	No	EN		1		18	9	R										10	3	7
	<i>Astyanax nicaraguensis</i>	Sardina común	No	LC	24	251	132	7	206	A	C	2		C	26	44	169	60	11			43
	<i>Eretmobrycon scleroparius</i>	Sardina de quebrada	No	LC	219	362	50	45	85	A	C	38	248	A	7	196						
	<i>Hyphessobrycon bussingi*</i>	Sardinita	No	EN		1		162												3		
Hypopomidae	<i>Brachyhypopomus occidentalis</i>	Pez cuchillo	No	LC		4	1	7	11			1				3						
Gymnotidae	<i>Gymnotus cylindricus</i>	Pez cuchillo	No	LC																		
Hepapteridae	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	Barbudo	No	LC		5		6	7						1	6	1			1		1
Hepapteridae	<i>Rhamdia laticauda</i>	Barbudo	No	LC	68	6	27															
Loricariidae	<i>Pterygoplichthys pardalis</i>	Pleco, pez diablo	No	Exótica, invasora														2				
Rivulidae	<i>Cynodonichthys isthmensis</i>	Saltón, rivulus	No	LC				9								2				2	8	1
Poeciliidae	<i>Alfaro cultratus</i>	Alfaro	No	LC		25		99	30						128	365	37		406	494	391	

	<i>Parachromis friedrichstali</i>	Guapotillo, diente perro	No	LC				14	7						1	1	3	25			
	<i>Parachromis managuensis</i>	Guapote tigre	No	LC, Exótica, oriunda zona norte CR			3														
Mugilidae	<i>Dajaus monticola</i>	Tepemechín, lisa, sartén	Anfidromo	LC	12		8		194	C	C	200	13	C	108	40					
	<i>Joturus pichardi</i>	Bobo, bocachica	Anfidromo	LC					1	A	R	15		C							
Gobiidae	<i>Awaous banana</i>	Chuparena	Anfidromo	LC	16	8	24		8	R	C	2	2	C	19	25	8	47			
	<i>Sicydium spp.</i>	Chupapiedra, titi	Anfidromo	<i>S. adelum*</i> EN/ <i>S. altum</i> VU	11	59	113		333	A	C	602	7	A	79	68					
Eleotridae	<i>Dormitator maculatus</i>	Dormilón	Anádromo	LC																	
	<i>Eleotris spp.</i>	Guavina negra	Anádromo	<i>E. amblyopsis</i> LC/ <i>E. pisonis</i> LC													71	1	3	2	22
	<i>Gobiomorus dormitor</i>	Guavina	Anfidromo	LC						R	R	3		R	1		4	1	3		2
Paralichthyidae	<i>Citharichthys spilopterus</i>	Pez hoja	Anádromo	LC																	

Cuadro 4. Listado de las familias de macroinvertebrados acuáticos registradas en las jornadas participativas de biomonitoreo de ríos en la Cuenca Binacional del Río Sixaola, 2023. Se indica el puntaje en el BMWP-CR de cada familia (1 muy tolerante a 9 muy intolerante; La Gaceta, 2007) y la abundancia por sitio.

Taxón	Familia/Sitio	Puntaje BMWP-CR	BLENJ-204	JAMGA-203	SHIAB-067	GERSH-144	COCOSU-065	URESO-135	TSCYO-057	YORBR-205	CARPU-202	SBCAN-112	QCEGA-091	MDLF-041	CAZFL-045	GANRC-038
Coleoptera	Dytiscidae	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Elmidae	5	10	11	1	1	1	22	73	23	0	0	0	0	2	5
	Gyrinidae	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Hydrophilidae	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Psephenidae	7	0	13	9	0	5	25	23	26	0	3	0	0	0	2
	Ptilodactylidae	7	4	3	0	0	1	7	7	3	0	0	0	0	0	1
	Scirtidae	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Staphylinidae	4	9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Diptera	Blephariceridae	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ceratopogonidae	4	0	4	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	Chironomidae	2	24	36	26	28	13	5	9	1	7	5	0	1	2	10
	Culicidae	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Dixidae	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dolichopodidae	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Empididae	4	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
	Psychodidae	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Simuliidae	4	489	23	51	1	58	36	16	37	0	7	0	0	0	0
	Stratiomyidae	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tipulidae	4	0	3	2	0	1	4	0	2	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	5	129	23	36	9	46	71	55	142	15	34	5	1	4	4
	Caenidae	4	0	3	0	0	0	0	0	0	19	28	2	0	9	0

	Ephemeridae		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	Euthyplociidae	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Heptageniidae	9	0	0	0	2	0	1	2	3	0	1	0	0	0	0
	Leptohyphidae	5	112	475	53	47	58	423	199	290	83	222	3	1	4	3
	Leptophlebiidae	8	9	165	10	51	3	84	95	192	10	7	0	21	137	26
Hemiptera	Belostomatidae	4	4	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Corixidae	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gerridae		0	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	3
	Mesoveliidae		0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
	Naucoridae	4	17	41	14	0	26	10	42	11	1	1	0	1	1	6
	Ochteridae		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Veliidae		36	1	5	0	20	4	5	4	7	2	1	1	1	0
Lepidoptera	Crambidae	5	3	2	1	0	2	1	2	4	4	1	0	0	0	0
Megaloptera	Corydalidae	6	6	18	4	0	2	8	2	15	0	2	0	0	0	0
Odonata	Aeshnidae	8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Calopterygidae	4	38	73	1	0	38	4	7	3	22	13	0	0	0	0
	Coenagrionidae	4	2	47	4	16	17	0	0	3	16	59	2	1	15	10
	Corduliidae	8	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gomphidae	7	0	2	0	5	0	2	0	1	0	1	0	5	6	1
	Libellulidae	6	8	15	19	18	5	1	5	3	4	13	0	0	13	0
	Perilestidae	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4
	Platystictidae	7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Plecoptera	Perlidae	9	11	0	0	0	0	35	20	9	0	0	0	0	0	0
Trichoptera	Calamoceratidae	8	0	1	0	5	0	2	5	2	0	0	0	1	9	2
	Glossosomatidae	8	0	0	16	0	1	0	1	1	3	13	0	0	0	1
	Helicopsychidae	5	0	0	2	0	1	0	3	0	0	2	0	1	4	14
	Hydrobiosidae	9	7	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
	Hydropsychidae	5	21	155	12	19	29	33	83	97	15	160	0	0	0	1
	Hydroptilidae	6	2	1	1	0	3	3	0	3	2	3	0	0	0	4

	Leptoceridae	8	6	18	2	6	8	21	3	7	9	16	0	0	4	4
	Philopotamidae	7	1	55	7	7	1	0	29	116	3	9	0	0	0	4
	Polycentropodidae	6	0	0	0	0	0	0	2	3	0	2	0	0	0	0
Collembola	Collembola		1	0	0	2	0	0	0	22	6	0	0	0	1	1
Decapoda	Atyidae	5	0	0	0	0	0	0	1	8	1	0	18	105	5	0
	Palaemonidae	5	1	1	1	1	1	0	1	3	1	2	53	73	5	4
	Pseudothelphusidae	5	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acari	Hydrachnidia	4	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	1
Hirudinea	Erpobdellidae	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
Oligochaeta	Tubificidae	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Oligochaeta	1	0	0	1	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Hydrobiidae	3	1	3	0	6	0	0	0	3	5	30	20	5	16	20
	Physidae	3	0	0	0	0	1	0	0	0	2	21	0	0	0	0
	Planorbidae	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Subfamilia Ancyliidae		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0
	Thiaridae	3	0	0	0	0	5	0	1	4	14	47	36	9	10	13
Platyhelminthes	Planariidae	5	7	2	0	8	1	3	25	0	0	0	0	1	5	3

- En macroinvertebrados (BMWP-CR) fue donde más se encontraron bioclases altas, con 8 sitios clasificados como Excelente y 3 Bueno. Solo la Quebrada Mata de Limón (subcuenca de la Laguna de Gandoca), caracterizada por presentar baja gradiente, sustrato suave y ausencia de rápidos, apuntó Regular. El sitio de muestreo en esta quebrada se ubicó en un sector con predominio de bosque y plantaciones agroforestales abandonadas, por lo que el resultado está más relacionado con características geomorfológicas del sitio, que con afectación en la calidad de agua por problemas de contaminación. El único sitio en el que a través de los macroinvertebrados se pudo evidenciar una clara afectación en la calidad biológica del agua fue la Quebrada Quiebra Caña, que apuntó Muy Pobre. Este sitio está transformado en un canal bananero que recibe la mayoría de las aguas de la actividad bananera del Valle del Sixaola en Costa Rica.
- En hábitat (SVAP), 3 sitios fueron Excelente, 6 Bueno, 5 Regular, 3 Pobre (Quiebra Caña y Canal Washout en zonas bananeras y Río Shiroles), y ningún sitio recibió una valoración de hábitat Muy Pobre.

La discrepancia en las bioclases obtenidas para los diferentes índices no debe ser tomada como indicador de error. En nuestra experiencia el índice de macroinvertebrados tiende a apuntar más alto que el de peces. Esto refleja la realidad de que aunque ambos grupos son afectados por la calidad del agua y del hábitat, en general los macroinvertebrados son más sensibles a la calidad del agua y los peces a las alteraciones en el hábitat. Fuera de las zonas bananeras, donde la contaminación por agroquímicos es un problema serio, aunque escasamente estudiado, la Cuenca Binacional del Río Sixaola está relativamente libre de contaminantes. No obstante, el hábitat es frecuentemente impactado por factores como la deforestación y la sedimentación, entre otros.

Resulta muy importante mencionar el gran papel que desempeñan las áreas protegidas como el PILA, la Reserva Biológica Hitoy Cerere y el Bosque Protector Palo Seco en la provisión de agua en cantidad y calidad para toda la cuenca. De acuerdo con el balance hídrico realizado por Adamson y Solís (2010) la Cuenca Binacional del Río Sixaola, ante un escenario climático normal, tiene una oferta hídrica de 6.768 hm³/año. Este parámetro se ve reflejado en el caudal promedio del río Sixaola, que, según datos del INEC (2015), es de 231 m³/s. Este valor lo convierte en el segundo río más caudaloso de Costa Rica, después del Grande de Térraba. ANAI (2012b) señaló la enorme importancia del PILA en el abundante suministro de agua limpia para las áreas pobladas aguas abajo, y en la conservación de los corredores biológicos altitudinales que favorecen el mantenimiento de la sobresaliente biodiversidad de la región, tanto dentro como fuera del parque.

En cuanto a bioclases globales, de los 17 sitios evaluados, 7 recibieron la bioclase Bueno, 6 Regular, 2 Pobre y 2 Muy Pobre. Ningún sitio apuntó Excelente. Es importante destacar que los sitios de muestreo se centraron en áreas pobladas con una amplia variedad de usos de suelo. El propósito fue evaluar el impacto que tienen algunas actividades humanas que se desarrollan en la Cuenca Binacional del Río Sixaola en la calidad del agua y la salud ecológica de los ríos y quebradas. Los resultados aquí mostrados no deben ser tomados como el reflejo del estado general de la cuenca, pues muchos sitios fueron estratégicamente escogidos para la identificación de problemas ambientales que afectan los ríos y el recurso hídrico.

Los sitios que apuntaron Bueno se concentraron en la subcuenca del Río Yorkín, y en la subcuenca de La Laguna de Gandoca. Esto concuerda con lo encontrado por ANAI hace una década en el marco de otro proyecto binacional, cuando identificó a la subcuenca del Yorkín como la de mejor estado ecológico en la Cuenca Binacional del Río Sixaola (ANAI, 2012). De los 5 ríos que forman el Río Sixaola, el Yorkín es el único que no hace parte del Valle de Talamanca; se encuentra separado de éste por la Fila montañosa Shuabb. El Yorkín corre por un valle angosto, con una llanura de inundación pequeña. Esto ha sido un factor determinante en el desarrollo del área, ya que gracias a esto la cuenca Yorkín se escapó de la primera ola de invasión bananera. Adicionalmente, ningún sector de la subcuenca Yorkín está conectado directamente con las redes viales de Costa Rica o Panamá y parcialmente a consecuencia de esto, la biodiversidad y la integridad de los ecosistemas son altas, y hay pocas fuentes de contaminación. La economía de los pueblos indígenas que habitan la subcuenca está basada principalmente en la agricultura orgánica (cacao, banano, y cultivos de subsistencia) a pequeña escala, suplementada por el turismo rural comunitario. Sin embargo, aunque en los monitoreos realizados no se evidenciaron efectos directos, hay preocupación porque en años recientes ha incrementado el monocultivo de plátano en la cuenca.

Por su parte, en la subcuenca de La Laguna de Gandoca la población humana es baja, y el ambiente natural está relativamente poco intervenido. Los tres sitios monitoreados en la subcuenca en 2023 se ubican en sitios forestados en conservación. Sin embargo, a pesar de ello y su enorme resiliencia, como se verá más adelante, aparentemente están sufriendo impactos por el cambio climático.

Los sitios que presentaron peor salud ecológica se ubicaron en la subcuenca Bajo Sixaola, específicamente en las zonas bananeras. La Quebrada Quebra Caña en Costa Rica y el canal Washout en Panamá, apuntaron Muy Pobre en la bioclase global. Esto es acorde con los hallazgos de algunos análisis de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de residuos de plaguicidas realizados en la cuenca (ANAI, 2012a y PNUD, 2022). De Zabala en Costa Rica y Tiger Hill en Panamá

hacia abajo, la mayoría del valle aluvial del Río Sixaola ha sido fuertemente alterado por la actividad bananera durante décadas. Debido a la total alteración, principalmente por canalización, hoy en día la Quebrada Quebra Caña sirve como vertedero de aguas de gran parte del área bananera del Valle de Sixaola en Costa Rica. La Quebrada Quebra Caña recorre aproximadamente 9 km al interior de la zona bananera (ANAI, 2012b). Allí presenta fuertes problemas principalmente por contaminación química, canalización, deforestación y sedimentación.

Una situación similar se presenta en Panamá en el así llamado Canal Washout. ANAI desconoce cómo era este sitio antes de su alteración por la actividad bananera, pero hoy es un sitio con aún mayor afectación que Quebrada Quebra Caña, pues además de recibir los mismos impactos por la actividad bananera, está fuertemente contaminado con aguas residuales y residuos sólidos provenientes de las comunidades del corregimiento de Las Tablas, el más poblado de la Cuenca Binacional del Río Sixaola, con 9286 habitantes en 2011 (INEC, 2010). El canal Washout es el sitio con peor salud ecológica hasta ahora encontrado por ANAI en la Cuenca Binacional del Río Sixaola.

Los sitios que apuntaron Pobre tienen en común el recibir la influencia de centros poblados importantes. El Río Carbón de Bribrí, la cabecera central del cantón de Talamanca y el Río Shiroles de la comunidad de Shiroles, una de las más habitadas del Territorio Indígena Talamanca Bribri. En estos sitios confluyen los problemas propios de sitios asociados a centros poblados grandes (contaminación orgánica por descarga de aguas residuales, deforestación, sedimentación y en el caso del Río Shiroles, canalización) con los de las actividades agropecuarias, producción de plátano convencional en Río Shiroles y ganadería en Río Carbón.

De los sitios que apuntaron Regular en la bioclase global, 4 se ubicaron en la subcuenca del Río Telire en los Territorios Indígenas Talamanca Bribri y Talamanca Cabécar. Los problemas están asociados principalmente a alteraciones en el hábitat que son más fácilmente identificables a través de los peces. La calidad del agua no parece ser un problema, pues los macroinvertebrados apuntaron Excelente. La única excepción a este patrón es la Quebrada Gerardina, una quebrada pequeña de baja gradiente en una finca orgánica muy bien manejada, donde los cambios parecen estar más asociados a cambio climático, que a alteraciones locales en el sitio o su microcuenca. Los otros dos sitios que apuntaron Regular fueron el Río Brai en la subcuenca del Yorkín, donde los factores que más contribuyeron a este resultado fue la sedimentación y la sobrepesca, y el Río Sand Box donde gracias a un proceso de restauración la salud ecológica del sitio está incrementando.

Además de los trabajos de ANAI, la información sobre calidad biológica del agua para la Cuenca Binacional del Río Sixaola es escasa. Es importante mencionar el primer Plan Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica, coordinado por la Dirección de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y ejecutado entre 2015 y 2020. Este tuvo como objetivo establecer la línea base sobre el estado de la calidad del agua de las cuencas del país, por medio de la aplicación de las herramientas técnicas especificadas en Reglamento de Evaluación y Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales (La Gaceta, 2007), que incluye el análisis fisicoquímico y cálculo del índice BMWP-CR por medio de macroinvertebrados bentónicos (MINAE, 2021). En la Cuenca del Río Sixaola se analizaron 3 puntos de la cuenca en cuatro campañas de monitoreo entre 2016 y 2017. El BMWP en el Río Sixaola a la altura del puente limítrofe mostró agua de calidad mala, contaminada y en una ocasión muy mala, extremadamente contaminada. Los otros dos puntos, ubicados en los ríos Rocoso y Sand Box presentaron predominantemente aguas de calidad regular, con contaminación moderada (Solano-Ulate et al. 2019). No se localizó información sobre análisis biológicos de calidad de agua con base en peces o macroinvertebrados para la Cuenca Sixaola en Panamá. El país evalúa la calidad del agua de los principales ríos mediante un Índice de Calidad de Agua (ICA) que se basa en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (IANAS, 2019).

4.2.4 Análisis por subcuenca con perspectiva histórica e identificación de tendencias

En esta sección se brinda un análisis detallado de los resultados de los 17 sitios por subcuenca. Se hace un análisis histórico con la información previa generada por ANAI para estos ríos en el periodo 2001 – 2022.

De los 12 sitios para los que ANAI disponía de información previa, 8 presentan una tendencia Negativa en su salud ecológica, 3 Estable y solo el Río Sand Box presenta una tendencia Positiva. La explicación de estas tendencias se desarrollará en la siguiente sección cuando se discuten detalladamente los resultados por subcuenca.

4.2.4.1 Subcuenca Telire

Ríos Blei y Jamey

Los ríos Blei y Jamey son tributarios al Río Telire que se ubican en el Territorio Indígena Talamanca Cabécar. La parte baja de estos ríos hace parte del denominado Valle de Talamanca, el cual abarca los cursos bajos de las subcuencas de los ríos Urén, Lari, Coen y Telire, desde un punto en el Río Telire conocido como

San Juan, hasta alturas de 100-200 m. Allí los ríos tienen cauces interdigitados e inestables, además de estar conectados por flujo subterráneo (ANAI, 2012b). Durante muchos siglos el aluvión ha formado un recurso agrícola de gran importancia. Por lo que fue víctima de la primera ola bananera en la región y actualmente es una de las zonas productoras de plátano más importante del país. Los sitios BLENJ-204 en el Río Blei y JAMGA-203 en el Río Jamey fueron monitoreados por primera vez en 2023 a solicitud de los guardarrecursos de ADITICA y el SINAC. Esto ante la preocupación por múltiples impactos que están recibiendo en su parte baja: canalización severa, deforestación, crecimiento de las poblaciones humanas e incremento en las áreas dedicadas al monocultivo de plátano. Todos estos han llevado a reducciones del caudal. Aunque es posible que estos ríos se sequen naturalmente en la parte baja por las características ya descritas, en años recientes los pobladores locales reportan sequías mucho más prolongadas.

El mayor interés de los guardarrecursos era evaluar estos ríos en la parte baja, pero ante el hecho de que ambos estuvieron secos por meses y considerando el hecho de que en periodos de lluvias fuertes los cauces de estos son invadidos por el Río Telire, los sitios de monitoreo se ubicaron un poco más arriba, en sectores más estables donde hay impactos de las comunidades, pero son menores que en la zona baja.

Hay similitudes y diferencias entre los dos sitios. Ambos son afectados por la falta de conectividad con el Río Telire, hasta cierto punto natural, pero exacerbada por la canalización y posiblemente el cambio climático. Sin embargo, mientras que el sitio en el Río Jamey es de gradiente moderado, el del Río Blei es de gradiente alto, con un sustrato dominado por piedras grandes.

En cuanto a los resultados, los 2 sitios apuntaron Regular en la bioclase global, Excelente en macroinvertebrados y Regular en el hábitat. La bioclase tan alta en macroinvertebrados no resulta sorprendente pues ambas microcuencas presentan mayoritariamente cobertura boscosa aguas arriba. En peces si se encontraron diferencias importantes, el IBI apuntó 29 (Pobre) en Río Jamey y 41 (Regular) en Río Blei. Aunque en ambos sitios *P. gillii* fue la especie dominante, los resultados sugieren que el Río Jamey sufre exceso de fertilidad. Esto se refleja especialmente en la elevada tasa de captura (5.29 individuos/m² versus 2.56 individuos/m² en el Río Blei) y la alta incidencia de anomalías (3.4% en Jamey versus 0.7% en Blei). Otros factores que contribuyeron a la mejor condición del Río Blei fue la notable dominancia *E. scleroparius* entre las sardinias y la abundancia sobresaliente de otras 2 especies intolerantes (*P. annectens* y *R. laticauda*).

Los datos sugieren impactos de origen agrícola en el Río Jamey. Sin embargo, aunque en la cuenca arriba hay varias fincas, nada sugiere fuerte descarga de nutrientes (uso de fertilizantes sintéticos, chancheras, población humana densa). Se debe mantener en mente la relativa falta de experiencia de ANAI con los ríos del Valle de Talamanca. Es conocido que los suelos aluviales son bastante fértiles, factor que podría contribuir. Pero esto no explica la alta incidencia de parasitismo, lo cual definitivamente no corresponde a la condición de un río natural.

Los guardarrecursores hicieron reportes importantes para estos sitios: la presencia del invasor pleco o pez diablo en el Río Jamey e indicaron que hacía algunos meses se había presentado pesca con venenos en el Río Blei. Las jornadas de biomonitoreo participativo en estos sitios señalaron la necesidad de más investigación en estos ríos y sus microcuencas.

Río Shiroles

Este río ha sido monitoreado a la altura del pueblo de Shiroles en 7 ocasiones entre 2002 y 2023. La bioclase global siempre ha resultado Pobre, a causa de la canalización, la deforestación de las orillas, el uso de agroquímicos asociados con el cultivo de plátano, la presencia de residuos domésticos (aguas servidas y residuos sólidos) y la extracción de lastre del lecho del río (Foto 13). Resultaba difícil imaginar que la condición del río pudiera empeorar, a menos que se tratara de un evento de contaminación catastrófico. Es más: durante el último monitoreo realizado antes de 2023, el gobierno local expresó su satisfacción por haber detenido la extracción de lastre.

Aunque la bioclase global en 2023 se mantuvo Pobre gracias a que los macroinvertebrados apuntaron Bueno (refleja buena condición del río aguas arriba) y el hábitat Pobre, en peces se encontraron condiciones aún peores, que merecieron la calificación de Muy Pobre. Lo que ocasionó este deterioro en la salud ecológica fue la canalización del Río Shiroles y varios de sus tributarios, aguas abajo de la carretera Shiroles-Suretka. Un aspecto natural del Río Shiroles es que pasa por una llanura ancha, muy arenosa, antes de llegar al Río Telire. La profunda canalización realizada ha causado que gran parte del flujo del Río Shiroles pase subterráneamente por ese sector entre la carretera y el Río Telire. Los efectos son fuertes sobre la fauna, y muy especialmente sobre los peces y camarones diádomos, que requieren un caudal adecuado para migrar. Estos factores determinaron que la tendencia se clasificara como Negativa.

La observación más llamativa fue el cambio en el ancho promedio del río en el sitio SHIAB-067. El valor obtenido en marzo de 2023 fue de 4.7 m, que contrasta con los

10.7 m medidos en el mismo mes durante el último monitoreo que se había realizado, en 2018. Efectivamente, el Río Shiroles está experimentando una crisis de conectividad, que debe ser enfrentada antes de esperar resultados a partir de mejoras en el manejo de la cuenca.



Foto 13. Río Shiroles en la comunidad de Shiroles. Sitio de muestreo SHIAB-067. Se evidencia la canalización, deforestación y pérdida de microhábitats.

Quebrada Gerardina

Quebrada Gerardina es el nombre propuesto por el equipo de ANAI para un pequeño tributario del Río Shiroles, ubicado en la comunidad de Shiroles. Esta quebrada fluye en medio de una finca manejada por dos hermanas, quienes son hijas de uno de los participantes en el programa regional de agroforestería comunitaria desarrollado por ANAI en Talamanca durante la década 1980-1990.

La finca y la quebrada llamaron la atención por primera vez en 2009, durante el proceso de ayudar a la Asociación de Pequeños productores de Talamanca (APPTA) a incorporar aspectos de manejo de ríos en su programa de certificación orgánica (Barquero-Elizondo, 2008). En un principio la quebrada apuntó entre Bueno a Excelente en los 3 componentes (peces, macroinvertebrados y hábitat), por lo que se ha aprovechado la finca como una herramienta educativa, que demuestra que es posible preservar altos niveles de biodiversidad y salud ecológica en ríos ubicados en medio de fincas productivas.

Sin embargo, entre 2017 y 2018 el valor del índice de peces empezó a bajar al nivel de Regular, mientras que la calidad del hábitat, medida por SVAP, se mantuvo muy alta. Se logró determinar que no habían ocurrido cambios significativos en los alrededores o en la parte de arriba de la cuenca.

Al analizar el ensamblaje de peces se determinó que se está presentando el mismo patrón de cambio al observado en las quebradas de Gandoca (ver página 65), que son similares en tamaño y en gradiente: disminución en la abundancia de peces que dependen del flujo continuo del río, principalmente las sardinas, y aumento en la abundancia de especies de peces más adaptados a aguas sin corriente, especialmente la olomina *A. cultratus*. Al igual que en Gandoca, las evidencias sugieren que en la Quebrada Gerardina se manifiestan los efectos de cambios fuertes en el patrón de flujos e inundaciones. Probablemente esta dramática situación sea un reflejo de los fenómenos asociados con el cambio climático.

En un escenario de cambio climático caracterizado por periodos cada vez más prolongados de lluvias escasas, con eventos de precipitaciones torrenciales intermedios, es de esperar que los cuerpos de agua de tamaño pequeño como este, sigan manifestando una condición de inestabilidad. Continuar manejando sosteniblemente las microcuencas mediante la restauración ambiental, la reducción del uso de agroquímicos, la eliminación de fuentes de contaminación y otras acciones correctivas y preventivas, pueden ayudar a la recuperación y al mantenimiento de la salud ecológica de estos importantes sistemas fluviales.

Río Cocolis

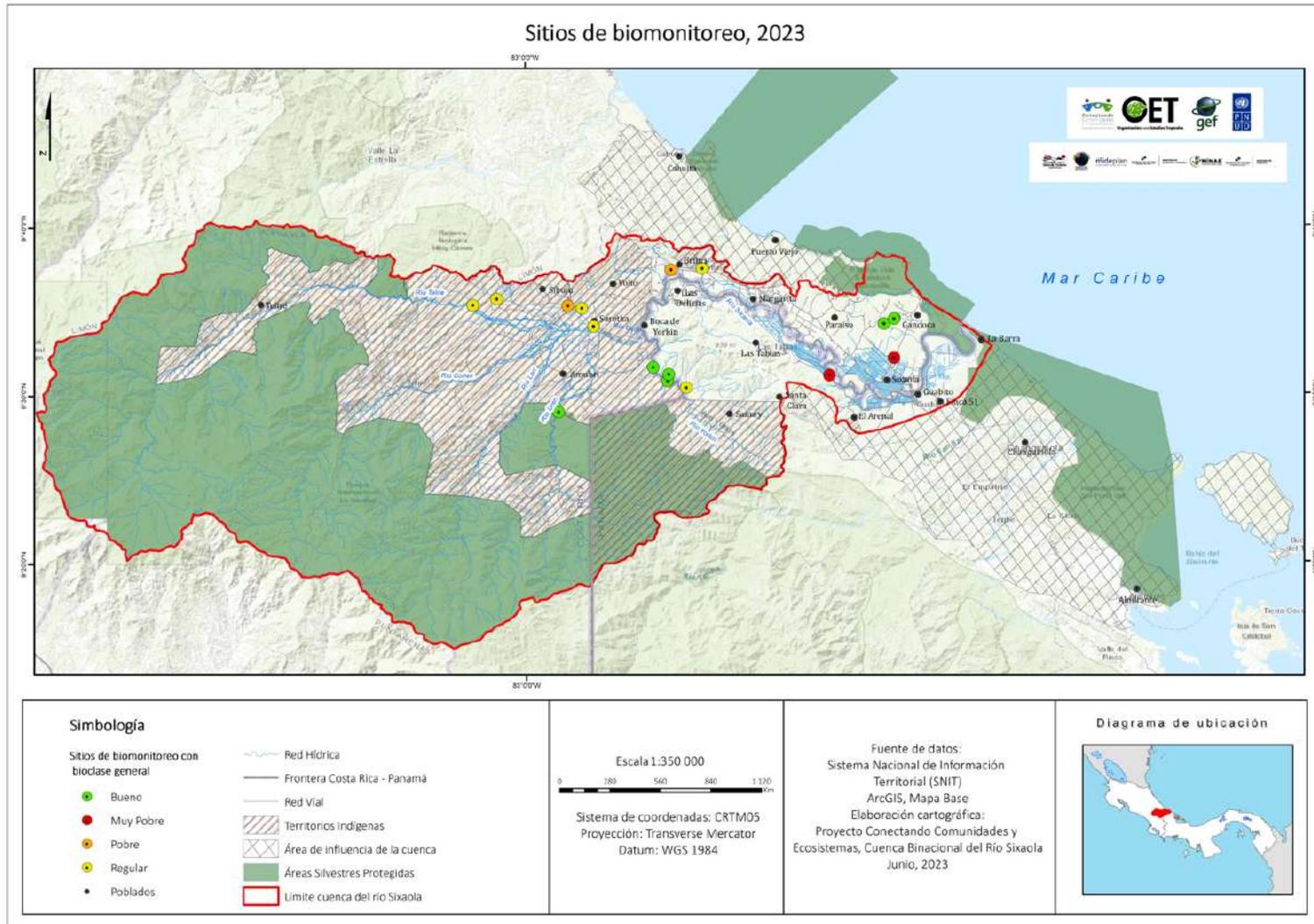
El Río Cocolis, con un área de drenaje aproximada de 13 km², ocupa una posición céntrica en el Territorio Indígena Talamanca Bribri. El sitio COCSU-065 ha sido monitoreado 9 veces entre 2002 y 2023. La frecuencia de monitoreo se debe principalmente a que es un sitio idóneo para capacitación en monitoreo de peces, especialmente usando censos visuales (4 de las 9 ocasiones), porqué concentra diversidad de hábitat y especies en un área pequeña. Fue incluido en el plan de 2023 por esta razón, pero principalmente por haber sido solicitado por ADITIBRI. (También disponemos de información para 2015, 2016 y 2018 de otro sitio en R. Cocolis ubicado 1 km aguas arriba, el cual siempre ha apuntado Bueno en la bioclase global).

En 2023 se observó una sorprendente caída en el puntaje del IBI (de 44 Regular en 2016 a 19 Muy Pobre en 2023). Este fue el único índice que presentó cambios; el BMWP apunta generalmente Excelente, solo en una ocasión resultó Bueno. El SVAP ha apuntado Regular históricamente. Con base en los resultados del hábitat y los macroinvertebrados, los resultados de peces no parecen creíbles. Sin embargo, los guardarrecursos Bribri y un miembro de la junta de vecinos local aseguran que desde 2016 ha habido un gran incremento tanto en la población humana, como en el área dedicada al cultivo de plátano con químicos en la cuenca. Justamente por estas razones priorizaron el biomonitoreo de este sitio en 2023.

Las siguientes 7 características de la muestra de peces contribuyen al puntaje bajo en el IBI. Al menos 5 están asociadas con alta concentración de nutrientes por contaminación orgánica:

- Enorme incremento en la población de *P. gillii*.
- Incremento en la abundancia de dos cíclidos (*A. myrnae* y *A. kanna*) generalmente asociados con alto contenido orgánico.
- Por primera vez, ausencia en la muestra del barbudo intolerante *Rhamdia laticauda*, el cual era común en el pasado.
- Drástica disminución del bobo *J. pichardi*, un diádromo intolerante.
- Esta fue la primera vez que el métrico basado en la proporción de especies tolerantes recibió el puntaje bajo.
- Densidad de peces (todas especies) exagerada en 2023.
- Por primera vez se observó en el sitio una alta incidencia de ectoparásitos (parásitos externos) en *P. gillii* y *Sicydium*.

Figura 2. Bioclasas asignadas a los sitios visitados en las jornadas participativas de biomonitoreo de ríos en la Cuenca Binacional del Río Sixaola, 2023.



Cuadro 5. Resultados de las jornadas participativas de biomonitoreo de ríos en la Cuenca Binacional del Río Sixaola, 2023. Para cada sitio se indica el puntaje y bioclase por índice, la bioclase global 2023, el número de monitoreos previos, el periodo de los monitoreos, la bioclase del anterior monitoreo y la tendencia. Los sitios para los que no se muestreó macroinvertebrados se indican como NM. El código de colores usado para las bioclases es: azul = Excelente, verde = Bueno, amarillo = Regular, anaranjado = Pobre y rojo = Muy pobre.

Subcuenca	Río o Quebraba	Código	Sitio	IBI/IBIVI	BMWP	SVAP	Bioclase global 2023	Número de monitoreos previos	Periodo monitoreos previos	Bioclase anterior monitoreo	Tendencia
Telire	R. Blei	BLENJ-204	En la comunidad El Progreso	41	132	7.3	Regular	0			
	R. Jamey	JAMGA-203	En la comunidad de Gavilán Canta	29	159	7.3	Regular	0			
	R. Shiroles	SHIAB-067	Por el aeropuerto	24	119	4.5	Pobre	6	2002-2018	Pobre	Negativa
	Q. Gerardina	GERSH-144	En Shiroles	41	125	9.0	Regular	9	2009-2020	Bueno	Negativa
	R. Cocolis	COCSU-065	Antes de la desembocadura en el R. Telire	19	146	7.2	Regular	8	2002-2016	Regular	Negativa
Urén	R. Urén	URESO-135	En Tsoki	55	137	9.1	Bueno	3	2007-2018	Bueno	Estable
Yorkín	R. Brai	BRABO-069	Antes de la desembocadura en el R. Yorkín	39	NM	7.9	Regular	1	2010	Regular	Negativa
	R. Tscui	TSCYO-057	Antes de la desembocadura en el R. Yorkín	46	169	8.7	Bueno	14	2002-2019	Bueno	Estable
	Q. Sinádira	SINYO-096	Antes de la desembocadura en el R. Yorkín	55	NM	8.7	Bueno	2	2003, 2012	Bueno	Negativa
	R. Yorkín	YORBR-205	Aguas arriba desembocadura del R. Bris	50	186	7.9	Bueno	0			

Bajo Sixaola	R. Carbón	CARPU-202	Antes de la desembocadura en el R. Sixaola	22	103	6.1	Pobre	0			
	R. Sand Box	SBCAN-112	En extremo alto de la Platanera Río Sixaola	38	146	7.3	Regular	13	2005-2022	Regular	Positiva
	Q. Quiebra Caña	QCEGA-093	En el puente carretera a Gandoca	22	34	4.3	Muy Pobre	2	2003, 2009	Muy Pobre	Estable
	Canal Washout	WASMP-P026	Abajo puente carretera a Barranco	17	NM	2.8	Muy Pobre	0			
Laguna de Gandoca	Q. Mata de Limón	MDLFL-041	En bosque Finca Lomas	50	69	8.2	Bueno	11	2001-2022	Bueno	Negativa
	Crique Azul	CAZFL-045	En bosque en Mata de Limón	43	107	9.1	Bueno	13	2001-2022	Regular	Negativa
	R. Gandoca	GANRC-038	En bosque Finca ACBTC	45	139	9.3	Bueno	12	2001-2022	Regular	Negativa

Por el momento con la evidencia disponible, se identificó una tendencia Negativa en el sitio. Sin embargo, la conclusión a la que se llegó con los participantes es que hay necesidad de dar continuidad al biomonitoreo del sitio e investigar el Río Cocolis aguas arriba para cuantificar el área dedicada al cultivo de plátano, el crecimiento de la población humana en los alrededores del río e identificar posibles descargas de contaminantes. Así se podrá determinar si el cambio entre 2016 y 2023 es un resultado anómalo pasajero, o si realmente refleja deterioro en la salud del río.

4.2.4.2 Subcuenca Urén

Solo un sitio fue monitoreado en esta subcuenca, el Río Urén, uno de los 5 ríos principales que se unen para formar el Río Sixaola (los otros son Telire, Coen, Lari y Yorkín). El sitio URESO-135 se ubica en la comunidad de Tsoki, en el extremo bajo del sector Tsókë Nāmù Wökir (Cabeza de Tigre) - conocido como "La Isla", donde el PILA se traslapa con el Territorio Indígena Talamanca Bribri. De acuerdo con el Plan de Manejo del PILA 2020-2029 (SINAC, 2019), este hace parte de la zona de alta intervención del PILA; hay reconocimiento del derecho consuetudinario, entendido dicho derecho como “un conjunto de costumbres, prácticas y creencias que los pueblos indígenas aceptan como normas de conducta obligatorias y que forma parte intrínseca de sus sistemas sociales y económicos y su forma de vida”. En los sectores de uso consuetudinario la integridad ecológica queda bajo la tutela indígena.

El sitio se ha monitoreado en 3 ocasiones (2013, 2018 y 2023) y en todas ha apuntado Bueno, acercándose a Excelente, en la bioclase global. La tendencia se catalogó como Estable. La buena condición del Río Urén en Tsoki se manifiesta como un buen complemento entre peces diádromos y dulceacuícolas estrictos, camarones y otros macroinvertebrados, así como óptimas condiciones ribereñas. Esta situación positiva refleja en parte la protección brindada por el PILA en la parte alta, pero también el esfuerzo del pueblo Bribri por proteger el río.

Los resultados de este sitio son similares a los obtenidos para el Río Yorkín en YORBR-205 (ver página 53), pero diferentes a los obtenidos por ANAI en el Río Bon, en la vecina cuenca del Changuinola/Teribe en Panamá, en monitoreos realizados en 2023. El Río Bon, arriba de su confluencia con el Río Teribe, apuntó Pobre en la bioclase global. Aunque este río recibe los mismos beneficios por nacer en el PILA, esta drásticamente afectado por la construcción de una represa hidroeléctrica. Aunque el sitio mantiene conectividad parcial por estar ubicado aguas abajo de la represa, la dinámica no natural de caudal y de descarga de sedimentos impacta fuertemente la salud ecológica. Otro factor, previo a la construcción de la represa que también afecta el sitio, es la existencia de un potrero

con más de 100 cabezas de ganado con acceso directo al río cerca del sitio de muestreo.

4.2.4.3 Subcuenca Yorkín

En el estudio actual fueron incorporados 4 sitios en la cuenca del Río Yorkín: uno en el cauce principal, motivado en parte por la preocupación sobre el uso de agroquímicos en el cultivo de plátano, y un sitio en cada uno de 3 tributarios, cada uno con un problema potencial único.

Río Brai

Ubicado en el sector panameño de la subcuenca del Yorkín, el Río Brai ha sido monitoreado en 2 sitios en los años 2004, 2010, 2012 y 2023. Este río está experimentando bastante impacto de origen humano. Aunque en el sitio de monitoreo BRABO-059, ubicado cerca de su desembocadura en el Río Yorkín, el entorno presenta una apariencia casi prístina, durante las últimas décadas se ha ido desarrollando aguas arriba una gran comunidad Ngäbe.

ANAI no ha investigado la situación a fondo, pero aparentemente en el sector hay una alta tasa de deforestación, que incluye las zonas ribereñas del río, lo cual provoca un incremento en la sedimentación. Además hay problemas con varios potreros, en donde el ganado tiene libre acceso al río. Estos factores se reflejaron en una bioclase global de Regular y una tendencia Negativa.

Tal vez lo más llamativo del monitoreo de 2023 fue la distribución de tamaños de los peces. Sin excepción las especies más grandes, y con mayor valor como alimento, estuvieron representadas casi solamente por individuos pequeños. Esta situación indica claramente que hay presión de pesca excesiva.

El aspecto positivo de nuestro trabajo en el Río Brai fue la participación de líderes comunales y otros vecinos de la comunidad Ngäbe de Agua Salud. ANAI percibió un considerable nivel de preocupación y voluntad para efectuar cambios en el manejo a favor del río.

Río Tscui

El Río Tscui es uno de los tributarios más grandes del Río Yorkín; y aunque nace en el PILA panameño, desemboca en Costa Rica, en Yorkín, Territorio Indígena Talamanca Bribri. Se ha monitoreado en 14 ocasiones, entre 2002 y 2023, el sitio denominado TSCYO-057, ubicado cerca de su desembocadura.

En el principio se consideraba al Tscui como un sitio de referencia, por ser el más saludable de los ríos en su categoría de tamaño en las partes habitadas de la Cuenca Sixaola. La situación cambió en diciembre de 2008, cuando una inundación sin precedentes arrasó la mayor parte de las riberas y alteró el carácter del sustrato, y, entre otros cuantiosos daños, destruyó las instalaciones ecoturísticas de la Asociación de Personas Artesanas de Yorkín-Stibrawpa y el puente de hamaca cercano (Foto 14). Normalmente se consideran las inundaciones periódicas como parte de la dinámica natural, pues funcionan como un mecanismo de “reinicio”. En este caso, que tal vez correspondió al concepto de “la llena del milenio” el efecto fue desastroso. Entre otras cosas eliminó todo el perifiton de las piedras, de tal manera que cuando los peces chupapiedras (*Sicydium* spp.), que son los peces diádromos dominantes en abundancia en toda la subcuenca del Yorkín, pudieron regresar al río, murieron por falta de alimento.

Eventualmente el Río Tscui se habría recuperado por sus propios mecanismos naturales. Pero afortunadamente en este caso las comunidades le ayudaron, realizando trabajos de reforestación de las riberas con especies nativas. De esta forma, desde 2015 se han podido documentar de nuevo condiciones entre Bueno y Excelente según la metodología y Bueno en la bioclase global (Foto 16). La tendencia en el sitio se clasificó como Estable.

Sin embargo, existen problemas: en ocasiones se observa un crecimiento excesivo de algas verdes en las piedras, y algunas especies de peces no han recuperado sus poblaciones al nivel de años anteriores. Gran parte de estos problemas se origina en una porción de terreno del sector panameño, ubicado entre la frontera con Costa Rica y el lindero de PILA. Esta área (y posiblemente parte del PILA) ha sido colonizado por personas no indígenas (“chiricanos”). Áreas significativas de bosque han sido convertidas en potreros, en los cuales el ganado vacuno tiene acceso libre al río. Precisamente uno de los resultados del monitoreo del Río Tscui en 2023, efectuado como parte de una gira binacional con representantes de SINAC, MiAmbiente y organizaciones locales, fue llamar la atención de las autoridades ante esta situación, y proponer una investigación que conduzca a acciones correctivas.

Quebrada Sinádira

El menor de los tributarios monitoreados en la subcuenca es la Quebrada Sinádira, en Panamá, frente a la comunidad costarricense de Yorkín. A primera vista, la quebrada presenta condiciones prístinas. Ubicada en un cañón boscoso, con múltiples cascadas pequeñas, es un recurso estético de primera clase. Sin embargo, desde aproximadamente 2012 se escuchan quejas acerca de que

algunas personas, no indígenas y ajenas al pueblo, han desarrollado una gran área de potrero en las cabeceras, donde el ganado tiene libre acceso a la quebrada. Esta preocupación del pueblo Bribri fue la que impulsó el monitoreo de este sitio en 2023.



Fotos 14 y 15. Condición del Río Tscui en el sitio TSCYO-057 días después de la devastadora inundación de 2008.



Foto 16. Condición del Río Tscui en el sitio TSCYO-057 en 2023 tras un proceso de reforestación con especies nativas realizado por el pueblo Bribri.

Aunque la bioclase global de la quebrada Sinádira se ha mantenido en Bueno, con base en 3 monitoreos (2003, antes del desarrollo del potrero, 2012 y 2023), se observan por lo menos dos cambios importantes que motivaron que la tendencia se catalogara como Negativa:

- Mientras que los puntajes de los índices biológicos permanecieron altos, el SVAP bajó de Excelente a Bueno, reflejando la acumulación de sedimentos en las pozas y un crecimiento de algas verdes en las piedras. Ambas condiciones no son características de un río ubicado en pleno bosque.
- Sin el ánimo de exagerar la importancia de una sola familia indicadora, se notó que entre 2012 y 2023 aparentemente desaparecieron los Blephariceridae, una familia de dípteros acuáticos sumamente intolerantes a los cambios ambientales negativos.

Río Yorkín

Los problemas originados en la Quebrada Sinádira, los ríos Brai y Tscui y otros tributarios se concentran en el Río Yorkín. No obstante, la preocupación principal con respecto al cauce principal de este río fronterizo se orienta hacia los efectos de la creciente actividad platanera.

Para empezar a evaluar este impacto, inicialmente fue escogido estratégicamente un sitio en el Yorkín ubicado aguas abajo de la desembocadura del Río Bris, en donde es posible captar el impacto de la mayor parte del área platanera. Sin embargo, la noche antes del día de monitoreo una lluvia localizada en las cabeceras de Río Bris lo enturbió, así que fue necesario cambiar el sitio a un punto justo arriba de la desembocadura del Bris (YORBR-205).

El resultado de monitoreo del YORBR-205 fue Bueno en peces y hábitat, y Excelente en macroinvertebrados. Presentó el puntaje para macroinvertebrados más alto para los sitios estudiados en 2023. Aunque se detectó un nivel de sedimentación en las pozas que excede el nivel natural, así como escasez de amortiguamiento vegetal en las orillas, en este momento la salud ecológica del Río Yorkín no es preocupante. Este resultado es consistente con nuestros hallazgos en múltiples monitoreos de su cauce entre 2002 y 2022, desde un punto ubicado arriba de la desembocadura del Río Brai hasta la desembocadura del Río Shuabb.

4.2.4.4 Subcuenca Bajo Sixaola

Río Carbón

Este Río Carbón (no confundirlo con el Hone Creek, que también aparece en algunos mapas como “Río Carbón”) es uno de los tributarios más importantes del Río Sixaola, con una área de cuenca de aproximadamente 10 km². El sitio CARPU-202, ubicado aproximadamente 300 m arriba de la confluencia del Río Carbón con el Río Sixaola, fue seleccionado por su ubicación cerca de la zona urbana de Bribri. Las sólidas conclusiones sobre la condición la parte baja del Río Carbón se basan en la información recolectada mediante la realización de 21 monitoreos previos en 4 sitios ubicados más arriba, durante los años 2001-2022.

En conjunto los datos de los 5 sitios en el Río Carbón muestran una imagen clásica de un río que nace en buen estado, pero recibe varios impactos antropogénicos aguas abajo:

- Los dos sitios ubicados más arriba, que están en una zona boscosa, generalmente reciben calificaciones entre Bueno y Excelente. Una excepción

ocurrió en 2022 cuando, a consecuencia de una inundación localizada y fuerte, la bioclase en el sitio ubicado más arriba bajó a Regular. Es de esperar que el sitio se recuperará a corto plazo.

- Abajo del punto donde cruza la carretera lastreada que conecta a Bribri con Buena Vista, la condición del río cambia dramáticamente. Pasa por potreros, con las orillas completamente deforestadas, de tal manera que el río está muy expuesto al sol. Peor aún, el ganado tiene completo acceso al río. Hay múltiples fuentes de sedimentación, incluyendo zanjas de drenaje que cruzan la carretera y desembocan en su cauce. Una sola muestra aquí en 2004 resultó en la bioclase global de Muy Pobre.
- Más abajo, el uso de la tierra sigue siendo potrero, pero hay sombra en muchas partes, y el acceso para el ganado está más limitado. El cauce aquí es muy inciso, por lo que el río no tiene acceso a su llanura de inundación natural. Gracias a la sombra y a la falta de acceso para el ganado, aquí el río Carbón se recupera parcialmente. Tres monitoreos entre 2001 y 2015 resultaron en la bioclase global de Pobre.

En CARPU-202 el río pasa por una área urbana ubicada en la margen izquierda, con múltiples drenajes provenientes de las casas y los locales comerciales (restaurantes, talleres mecánicos, lavados de autos, oficinas). La mayor parte de la ribera está cubierta de charrales, así que la cantidad de sombra es aceptable. Sin embargo, al parecer los efectos positivos de la sombra y la ausencia de ganado son neutralizados negativamente por la contaminación urbana, incluyendo una cantidad apreciable de residuos sólidos. En especial, 3 indicadores sugieren la presencia de contaminación orgánica:

- Crecimiento de algas filamentosas, aun en partes no muy expuestas al sol.
- Dominancia del ensamblaje de peces por el muy tolerante *Poecilia gillii*. Esta especie de olomina o panzona constituyó el 64% de la muestra de peces de un total de 1145 individuos, entre un total de 14 especies halladas.
- Alta incidencia de ectoparásitos, condición que casi siempre refleja alta concentración de materia orgánica. Típicamente, la incidencia de enfermedades y parásitos en las muestras es menos de 2% de los individuos, mientras que en CARPU-202 fue 8.7%.

A pesar de todo, el cauce mantiene una mezcla de hábitats adecuada. Por eso, junto con la presencia de sombra, la condición adecuada de la zona ribereña en la margen derecha y la bioclase de Bueno obtenida en macroinvertebrados se le asignó bioclase global de Pobre, a pesar de la valoración de Muy Pobre obtenida con base en la muestra de peces.

En resumen, la parte baja de la cuenca del río Carbón es un ejemplo clásico de “río urbano”. Debe ser considerado como una fuente significativa de contaminación para el Río Sixaola. La situación de la zona urbana requiere atención, pero para poder reducir el impacto en el Río Carbón será necesario también poner atención a la falta de sombra, al fácil acceso que tiene el ganado y a las fuentes de sedimentación aguas arriba. La buena condición de las cabeceras, forestadas y con buena calidad de agua, es de gran ayuda, y sugiere que la cuenca tiene un potencial de recuperación importante.

Río Sand Box

Con un área de cuenca de casi 11 km², el Río Sand Box es uno de los tributarios más importantes del Río Sixaola. Históricamente el río era más grande, e incluía un extenso sistema lagunar ubicado al pie de las lomas de Kéköldi. Las lagunas han sido drenadas casi totalmente, y sus aguas fueron desviadas hacia el pequeño río Cuabre, que pasa cerca de la comunidad de Olivia. Originalmente el Río Cuabre era un cauce secundario del Río Sand Box. El Sand Box ha sido canalizado repetidamente aguas abajo de la carretera Limón - Sixaola (ruta 36). Hoy en día es esencialmente un canal, muy recto e inciso, que recibe cierta cantidad de aguas de la Platanera Río Sixaola. La combinación de incisión, canalización y contaminación por agroquímicos funciona como una barrera, que limita el movimiento de peces y camarones, especialmente las especies diádromas. Combinando estas presiones con la pérdida del sistema lagunar, actualmente solo se puede imaginar cómo era el ecosistema del Río Sand Box antes del inicio de la actividad bananera.

El Programa de Biomonitorio de Ríos tiene 3 sitios de monitoreo en el Río Sand Box. El monitoreo del sitio SBAPT-048, ubicado aguas abajo de la carretera Bribri - Sixaola, y que ha sido visitado en 4 ocasiones entre 2001 y 2016, siempre ha resultado entre Pobre y Muy Pobre, con una tendencia a deteriorarse durante este periodo. Además de problemas obvios, la temperatura del agua se eleva demasiado al mediodía (hasta 32°C), y tanto los peces como los macroinvertebrados muestran los efectos del exceso de fertilidad del agua. En la zona se ubican fincas de banano de la Platanera Río Sixaola y cultivos de plátano convencional.

En cambio, el sitio SBCAT-049, ubicado aguas abajo de unas cataratas muy visitadas por los turistas, representa lo mejor del Río Sand Box. Hacia arriba de la catarata más alta y de la desembocadura de la Quebrada Dos Aguas, la cuenca está poco poblada y tiene un alto porcentaje de cobertura boscosa. La revisión informal de los macroinvertebrados arriba de la catarata reveló una alta diversidad, con muchas familias intolerantes, lo cual indica alta calidad de agua. En el año 1996 esta parte, incluyendo el sitio SBCAT-049, fue incluido dentro del Territorio Indígena

Kéköldi, lo que se presume le confiere algún grado de protección. En 6 de 7 visitas de biomonitoreo efectuadas entre 2002 y 2019, este sitio obtuvo puntajes de Bueno o Excelente en los 3 índices. La excepción fue en 2017, debido a la ocurrencia de un deslizamiento por la orilla izquierda, y a trabajos en la ruta 36. Ambas situaciones combinadas produjeron altos niveles de sedimentación, que incidieron en la obtención de la bioclase Pobre. Sin embargo, gracias a la falta de otras fuentes de alteración, el río mostro resiliencia natural, y fue clasificado como Bueno en 2019.

El sitio muestreado en 2023, denominado SBCAN-112, se ubica entre los 2 sitios ya descritos. Fue agregado a la lista de sitios de ANAI cuando en octubre de 2004 se observó un proceso de canalización en una plantación bananera de la Platanera Río Sixaola (Fotos 17 y 18). Se decidió monitorear el sitio en el futuro, pensando en medir una posible recuperación de la canalización. El primer monitoreo, realizado en 2005, resultó en la bioclase global de Pobre. Entre ese año y 2011 ocurrieron recanalizaciones, así como inundaciones que destruían la plantación de banano. Desde allí sucedieron una serie de eventos, que incluyeron:

- La decisión tomada por la Platanera en 2011-2012 de reforestar las orillas y dejar al río restablecer su cauce natural. Fuera de la zona ribereña la plantación de banano se sustituyó por melina.
- El inicio de una muy buena relación entre la Platanera Río Sixaola S.A. y el Programa de Biomonitoreo de Ríos en 2015. Esto gracias a un inventario y monitoreo de biodiversidad que la Platanera realizaba en sus finca con la colaboración de la ACBTC (Barquero-Elizondo, 2015). A partir de este momento la Platanera ha participado y colaborado con los monitoreos anuales del río en SBCAN-112.
- La recanalización del cauce del río realizada por la Comisión de Emergencias y la Municipalidad de Talamanca en 2017. En el proceso destruyeron una gran cantidad de arbolitos sembrados por la Platanera.
- Inundaciones fuertes.
- Deslizamientos justo arriba de la propiedad de la Platanera que generaron sedimentación masiva.
- Coincidiendo con el deslizamiento, fueron realizados trabajos en la carretera entre Hone Creek y Bribri, que resultaron en otra gran cantidad de sedimentos ingresando al río por la Quebrada Dos Aguas.

Una vez que la Platanera Río Sixaola tomó la decisión de reforestar las márgenes del río, anticipábamos una mejora gradual y medible de la condición en el sitio. Sin embargo, una serie de impactos antropogénicos y naturales han atrasado el proceso. Un examen de los datos por año revela una serie de picos y valles, a primera vista confusos. Pero si nos enfocamos en los primeros 3 años después de

la primera canalización y en los últimos 3 años, podemos detectar mejoras en los 3 índices (Cuadro 6).



Foto 17. Plantaciones bananeras que se mantenían en el sitio SBCAN-112 antes de la reforestación realizada por la Platanera Río Sixaola en 2011/2012.



Foto 18. Condición del Río Sand Box en el sitio SBCAN-112 cuando es recanalizado.



Foto 19. Condición del Río Sand Box en el sitio SBCAN-112. Se observan los efectos de la reforestación realizada por la Platanera Río Sixaola.

Los cambios positivos observados incluyen:

- Incremento la riqueza de familias de macroinvertebrados acuáticos, ahora se encuentran inclusive familias intolerantes.
- Establecimiento y crecimiento de vegetación natural por las orillas, reflejado en varios componentes del SVAP.
- Incremento significativo de la sombra sobre el cauce: de un 0% en 2005 hasta más de 75% en 2023.
- Posterior a los dos eventos de fuerte sedimentación ocurridos en 2016, el río ha tenido la oportunidad de autolimpiarse; hay mucho menos área de poca profundidad, con poca corriente y sustrato de arena.
- El río está recuperando su forma natural, eliminando cauces secundarios y reestableciendo las pozas.
- En cuanto a peces, notamos especialmente la recuperación de la sardina intolerante *E. scleroparius*, la cual estuvo totalmente ausente en 2005. En 2023, por primera vez fue la especie dominante entre las sardinas. Esta situación es un indicador de diversidad de hábitat.

- La aparición por primera vez, en 2013, de otro pez intolerante, la olomina de aletas anaranjadas *P. annectens*. Esta es una especie característica de aguas limpias, frescas y no estancadas.

Entre 2022 y 2023 se registró uno de los incrementos más significativos en el IBI visto en la historia del Programa de Biomonitorio de ANAI: de 26, entre Pobre y Muy Pobre, a 38 en el margen de Regular. Junto con las demás mejoras observadas, esta situación sugiere que los esfuerzos de conservación desarrollados por la Platanera Río Sixaola están teniendo su efecto, con el potencial de mejorar aún más (Foto 19). El sitio se destaca como el único con una tendencia Positiva de los 17 monitoreados en 2023. Una meta razonable sería lograr la nivelación entre los sitios SBCAN-112 y SBCAN-049, considerando su cercanía. Sin embargo, a menos que se realice un enorme esfuerzo en restauración ecológica, el efecto de barrera de las condiciones en SBAPT-048, que en la práctica están fragmentando el Río Sand Box, representa serias limitaciones para la potencial recuperación de SBCAN-112.

Cuadro 6. Valores promedio obtenidos para los índices SVAP, BMWP-CR e IBI en el Río Sand Box.

Índice	Promedio primeros 3 años	Promedio últimos 3 años
SVAP	5.27 Pobre	6.90 Regular
BMWP	52.7 Pobre	108.3 Bueno
IBI	22.3 Muy Pobre	28.0 Pobre

Quebrada Queiebra Caña y Canal Washout

La Quebrada Queiebra Caña es el tributario más grande del Río Sixaola en el lado costarricense de la cuenca. Es importante indicar que el Río Sixaola (“río de los bananos”, en lengua miskitu) es formado por la confluencia del Río Telire con el Río Yorkín). Queiebra Caña es el más impactado por las actividades humanas. Drena la mayor parte de la zona bananera del Valle de Sixaola en Costa Rica, donde su volumen es aumentado por la canalización de varias quebradas que antes tributaban sus aguas directamente al Río Sixaola, pero que ahora son capturadas por el “Canal Madre” de la bananera.

ANAI tiene 5 sitios de muestreo en la Quebrada Queiebra Caña, y ha realizado un total de 15 monitoreos entre 2002 y 2023. A continuación se describe el impacto acumulativo de las actividades humanas a lo largo de este río.

En QCCAB-074, un sitio ubicado arriba de la carretera Paraíso - Playa Chiquita, se encuentra justo abajo de donde 2 quebradas más pequeñas se unen para formar la Quebrada Quiebra Caña. Presenta un alto porcentaje de cobertura boscosa en el sitio y las cabeceras en general. En su monitoreo más reciente apuntó Bueno en la bioclase global (Excelente en macroinvertebrados).

Después de cruzar la carretera 2 veces, pasando por una zona ganadera, en el sitio QCPAR-071, la quebrada tiene cobertura boscosa intermitente, con un alto nivel de sedimentación. Este sitio apuntó Regular en todos los índices.

En QCCEL-178, localizado en la comunidad de Celia, la Quebrada Quiebra Caña está severamente canalizada. Presenta un cauce muy inciso, separado de la histórica llanura de inundaciones. Aunque el propósito de la canalización es proteger las plantaciones bananeras, el sitio se encuentra aguas arriba de los drenajes bananeros. La pérdida de múltiples elementos del hábitat se refleja en los resultados de biomonitoreo: Pobre en peces y SVAP, y Regular en macroinvertebrados.

En el cuarto sitio, QCJLZ-042, la quebrada recibe múltiples drenajes de las plantaciones bananeras, pero solo por el lado derecho. Hay bastante sombra de árboles, y troncos y ramas que proveen hábitat. El SVAP apuntó Regular, mientras que los índices de peces y macroinvertebrados indican una condición Pobre.

En 2023 el sitio que se monitoreó fue QCEGA-091, el cual se encuentra por la carretera que conduce a Gandoca (Foto 20), justo abajo de donde el Canal Madre vierte sus aguas. En este sector, la quebrada presenta:

- Canalización fuerte, con pérdida de casi todos los elementos del hábitat natural y de la conectividad con la llanura de inundación.
- Deforestación total, que resulta en pérdida de sombra y de fuentes de alimento para peces y camarones.
- Sedimentación extrema, debido al sistema de drenaje.
- Aplicación constante de agroquímicos altamente tóxicos y fertilizantes.
- Contaminación doméstica, por aguas residuales y residuos sólidos provenientes de las comunidades de trabajadores de la bananera.

En las 3 ocasiones en que se ha monitoreado QCEGA-091 ha apuntado Pobre o Muy Pobre en todos los índices. En 2023 tanto los peces como los macroinvertebrados apuntaron Muy Pobre. Los resultados más espectaculares son los de macroinvertebrados, que son los más fieles indicadores de problemas con calidad de agua. Este sitio presentó la menor abundancia y riqueza de familias de macroinvertebrados. En 2023 en QCEGA-091 se observó que como producto de la construcción del nuevo puente que conduce a Gandoca, el cauce quedó con un

tricho corto que podría ser descrito como “rápido” con sustrato rocoso (Foto 21). En condiciones normales esto sería un microhábitat idóneo para muchos macroinvertebrados acuáticos. Sin embargo, al muestrearlo casi no había, presumiblemente a consecuencia de la muy mala calidad de agua, que se agrava por el aislamiento. En la zona bananera no existen poblaciones de los insectos más intolerantes a la contaminación para poder repoblar un trecho “restaurado” físicamente. Debido a que no se perciben cambios en la salud del sitio la tendencia se clasificó como Estable.

En Panamá, el canal Washout fue monitoreado por primera vez en 2023 en un sitio ubicado abajo del puente en la carretera hacia Barranco Afuera. ANAI propuso el monitoreo de este sitio para tener información comparable con la generada en Quebra Caña en Costa Rica, pues el Canal Washout es un sitio con las mismas afectaciones por la actividad bananera, pero ubicado en el sector panameño del Valle del Sixaola. Otro factor determinante para la selección de este sitio fueron los resultados de un muestreo para análisis fisicoquímicos, microbiológicos, parámetros complementarios y residuos de plaguicidas realizado por ANAI en el 2012. A continuación se resumen algunos datos importantes de dicho estudio (ANAI, 2012a):

- Los sitios que recogen la mayoría de las aguas de los sectores bananeros del Valle de Sixaola, Quebra Caña en Costa Rica y Washout en Panamá, presentaron una clase de agua 2 que corresponde a “Contaminación incipiente” según el reglamento para clasificación de aguas superficiales de Costa Rica (La Gaceta, 2007). Este resultado estuvo principalmente determinado por los bajos valores de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto. Sin embargo, al evaluar los parámetros complementarios, el pH en Washout y la Demanda Química de Oxígeno en Quebra Caña presentaron valores propios de aguas de calidad inferior.
- Con respecto a los residuos de plaguicidas, en el canal Washout se detectó epoxiconazole, un compuesto clorado empleado para el control de enfermedades causadas por hongos en diversos cultivos. No cuenta con una clasificación por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS), pero puede ser tóxico para organismos acuáticos y su presencia puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático. Se ha encontrado que es persistente en el suelo y en el agua (IRET n.d.). En la Quebrada Quebra Caña se encontró pirimetanil, un compuesto usado para el control de hongos. De acuerdo con la OMS no representa un peligro agudo. A nivel ecotoxicológico presenta un comportamiento similar al del epoxiconazole (IRET n.d.). En este sitio también se detectó el fungicida miclobutanil.
- El sitio Washout registró $16,5 \pm 0,5$ mg/L de mercurio, cuando lo permitido por la OMS para agua de consumo humano es de 0,006 mg/L. Al ser algo

totalmente fuera de lo normal para la cuenca, ANAI señaló la necesidad de hacer más estudios en el sector y evitar que los pobladores consuman peces de estas aguas.

Los resultados de una gira de reconocimiento realizada en la microcuenca del Canal Washout y de la jornada de biomonitoreo fueron alarmantes para el Programa de Biomonitoreo de Ríos de ANAI. En la gira de reconocimiento se pudo observar que esta microcuenca, además de los impactos de la actividad bananera (Fotos 22, 23, 24 y 25), sufre los efectos de los mayores centros poblados de la cuenca, ubicados en el corregimiento de Las Tablas. Se pudo evidenciar el vertido directo de residuos sólidos y aguas residuales dentro de los cauces. Este sitio presentó el menor puntaje final del SVAP en 2023. Por su parte, el índice de peces apuntó el valor más bajo en 10 de los 12 métricos evaluados. Algunos aspectos a destacar son:

- La dominancia de peces tolerantes.
- La ausencia total de peces dependientes de cobertura boscosa.
- La ausencia total de peces intolerantes.
- La elevada abundancia de la chuparena *A. banana*, indicadora de mal manejo de los suelos agrícolas.
- La única sardina presente fue *A. nicaraguensis*, una especie muy omnívora y que responde positivamente a los disturbios.
- Se registraron 2 especies de peces exóticos invasores: el pez diablo *Prterygoplichthys pardalis* y la tilapia *Oreochromis niloticus*.
- El métrico que evalúa la cantidad de residuos sólidos dentro del cauce en el SVAP apuntó el puntaje más bajo en la historia del Programa.
- El sitio carece por completo de estructuras de hábitat, como rápidos y pozas.
- Durante la jornada de biomonitoreo pasó la avioneta fumigando, por lo que se evidenció la caída directa de los químicos aplicados en la zona ribereña y el espejo de agua (Fotos 24 y 25).
- Lastimosamente no se pudo realizar la muestra de macroinvertebrados en el sitio. Pero es razonable esperar que los resultados sean similares a los de la Quebrada Quebra Caña.

A pesar del alto impacto que sufren la Quebrada Quebra Caña y el Canal Washout, resulta muy preocupante el hecho de que los pobladores locales reportan que hay pesca de peces y camarones. Por efecto de la bioacumulación estos animales pueden concentrar químicos tóxicos, por lo que representan un riesgo para la salud humana.

Si bien durante las últimas décadas la industria bananera ha mejorado algunas prácticas productivas en beneficio de la salud de los habitantes humanos de la zona

bananera, la situación deja mucho que desear en términos de biodiversidad y de la salud de los ecosistemas acuáticos de la Cuenca Binacional del Río Sixaola.



Foto 20. Quebrada Quebra Caña en el sitio QCEGA-091. Sitio canalizado y sin cobertura forestal que recibe las aguas de la mayor parte de la zona bananera del Valle del Sixaola en Costa Rica.

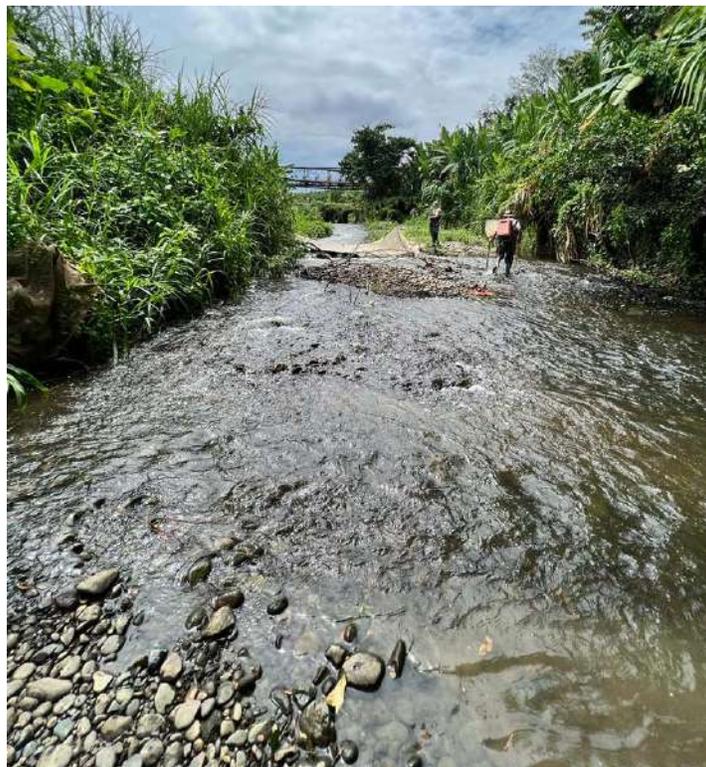
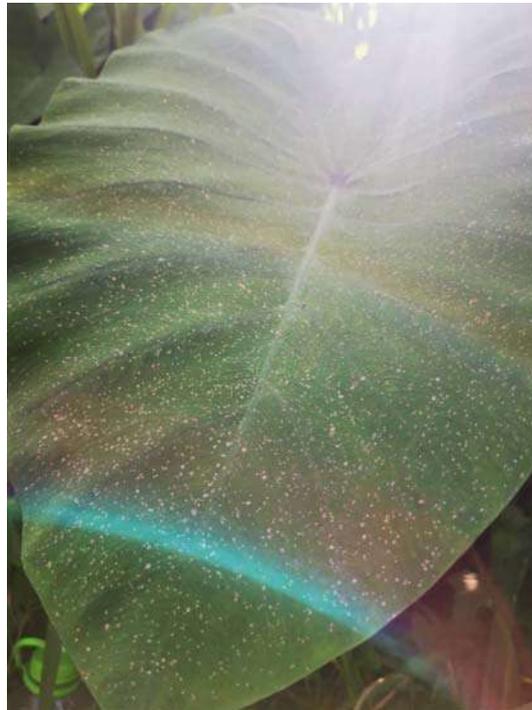


Foto 21. Rápido formado en la Quebrada Quebra Caña en el sitio QCEGA-091 tras la construcción de un puente en la carrera hacia Gandoca. Aunque físicamente este sería un hábitat idóneo para muchos macroinvertebrados, este grupo de organismos fue sumamente escaso a raíz de la contaminación.



Fotos 22, 23, 24 y 25. Jornada participativa de biomonitorio de ríos realizada en el Canal Washout. Las fotos de arriba, cortesía de Jorge Guerra, muestran la profunda canalización del sitio y la deforestación total, así como la participación de representantes del Comité de la Cuenca Hidrográfica del Río Sixaola. En las fotos de abajo se evidencia la llegada a la vegetación ribereña y el espejo de agua de los agroquímicos aplicados por la bananera mediante fumigación área.

4.2.4.5 Subcuenca Laguna de Gandoca

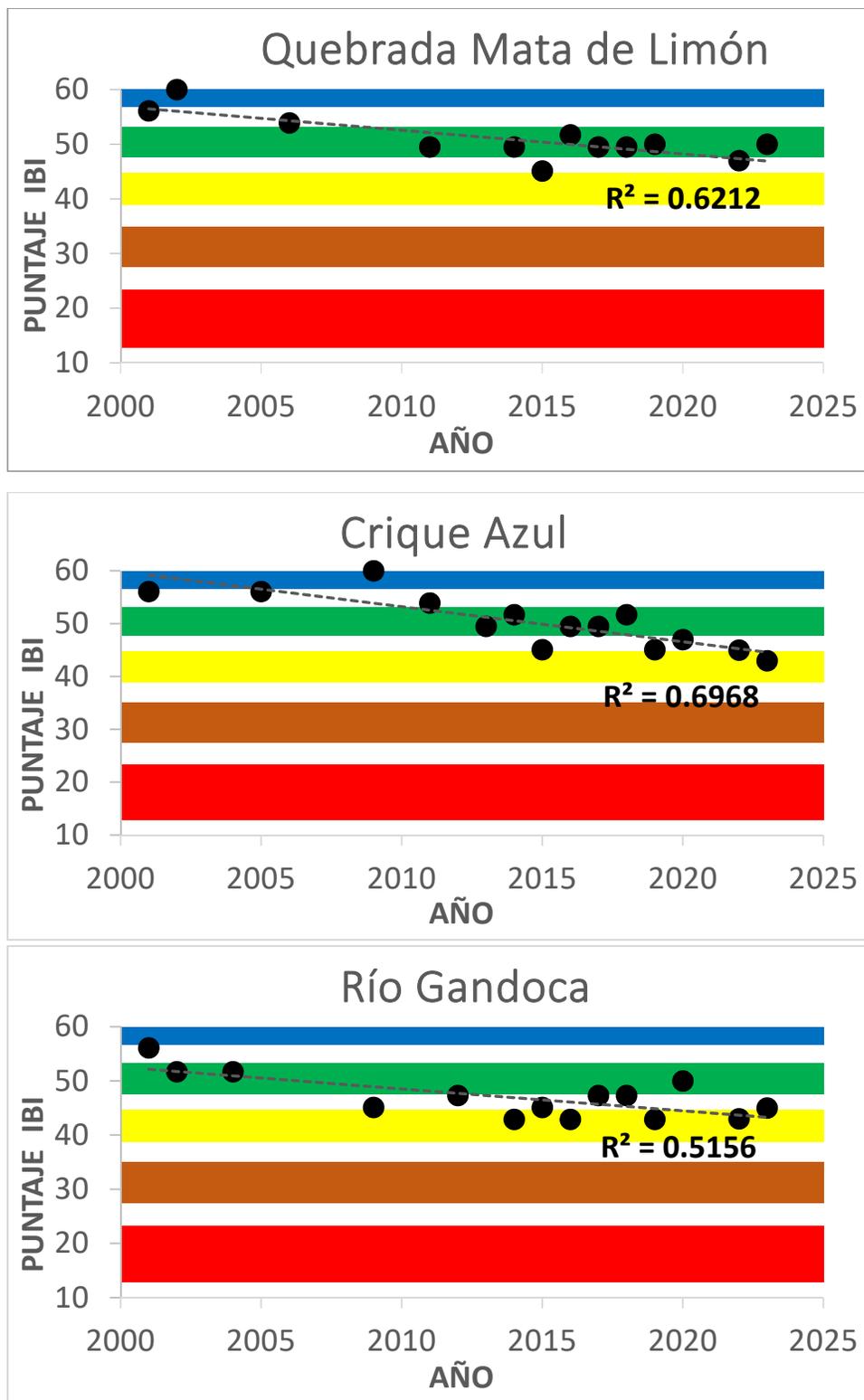
Mientras la parte más alta de la cuenca de la Laguna de Gandoca corresponde a zonas privadas, la parte baja está protegida por el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo. El sistema de quebradas de esta cuenca alimenta el estero “Laguna de Gandoca”, un humedal Ramsar que alberga el manglar más extenso de la costa del Caribe costarricense. Desde 2001 el Programa de Biomonitorio de Ríos de ANAI monitorea con regularidad 4 sitios en la cuenca de la Laguna de Gandoca: 2 en la Quebrada Mata de Limón, que forma la cabecera de la laguna; 1 en su tributario, Crique Azul, y 1 en el Río Gandoca (en realidad un riachuelo), tributario de la laguna aguas abajo. Un total de 51 monitoreos se han realizado en estos sitios. Los 4 sitios representan diferentes condiciones:

- MDLEL-040, en la Quebrada Mata de Limón, aproximadamente 1 km arriba de la laguna. Se ubica en un potrero y presenta sustrato de barro suave y baja gradiente.
- MDLFL-041, en la Quebrada Mata de Limón, en Finca Lomas de ANAI. Se ubica en una propiedad con bosque secundario y plantaciones agroforestales. El 90% de la microcuenca presenta cobertura forestal. El sustrato es de barro, arena y grava y presenta gradiente de mediana a baja.
- CAZFL-045, en Crique Azul, en propiedad de ANAI. El sitio y la gran mayoría de la microcuenca se ubica en bosque primario. El sustrato es arenoso y de cascajo, y el gradiente es bajo.
- GANRC-038, en el Río Gandoca, en propiedad de la ACBTC. El sitio y casi toda la microcuenca se encuentran en bosque primario. Gradiente mediano con pozas y rápidos bien definidos, con sustrato rocoso.

Los últimos 3 sitios fueron monitoreados en 2023. Aunque MDLEL-040 no se visitó este año, sirve para entender el contexto. Hasta aproximadamente 2010, los 3 sitios forestados apuntaron entre Bueno y Excelente. MDLEL-040 generalmente apuntó Regular. Pero concurrente con lo que parece ser un cambio en el patrón de lluvias y desbordes en Gandoca, se empezaron a observar cambios negativos en los índices bióticos en todos los sitios, hasta niveles de Pobre en MDLEL-040 y Regular o el rango bajo de Bueno en los otros sitios. Esto sin cambios aparentes al evaluar la condición del hábitat.

Como se aprecia en la Figura 3, el monitoreo continuo ha evidenciado una disminución generalizada en la salud ecológica de las quebradas. Se ha observado un importante cambio en los ensamblajes de peces, no atribuibles a actividades humanas realizadas en los sitios (Arias-Moreno et al., 2019). Debido a esto, la tendencia para los 3 sitios estudiados en la Laguna de Gandoca se clasificó como Negativa.

Figura 3. Valores históricos del IBI para tres quebradas en la subcuenca de la Laguna de Gandoca, 2001-2023. Los colores indican las bioclasas: azul = Excelente, verde = Bueno, amarillo = Regular, anaranjado = Pobre y rojo = Muy pobre.



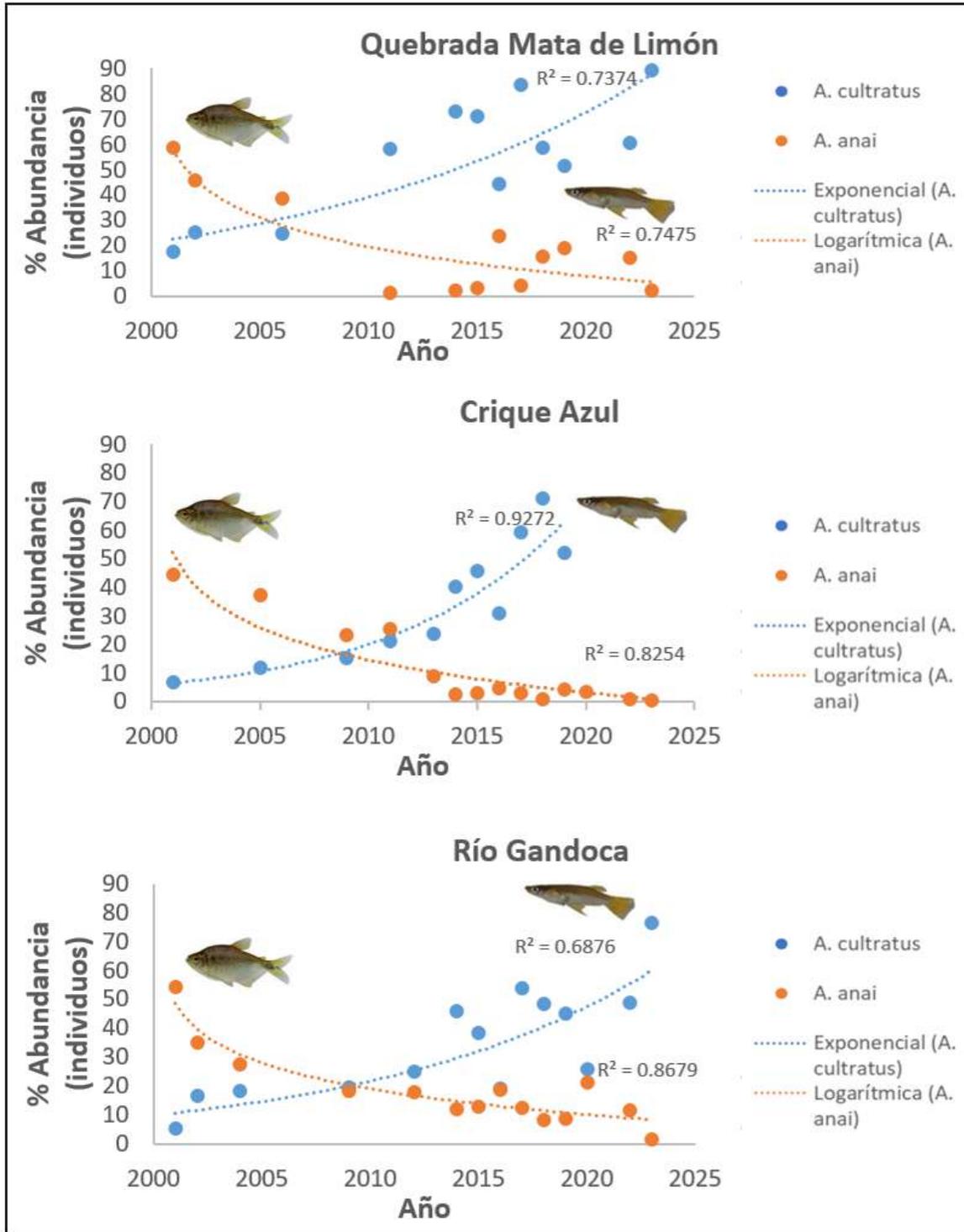
A pesar de la diferencia en condiciones (cobertura boscosa, gradiente, sustrato) entre los 4 sitios, en todos se observa el mismo patrón de cambio en el ensamblaje de peces. Anteriormente, en todos los sitios las “sardinias” de la familia Characidae eran el grupo de peces dominantes, especialmente la especie endémica, *A. anai*. Entre 2010-2014 la situación cambió bruscamente, pues las sardinias disminuyeron (hasta casi desaparecer en MDLEL-040), mientras que las “panzonas” de la familia Poeciliidae, especialmente *A. cultratus*, llegaron a ser dominantes. Las sardinias son peces muy fuertes, activos, que prosperan en corrientes fuertes. Son omnívoros, y dependen en gran medida de comida que se origina en los bosques y que entra al río con las lluvias y los desbordes. Contrariamente, las panzonas son débiles para nadar, y son propensas a ser arrastradas por flujos fuertes. Dependen mayoritariamente de fuentes de comida autóctonas, o especialmente en el caso de *A. cultratus*, insectos que caen de los árboles. Esta especie además está fuertemente asociada con la superficie del agua, donde hay mayor concentración de oxígeno disuelto. La abundancia relativa histórica de *A. anai* y *A. cultratus* para los 3 sitios estudiados en 2023 es mostrada en la Figura 4.

Quedan por analizar los patrones de precipitación y desbordes, pero los índices bióticos, apoyados con la información aportada por los vecinos de Gandoca, indican que mientras que antes los tributarios a la Laguna de Gandoca se desbordaban por lo menos dos veces al año, ahora los desbordes son muy ocasionales. Estas condiciones favorecen a los peces que son débiles nadadores, y perjudican a las especies que dependen de flujos fuertes periódicos. Es lógico suponer que estos cambios son producto del cambio climático.

4.2.5 Síntesis de los problemas ambientales identificados

Como una de las metas del biomonitoreo es identificar problemas ambientales, a continuación se resumen los 11 problemas identificados en los sitios monitoreados en 2023 que impactan la salud ecológica de los ríos en la Cuenca Binacional del Río Sixaola (Cuadro 7). Los resultados del biomonitoreo muestran la existencia de problemas, pero la relación de lo observado con las causas se logra gracias al involucramiento de actores locales como los guardarrrecursos, bioeducadores, funcionarios de los Ministerios de Ambiente y pobladores que conocen los sitios y su historia.

Figura 4. Abundancia relativa histórica de la olomina *Alfaro cultratus* (especie sedentaria, asociada a la superficie del agua), y la sardina *Astyanax anai* (muy activa, hábil para nadar y asociada a la columna de agua) en tres quebradas forestadas de la subcuenca de la Laguna de Gandoca: Quebrada Mata de Limón, Crique Azul y Río Gandoca.



Antes de enlistar los problemas, es importante considerar tres limitaciones que tenemos en ello:

- Muchas veces las categorías se traslapan. Por ejemplo, la contaminación asociada con condiciones urbanas normalmente tiene un componente orgánico y uno inorgánico.
- Los impactos directos a un sitio pueden influenciar otro sitio. Por ejemplo, en el caso del Río Sand Box, la canalización y descarga de agroquímicos aguas abajo del sitio reportado aquí, funcionan como una barrera, que reduce la conectividad a lo largo del río.
- Nuestra capacidad de detectar impactos no es del 100%. Especialmente en el caso de contaminación por químicos, los impactos pueden ocurrir sin evidencia visual. Algunos de estos eventos solo son evidentes cuando hay mortandad de organismos.

Cuadro 7. Principales problemas ambientales que afectan la salud ecológica de los 17 ríos y quebradas en la Cuenca Binacional del Río Sixaola en los sitios en que se realizó biomonitoreo en 2023.

Problema	BLNJ-204	JAMGA-203	SHIAB-067	GERSH-144	COCSU-065	URESO-135	BRABO-069	TSCYO-057	SINYO-096	YORBR-205	CARPU-202	SBCAN-112	QCEGA-091	WASMP-P026	MDLF-041	CAZFL-045	GANRC-038
Cambio climático	X	X	X	X											X	X	X
Sedimentación		X					X		X	X		X	X	X			
Contaminación orgánica	X	X	X		X		X	X	X		X		X	X			
Fragmentación	X	X	X														
Contaminación por agroquímicos			X		X		X			X			X	X			
Canalización	X	X	X									X	X	X			
Incisión			X								X		X	X			
Deforestación en el sitio			X										X	X			
Mala gestión de residuos sólidos			X								X			X			
Sobreexplotación de recursos pesqueros	X						X										
Especies exóticas invasoras		X												X			

Cambio climático: cambios en el ensamblaje de peces aparentemente debidos a alteraciones en el régimen hídrico, fueron identificados en 7 sitios. Estos fueron más visibles en quebradas pequeñas y de bajo gradiente (en este estudio, los 3 sitios de Gandoca y la Quebrada Gerardina). Pero es probable que el cambio climático esté afectando todos los ríos de la cuenca, por reducir el volumen de flujo, maximizar la exposición de organismos acuáticos a depredadores, incrementar la temperatura del agua, reducir la concentración de oxígeno disuelto y limitar la movilidad de peces y camarones migratorios.

Sedimentación: la sedimentación reduce la capacidad de las pozas e impide el flujo de agua entre el sustrato (UNESCO, 2010). Fue identificada como problema en al menos 7 sitios. Está principalmente asociada a procesos de deforestación y mal manejo de tierras agrícolas. Sin embargo, la proliferación de caminos de acceso se identificó como otra causa del problema.

Contaminación orgánica: fue identificada como problema en 10 sitios. Las fuentes son las descargas de aguas residuales de los asentamientos humanos, áreas dedicadas a ganadería, o por aplicación de fertilizantes en tierras agrícolas. En algunos casos (potrero en las cabeceras de Quebrada Sinádira, por ejemplo) se identificó la fuente, pero en otros casos (ríos Jamey y Cocolis) la proliferación de algas filamentosas y/o la alta incidencia de ectoparásitos en peces señalan la presencia de una fuente de contaminación por identificar.

Fragmentación por infiltración del río en parte baja: se puede presentar fragmentación en un río por condiciones existentes aguas abajo del sitio de monitoreo que dificultan los movimientos migratorios de la fauna, especialmente los peces y camarones diádromos. Una forma de fragmentación cada vez más prevalente en la Cuenca Binacional del Río Sixaola, es la tendencia de ciertos ríos a secarse en el curso abajo, debido a que el agua se infiltra en el suelo arenoso antes de llegar al río grande. Falta información histórica sobre este fenómeno, que puede ser en parte natural, pero que sin duda es exacerbado por el cambio climático. Identificamos fragmentación por esta causa en 3 sitios, pero es probable que afecte a otros sitios.

Contaminación por agroquímicos: aunque el biomonitoreo no permite cuantificar la contaminación por agroquímicos de manera directa, los resultados de los 3 índices señalan el problema en la Quebrada Quebra Caña y el Canal Washout. La contaminación por agroquímicos es sin duda uno de los problemas ambientales más graves que afectan a los ríos de la zona binacional bananera del Valle de Sixaola. Se identificó la contaminación por agroquímicos como un problema en al menos

otros 2 sitios. Con la proliferación del cultivo de plátano es previsible que el problema esté en crecimiento en otras partes de la cuenca, como el Valle de Talamanca.

Canalización: la canalización ha cambiado el régimen hídrico de la zona bananera del Valle de Sixaola de manera dramática. Aunque no tiene gran impacto en la salud humana, en términos de su impacto sobre la salud de los ecosistemas acuáticos tiene probablemente la misma importancia que la contaminación por agroquímicos. Fuera de la zona bananera, la canalización se asocia con el mantenimiento de carreteras y puentes y con el drenaje de humedales. En este estudio se identificaron 6 sitios directamente afectados por canalización y tiene efectos indirectos en muchos otros lugares.

Incisión: la incisión muchas veces está asociada con la canalización, tiene el efecto de desconectar el río de su llanura de inundación, lo que ocasiona una alteración en el régimen de inundaciones y la circulación de nutrientes. Afecta por lo menos 4 de los sitios considerados en 2023.

Deforestación: la deforestación es reconocida como problema ambiental a nivel mundial. En este contexto es especialmente importante la deforestación de las orillas de los ríos y su zona ribereña. Los bosques ribereños tienen múltiples beneficios al filtrar contaminantes y prevenir que lleguen al agua; regulan a temperatura del agua y por ende la evaporación; aportan materiales fundamentales para las cadenas alimenticias; brindan estabilidad a la orilla, previniendo erosión y deslizamientos; y protegen de los efectos de las inundaciones. La mayoría de los sitios en este estudio presenta deforestación en alguna parte de su cuenca. De los sitios monitoreados, 3 carecen de cobertura forestal.

Residuos sólidos: la errónea disposición de residuos sólidos en ríos parece ser un problema que a pesar del crecimiento poblacional no ha aumentado en la porción costarricense de la cuenca. Esto gracias a diferentes programas educativos y la extensión de los servicios de recolección de residuos brindados por la Municipalidad de Talamanca. Esta institución, con el fin de crear y desarrollar una política de cuidado del medio ambiente, creó en 2012 la Unidad de Gestión Ambiental (Municipalidad de Talamanca, 2022). Este departamento se encarga de todo lo concerniente a la recolección de residuos sólidos de disposición final, la recolección de residuos valorizables, la gestión del Centro de Acopio, la implementación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, y de la limpieza y el mantenimiento de sitios públicos. El servicio de recolección de los residuos sólidos ordinarios generados en residencias, comercios e instituciones que no son valorizables, no tradicionales o peligrosos se presta con camiones compactadores de carga trasera. La Municipalidad cuenta con 3 camiones recolectores, los cuales brindan la

recolección en varias comunidades del cantón; no obstante, los sectores medio y alto de la cuenca binacional no están cubiertos por este sistema.

En lo referente a los residuos sólidos valorizables la Municipalidad realiza una labor valiosa pero también de cobertura limitada, pues aunque dispone de un Centro de Recuperación de Residuos Valorizables amplio y bien equipado, un camión y una serie de rutas de recolección establecidas, el énfasis se hace en la zona costera, que cuenta con una mayor concentración de población y mayores facilidades turísticas y de accesibilidad. Nuevamente, los sectores medio y alto de la cuenca binacional muestran un importante rezago con respecto al sector bajo de la cuenca y su zona de influencia.

Se encontraron solo 2 sitios con concentraciones de basura suficientes para crear problemas de salud ecológica, de ellos destaca el Canal Washout en Panamá. La situación del manejo inadecuado de los residuos sólidos en la cuenca baja del sector panameño de la cuenca binacional es dramática. La cantidad y diversidad de residuos vertidos en los diferentes cuerpos de agua supera ampliamente lo observado en el sector costarricense. Esta condición fue reseñada por Solano y Rojas (2016), con base en datos del último censo de población disponible. El reporte indica que solo el 26% de los hogares del distrito Changuinola tiene acceso al sistema municipal de recolección de residuos sólidos de disposición final. Según Distritos de Panamá (2023), el Municipio de Changuinola realiza el servicio de recolección de residuos sólidos de disposición final en algunos sectores de la cuenca, aunque no llevan estadísticas reportables. Esta información fue corroborada por Cotes (2023), de la Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario (AAUD). Esta institución realiza algunas campañas de limpieza de áreas públicas urbanas y rurales, así como de áreas silvestres protegidas, en coordinación con las autoridades correspondientes (Municipio, MiAmbiente) y las organizaciones locales.

La falta de soluciones para este problema ambiental fue ratificada por la Comisión Binacional de la Cuenca del Río Sixaola, durante la elaboración del Plan Estratégico de Desarrollo Territorial Transfronterizo (CBCRS, 2017). Esta instancia de gobernanza binacional concluyó que las debilidades del proceso de gestión de residuos sólidos son la falta de recursos suficientes para el tratamiento en las asociaciones y las municipalidades, junto con la poca concientización de la población. En respuesta a estas limitaciones se plantearon acciones correctivas, que desafortunadamente no han sido desarrolladas. Un año antes, ACBTC (2016) logró establecer que el carácter fuertemente comercial de las actividades económicas en la provincia genera una gran cantidad de residuos sólidos, que actualmente están siendo depositados en vertederos a cielo abierto o rellenos de baja tecnología, con un alto impacto ambiental y de salud pública.

Así mismo, las actividades bananera y platanera, que son fuentes de empleo para los habitantes de la cuenca y de divisas para el país, también son fuentes importantes de contaminación con residuos sólidos. Con respecto a las bolsas plásticas impregnadas de pesticidas que se utilizan para cubrir los racimos de esas frutas, PNUD (2021) indica que no hay capacidad instalada en la zona para manejar y procesar estos residuos, y no hay vertederos sanitarios ni instalaciones para reciclar estas bolsas. Además, los plásticos utilizados para la maduración de racimos de banano y plátano impregnados de pesticidas son desechados como basura sin un manejo adecuado y por lo tanto contaminan los cuerpos de agua, llegando a los arrecifes de coral con impactos duraderos en la vida marina.

Sobreexplotación de recursos pesqueros: la pesca con plantas tóxicas es una práctica tradicional indígena que aparentemente era bien reglamentada en el pasado, con lo que no afectaba la salud ecológica de los ríos. Sin embargo, en la actualidad con el crecimiento poblacional, la pérdida de las buenas prácticas culturales y la sustitución del uso de plantas nativas por venenos de origen sintético, esta técnica de pesca se ha convertido en un problema ecológico en el vecino Valle de la Estrella y algunas otras áreas fuera de los territorios indígenas. Solo para el Río Blei los guardarrrecursos reportaron que hacía algunos meses se presentó pesca con veneno en el sitio. Aunque no se practica pesca con venenos, la sobrepesca fue identificada como problema solo en el Río Brai.

Especies exóticas/invasoras: Las especies exóticas invasoras son un problema a nivel mundial. En la Cuenca del Río Sixaola las especies de peces más problemáticas son el pleco o pez diablo (*P. pardalis*) y las tilapias (*Oreochromis* spp.). En la cuenca estos peces están concentrados en los ríos grandes, donde las metodologías de muestreo de ANAI no son aplicables, por lo que principalmente se dispone de la información reportada por personas locales. En 2023 solo se registraron peces exóticos en 2 de sitios de monitoreo.

También es importante mencionar el “lirio” acuático *Eichhornia crassipes*, conocido de varias partes de la cuenca Sixaola. En la Quebrada La Rosa, por la comunidad panameña de Las Tablas, *Eichornia* contribuye a la sequía de la quebrada, produciendo así fragmentación que afecta al Canal Washout, aguas abajo.

Por último, se quiere llamar la atención con respecto a *Melanooides tuberculata*, una especie de caracol gasterópodo de la familia Thiaridae. Es una especie exótica proveniente del norte de África y el sur de Asia, que ya cuenta con una amplia distribución en varios lugares de Costa Rica y del mundo. Este caracol tiene gran importancia ecológica, pues al presentar una elevada tasa de reproducción, ser partenogenética, ovovivípara y longeva, puede llegar a tener efectos negativos

sobre las comunidades de gasterópodos locales. Además, tiene implicaciones para la salud pública, pues es un agente transmisor de enfermedades, ya que actúa como hospedero intermediario de trematodos parásitos del humano y de peces (Alves-Pinto y Lane de Melo, 2011). En el presente estudio la familia Thiaridae se registró en 10 de 14 sitios. Aunque esta familia cuenta con una especie nativa en Costa Rica, *Aylacostoma maculatum*, se deben revisar los organismos recolectados para descartar la presencia de esta especie en la cuenca, pues se ha observado un incremento en su abundancia en muchos sitios.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio ha generado una importante cantidad de conclusiones y recomendaciones, que se consideran de mucha relevancia para las iniciativas apoyadas por el Proyecto. Con el propósito de presentar estos aportes de una manera que permita relacionarlos más fácilmente, se detallan inmediatamente después de cada conclusión las recomendaciones asociadas.

1. Los resultados de los monitoreos biológicos realizados en 2023 mediante el presente estudio son de gran relevancia en términos técnicos; sin embargo, el mayor valor de la información aquí reportada radica en la participación ciudadana y en la continuidad de los muestreos y análisis a largo plazo. Como se puede observar, la información de campo que ha sido obtenida por el Programa de Biomonitorio de Ríos de ANAI en colaboración con diferentes actores locales durante el periodo 2001-2023, es clave para la identificación de tendencias en la salud ecológica de los ríos.
 - Aunque entre las labores del Proyecto Hacia la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos transfronterizos de la Cuenca del Río Sixaola compartida por Costa Rica y Panamá se propone sentar las bases de un sistema binacional de monitoreo participativo de la calidad de agua de los ríos de la Cuenca del Río Sixaola, se recomienda más bien fortalecer el Programa de Biomonitorio de Ríos de ANAI, el cual tiene una vasta experiencia en la zona y ha desarrollado relaciones con muchos actores relevantes en la gestión de recurso hídrico.
 - Crear una base de datos relacional con la información histórica generada por ANAI en la Cuenca Binacional del Río Sixaola y en la región de La Amistad Caribe en general. Esto para que la información esté fácilmente disponible, por ejemplo, para su uso por parte de los tomadores de decisiones y para estudios académicos más profundos. Este tipo de acciones contribuiría a alcanzar el potencial máximo de la información generada.
2. El carácter binacional de la Cuenca del Río Sixaola implica retos y limitantes políticos y administrativos para la implementación de acciones de biomonitorio de ríos, especialmente en lo relacionado a la obtención de permisos de investigación.
 - Se recomienda que desde el Proyecto o instancias como los Ministerios de Ambiente y la Comisión Binacional de la Cuenca del Río Sixaola se

prioricen las labores de biomonitoreo de ríos participativo en la cuenca y se faciliten estos procesos.

3. La articulación estratégica entre ONG, técnicos, instituciones académicas, instituciones de ambiente y producción, pueblos indígenas, organizaciones locales, empresas y público en general para desarrollar el biomonitoreo de ríos en la Cuenca Binacional del Río Sixaola, es fundamental para la generación de información que permita la identificación de problemas ambientales, la formulación e implementación de acciones de conservación consensuadas y la medición a través del tiempo de los efectos de acciones implementadas.
 - Continuar con la capacitación de guardaparques, guardarrecursos y bioeducadores en biomonitoreo de ríos. Esto tiene un efecto multiplicador en la vigilancia y conservación del recurso hídrico, los ríos y la cuenca en general.
 - Considerando que los pueblos indígenas son aliados estratégicos en la conservación de los bosques y los ríos, su conocimiento debe ser tenido en cuenta para la elaboración de los planes de biomonitoreo, la ejecución y el análisis de resultados.
 - Promover la participación del Programa de Biomonitoreo en espacios como la Comisión Binacional de la Cuenca del Río Sixaola, pues el sector de las ONG ambientales no está representado.
4. El biomonitoreo y los análisis fisicoquímicos son enfoques complementarios en el estudio de la calidad agua. Debido a que biomonitoreo de ríos realizado por ANAI en la Cuenca Binacional del Río Sixaola se realiza incluso a la escala de quebradas, sus resultados representan la información más completa disponible para la cuenca.
 - Tomar en consideración los resultados y experiencia de ANAI para la selección de los sitios de monitoreo fisicoquímico a largo plazo en la cuenca.
 - Promover la comunicación entre los responsables de los análisis fisicoquímicos y ANAI para el intercambio de información.
5. La Cuenca Binacional del Río Sixaola se ubica en una de las mayores áreas de endemismo para peces de agua dulce en Costa Rica, y que a la vez es una de las más amenazadas.

- Diseñar y realizar campañas educativas dirigidas al conocimiento y protección de las especies de peces de agua dulce de la Cuenca Binacional del Río Sixaola.
6. La migración de peces y camarones entre aguas dulces y salobres, conocida como diadromía, es un fenómeno prevalente en la Cuenca Binacional del Río Sixaola.
 - Promover la conservación de los ríos y sus zonas ribereñas como corredores biológicos altitudinales que conectan las montañas y el mar.
 - Considerar este fenómeno natural en la planificación del desarrollo de la cuenca para evitar fragmentación.
 - Evitar la construcción de represas hidroeléctricas en la cuenca.
 7. Las áreas silvestres protegidas de las zonas altas de la Cuenca Binacional del Río Sixaola, especialmente el PILA, son vitales para el abastecimiento de agua en cantidad y calidad para toda la cuenca.
 - Fortalecer la inclusión del componente acuático en el proceso de gobernanza compartida adelantado por el COLAC SPNH La Amistad.
 - Replicar el estudio realizado por ANAI en 2007 donde se evaluó la salud ecológica de los principales ríos de la cuenca al salir del PILA.
 8. Los evidentes cambios en el ensamblaje de peces en algunos ríos de bajo gradiente (ríos de la subcuenca de la Laguna de Gandoca y Quebrada Gardina) en los cuales no se han podido detectar nuevas fuentes de contaminación o cambios ambientales a nivel de cuenca, demuestran los efectos del cambio climático. Es probable que eventualmente este fenómeno global impacte todos los ríos de la región.
 - Reconociendo que el cambio climático es el problema menos susceptible a soluciones a nivel local, se recomienda hacer todo lo posible para conservar y restaurar la cobertura forestal en las orillas de los ríos. Esto para aumentar la resiliencia.
 - Se recomienda usar este fenómeno para llamar atención hacia los riachuelitos y quebradas pequeñas, que a menudo son olvidados en la planificación de medidas de restauración.
 9. Los resultados de este estudio demuestran mayor salud ecológica en los ríos con una zona ribereña diversa y tupida, con altos niveles de sombra.

- Se recomienda impulsar y apoyar programas de siembra de árboles en las zonas ribereñas, incluyendo árboles frutales y maderables con valor alimentario o comercial.
- Como las leyes forestales de Costa Rica y Panamá establecen zonas protectoras para los ríos y quebradas y restringen la corta de árboles en las orillas de los ríos, pero no siempre son cumplidas, se recomienda llamar la atención de las autoridades estatales, tradicionales y locales acerca de la importancia de que sea cumplida a cabalidad la legislación forestal existente en ambos países.

10. La muy pobre salud ecológica de la Quebra Caña en Costa Rica y el Washout en Panamá, ubicados en el área bananera del Valle del Sixaola, señala que la producción industrial de banano es una actividad productiva de alto impacto ambiental en la Cuenca Binacional del Río Sixaola.

- Involucrar al sector bananero como actor clave en la definición e implementación de las acciones a realizar en el Proyecto tendientes a la gestión integrada del recurso hídrico y a la reducción de la contaminación por agroquímicos en la Cuenca Binacional del Río Sixaola.
- Mejorar la capacidad institucional para la aplicación de la normativa existente en ambos países, sobre aspectos tan fundamentales como el respeto a las zonas protectoras de ríos y cuerpos de agua superficiales, y la aplicación y monitoreo de agroquímicos en las zonas de producción industrial de banano.
- Establecer un sistema de monitoreo permanente de agroquímicos en la Cuenca Binacional del Río Sixaola que permita conocer su evolución en el tiempo. Este debe incluir puntos estratégicos al interior de las áreas bananeras y no solo en el cauce principal del Río Sixaola, donde el efecto de la dilución es alto.
- Concientizar a la población local sobre el riesgo a la salud por el consumo de peces y camarones capturados en las zonas bananeras y realizar análisis de tejidos de peces. El tejido animal retiene y acumula toxinas químicas, cuya presencia puede ser fugaz en el medio acuático.
- Promover entre el sector bananero mejores prácticas productivas, como las usadas en la Platanera Río Sixaola.
- Aunque no es algo que se pueda hacer de un momento a otro, sí se debe iniciar la transición de un modelo basado en la producción intensiva de musáceas (banano y plátano) hacia un modelo productivo menos contaminante.

11. Los resultados obtenidos en el Río Carbón, en el pueblo de Bribri, Costa Rica y el Canal Washout, ubicado aguas abajo de la ciudad de Las Tablas, demuestran problemas únicos, graves y preocupantes asociados con la contaminación y otras formas de alteración de la integridad de ríos en zonas urbanas.

- El énfasis de la conservación en la región ha sido en zonas rurales y en territorios indígenas. Se recomienda enfocar esfuerzos en las zonas urbanas (incluyendo el eje Sixaola/Guabito, por el cauce principal del Río Sixaola), apoyando a las municipalidades en sus labores de reducir, recoger, procesar y reciclar residuos sólidos y otros materiales contaminantes. También es urgente la atención al tema de las aguas residuales en estos grandes centros poblados.
- En el caso específico de Las Tablas y la cuenca de la Quebrada La Rosa, se recomienda urgentemente un programa de educación ambiental, sensibilización y ayuda técnica con la finalidad de frenar la disposición clandestina de residuos en las orillas y los cauces de los ríos, quebradas y canales.

12. Si bien a veces es necesario llamar la atención hacia los problemas en el entorno acuático debidos a prácticas agrícolas inadecuadas, también hay sitios que demuestran la compatibilidad de la producción agrícola con la conservación de la biodiversidad acuática (Quebrada Gerardina), o los esfuerzos de parte de productores para restaurar y conservar ríos en sus propiedades (Río Sand Box).

- Divulgar y valorar los logros de agricultores que realizan acciones de conservación exitosas.

13. Para el Programa de Biomonitorio de Ríos, después de más de 20 años de trabajo en la zona, es obvia la importancia de la educación ambiental, reflejada en el éxito de los esfuerzos realizados hasta la fecha. El nivel de conciencia sobre cuestiones tales como la disposición adecuada de los residuos sólidos, los efectos perniciosos del uso de venenos para la pesca, la importancia de las zonas ribereñas, y otros temas similares es muy elevado, comparado con el año 2000, cuando iniciaron las labores del Programa. Las interacciones con la gente local durante la realización del trabajo aquí reportado demuestran tanto el nivel de educación alcanzado como el deseo de continuar aprendiendo.

- Reforzar el papel de los bioeducadores como vínculo entre ANAI y las comunidades.
- Capacitar a los guardarrecursos y bioeducadores para que mejoren sus funciones como educadores ambientales.

- Se recomienda comunicar los resultados de este trabajo a los administradores y directores de escuelas y colegios, con la finalidad de facilitar programas educativos orientados a recuperar, mejorar y sostener la salud de la Cuenca Binacional del Río Sixaola.

14. La presencia de especies acuáticas exóticas invasoras en la cuenca señala la importancia de la realización de estudios que permitan el diseño de planes de manejo y control.

- Revisar con expertos la identidad de los caracoles de la familia Thiaridae recolectados durante este estudio. Por el crecimiento en abundancia que ha tenido este caracol en la cuenca, se sospecha que se trata de la especie invasora *M. tuberculata*.

AGREDECIMIENTOS

La Asociación ANAI agradece a la unidad técnica de OET responsable de la ejecución del Proyecto “Hacia la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos transfronterizos de la Cuenca del Río Sixaola compartida por Costa Rica y Panamá”, a OET, PNUD, GEF, MINAE, MiAmbiente, la Comisión Binacional Cuenca del Río Sixaola y el Convenio para el Desarrollo Fronterizo Costa Rica - Panamá, pues sin su labor no habría sido posible la realización de este trabajo. Se extiende un agradecimiento especial a la coordinadora del Proyecto María Celeste López Quirós, al experto en GIRH, Jorge Polimeni, al comunicador, Manuel Sancho Gutiérrez y al biólogo, Tobías García Fernández, quienes han brindado apoyo en diferentes partes del trabajo aquí reportado.

La colaboración del director del Área de Conservación La Amistad Caribe (ACLAC), Olger Méndez Fallas; del encargado del Proyecto por parte del MINAE, Mario Cerdas Gómez y de la administradora del PILA Caribe Costa Rica, Jeimy Carranza Ramírez, fue fundamental para la articulación estratégica con el COLAC SPNH La Amistad. Esto facilitó no solo la participación de guardaparques del ACLAC en las jornadas de biomonitoreo de ríos, sino también el involucramiento de las asociaciones de desarrollo de los territorios indígenas de Costa Rica. Además, permitió involucrar al administrador, Rogelio Rivas, y los guardaparques del PILA Panamá. El jefe del Departamento de Recurso Hídrico de la Regional de MiAmbiente de Bocas del Toro, Jorge Guerra, brindó una enorme colaboración al impulsar la participación del Comité de la Cuenca Hidrográfica del Río Sixaola.

Se brinda un profundo agradecimiento al Centro Regional Ramsar para el Hemisferio Occidental (CREHO) y a su exdirector, Osvaldo Jordán, pues su papel fue esencial en la obtención de los permisos de investigación en Panamá.

El presente informe no tendría la misma calidad y relevancia de no ser por el involucramiento de los pueblos indígenas de la Cuenca Binacional del Río Sixaola. Estos estuvieron representados por ADITIBRI, ADITICA, el Consejo General del Territorio Bribri de Panamá, guardarrecursos, bioeducadores, organizaciones locales (Stibrawpa, Se Yámipa, ACOMUITA, juntas de vecinos) y pobladores en general que participaron activamente en la ejecución de los biomonitoreos y en la interpretación de resultados.

Se agradece a todos los habitantes de la Cuenca Binacional del Río Sixaola que participaron y/o brindaron ayuda logística para la realización de las jornadas de biomonitoreo de ríos. También a la Platanera Río Sixaola por ser la única empresa

privada que ha apoyado ya por años el biomonitoreo de ríos en la cuenca y que está comprometida con un proceso de restauración.

Los principales responsables de la planificación, ejecución y análisis del trabajo aquí reportado son los funcionarios del Programa de Biomonitoreo de Ríos de ANAI Ana María Arias Moreno, William McLarney y Maribel Mafla Herrera, en colaboración con el consultor, Julio Barquero Elizondo. Sin embargo, sin la plena colaboración de Diego Lynch, Director de ANAI y María Balbina Cháves, contadora, este trabajo no sería una realidad. La ejecución del trabajo de campo no habría sido posible sin la colaboración brindada por los voluntarios de largo plazo Tom Suddaby, Thomas Gonguet y Helene Herreman. Finalmente, se agradece la valiosa colaboración brindada por Jareth Román en la identificación de las muestras de macroinvertebrados.

REFERENCIAS

- ACBTC. 2016. Plan de sensibilización y educación sobre manejo de residuos sólidos ordinarios (orgánicos e inorgánicos) en los distritos de Changuinola, Chiriquí Grande y Bocas del Toro. Consultoría para IDEL/CONADES/GIS.
- Adamson, M. y J. Masís. 2010. Disponibilidad del recurso hídrico en Costa Rica. Informe final. Centro de Estudios Económicos y Ambientales (CIESA). San José, Costa Rica. 376 pp. En: <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/DisponibilidadRecursoHidricoCR/offline/download.pdf>.
- Alves-Pinto, H. y A. Lane de Melo. 2011. A checklist of trematodes (Platyhelminthes) transmitted by *Melanoides tuberculata* (Mollusca: Thiaridae). *Zootaxa* 2799: 15–28. En: <https://www.mapress.com/zootaxa/2011/f/z02799p028f.pdf>.
- Arias-Moreno, A.M., McLarney W.O., Cortés J. y M. Mafla-Herrera. (eds.). 2019. Informe del Simposio “El Caribe Sur de Costa Rica: biodiversidad, estado ambiental, protección y desafíos de una región poco estudiada”. CIMAR-UCR, Escuela de Biología UCR y Programa de Biomonitorio ANAI. San José Costa Rica.
- Arias-Moreno, A.M., McLarney W.O., Mafla-Herrera M., Bonilla M., Quintero E., y C. Ábrego. 2019. Análisis de tallas de peces diádromos arriba y abajo de represas hidroeléctricas en la cuenca Changuinola/Teribe, Bocas del Toro – Panamá, 2018-2019. En: <https://www.anaicostarica.org/digital-library.html>.
- Arias-Moreno, A.M., McLarney W.O. y M. Mafla-Herrera. Asociación ANAI. 2023. Guía para la evaluación de la integridad biótica de ríos del Caribe Sur de Costa Rica y Bocas del Toro - Panamá mediante censos visuales de peces. Talamanca, Costa Rica. 32 p.
- Asociación ANAI. 2023. Overview. Página oficial, en: <http://www.anaicostarica.org/overview.html>.
- Asociación ANAI. 2023. Producto 1: Informe I trimestre de 2023. Consultoría: “Implementación de acciones de biomonitorio de ríos en la Cuenca Binacional del Río Sixaola”. Talamanca – Costa Rica. 24 p.
- Asociación ANAI. 2012a. Entregable 1.5: Informe con los resultados e interpretación del análisis químico de las 10 muestras de agua. Proyecto “Identificación y Mapeo de Fuentes de Contaminación en la Cuenca Binacional Sixaola”. 18 p.
- Asociación ANAI. 2012b. Informe final del proyecto “Identificación y Mapeo de Fuentes de Contaminación en la Cuenca Binacional Sixaola”. En <http://www.cuencariosixaola.bocasdeltoro.org/pdfs/fuentes%20contaminacion%202012.pdf>.
- Asociación ANAI-Programa de Biomonitorio de Ríos. 2021. Informe del programa de biomonitorio de ríos en la provincia de Bocas del Toro, Panamá,

- Territorios Indígenas Bribri, Naso y Ngäbe: resumen de 18 años de trabajo. Hone Creek, Talamanca. 78 p.
- Autoridad Nacional del Ambiente-Corredor Biológico Mesoamericano del Atlántico Panameño. 2004. Plan de Manejo Humedal de Importancia Internacional San San Pond Sak. Panamá, Panamá. 155 p.
- Autoridad Nacional del Ambiente-Corredor Biológico Mesoamericano del Atlántico Panameño. 2004. Plan de Manejo Humedal de Importancia Internacional San San Pond Sak. Panamá, Panamá. 155 p.
- Barquero-Elizondo, Julio. 2008. Diseño de indicadores para medir impacto del modelo de producción agroecológica sobre la flora y fauna nativa en Talamanca. II Informe de Avance de consultoría para la Asociación de Pequeños Productores de Talamanca, Bribri. 66 p.
- Barquero-Elizondo, Julio. 2015. Inventario y monitoreo de biodiversidad en fincas de Platanera Río Sixaola S.A. Informe Final. Proyecto de Asistencia Profesional ACBTC/PRS. 84 p.
- CBCRS. 2017. *Plan estratégico de desarrollo territorial transfronterizo 2017-2021*. En <http://www.cuencariosixaola.bocasdeltoro.org/pdfs/plan%20estrategico%20sixaola%202017-2021.pdf>.
- Comisión Costarricense de Cooperación con la UNESCO. 2021. Biosfera La Amistad. En: <https://www.comisionunesco.cr/la-amistad>.
- Cornejo A., López-López E., Sedeño-Díaz J.E., Ruiz-Picos R.A., Macchi P., Kohlmann B., Correa-Araneda F., Boyero L., Bernal-Vega J., Ríos T., Ávila I. y A.R. Tuñón. 2019. Protocolo de biomonitoreo para la vigilancia de la calidad del agua en afluentes superficiales de Panamá. Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud. 81 p.
- Cotes, A. 2023. Labor de la Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario (AAUD) en Bocas del Toro. Comunicación personal.
- Distritos de Panamá. 2023. El gobierno municipal de Changuinola. En: <https://www.distrito.com.pa/distrito-changuinola.html#city>
- Fernández, A. y A. Volpedo. 2020. Indicadores físico-químicos: ¿Qué, cómo y cuánto reflejan la calidad del agua? En: Domínguez, E. et al (eds.): La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina: Bases para el análisis de la integridad ecológica. Eudeba, Argentina. Pp. 9-21.
- Gamboa, M., Reyes, R. y J. Arrivillaga. 2008 Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. Boletín de Malariología y Salud Ambiental. Volumen XLVIII (2).
- IANAS. 2019. Calidad del agua en Panamá. En: https://cihh.utp.ac.pa/sites/default/files/documentos/2022/pdf/calidad-de-agua-en-las-americas_2019_panama.pdf.

- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR). 2021. Plan Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales. 38 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2015. Estadísticas e indicadores claves sobre el estado del ambiente en Costa Rica. San José.
- INEC. XI Censo de Población y VII de Vivienda de Panamá: Año 2010. En: <https://www.inec.gob.pa/panbin/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=LP2010>.
- Karr, J.R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6: 21- 27.
- Karr, J.R. 1991. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource Management. *Ecol. Appl.* 1: 66-84.
- La Gaceta. 2007. Decreto No. 33903-MINAE-S: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. Diario Oficial de la República de Costa Rica, La Gaceta N° 178, 17 de junio de 2007.
- Mafla, M., Harma K., Bent W., Villavicencio X. y W.O. McLarney. 2005. Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano Talamanca –Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. CATIE.
- McLarney, W.O., Angulo A., Mafla-Herrera M. y A.M. Arias-Moreno. En prep. Fish diversity of the Sixaola watershed (Costa Rica-Panama) and the role of the Asociación ANAI Stream Biomonitoring Program in studying and protecting it.
- McLarney, W.O., Mafla-Herrera M., Arias-Moreno A.M. y D. Bouchonnet. 2010. The threat to Biodiversity and ecosystem function of proposed hydroelectric dams in the La Amistad World Heritage Site, Panama and Costa Rica. Report presented to UNESCO World Heritage Committee. Asociación ANAI, San José, Costa Rica. 123 p.
- Moya, N., Tomanova S. y T. Oberdoff. 2007. Initial development of a multi-metric index based on aquatic macroinvertebrates to assess streams condition in the Upper Isiboro-Sécure Basin, Bolivian Amazon. *Hydrobiologia* 589: 107-16.
- Municipalidad de Talamanca. 2023. Residuos sólidos. En <https://www.municipalidadtalamanca.go.cr/index.php/mn-serviciosmunicipales/departamento-ambiental>.
- Narcís, P., Ríos B., Acosta R. y M. Rieradevall. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. En: Domínguez, E. y H. Fernández (Eds). *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos*. Publicaciones Especiales. Fundación Miguel Lillo. San Miguel de Tucumán. Argentina.
- PNUD. 2021. Documento de Proyecto: "Hacia la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) transfronterizos de la Cuenca del Río Sixaola compartida por Costa Rica y Panamá, ID PIMS: 6373". San José: PNUD.
- Roldán, L. 2020. Bioindicadores: qué son, tipos y ejemplos. En: <https://www.ecologiaverde.com/bioindicadores-que-son-tipos-y-ejemplos-2846.html>.

- Science Learning Hub. 2023. Bioindicators. En: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1538-bioindicators>.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2017. Plan General de Manejo Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca - Manzanillo, 2017 - 2027. Área de Conservación La Amistad Caribe. Costa Rica. 151 p.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2019. Plan General de Manejo del Parque Internacional de La Amistad (PILA), 2020 - 2029. Área de Conservación La Amistad Pacífico y Área de Conservación La Amistad Caribe. Costa Rica. 102 p.
- Solano, F. y W. Rojas. 2016. Indicadores sociodemográficos de la cuenca binacional Sixaola. Comisión Binacional de la Cuenca del río Sixaola/Convenio de Desarrollo Fronterizo/UICN-Bridge. En: <http://www.cuencariosixaola.bocasdeltoro.org/pdfs/indicadores%20sociodemograficos.pdf>.
- Solano-Ulate, D., Avilés L., Bermúdez J, Campos P., Echeverría S. Jiménez A., Poltrionieri S. Quesada F. y M. Springer. 2019. Monitoreo de la calidad biológica del agua de las cuencas de la región caribe por medio del uso de macroinvertebrados. Presentación oral. Simposio El Caribe Sur de Costa Rica: biodiversidad, estado ambiental, protección y desafíos de una región poco estudiada”. Celebrado en San José de Costa Rica, 9 al 11 de julio.
- Springer, M. 2010. Biomonitorio acuático. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 58 (Suppl. 4): 53-59, December 2010. En: https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/26268/2010_Suppl%20M%20Inv_03-SPRINGER-BIOMONITOREO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- UNESCO. 2010. Procesos de erosión – sedimentación en cauces y cuencas. Brea, D. y F. Balocchi (Eds). Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 22.
- UNESCO. 2023. Reservas de la Cordillera de Talamanca–La Amistad /Parque Nacional de la Amistad. En: <https://whc.unesco.org/es/list/205>.
- Van-Oosterhout, M. P. y G. Van Der Velde. An advanced Index of Biotic Integrity for use in tropical shallow lowland streams in Costa Rica: Fish assemblages as indicators of stream ecosystem health. Ecological Indicators 48: 687-698.
- Ramos, C.S., González I.D., Gaytán I., Pineda R. y R. Pérez. 2023. Intercambio de saberes para el monitoreo comunitario de macroinvertebrados acuáticos. Ambientico 285. Artículo 8: 55-61.

ANEXOS

Anexo 1. Índices de Integridad Biótica con base en peces desarrollados por ANAI para los ríos de tierras bajas de la región de La Amistad Caribe (de la cuenca del Río Estrella en Costa Rica, hasta la cuenca del Río Changuinola en Panamá). Se presentan los índices aplicados para los muestreos realizados con electropesca por área geográfica y área de cuenca, y se explica el fundamento general de los métricos incluidos.

1. Índice de Integridad Biótica (IBI) para la evaluación de ríos pequeños (área de drenaje <10 km²) en el Caribe Sur de Costa Rica y Bocas del Toro, Panamá (excepto los ríos de Gandoca/San Miguel).

Métrico	Puntaje		
	1.2	3.6	6.0
1. Porcentaje de individuos omnívoros , excepto <i>Astyanax nicaraguensis</i>	<19%	19 - 38%	>38%
2. Porcentaje de individuos de <i>Poecilia gillii</i>	>28%	14 - 28%	<14%
3. Porcentaje de individuos de especies dependientes de cobertura boscosa	<21%	21 - 42%	>42%
4. Porcentaje de individuos de especies características de pozas	<18%	18 - 36%	>36%
5. Porcentaje de individuos de especies tolerantes a estreses antropogénicos	>50%	25 - 50%	<25%
6. Awaous/100 m ² de espejo de agua	>1.2	0.6 - 1.2	<0.6
7. Porcentaje de <i>Astyanax nicaraguensis</i> entre las sardinias	100%	50 - 99%	<50%
8. Porcentaje de individuos con enfermedades, parásitos o anomalías visibles	>5%	2.5 - 5%	<2.5%
9. Porcentaje de individuos de las tres especies intolerantes de amplia distribución	<17%	17 - 34%	>34%
10. Tasa de captura, individuos por metro cuadrado	<0.84 o >3.78	0.84-2.10 o 2.94-3.78	2.11-2.93

2. Índice de Integridad Biótica (IBI) para la evaluación de ríos grandes (área de drenaje >10 km²) en el Caribe Sur de Costa Rica y Bocas del Toro, Panamá (excepto los ríos de Gandoca/San Miguel).

Métrico	Puntaje		
	1.2	3.6	6.0
1. Porcentaje de individuos omnívoros , excepto <i>Astyanax nicaraguensis</i>	<13%	13 - 26%	>26%
2. Porcentaje de individuos de <i>Poecilia gillii</i>	>32%	16 - 32%	<16%
3. Porcentaje de individuos de especies dependientes de cobertura boscosa	<8%	8 - 16%	>16%
4. Porcentaje de individuos de especies características de pozas	<10%	10 - 20%	>20%
5. Porcentaje de individuos de especies tolerantes a estreses antropogénicos	>54%	27 - 54%	<27%
6. Awaous/100 m ² de espejo de agua	>3	1 - 3	<1
7. Porcentaje de <i>Astyanax nicaraguensis</i> entre las sardinias	100%	50-99%	<50%
8. Porcentaje de individuos con enfermedades, parásitos o anomalías visibles	>5%	2.5 - 5%	<2.5%
9. Porcentaje de individuos de las tres especies intolerantes de amplia distribución	<5%	5 - 10%	>10%
10. Tasa de captura, individuos por metro cuadrado	<0.82 o >3.57	0.82-1.51 o 2.20-3.57	1.52-2.19

Omnívoros: *Amatitlania kanna*, *Amatitlania nanolutea*, *Astyanax anai*, *Atherinella chagresi*, *Cribroheros* spp., *Dajaus monticola*, *Dormitator maculatus*, y *Eretmobycon scleroparius*.

Dependientes de cobertura boscosa: *Alfaro cultratus*, *Astyanax anai*, *Brycon costarricensis*, *Eretmobycon scleroparius* y *Priapichthys annectens*.

Características de pozas: *Astyanax anai*, *Atherinella chagresi*, *Brycon costarricensis*, *Cribroheros* spp., *Eretmobycon scleroparius* y *Rhoniscus croco*.

Tolerantes: *Astyanax nicaraguensis*, *Awaous banana*, *Cynodonichthys isthmensis*, *Dajaus monticola*, *Eleotris* spp., *Evorthodus lyricus*, *Oreochromis niloticus*, *Poecilia gillii*, *Pterygoplichthys pardalis* y *Synbranchus marmoratus*.

Sardinias: *Astyanax anai*, *Astyanax nicaraguensis* y *Eretmobycon scleroparius*.

Intolerantes: *Eretmobycon scleroparius*, *Priapichthys annectens* y *Rhamdia laticauda*.



Muy Pobre	Pobre	Regular	Bueno	Excelente	Índices desarrollados por el Programa de Biomonitorio de Ríos de la Asociación ANAI. Hone Creek – Talamanca, Costa Rica. Teléfono (506) 2756-8120
12 - 23	28 - 35	39 - 44	48 - 52	58 - 60	

3. Índice de Integridad Biótica (IBI) para la evaluación de ríos pequeños de la zona Gandoca/San Miguel (área de drenaje <10 km²). Cuencas Pantano de Punta Mona, Middle Creek, Laguna de Gandoca, Queibra Caña.

Métrico	Puntaje		
	1.1	3.3	5.5
1. Número de especies nativas restringidas a agua dulce	<5	5 – 8	>8
2. Porcentaje de individuos omnívoros , excepto <i>Astyanax nicaraguensis</i>	<20%	20 – 40%	>40%
3. Porcentaje de individuos detritívoros	>54%	27 – 54%	<27%
4. Porcentaje de individuos de especies dependientes de cobertura boscosa	<27%	27 – 54%	>54%
5. Número de especies intolerantes	0	1	>1
6. Porcentaje de individuos de especies tolerantes	>67%	33 – 67%	<33%
7. Porcentaje de individuos de <i>Awaous banana</i>	>4%	2 – 4%	<2%
8. Porcentaje de <i>Astyanax nicaraguensis</i> entre las “sardinas”	100%	50 – 99%	<50%
9. Porcentaje de individuos con enfermedades, parásitos o anomalías visibles	>2%	1 – 2%	<1%
10. Porcentaje de individuos de especies características de pozas	<20%	20 – 40%	>40%
11. Tasa de captura, individuos por metro cuadrado	<0.84 o >3.78	0.84-2.10 o 2.94-3.78	2.11-2.93

4. Índice de Integridad Biótica (IBI) para la evaluación de ríos grandes de la zona Gandoca/San Miguel (área de drenaje >10 km²). Cuencas Pantano de Punta Mona, Middle Creek, Laguna de Gandoca, Queibra Caña.

Métrico	Puntaje		
	1.2	3.6	6.0
1. Número de especies nativas restringidas a agua dulce	<5	5 - 8	>8
2. Porcentaje de individuos omnívoros , excepto <i>Astyanax nicaraguensis</i>	<20%	20 – 40%	>40%
3. Porcentaje de individuos detritívoros	>54%	27 – 54%	<27%
4. Porcentaje de individuos de especies dependientes de cobertura boscosa	<7%	7 – 14%	>14%
5. Número de especies intolerantes	0	1	>1
6. Porcentaje de individuos de especies tolerantes	>67%	33 – 67%	<33%
7. Porcentaje de individuos de <i>Awaous banana</i>	>4%	2 – 4%	<2%
8. Porcentaje de <i>Astyanax nicaraguensis</i> entre las “sardinas”	100%	50 – 99%	<50%
9. Porcentaje de individuos con enfermedades, parásitos o anomalías visibles	>2%	1 – 2%	<1%
10. Tasa de captura, individuos por metro cuadrado	<0.82 o >3.57	0.82-1.51 o 2.20-3.57	1.52-2.19

Nativas restringidas a agua dulce: *Alfaro cultratus*, *Amatitlania kanna*, *Amatitlania myrnae*, *Astyanax nicaraguensis*, *Astyanax anai*, *Atherinella chagresi*, *Brachyhyppopomus occidentalis*, *Cribroheros alfari*, *Cribroheros bussingi*, *Cribroheros rhytisma*, *Cynodonichthys isthmensis*, *Eretmobrycon scleroparius*, *Hiatirhaphis cascajalensis*, *Hiatirhaphis parismina*, *Hyphessobrycon bussingi*, *Parachromis friedrichstali*, *Phallichthys amates*, *Phallichthys quadripunctatus*, *Poecilia gillii*, *Priapichthys annectens*, *Rhamdia guatemalensis*, *Rhamdia laticauda* y *Synbranchus marmoratus*.

Omnívoros: *Astyanax anai*, *Atherinella chagresi*, *Amatitlania kanna*, *Cribroheros* spp., *Dajaus monticola*, *Dormitator maculatus* y *Eretmobrycon scleroparius*.

Detritívoros: *Amatitlania myrnae*, *Dormitator maculatus*, *Evorthodus lyricus*, *Phallichthys amates*, *Phallichthys quadripunctatus* y *Poecilia gillii* y *Vieja maculicauda*.

Dependientes de cobertura boscosa: *Alfaro cultratus*, *Astyanax anai*, *Eretmobrycon scleroparius*, y *Priapichthys annectens*.

Intolerantes: *Astyanax anai*, *Cribroheros rhytisma*, *Eretmobrycon scleroparius*, *Priapichthys annectens* y *Rhamdia laticauda*.

Tolerantes: *Astyanax nicaraguensis*, *Awaous banana*, *Cynodonichthys isthmensis*, *Dajaus monticola*, *Dormitator maculatus*, *Eleotris* spp., *Evorthodus lyricus*, *Oreochromis niloticus*, *Poecilia gillii*, *Pterygoplichthys pardalis*, y *Synbranchus marmoratus*.

Sardinas: *Astyanax anai*, *Astyanax nicaraguensis* y *Eretmobrycon scleroparius*.

Características de pozas: *Astyanax anai*, *Atherinella chagresi*, *Cribroheros* spp., *Eretmobrycon scleroparius*, y *Rhonciscus croco*.

Muy Pobre	Pobre	Regular	Bueno	Excelente
12 - 23	28 - 35	39 - 44	48 - 52	58 - 60

ANAI IBITAL METRICS – JUSTIFICATION

Proportion of individuals as omnivores

The traditional understanding of omnivory in biotic integrity calculations, based on work in the North Temperate Zone, is that while omnivores are always present, they gain a competitive advantage to the degree that anthropogenic stresses eliminate resources for more specialized feeders. All previous omnivory-based IBI metrics of which we are aware reward a low proportion of omnivores in the sample with a high score.

When we began to develop our first set of metrics for Talamanca we found that omnivory-based metrics simply did not work. Subsequent discussion and investigation revealed that our failure derived from not taking into consideration some fundamental differences between humid tropical and temperate zone stream ecosystems:

While tropical streams receive a constant and varied stream of allochthonous inputs (such as leaf drop from the forest), much of which is directly processed by fish, allochthonous inputs to northern streams are highly seasonal and are processed mainly by bacteria and macroinvertebrates, with fish playing a smaller role. On the other hand, production of benthic macroinvertebrates is much higher in a healthy northern stream, and often represents the most abundant food source for fish. A diversity of species have evolved to take advantage of this resource. These fish, generally characterized as “specialized insectivores” in IBI’s, may feed at all levels from within the substrate to the surface, but have in common carnivorous habits and relatively small mouths (separating them from piscivores or “top carnivores”). A high proportion of specialized insectivores in the fish assemblage is taken to indicate healthy conditions.

In the tropics, apart from large piscivores, dietary specialization consists primarily in the forms of algivory and detritivory. High production of algae and detritus usually reflects high nutrient content and/or excessive exposure of the streambed to sunlight. Thus while a high proportion of specialized feeders in the fish sample is interpreted positively in the North, it should be interpreted negatively in the tropics. When we turned the concept around and awarded high scores for higher proportions of omnivores in the samples, our results began to conform with habitat assessment results.

Omnivores are generally defined as those animals which include substantial proportions of both animal and plant material in their diet, or which are capable of switching back and forth between a predominantly carnivorous diet and an

herbivorous one in response to food availability. We designated species as omnivores based on references in the literature, supplemented by observation in the field.

Even after we defined the role of omnivores in our streams, results from the omnivores metric were sometimes ambiguous. This changed when we eliminated the single commonest omnivore, *Astyanax nicaraguensis*. This deletion was suggested by our observation that *A. aeneus* responded positively to all forms of disturbance. Under conditions of severe natural or anthropogenic disturbance, most species either hide or emigrate (sometimes involuntarily in the case of major rain events). However, *A. nicaraguensis* responds to disturbances, whether from storms or activities such as logging and road building, by going toward the disturbance. While like other omnivores *A. aeneus* may hunt or forage for their food, they are quintessentially opportunists and gain a competitive advantage under conditions of severe disturbance. This positive response to negative impacts on the ecosystem overrides their value as positive indicators.

Proportion of individuals as *Poecilia gillii*

This is the other side of the omnivory coin. High availability of organic detritus normally reflects stresses on the aquatic system. In the La Amistad Caribe region while we identify 7 detritivorous fresh water fish species high organic inputs, deforestation of stream banks and reduced stream flows during droughts are nearly always associated with explosive population growth by one of these species (*Poecilia gillii*). When graphed against habitat assessment results, both the proportion of total detritivores and that of *P. gillii* showed strong correlations. However, *P. gillii* alone showed the stronger correlation, and so was selected as the basis for the metric.

Poecilia gillii is virtually ubiquitous in our samples, whereas other detritivores have more restricted geographic distributions. Presumably this introduces an element of variability into the metric which is unrelated to environmental health, hence the better result using only the universally distributed *P. gillii* as the basis for the metric.

Proportion of individuals as species positively correlated with forest cover

On review of our initial data we discovered 5 species of fish whose abundance is strongly associated with forest cover, on the banks and in the watershed. One species in particular (*Alfaro cultratus*), as an adult is dependent for food on terrestrial insects which drop from riparian vegetation.

Since the natural condition we seek to preserve or restore in Talamanca is a high degree of forest cover, this metric could be taken to be a “shortcut” to watershed land use evaluation. However, it is properly used as part of an integrated multimetric system for evaluating streams. We have frequently found fairly strong populations of *A. cultratus* (and occasionally *Hiatiraphis parismina/cascajalensis*) where forest is limited to a narrow riverine strip, or where it consists primarily of weedy or exotic tree species; it is normally rare to absent at sites where grasses constitute the dominant riparian vegetation. Another forest-associated species, *Bryconamericus scleroparius* may be found in unshaded pools, but shows a strong correlation with the proportion of forest cover in the watershed as a whole. A third species, *Priapichthys annectens*, is strongly associated with forest shade, reflecting its intolerance of warm water. Taken together the 5 “tree-dependent” species show a strong positive correlation with habitat assessment results.

Proportion of individuals as species associated with pool habitat

Frequency and diversity of pools, along with quality of habitat within pools, is taken to be a positive factor in all systems of stream habitat assessment. In Talamanca, as in most of the world, pools are highly subject to degradation (and may even disappear) as a consequence of filling through sedimentation or due to channelization and other physical alterations of the stream. This in turn tends to reduce numbers of several species which, especially as adults, depend on pool habitat. Although the 5 species we have designated for inclusion in this metric use different parts of pools, taken together their proportional abundance correlates well with habitat assessment results.

Proportion of individuals as tolerant species

We use separate metrics for tolerant and intolerant species, but the concept of “tolerance” is fundamental to both metrics. The segregation of species which are highly or little resistant to anthropogenic stresses is fundamental to all IBI’s. The usual assumption is that species exist along a gradient of high to low tolerance, with the most and least resistant few designated as tolerant or intolerant for purposes of calculating biotic indices. However, the situation with respect to tolerants is quite different in the tropics as compared to North America.

In most northern environments a proportion of greater than 20% of tolerant fishes in a sample would be considered to indicate a high level of anthropogenic stress. However in Talamanca we only occasionally observe less than 20% of tolerant species in a sample. To elucidate this difference, we introduce a question which is logically raised with regard to tolerance-based metrics: “tolerant of what?” For

example, a species which is highly susceptible to temperature change could be resistant to some toxic pollutants. Short of designating a multiplicity of metrics based on insufficient information, we are constrained to generalize.

In defining tolerance in tropical fishes, we give priority to dissolved oxygen levels. Given the tropical temperature regime, many tropical streams experience very low D.O. concentrations during many if not all days. Thus a large number of species have evolved the capacity to exist in substantially deoxygenated water for considerable periods of time. Any species which has this capability must be considered tolerant.

The primary determinant in designating tolerant and intolerant species in Talamanca was the work of Chacón and McLarney (1995) in Gandoca. During that study every fish sample was accompanied by a D.O. determination in the early morning. Species which were always or nearly always present when D.O. fell below 1 ppm were designated as tolerant. Other factors contributing to our list of tolerants are:

- Frequent personal observations of certain species (e.g. *Poecilia gillii*) in severely degraded or contaminated sites (for example banana canals).
- Reports in the literature.
- Personal communication with experts in Central American fishes.

Number of *Awaous banana* per 100 sq. m. of water surface

As its common name “chuparena” implies, *A. banana* is strongly associated with sandy substrates. With the exception of three rarely observed species of flatfishes, it is the only native fish which prefers this environment. Normally, sand patches are a minor component of stream habitats in our region. However in some instances, notably in moderately high gradient streams channelized through banana plantations, the substrate comes to have a high proportion of sand. In these streams, the proportion of *A. banana* in our samples, which normally does not exceed 2%, may be as high as 15%. Thus *A. banana* is a good indicator of a particular land-management related stress.

We initially based Metric 6 on the proportion of individuals of *A. banana* in our samples. However, since *A. banana* is not normally abundant even under favorable conditions, while extreme abundance in some highly artificial environments was obvious, the metric did not discriminate clearly between the two higher scoring categories. Since the abundance of *A. banana* should be related to the area of sandy substrate available, we recalculated its occurrence in our samples as the number of individuals per 100 sq. m. of stream sampled. This resulted in a stronger correlation,

and the elimination of some ambiguous cases where a relatively high density of *A. banana* was obscured by high total fish numbers in fertile streams.

This also compensated for the not uncommon situation in small streams where *A. banana* is represented by 0-2 individuals, resulting in low percentages which obscure differences. For similar reasons, on smaller streams we take pains to insure that the total area sampled is >200 sq. m., so that a single individual cannot occasion a low score.

Proportion of “sardinas” in the sample as *Astyanax nicaraguensis*

In their natural state, most of our streams support 2 (occasionally 3) species of characid fishes collectively known as “sardinas”, which together form the principal group of omnivores. One of these species, *A. nicaraguensis*, is ubiquitous. As compared to the other two, it is if not more omnivorous but it is more aggressive and opportunistic in its feeding habitats. It is also an extreme habitat generalist, with little apparent need of pronounced habitat features, and is highly tolerant to anthropogenic stresses. The other two species (*Astyanax anai* and *E. scleroparius*) are relatively intolerant and have very specific habitat requirements. *Eretmobrycon scleroparius* typically lives in the heads of pools, apparently to take advantage of highly oxygenated water (and/or food items) entering from rapids upstream. Unlike its congener, *A. nicaraguensis*, frequently observed “cruising” in open water far from cover, *A. anai* is dependent on habitat features such as undercut banks, caves in rocks or large tree roots. Both species will defend territories against *A. nicaraguensis*.

We have observed that in reference quality streams either *A. anai* or *E. scleroparius* will be the numerically dominant sardina, although *A. nicaraguensis* will usually be present. The assumptions of this metric are that *A. nicaraguensis* develops a competitive advantage as the habitat degrades, and that sites where 100% of the sardinas are *A. nicaraguensis* are likely sites where one or both of the other species were extirpated in the past. (If only one individual of *A. anai* or *E. scleroparius* appears in a sample, it may be regarded as a stray and the low score assigned as if 100% of sardinas in the sample were in fact *A. nicaraguensis*.)

Proportion of individuals with disease, parasites or anomalies

The proportion of fish with visible evidence of disease and parasites is a universally used IBI metric; it is just a matter of adjusting the numbers in accordance with reference values for the area being studied. The most frequently observed pathological conditions in Talamanca are various ectoparasites (principally on

benthic species and detritivores), fungused wounds (often an aftermath of reproductive-related intraspecific aggression) and bacterial finrot. Less frequently observed are deformities (especially scoliosis), exophthalmus, tumors and melanomas and emaciation presumably due to internal disorders.

Proportion of individuals as wide-ranging intolerant species

The underlying logic for the intolerants metric is discussed above (M5 – tolerant). In most IBI's scores for tolerant species are assigned according to their proportional abundance in the sample, but intolerance metrics are usually based on the total number of intolerant species present. The assumption is that intolerant species are often rare, leading to poor differentiation between observed values for high and low quality sites if proportional abundance is taken as the basis for the metric. In our experience, this is not generally the case in Talamanca. Further, we have reservations about the use of species counts in metrics, which may lead to assigning value to a stray or waif or lead to a low score based on inability to collect a very rare species.

When we looked at intolerants both ways we found that there was a better correlation of habitat quality with the proportion of intolerants in the sample than with species numbers. However, the correlation was still not strong enough until we pared down the list of intolerant species, to exclude those with limited distributions. For example, *A. anai* qualifies as an intolerant species, but is naturally absent from the Estrella watershed, whereas under good conditions it may be abundant in streams of the Sixaola/Telire watershed.

We also changed our criteria for designation of intolerant species, using a methodology to correlate intolerance with habitat assessment results. The result was a list of 3 widely distributed intolerant species with a wide range of habitat needs: *Rhamdia laticauda* is a benthic species of rocky streams with a low tolerance for sedimentation. *Eretmobrycon scleroparius* inhabits the water column and tends to disappear when deep water habitat is reduced, or when low D.O. levels are a frequent occurrence. *Priapichthys annectens* is strongly associated with forest cover and is especially intolerant of elevated temperatures. While *P. annectens* is rarely found in numbers in larger streams, all 3 species are distributed in suitable habitat throughout our study area and we have found that their combined abundance correlates well with habitat assessment results.

Number of individual fish (all species) per 100 sq. m. of water

Abundance of fish, across all species, may be affected by a variety of impacts, from toxic pollution (leading to low survival and populations) to excess fertility (leading to “weedy” conditions, which may create the preconditions for population “crashes”). Thus, while for the other metrics, the basis for scoring is “more is better than less” or vice versa, with respect to total fish density, we need to think in terms of optimum levels.