



CARTILLA # 7

FUTURO SOSTENIBLE

LOS RESULTADOS



FUTURO SOSTENIBLE

Investigación y acción para un
arroz responsable con el agua

Fortalecimiento de los sistemas de información de la calidad y valoración de los servicios ambientales del agua con el fin de contribuir con el desarrollo sostenible del sector Agroindustrial del Departamento del Casanare. Yopal Nunchía BPIN 2020000100435.

Futuro Sostenible, investigación y acción para un arroz responsable con el agua, es un proyecto desarrollado por la Fundación Universitaria de San Gil (UNISANGIL), la Universidad de los Llanos y "ABC Colombia, somos territorio" con recursos de la asignación de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTel) del Sistema General de Regalías (SGR) que busca fortalecer los sistemas de monitoreo ambiental y valoración de los servicios ambientales del agua en áreas de producción agroindustrial del departamento del Casanare.



AUTORES

Natalia Andrea Roa López
Lina María Cerón Arámburo
Jhon Derly Sarria Ospina
Danitza Liseth Gutiérrez Arias
Mónica Viviana Mesa Torres
Julian Camilo Salamanca Dávila
Liliana Carolina Luis Rincón
Darío F. Jiménez-Narváez
Camilo E. Martínez-Forero
John E. Castro-Bocanegra
Jubelly M. Ortiz-Muñoz
Iván J. López-Montiel
María J. González-Patiño
Yeiny Liset Sierra Umaña
Ivonne Catherine Calderón Delgado
Jessica Cárdenas Camacho
Yeni Tatiana Molina Moreno

EQUIPO TÉCNICO DE APOYO

Wilson Corredor Santamaría
Liliana Ibeth Pérez Pérez
Leidy Diana Ardila Leal

EDICIÓN

Gabriela Lucía Rodríguez Zabala
Natalia Andrea Roa López
Beatriz Helena Ramírez Correal

DIAGRAMACIÓN

Natalia Andrea Roa López

CONTENIDO

Introducción	2
Descripción del área de estudio	3
Resultados del proyecto	5
Reflexión y diálogo	15
Estrategia de comunicación	19

REFERENCIAS

- 1) Castillo, B., & Garzón, L. (2023). Factores determinantes de la ronda hídrica del río Tocaría del municipio de Yopal, Casanare. Revista Matices Tecnológicos, 15, 29-34.
- 2) Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2019). Censo nacional de población y vivienda 2018. DANE.
- 3) Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2025). Hoja metodológica del Índice de calidad del agua (Versión 1.3). Bogotá, D.C., Colombia: IDEAM.

MÁRCALA CON TUS DATOS

NOMBRE

CARGO/ ROL

MUNICIPIO

VEREDA

INTRODUCCIÓN



Esta cartilla presenta de manera sencilla los principales resultados del proceso de investigación realizado por el Proyecto **Futuro Sostenible** en la cuenca del río Tocaría. El estudio analizó la calidad del agua del río, los posibles efectos de los agroquímicos en ranas y peces, y los beneficios que la naturaleza brinda a las comunidades, conocidos como servicios ecosistémicos. Compartir esta información permite comprender mejor lo que está ocurriendo en el río y contar con datos claves para la gestión del recurso hídrico.

Los resultados muestran que el río Tocaría presenta cambios en su caudal a lo largo del año y una calidad de agua entre aceptable y regular. También se identificó contaminación microbiológica asociada a vertimientos domésticos y presencia de algunos pesticidas en zonas agrícolas, además de señales de estrés en ranas y peces relacionadas con la exposición a agroquímicos. Por su parte, el análisis de los servicios ecosistémicos mostró que el río brinda beneficios importantes para la comunidad, como el agua y el apoyo a la producción de alimentos, pero que el aumento de las actividades productivas también puede generar presiones sobre la calidad del agua.

Al final de la cartilla se presenta la estrategia de comunicación construida junto a L@s Tocariolog@s, un grupo comunitario que participó activamente en la investigación. Esta iniciativa busca compartir los aprendizajes del estudio y difundir la experiencia del grupo como parte del proceso de apropiación social del conocimiento.

La invitación es que esta información sirva como punto de partida para el diálogo y la construcción de soluciones colectivas entre la comunidad, productores, autoridades e instituciones, con el fin de fortalecer la gestión sostenible del Río Tocaría.

Para conocer más información sobre la investigación puede escribir al correo proyecto435.sgryopal@unisangil.edu.co.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



CUENCA DEL RÍO TOCARÍA

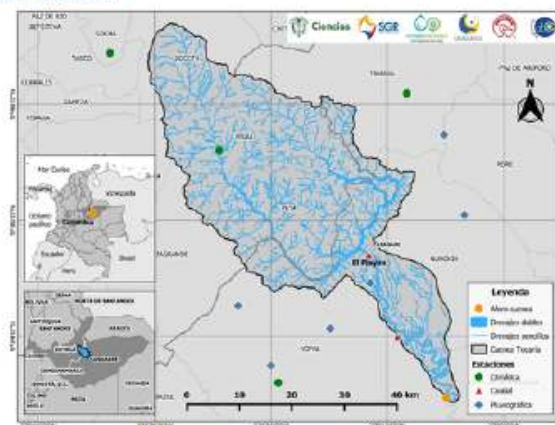


FIGURA 1. CUENCA DEL RÍO TOCARÍA

La cuenca del río Tocaría (Figura 1) se encuentra en la cordillera Oriental y conecta territorios de dos departamentos: Boyacá y Casanare. El río nace en el cerro de Guevarrica, a unos 3.200 metros sobre el nivel del mar, en un paisaje de montaña de clima frío. Desde allí empieza a descender por laderas y valles, atravesando distintos ecosistemas del piedemonte y de las sabanas inundables. Finalmente, desemboca en el río Cravo Sur, a unos 200 metros sobre el nivel del mar (1).

En total, **la cuenca del Tocaría abarca cerca de 1.659 km²**. En esta cuenca llueve bastante durante gran parte del año. Las precipitaciones pueden variar entre aproximadamente 2.100 y 3.800 milímetros anuales. Los meses más lluviosos suelen ser entre mayo y julio, cuando las lluvias son más frecuentes y los ríos llevan más agua. En cambio, enero y febrero suelen ser los meses más secos. En las partes altas predominan climas fríos, con temperaturas cercanas a los 6 °C. En las zonas bajas, en cambio, las temperaturas pueden llegar a cerca de 27 °C.

El río Tocaría hace parte de la cuenca del río Cravo Sur, que a su vez integra el gran sistema hídrico de la cuenca del Orinoco, uno de los sistemas fluviales más importantes de Suramérica.

CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en seis veredas de la zona baja de la cuenca del río Tocaría. Tres de ellas pertenecen al municipio de Yopal (San Antonio, El Taladro y San Nicolás) y las otras tres al municipio de Nunchía (Pretexto, Corea y Sirivana).

De acuerdo con el censo del DANE de 2018, en estas veredas viven aproximadamente 1.456 personas distribuidas en 422 hogares. Cerca del 24% de la población presenta Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), lo que refleja que muchas familias enfrentan condiciones de vulnerabilidad (2).

Las comunidades también tienen un acceso limitado a varios servicios públicos. La mayoría de los hogares no cuenta con internet, ni con servicio de recolección de basuras. Tampoco tienen alcantarillado y, en muchos casos, el acceso a acueducto es limitado. Estas condiciones se suman a las dificultades para acceder a educación superior: solo una pequeña parte de la población ha podido cursar estudios técnicos, tecnológicos o universitarios.

En términos productivos, la región se caracteriza por dos actividades que tienen un peso importante en la economía local: el cultivo de arroz y la extracción de petróleo. Estas actividades generan empleo y movimiento económico en el territorio, pero también se relacionan con algunas de las presiones ambientales que enfrenta la cuenca del río Tocaría.

En el caso del arroz, en el municipio de Nunchía la mayor área sembrada se encuentra en la vereda Sirivana, con más de 3.300 hectáreas. Le siguen las veredas Pretexto y Corea, con extensiones también importantes. En Yopal, la mayor área cultivada está en la vereda San Antonio con un poco más de 1.500 hectáreas. En contraste, en las veredas El Taladro y San Nicolás el cultivo de arroz ocupa menos de 200 hectáreas en conjunto.

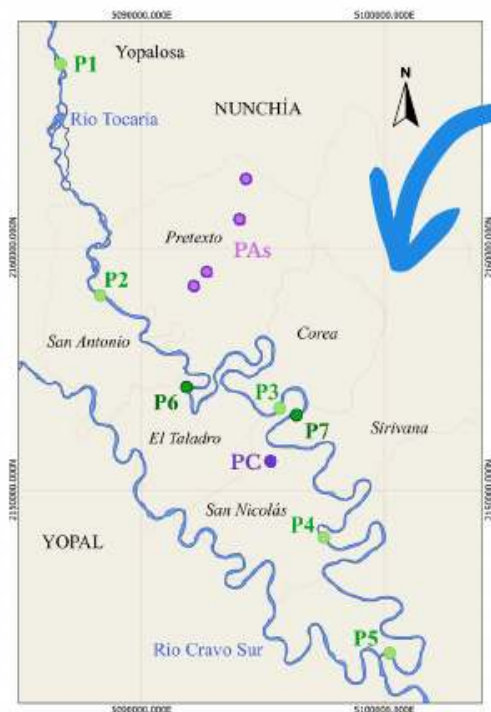


RESULTADOS DEL PROYECTO

PUNTOS DE MUESTREO

Para conocer mejor la calidad del agua del río Tocarí y evaluar los posibles efectos de los agroquímicos en peces y anuros (ranas y sapos), se definieron varios puntos de muestreo a lo largo del río y en cuerpos de agua cercanos a cultivos de arroz. Estos puntos se ubicaron desde la zona media de la cuenca, en el sector de Yopalosa, hasta el lugar donde el río desemboca en el río Cravo Sur.

En el mapa (Figura 2) se pueden ver estos sitios. Los puntos de color verde indican los lugares donde se realizó el monitoreo de la calidad del agua. Los puntos de color morado señalan los lugares donde se llevaron a cabo los estudios sobre los efectos de los agroquímicos en la vida acuática.



LOS PUNTITOS VERDES Y MORADOS
EN EL MAPA SON PUNTOS DE
MUESTREO

P1 a P5 son puntos de muestreo sobre el río.

P6 y P7 son puntos de muestreo en canales de retorno.

PAs son puntos de muestreo cercanos a arrozceras.

PC es un punto de muestreo tipo control o referencia, donde en teoría no hay presencia de agroquímicos.

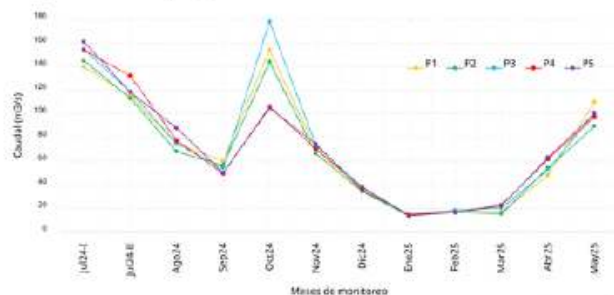
FIGURA 2. MAPA DE PUNTOS DE MUESTREO

MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA

1. CAUDAL (CANTIDAD DE AGUA) DEL RÍO TOCARÍA

Para entender cómo cambia la cantidad de agua que lleva el río Tocaría a lo largo del año, se realizó un monitoreo durante 12 meses, entre julio de 2024 y mayo de 2025. Las mediciones se hicieron en cinco puntos ubicados a lo largo del río (Figura 2).

La Figura 3 muestra como varió el caudal en cada uno de esos puntos (P1 a P5). En la gráfica, el eje vertical (Y) indica la cantidad de agua que pasa por el río, medida en metros cúbicos por segundo (m^3/s), y el eje horizontal (X) muestra los meses en que se realizaron las mediciones. Cada línea de color representa uno de los puntos de monitoreo, lo que permite comparar cómo cambia el caudal del río a lo largo del tiempo y en distintos tramos.



Las variables se midieron en cinco puntos ubicados a lo largo del río Tocaría (P1 a P5) y en dos puntos adicionales situados en canales de retorno (P6 y P7).



Los resultados muestran que, en general, la calidad del agua se ubicó entre las categorías regular y aceptable (Figura 4). Los valores clasificados como regulares se registraron principalmente en julio, agosto, octubre, enero y febrero. En octubre, enero y febrero todos los puntos de monitoreo se ubicaron en esta categoría.

En octubre se observó una disminución general del índice en todos los puntos evaluados. Este comportamiento coincidió con un aumento del caudal del río, lo que podría estar relacionado con el arrastre de sedimentos y el lavado de suelos hacia el río durante las lluvias. Por otro lado, en septiembre, noviembre, diciembre y marzo la calidad del agua se clasificó como aceptable en todos los puntos de monitoreo. Sin embargo, en los puntos 6 y 7, que corresponden a canales de retorno, la calidad del agua tendió a ser menor en comparación con los demás sitios evaluados.

3. CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA

Para evaluar posibles fuentes de contaminación de origen orgánico o microbiológico en el río Tocaría, se realizaron análisis de bacterias conocidas como coliformes totales. Estos microorganismos suelen estar asociados a aguas residuales de origen doméstico y permiten identificar posibles problemas de contaminación. Los resultados mostraron altas concentraciones de coliformes totales en todos los puntos de muestreo.

Esto indica la presencia de una carga importante de contaminación orgánica y microbiológica en el río, asociada principalmente a vertimientos de aguas residuales domésticas.

Además, los valores se mantuvieron relativamente similares durante los meses de monitoreo. Esto sugiere que estas descargas ocurren de manera continua.

Esta situación puede generar riesgos tanto para la salud de las personas como para los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo, el contacto con agua contaminada puede aumentar el riesgo de enfermedades gastrointestinales o parasitarias, especialmente para quienes realizan actividades como la pesca o tienen contacto frecuente con el río. La presencia de estas bacterias también indica que el agua no es adecuada para actividades recreativas de contacto, como bañarse.

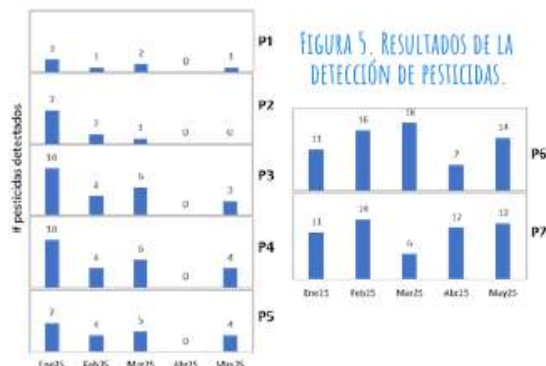
En el ámbito agrícola, el uso de esta agua para el riego de cultivos que se consumen frescos podría afectar la calidad sanitaria de los productos. Además, la acumulación de materia orgánica en el agua puede disminuir el oxígeno disponible para peces y otros organismos acuáticos, lo que a largo plazo puede afectar la pesca y la biodiversidad del río.

4. ANÁLISIS DE PESTICIDAS

Durante el periodo de monitoreo también se analizaron posibles residuos de pesticidas en el agua del río Tocaría. Para ello se recolectaron muestras en los siete puntos de muestreo y se enviaron a un laboratorio especializado en Bogotá, donde se realizaron los análisis para identificar diferentes compuestos utilizados en actividades agrícolas.

En los primeros siete meses de monitoreo no se detectaron pesticidas. Esto se debe a que en ese momento se utilizaba un método de análisis con menor sensibilidad, que tenía más dificultades para identificar compuestos presentes en concentraciones muy bajas. Posteriormente, la metodología de análisis se ajustó, lo que permitió mejorar la capacidad de detección. Gracias a este cambio, entre enero y mayo de 2025 se identificó la presencia de 32 tipos diferentes de pesticidas (Figura 5).

Dentro de los pesticidas encontrados se encuentra: **clorpirifos**, **carbendazima**, **imidacloprid** y **carbofurán**, pesticidas peligrosos para el ambiente y la fauna, por lo que varios han sido restringidos o prohibidos en distintos países.



Al comparar los distintos puntos de muestreo, se observó que el punto P1, ubicado aguas arriba, presentó el menor número de detecciones. Esto podría estar relacionado con la menor presencia de áreas agrícolas cercanas. En contraste, los puntos P6 y P7, ubicados en canales de retorno de riego, registraron el mayor número de detecciones, ya que transportan agua que regresa de los cultivos y puede arrastrar residuos de pesticidas. En el río Tocaría las detecciones fueron menores que en los canales de retorno. Esto se debe, en parte, a que el río tiene un mayor volumen de agua, lo que favorece la dilución de estos compuestos.

EFFECTO DE AGROQUÍMICOS EN RANAS Y PECES

1. RANAS COMO BIOINDICADORES DE SALUD AMBIENTAL

Para evaluar los posibles efectos de los agroquímicos en la fauna silvestre asociada a los cultivos de arroz, se estudiaron individuos de *Leptodactylus latrans* y *Leptodactylus fuscus*, dos especies de ranas comunes en la región. Los anuros (ranas y sapos), son organismos muy sensibles a los cambios en el ambiente, especialmente a la contaminación del agua y del suelo. Por esta razón suelen utilizarse como bioindicadores, es decir, como especies que permiten conocer el estado de salud de los ecosistemas y detectar posibles efectos de las actividades humanas.

Las ranas, al igual que otros anfibios, presentan una característica particular en su sangre: sus glóbulos rojos conservan el núcleo. Esto es diferente a lo que ocurre en los mamíferos, como los humanos, cuyos glóbulos rojos no tienen núcleo. Gracias a esta característica es posible observar con mayor facilidad ciertos cambios en las células de la sangre, como la presencia de micronúcleos y otras anomalías nucleares eritrocitarias (ENA) (Figura 6). Estas alteraciones pueden ser señales de estrés ambiental o de exposición a contaminantes, por lo que su estudio permite identificar de manera temprana posibles efectos de los agroquímicos en los ecosistemas acuáticos.



FIGURA 6. TIPOS DE ANORMALIDADES NUCLEARES ERITOCITARIAS (ENA)

Para realizar el estudio, se capturaron ranas de estas dos especies en cuerpos de agua cercanos a cultivos de arroz y también en un sitio de referencia sin influencia agrícola. En cada lugar se tomaron muestras de agua y sedimentos para analizar la presencia de agroquímicos.

A las ranas se les extrajeron pequeñas muestras de sangre para evaluar la presencia de micronúcleos y otras alteraciones en los glóbulos rojos. También se recolectaron muestras de hígado, estómago y piel para realizar análisis histológicos. Estos tejidos se evaluaron utilizando el Índice de Alteración Histológica (IAH), una herramienta que permite estimar el grado de daño en los órganos. El análisis de las células de la sangre mostró la presencia de alteraciones como células lobuladas y de tipo *blebbed* (con protuberancias), entre otras. Estas alteraciones se observaron con mayor frecuencia en ranas provenientes de zonas cercanas a cultivos de arroz (Figura 7).

FIGURA 7. RESULTADOS DE PORCENTAJE DE ANORMALIDADES NUCLEARES ENCONTRADOS EN EL SITIO CERCANO A ARROCERA Y DE REFERENCIA (CONTROL)

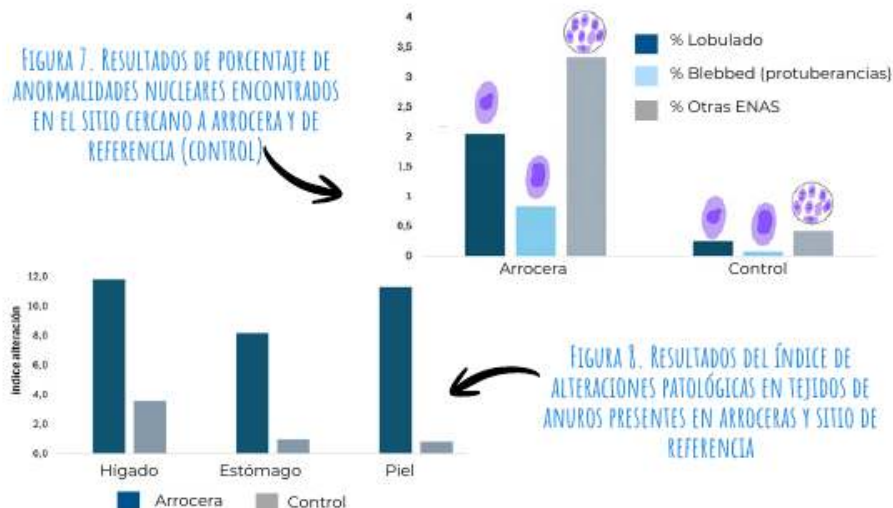
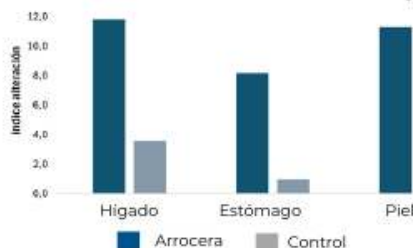


FIGURA 8. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ALTERACIONES PATOLÓGICAS EN TEJIDOS DE ANUROS PRESENTES EN ARROCERAS Y SITIO DE REFERENCIA



Lesiones en tejido hepático (A),
Lesiones en tejido gástrico (B),
Lesiones en tejido dérmico (C).
Tejidos en aparente normalidad:
hepático (D), gástrico (E), dérmico
(F). Aumento 400X, tinción H&E.

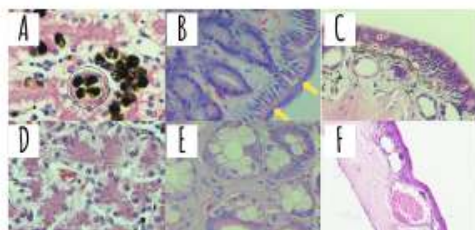
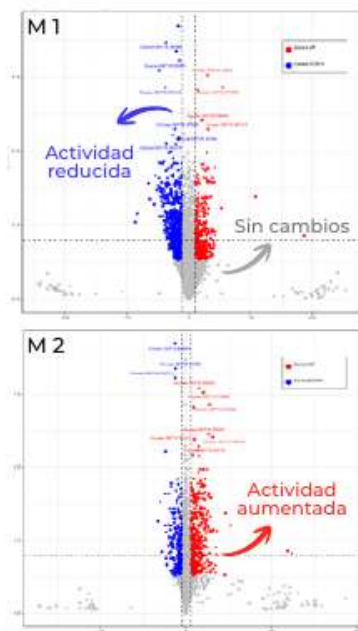


FIGURA 9. FOTOGRAFÍAS DE LOS TEJIDOS VISTOS AL MICROSCOPIO

Además, los resultados mostraron que las ranas provenientes de zonas arroceras presentaron mayores señales de daño en algunos tejidos, especialmente en el hígado y la piel (Figura 8). En el hígado se observaron granulomas, vacuolización y algunas áreas de degeneración del tejido (Figura 9). En el estómago se detectaron dilataciones del epitelio y pequeños focos de congestión sanguínea, mientras que en la piel se evidenció vacuolización en la dermis. Según el Índice de Alteración Histológica (IAH), los órganos aún se encuentran dentro de rangos normales o con alteraciones leves, lo que indica estrés ambiental sin evidencias de daños severos o irreversibles.

2. ANÁLISIS GENÉTICO EN LA GUABINA

También se evaluaron los posibles efectos de los agroquímicos a nivel genético en la especie *Hoplias malabaricus*, conocida en la región como guabina. Para este análisis se recolectaron peces en dos lugares: un sitio cercano a cultivos de arroz y un sitio de referencia sin influencia de agroquímicos. A partir de muestras del hígado se analizó su material genético (ARN), con el fin de identificar cambios en la actividad de diferentes genes. Este tipo de análisis permite entender cómo responden los organismos a condiciones de estrés o a la presencia de contaminantes en su ambiente.



Los resultados se visualizaron mediante gráficas de volcán, donde cada punto representa un gen con actividad, **disminuida**, **aumentada** y sin cambios (Figura 10). El análisis mostró un patrón consistente de respuesta genética en los peces expuestos a agroquímicos, aunque con diferencias entre los muestreos.

En el primer muestreo (M1) predominaron genes con actividad disminuida, asociados a ahorro de energía y reparación celular. En contraste, en el segundo muestreo (M2) se activaron genes relacionados con estrés y procesos de detoxificación.

FIGURA 10. GRÁFICA DE VOLCÁN DE GENES EXPRESADOS DIFERENCIALMENTE EN EL HÍGADO DE GUABINA.

En conjunto, estos resultados sugieren que los peces expuestos a agroquímicos presentan cambios en su funcionamiento interno para adaptarse a estas condiciones. Estas respuestas a nivel molecular pueden servir como señales tempranas de estrés ambiental relacionadas con la presencia de agroquímicos en el ecosistema.

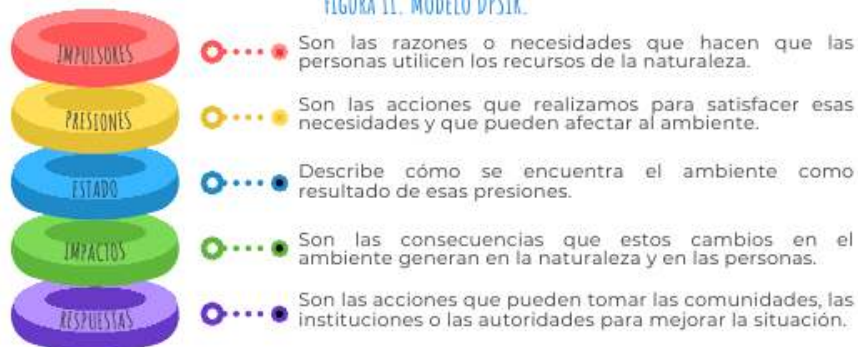
VALORACIÓN INTEGRAL DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

1. VALORACIÓN SOCIOCULTURAL

Para conocer cómo percibe la comunidad los cambios que han ocurrido en el río Tocaría y su relación con las actividades productivas del territorio, se realizó un ejercicio de cartografía social participativa. En este espacio, los investigadores formularon algunas preguntas y las personas participantes compartieron sus experiencias, conocimientos y percepciones sobre el río y su entorno.

La información recogida se organizó utilizando el modelo DPSIR (por las siglas en inglés), que ayuda a entender las relaciones entre las actividades humanas y los cambios en el ambiente. Este modelo permite identificar cinco aspectos: los impulsores de cambio, las presiones que generan, el estado del ambiente, los impactos que se producen y las posibles respuestas (Figura 11).

FIGURA 11. MODELO DPSIR.



A partir del análisis se identificó que la expansión del cultivo de arroz y el aumento en la demanda de agua aparecen como algunos de los principales impulsores de cambio en el río y los servicios ecosistémicos que provee. Estas actividades pueden generar presiones sobre el ambiente, como la deforestación de las riberas del río, el uso de agroquímicos y la acumulación de residuos. Como resultado, muchas personas de la comunidad perciben un deterioro en el estado del río, reflejado en cambios en la calidad del agua, mayor presencia de sedimentos y variaciones en el caudal.

Según los participantes, estos cambios también tienen impactos ambientales y sociales, como la mortandad de peces, afectaciones en los cultivos y la disminución de algunas actividades económicas. Frente a esta situación, la comunidad también propuso posibles respuestas, entre ellas la reforestación de las riberas, una mayor regulación institucional y el fortalecimiento de la participación comunitaria en el cuidado del río.

2. VALORACIÓN ECONÓMICA

Para conocer qué aspectos del río son más importantes para la comunidad, se realizó un ejercicio de valoración económica a través de encuestas.

En total participaron 107 personas. Cada una evaluó cuatro escenarios de decisión sobre posibles formas de manejo del río, lo que permitió reunir 428 respuestas para el análisis.



En estos escenarios se presentaban diferentes alternativas de manejo del río, construidas a partir de cinco aspectos:

- La calidad del agua, relacionada con los problemas de contaminación y con la capacidad del río para mantenerse limpio.
- La cantidad de agua disponible durante el mes más seco del año, que influye en el abastecimiento para distintas actividades.
- El ancho de la franja de vegetación en las riberas del río, asociada a la restauración de la biodiversidad.
- El tipo de mecanismo encargado de la gestión ambiental del río, por ejemplo si la gestión es liderada por instituciones o por la comunidad.
- La forma de contribuir a estas mejoras, que podía ser mediante dinero o mediante horas de trabajo comunitario.

A partir de las decisiones de los participantes se estimó la disposición a contribuir, es decir, cuánto estarían dispuestas las personas a aportar para mejorar las condiciones del río (en trabajo voluntario). Las respuestas muestran que la comunidad percibe que el río ha venido deteriorándose con el tiempo, principalmente por problemas de contaminación del agua, disminución en la disponibilidad del recurso y pérdida de vegetación en las riberas.

En el análisis se encontró que los aspectos más valorados por la comunidad fueron:

- Mejorar la calidad del agua, con una disposición promedio de aportar alrededor de 17 horas de trabajo comunitario al mes.
- Proteger y restaurar las riberas del río, con una disposición cercana a 14,4 horas de trabajo al mes.

Además, en el aspecto relacionado con quién debería liderar la gestión ambiental, la opción basada en la participación de la sociedad civil fue la más valorada. Esta preferencia equivale a una contribución aproximada de 15,8 horas de trabajo, lo que sugiere un alto nivel de confianza de la comunidad en los procesos de gestión ambiental que incluyen su participación.

3. COMPARACIÓN DE ESCENARIOS

El estudio también analizó cómo los cambios en el uso del suelo pueden influir en los servicios que brinda la naturaleza en la cuenca del río Tocaría, especialmente aquellos relacionados con el agua y la producción de alimentos.

Para esto se utilizó una herramienta llamada InVEST, que permite comparar diferentes escenarios de manejo del territorio. Con este modelo es posible imaginar y visualizar cómo cambiarían los beneficios que ofrece la naturaleza si se modifican actividades como la agricultura o la cobertura de bosque. Para entender mejor estos cambios, se compararon tres escenarios de uso del suelo (Figura 12):

- Escenario base (2020): representa las condiciones actuales de la cuenca.
- Escenario productivo: plantea una mayor expansión del cultivo de arroz (cobertura de color rojo).
- Escenario de restauración: propone recuperar áreas degradadas mediante el aumento de la cobertura boscosa (cobertura de color verde).

En el análisis se evaluaron cuatro aspectos principales:

- La cantidad de agua disponible en la cuenca.
- El transporte de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, que pueden afectar la calidad del agua.
- El transporte de sedimentos, relacionado con la erosión del suelo.
- La producción agrícola, especialmente del cultivo de arroz.

También se realizó una valoración económica para estimar el valor de estos servicios para la sociedad, utilizando diferentes métodos económicos como precios de mercado y estimaciones de costos evitados.

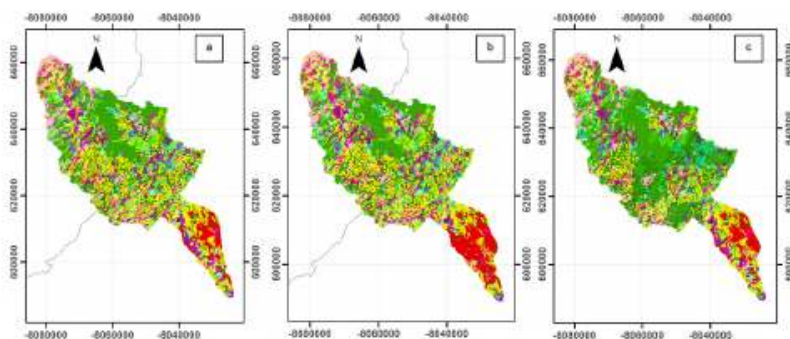


FIGURA 12. ESCENARIOS DE USO DEL SUELO, DONDE A. ESCENARIO BASE, B. ESCENARIO PRODUCTIVO Y C. ESCENARIO DE RESTAURACIÓN

Los resultados muestran que aumentar la producción de arroz incrementa de manera importante la cantidad de alimentos producidos, con un aumento cercano al 47 %. Esto también se traduce en mayores beneficios económicos para el territorio. Sin embargo, este escenario puede generar algunos efectos negativos en el ambiente, como un ligero aumento en el transporte de nutrientes y sedimentos hacia el río, lo que podría afectar la calidad del agua.

Por otro lado, el escenario de restauración ecológica muestra beneficios claros para el ambiente. En este caso se observa una disminución cercana al 26–30 % en el transporte de sedimentos, nitrógeno y fósforo, lo que indica mejoras en la calidad del agua y en la estabilidad de los suelos. No obstante, este escenario generaría menores beneficios económicos directos en comparación con el escenario productivo.

REFLEXIÓN Y DIÁLOGO

1. PRINCIPALES REFLEXIONES DE LOS RESULTADOS

CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL AGUA

- **Mejorar el saneamiento básico es una prioridad.** La presencia de bacterias coliformes asociadas a aguas residuales muestra que es necesario fortalecer el tratamiento de aguas domésticas y controlar mejor los vertimientos que llegan al río.

- **Cuidar el agua en los meses secos.** En la temporada de menor lluvia, el río tiene menos agua disponible. Por eso es importante gestionar mejor las extracciones y promover un uso más eficiente del recurso para mantener el caudal que necesita el río para seguir funcionando.
- **Reducir el uso y el impacto de los agroquímicos.** Los resultados evidencian la presencia de distintos pesticidas en el sistema hídrico. Esto hace necesario fortalecer la regulación y el monitoreo y avanzar hacia prácticas agrícolas que reduzcan o sustituyan los productos de mayor riesgo.
- **Recuperar y proteger las riberas del río.** La vegetación que crece a lo largo del río ayuda a retener sedimentos, nutrientes y contaminantes. Restaurar estas franjas ribereñas puede ser una de las acciones más efectivas para mejorar la calidad del agua.
- **Mantener un monitoreo constante del río.** Seguir midiendo el caudal, la calidad del agua y la presencia de contaminantes permite entender cómo cambia el río en el tiempo y tomar mejores decisiones para su cuidado.

EFFECTOS EN LA VIDA ACUÁTICA

- **Avanzar hacia prácticas agrícolas con menor impacto.** Los cambios observados en ranas y peces sugieren que los agroquímicos presentes en el ambiente pueden generar estrés en los organismos. Por eso es importante promover la reducción del uso y reemplazo de pesticidas de mayor toxicidad y avanzar hacia prácticas productivas más sostenibles.
- **Escuchar lo que nos dicen los organismos del río.** Peces, ranas y otros seres vivos pueden funcionar como "señales tempranas" de lo que está ocurriendo en el ecosistema. Mantener y fortalecer el monitoreo biológico del río, usando bioindicadores y herramientas como biomarcadores celulares o moleculares, permite detectar a tiempo posibles impactos.
- **Incorporar la salud de la biodiversidad en las decisiones sobre el agua.** La gestión del río no debería basarse únicamente en mediciones fisicoquímicas del agua. También es importante considerar cómo están respondiendo los organismos que viven allí, ya que su estado de salud refleja las condiciones reales del ecosistema.



EFFECTOS SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

- **Buscar un mejor equilibrio entre producción y conservación.** El aumento del cultivo de arroz puede mejorar la producción de alimentos y generar beneficios económicos, pero también puede aumentar la presión sobre el agua y la calidad del río. El reto está en encontrar formas de producir sin comprometer el funcionamiento del ecosistema.
- **Impulsar la restauración ecológica en zonas clave de la cuenca.** Recuperar áreas degradadas, especialmente en la parte alta de la cuenca y a lo largo de las riberas, puede ayudar a reducir la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y nutrientes hacia el río.
- **Pensar el territorio a escala de cuenca.** Las decisiones sobre el uso del suelo no deberían tomarse de manera aislada. Es importante planificar el territorio combinando áreas de producción agrícola con zonas de conservación que permitan mantener los servicios ecosistémicos relacionados con el agua.
- **Visibilizar el valor de los servicios que brinda la naturaleza.** Incorporar la valoración económica de los servicios ecosistémicos puede ayudar a mostrar los beneficios —y también los costos— de diferentes formas de manejar el territorio.
- **Fortalecer una producción más sostenible.** Avanzar hacia políticas y prácticas productivas que integren el manejo del agua, la restauración y la conservación puede ayudar a asegurar la sostenibilidad de la cuenca del río Tocaría en el largo plazo.

ACERCA DE LAS COMUNIDADES

- **La contaminación por aguas residuales es un problema de salud pública,** ya que aumenta el riesgo de enfermedades y limita usos del agua como riego, pesca o recreación, lo que exige mejorar el saneamiento básico.
- **La construcción de sistemas de tratamiento** de aguas residuales es fundamental para reducir la contaminación del río, disminuir riesgos para la salud pública y garantizar un uso más seguro del agua por parte de las comunidades.
- **El uso de pesticidas en la agricultura puede afectar la calidad del agua y la biodiversidad acuática,** por lo que es necesario fortalecer su regulación, monitoreo y control.
- **La gobernanza del agua requiere mayor coordinación entre usuarios e instituciones,** especialmente para manejar los diferentes usos del río y regular la demanda en periodos de menor disponibilidad.

2. PLAN DE ACCIÓN

EJERCICIO

- A partir de los resultados del proyecto y las principales reflexiones presentadas en el apartado anterior, identifique y proponga acciones que podrían implementar los diferentes sectores para mejorar la gestión y conservación del río Tocaría.



A. Sector arrocero:



B. Sector educativo:



C. Sector gubernamental:



D. Sector social:

- Comparta las acciones que propuso con sus compañeros. Luego, en grupo, discutan y organicen todas las propuestas según su nivel de importancia, desde la más prioritaria hasta la menos prioritaria para mejorar la gestión del río Tocaría y el bienestar social.

ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN

La estrategia de comunicación fue construida junto con L@s Tocariolog@s, un grupo comunitario que participó activamente en el proceso de investigación. Para sus integrantes, los datos y aprendizajes del estudio pueden contribuir a comprender mejor los conflictos en torno al agua del río Tocaría y a promover que las conversaciones sobre su futuro se basen más en información que en rumores. Se espera que este conocimiento aporte a imaginar y construir caminos más sostenibles para las comunidades que habitan la cuenca y dependen del río.

En conjunto con el grupo, se realizó un mapeo de actores y se definió un objetivo estratégico de comunicación. Asimismo, se acordaron los formatos, estilos y lenguajes más adecuados para compartir los resultados de la investigación con diferentes públicos del territorio.

A partir de este proceso se desarrolló una apuesta transmedia que acompañó el trabajo de apropiación social del conocimiento realizado por el grupo y por otros actores interesados en la investigación. A continuación, se pueden explorar algunos de estos contenidos.

CONOCE EL VIDEO SOBRE LAS
PROBLEMÁTICAS DEL RÍO TOCARÍA



Y EN EL QUE SE PRESENTÓ A LOS
VERDADEROS EXPERTOS DEL RÍO
TOCARÍA Y A LOS INVESTIGADORES



HISTORIAS A CIENCIA CIERTA



Y AQUÍ PUEDES ESCUCHAR LOS 3
EPISODIOS DE NUESTRA
RADIONOVELA



También se elaboraron algunos reels animados sobre los objetivos del proyecto, un periódico con los resultados finales y una serie de siete cartillas (incluida esta), que acompañaron los cuatro ciclos de intercambio de conocimientos y saberes dirigidos a L@s Tocariólog@s y estudiantes que, durante tres años, participaron en ferias de ciencia asociadas a la investigación realizada en su territorio.

Quienes deseen conocer más sobre sus actividades o ponerse en contacto con el grupo pueden encontrarlos en Facebook a través de L@s Tocariólog@s.





CARTILLA # 7

FUTURO SOSTENIBLE

LOS RESULTADOS