

# Estrategia de monitoreo hídrico comunitario para la microcuenca río Jorco basado en el análisis de indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos de la calidad de agua

Community water monitoring strategy for the Jorco river micro-basin based on the analysis of physicochemical, microbiological and biological indicators of water quality

Guillermo Calvo-Brenes<sup>1</sup>, Karla Salazar-Céspedes<sup>2</sup>

*Fecha de recepción: 10 de noviembre, 2022*

*Fecha de aprobación: 6 de marzo, 2023*

Calvo-Brenes, G; Salazar-Céspedes, K. Estrategia de monitoreo hídrico comunitario para la microcuenca río Jorco basado en el análisis de indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos de la calidad de agua. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, N° 4. Octubre-Diciembre, 2023. Pág. 181-193.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i4.6456>

- 1 Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Autor para correspondencia. Correo electrónico: [gcalvo@tec.ac.cr](mailto:gcalvo@tec.ac.cr).  
 <https://orcid.org/0000-0002-7021-3509>
- 2 Estudiante de maestría. Universidad Nacional de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: [karvanesc@gmail.com](mailto:karvanesc@gmail.com).  
 <https://orcid.org/0000-0003-0609-0484>

## Palabras clave

Calidad de agua; indicadores; índice de evaluación; monitoreo hídrico; microcuenca.

## Resumen

Las profundas deficiencias que enfrenta el país en políticas de gestión hídrica se reflejan en la contaminación fisicoquímica, microbiológica y biológica de los ríos nacionales. El objetivo de este estudio fue proponer una estrategia de monitoreo hídrico comunitario para mejorar la gestión del río Jorco ubicado en el cantón de Acosta. Se monitoreó la calidad del agua en la parte alta, media y baja de la microcuenca durante la época lluviosa, utilizando dos índices de calidad (ICA) fisicoquímicos: el Holandés y el Calvo-TEC; así como uno biológico: el BMWP-CR. Los indicadores de calidad de turbiedad, alcalinidad, amoníaco, nitrógeno amoniacal, nitratos, y coliformes fecales superaron los límites de permisibilidad en algunos muestreos; sin embargo, el oxígeno disuelto mostró que existen buenos niveles de oxígeno para la recuperación del río. La demanda bioquímica de oxígeno fue baja, indicando una carga orgánica baja y los macroinvertebrados mostraron un ecosistema acuático degradado. El ICA Holandés sobrevaloró la calidad del agua con respecto al ICA Calvo-TEC. Este último mostró resultados más realistas debido a que utiliza más indicadores de calidad, ya que este parte de las condiciones ambientales y la normativa costarricense. Por su parte, el ICA BMWP-CR reveló una contaminación extrema durante el mes de mayor lluvia. Se concluyó que existe un problema de contaminación en el agua del río cuyas causas principales pueden ser por la falta de cobertura boscosa en las zonas riparias, la expansión del cultivo de café, el vertido de aguas residuales domésticas y las actividades ganaderas. Por lo tanto, se propuso al consejo municipal un plan de acción y validado con ellos, con el fin de mejorar la calidad del agua con participación de diferentes actores de la zona.

## Keywords

Water quality; indicators; evaluation index; water monitoring; micro-basin.

## Abstracts

The profound deficiencies that the country faces in water management policies are reflected in the physicochemical, microbiological and biological contamination of national rivers. The objective of this study was to propose a community water monitoring strategy to improve the management of the Jorco River located in the canton of Acosta. The quality of the water in the upper, middle and lower part of the micro-basin was monitored during the rainy season, using two physicochemical quality indices (ICA): the Dutch and the Calvo-TEC; as well as a biological one: the BMWP-CR. The quality indicators of turbidity, alkalinity, ammonia, ammoniacal nitrogen, nitrates, and fecal coliforms exceeded the permissibility limits in some samples; however, dissolved oxygen showed that there are good levels of oxygen for river recovery. Biochemical oxygen demand was low, indicating low organic load, and macroinvertebrates showed a degraded aquatic ecosystem. The Dutch ICA overestimated the quality of the water with respect to the ICA Calvo-TEC. The latter showed more realistic results because it uses more quality indicators, since it is based on environmental conditions and Costa Rican regulations. The ICA BMWP-CR revealed extreme contamination during the month of greatest rainfall. It was concluded that there is a problem of contamination in the river water whose main causes may be due to the lack of forest cover in the riparian zones, the expansion of coffee cultivation,

the discharge of domestic wastewater and livestock activities. Therefore, an action plan was proposed to the municipal council and validated with them, to improve water quality with the participation of different actors in the area.

## Introducción

Los ríos son uno de los recursos naturales de mayor importancia para la humanidad y juegan un papel esencial en el desarrollo económico, social y cultural de las comunidades, además de su importancia ambiental; sin embargo, han sido sometidos a fuertes presiones antropogénicas, encontrándose cada vez más contaminados [1]. Por ello es importante mantener la calidad de las fuentes naturales, para garantizar su sostenibilidad y aprovechamiento para las futuras generaciones.

La microcuenca del río Jorco se encuentra inmersa dentro de esta problemática socioambiental; ya que en los entornos del río se han eliminado bosques para cultivar café, principalmente en la zona alta y media del río, a pesar de su alta pendiente y cuyo cultivo colinda con las márgenes del río (Ministerio de Ambiente y Energía [2]. Por otra parte, en su zona baja se ha observado una disminución de la cobertura boscosa para dar paso a la actividad ganadera. Otra actividad que supone un factor más de riesgo para la contaminación del río Jorco, es el Tajo Hacienda río Jorco, ubicado en la parte alta de la microcuenca, donde se explotan cinco hectáreas de terreno para la extracción de arena, piedra y lastre [3]. La eliminación de cobertura boscosa para la expansión de actividades antropogénicas disminuye las barreras naturales del suelo, lo cual provoca un aumento en la escorrentía que arrastra contaminantes presentes en el suelo, sedimentos y excretas de animales silvestres o domésticos hacia los ríos, especialmente en zonas de alta pendiente [4].

En la microcuenca río Jorco se ha registrado un aumento en la población y en la construcción de edificios, viviendas, carreteras y otras infraestructuras públicas [5]. La zona urbana se concentra principalmente en la parte media de la microcuenca, donde se observan muchas residencias construidas en los márgenes del río. Las aguas residuales que se generan en estas viviendas y en otras actividades socioeconómicas como talleres mecánicos, no cuentan con tratamiento alguno antes de ser vertidas al alcantarillado público, el cual descarga a su vez, en el río Jorco o bien en terrenos ubicados alrededor del río [6].

El agua del río Jorco es utilizada principalmente para el abastecimiento de agua potable, el riego de cultivos, abrevaderos y recreación de primer contacto. A pesar de la importancia de este recurso para las comunidades locales, se carece de una línea base sobre su calidad y hay poca participación comunitaria en la implementación de iniciativas o proyectos que impulsen a mejorar la gestión de la microcuenca.

Una adecuada gestión para mejorar la calidad del río, puede ser llevado a cabo por la comunidad, resultando en importantes beneficios a la sociedad y a la integridad ecológica del río, tales como detectar los requerimientos de los usuarios en relación con los usos que se le pueden dar al agua, cambios de calidad en el río y fuentes de contaminación, lo cual permite buscar medidas de control o remediación que mejoren o prevengan el deterioro en la calidad del recurso (Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia [7]. Además, la participación ciudadana puede generar una cultura ambiental en la comunidad.

El monitoreo de la calidad de los ríos se puede efectuar por medio del uso de índices (ICA) e indicadores de calidad. Los ICA tienen la ventaja de reducir una cantidad grande de indicadores de calidad en un solo valor relacionado con la calidad del agua. La calidad del agua se puede

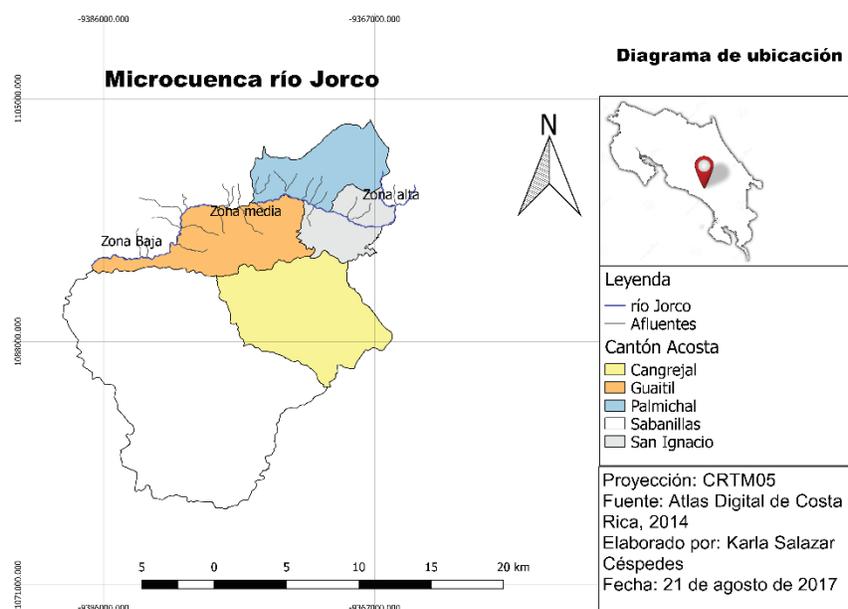
separar en rangos y colores para simplificar su interpretación [8]. Debido a que ningún ICA es de uso universal, se decidió evaluar la calidad del agua empleando tres distintos tipos de ICA: el Holandés, el Calvo-TEC y el BMWP-CR [9, 10].

El objetivo de la investigación fue proponer una estrategia de monitoreo hídrico comunitario para el mejoramiento de la gestión de la microcuenca río Jorco. La caracterización de la calidad del agua se efectuó mediante indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos. Además, se propuso una estrategia de monitoreo hídrico comunitario para la microcuenca río Jorco con la participación de diferentes actores de la comunidad.

## Metodología

### Zona de estudio

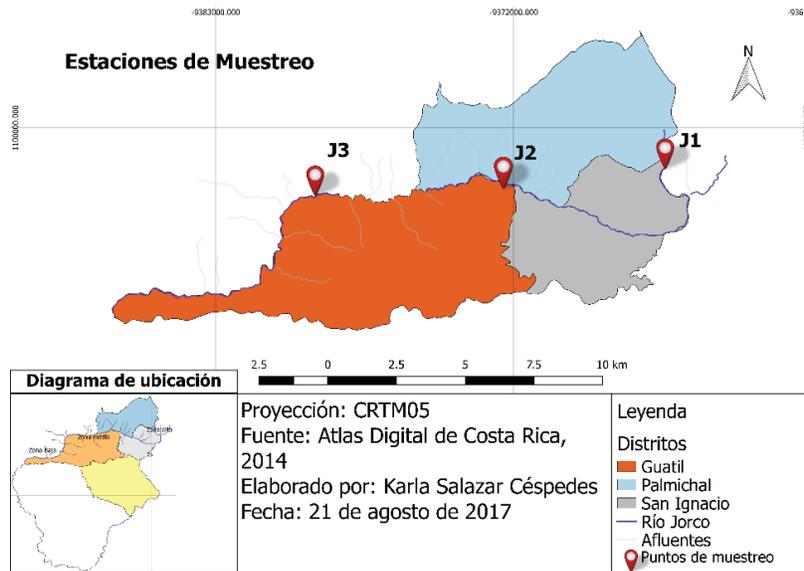
La microcuenca del río Jorco tiene un área aproximada de 22 km<sup>2</sup>. Se ubican entre las coordenadas geográficas 9°45'59.52" latitud norte y 84°19'32.48" latitud oeste, en la subregión Caraiques al sureste del Valle Central de la provincia de San José. El río Jorco nace en los cerros del distrito de Cedral del cantón de Aserrí, entre los distritos de San Ignacio, Palmichal y Guaitil los cuales pertenecen al cantón de Acosta (figura 1). Además, desemboca en la subcuenca del río Candelaria, que a su vez forma parte de la Gran Cuenca del río Parrita situada en la Vertiente del Pacífico Central de nuestro país (INM, 2011). Se describe una precipitación media anual que varía entre los 2000 mm a 40000 mm. La temperatura media anual oscila entre 16 y 24°C (INM, 2011)



**Figura 1.** Ubicación de la microcuenca río Jorco. Adaptado de Ortiz, 2014 [11].

### Selección de los puntos de muestreo

Se seleccionaron tres puntos de muestreo utilizando como criterios las diferentes características socioambientales que rodean cada sitio. En el área de estudio se encuentran tres zonas bien diferenciadas según su entorno socioambiental en cuyos sitios se ubicaron los sitios de muestreo, las cuales se clasificaron como zona alta (sitio J1), zona media (sitio J2) y zona baja (sitio J3), tal y como se muestra en la figura 2.

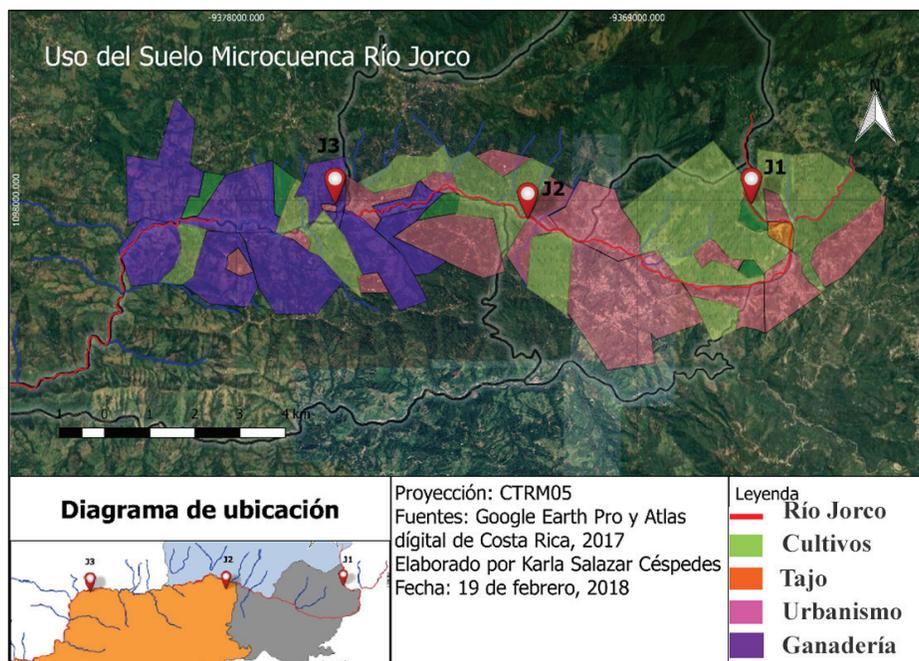


**Figura 2.** Estaciones de muestreo. Adaptado de Ortiz, 2014 [11].

En la zona alta (J1) predomina el bosque y el tacotal, principalmente cerca de la naciente y también hay zonas con cultivo del café; además es una zona con pendientes pronunciadas: por otra parte, no hay presencia de urbanismo. La zona media (sitio J2) se caracteriza por tener pendientes menos pronunciadas, existe una escasa zona riparia compuesta por tacotales y en su entorno también se observaron cultivos de café y parches de suelo desnudo. En esta zona se observa gran cantidad de viviendas, construidas en los márgenes del río. En la zona Baja (sitio J3) el relieve es ondulado, existe una escasa zona riparia compuesta por tacotales pero prevalecen los pastos para ganado, y en su entorno no se observa cultivos de café. No se observan viviendas, ni industrias inmediatas al río que puedan generar descargas residuales, pero sí se observan viviendas dispersas en el paisaje.

### Usos del suelo

Los usos del suelo predominantes en la microcuenca están destinados para siembra de cultivos, pastos, construcción de viviendas y también se observan pequeños parches boscosos, tal y como se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Usos del suelo en la microcuenca río Jorco. Adaptado de Ortiz, 2014 [11] y Google Earth Pro.

### Monitoreo de la calidad del agua

Se programaron tres giras de campo para los meses de junio, agosto y octubre del 2017, meses que corresponden a la época lluviosa. La medición de los diferentes indicadores fisicoquímicos y microbiológicos, tanto en campo como en el laboratorio, así como la recolección de las muestras y su adecuada preservación, se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones dadas en el “Standard methods for the examination of water and wastewater, 3rd edition (2017) [12].

### Índice Holandés

Este ICA se basa en la obtención de un puntaje de acuerdo con tres indicadores: la demanda bioquímica de oxígeno, el oxígeno disuelto el cual se mide *in situ* y el nitrógeno amoniacal. Según los niveles de contenido en agua, se efectúa una ponderación numérica, cuya suma total nos indica los niveles de contaminación en aguas de ríos [9] (ver cuadro 1).

**Cuadro 1.** Clasificación de la calidad del agua en el ICA-Holandés.

Clase	Suma de Puntos	Color	Interpretación
1	3		Sin contaminación
2	4-6		Contaminación incipiente
3	7-9		Contaminación Moderada
4	10-12		Contaminación severa
5	13-15		Contaminación muy severa

Adaptado de MINAE, (2007) [9].

## Índice Calvo-TEC

Este índice requiere del cálculo de subíndices (SI) de los siguientes indicadores fisicoquímicos y microbiológicos: alcalinidad, amoníaco, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos, nitratos, oxígeno disuelto, pH y turbiedad. El cálculo de los SI se realizó a través de una serie de fórmulas matemáticas, elaboradas por Calvo-Brenes [10].

Finalmente, las columnas “nivel de contaminación” y “color” sirven para interpretar la calidad de agua, según el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Interpretación del ICA-PCANP.

Rango	Clase	Nivel de contaminación	Color
90.0 - 100	1	Ninguno	
75.0 - <90.0	2	Incipiente	
45.0 - <75.0	3	Moderado	
20.0 - <45.0	4	Severa	
0 - < 20.0	5	Muy severa	

Fuente: Calvo-Brenes, 2018 [8].

La fórmula de agregación (1) utilizada fue la propuesta por Dojlido (1994) [13], la cual se caracteriza por presentar una mayor sensibilidad a los cambios en la calidad del agua, además de dar una ponderación igualitaria a cada una de los indicadores utilizados en el índice. Por otra parte, el rango de clasificación de la calidad fue la propuesta por Landwehr (1974) [14] y adaptado por Calvo-Brenes (2018) [8] la cual se presenta en la figura 5.

$$ICA = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (1)$$

Donde,  $SI$  es el subíndice de cada indicador, y  $n$  es el número total de indicadores utilizados en el cálculo.

## Índice BMWP-CR

Este ICA asocia las familias taxonómicas con un valor numérico de tolerancia entre valores de uno y nueve, siendo uno el valor mínimo para representar familias poco sensibles a sustancias contaminantes y nueve como valor máximo para representar familias asociadas a una buena calidad de agua [15]. El grado de contaminación se obtiene sumando los puntajes para cada familia de macroinvertebrados encontrados en los muestreos [9]. Su interpretación numérica se indica en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Interpretación del ICA BMWP-CR.

Nivel de contaminación	Rangos	Color
Aguas de excelente calidad	>120	
Aguas calidad buena, no contaminadas o no alterada de manera sensible	101-120	
Aguas de calidad regular, eutrófica, contaminación moderada	61-100	
Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	
Aguas de calidad mala, muy contaminadas	16-35	
Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas	<15	

Adaptado de MINAE, (2007) [9].

El método de muestreo, colecta y conservación de organismos utilizado fue el recomendado por el Reglamento de Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficial para Costa Rica [9].

### Estrategia del monitoreo hídrico comunitario

El monitoreo hídrico comunitario es también denominado monitoreo basado en la comunidad, monitoreo participativo o monitoreo. Es un proceso de colaboración entre de una variedad de actores claves, tales como la comunidad, la municipalidad, las universidades y otros, para recoger, analizar los datos, y comunicar los resultados, en un intento conjunto de identificar y resolver problemas relacionados con la calidad del agua de un río [16].

Se siguió la metodología indicada por Perevochtchikopva et al [16] que consiste en cuatro etapas: Identificación del problema, monitoreo hídrico, gestión de los datos y comunicación.

### Discusión de resultados

#### Indices fisicoquímicos y microbiológicos

La calidad del agua varió, según el tipo de ICA utilizado, el sitio de muestreo y el mes de recolección de las muestras, tal como se observa en cuadro 4.

**Cuadro 4.** Comparación de resultados de la calidad del agua entre los diferentes tipos de ICA.

Sitio Muestreo	Holandés				Calvo-TEC				BMWP-CR			
	Junio	Agosto	Octubre	Promedio	Junio	Agosto	Octubre	Promedio	Junio	Agosto	Octubre	Promedio
J1	4	3	3	3,3	85,5	79,0	55,5	73,3	60	44	12	38,7
J2	11	5	7	7,7	1,8	4,1	35,7	13,9	76	34	9	39,7
J3	7	6	7	6,7	1,9	4,1	2,1	2,7	57	29	10	32,0

Los resultados del cuadro 4 indican que, en general, hay similitud en la evaluación de la calidad indicada por el ICA Calvo-TEC y el BMWP-CR. No así con respecto al ICA Holandés, el cual tiende a sobrevalorar la calidad del agua. Este tipo de comportamiento ya ha sido reportado en el pasado en estudios comparativos efectuados y su principal razón es que el ICA Holandés solamente utiliza 3 indicadores de calidad, lo cual reduce sustancialmente la amplitud del análisis y su validez (Calvo-Brenes 2018).

Los meses de Agosto y Octubre mostraron mayores niveles de contaminación lo cual concuerda con la intensidad de las lluvias en estos dos meses, con relación al mes de Junio que usualmente presenta una intensidad de la lluvia menor.

Un análisis individual para cada indicador de calidad del ICA Calvo-TEC permitió evaluar cuales indicadores son los principales responsables de los cambios en la calidad del agua, tal como se observa en el cuadro 5. Las principales variaciones se debieron a la alcalinidad, los coliformes fecales, los nitratos y la turbiedad.

**Cuadro 5.** Valoración de la calidad del agua para cada indicador del ICA Calvo-TEC.

Muestreo	Alcalinidad	Amoniaco	Coliformes	DBO	Fosfatos	Nitratos	OD	pH	Turbiedad	Promedio
J1 Junio	53.9	88.2	88.9	98.5	97.0	97.7	95.4	100.0	95.7	85.5
J2 Junio	29.8	0.6	91.0	98.7	82.6	33.3	119.6	86.5	81.9	1.8
J3 Junio	9.3	0.6	91.0	97.4	87.6	77.4	98.8	99.0	79.0	1.9
J1 Agosto	42.5	89.4	86.3	98.6	98.1	93.8	100.5	100.0	96.0	79.0
J2 Agosto	1.4	81.4	73.5	97.8	94.2	55.1	91.4	89.7	90.7	4.1
J3 Agosto	1.4	78.3	73.5	96.4	90.8	71.3	66.7	88.3	89.6	4.1
J1 Octubre	23.3	94.0	73.5	98.8	99.8	89.6	98.2	82.5	69.6	55.5
J2 Octubre	13.0	94.1	73.5	98.8	99.8	71.3	100.0	86.9	67.9	35.7
J3 Octubre	-0.7	93.5	73.5	98.8	99.8	70.3	100.0	100.0	65.3	2.1

La alcalinidad suele estar asociada a las características mineralógicas del suelo; sin embargo, la existencia de un tajo posterior al sitio J1 (ver figura 3) puede provocar que la alcalinidad aumente en J2 y J3. El amoniaco usualmente está asociado al vertido de excretas humanas y dado que en los sitios J2 y J3 se tiene urbanismo, esta condición puede ser la causante de amoniaco en el río. En el cuadro 5 se observa un deterioro de la calidad del agua en estos puntos en la época de Junio que es la de menores lluvias, mientras que el incremento de las lluvias en Agosto y Octubre puede estar provocando una dilución por aumento del caudal y en consecuencia, una reducción de esta variable, mejorando la calidad del río en estos meses. El caso de los coliformes fecales parece incrementarse particularmente en las épocas de mayores lluvias, lo cual usualmente está asociado a contaminación en el suelo por las excretas de los animales, las cuales son acarreadas hacia los ríos durante periodos de escorrentía causado por las lluvias, de ahí su aumento en Agosto y Octubre. Lo mismo se nota con el contenido de nitratos y la turbiedad que también aumentan en esos meses. Los nitratos están asociados al uso de fertilizantes y es precisamente en el sitio J2 y J3, donde se observa un uso del suelo en cultivos (figura 3).

El contenido bajo de demanda bioquímica de oxígeno durante todos los muestreos es un indicativo de que no hay una carga orgánica excesiva sobre el río. También los niveles de oxígeno disuelto es un buen indicativo de que el río se encuentra adecuadamente oxigenado, condición necesaria para una buena degradación aeróbica de la materia orgánica disuelta o suspendida en el río por medio de microorganismos.

### Indice BMWP-CR

La dinámica de la calidad del agua en el río Jorco durante los meses y estaciones de muestreo según el ICA-BMWP-CR se muestra en el cuadro 6.

**Cuadro 6.** Resultados de la calidad del agua, dados por el índice BMWP-CR.

Sitio	Mes de muestreo		
	Junio	Agosto	Octubre
J1	60	44	12
J2	76	34	9
J3	57	29	10

En el sitio J1 en junio, el nivel de calidad del agua fue “moderada” y las familias que contribuyeron a elevar la calidad del agua fueron Perlidae, Leptophlebiidae y Ptilodactylidae, las cuales se caracterizan por su alta sensibilidad ante la contaminación. En agosto, el agua fue de “mala calidad” y las familias que aportaron a mejorar el grado de contaminación fueron Perlidae y Libellulidae. Mientras que en octubre, se encontró una calidad de agua con una “contaminación extrema” y en este muestreo solamente se recolectaron tres familias de macroinvertebrados. Las cuales fueron Elmidae, Chironomidae y Leptohiphidae, cuyas familias son muy tolerables a la contaminación.

Por otra parte, en el sitio J2 durante junio, el nivel de calidad del agua fue “moderada” y las familias que contribuyeron a mejorar el nivel de contaminación fueron Blephariceridae, Leptophlebiidae, Ptilodactylidae y Psephenidae, las cuales son poco tolerables a la contaminación. En agosto la calidad de agua estuvo “muy contaminada” y las familias que más contribuyeron al grado de contaminación fueron Corydalidae y Ptilodactylidae, las cuales tienen un grado intermedio de sensibilidad a la contaminación. Mientras que en octubre, se encontró una “contaminación extrema” en el agua y en este muestreo solamente se recolectaron dos familias macroinvertebrados, las cuales fueron Simuliidae y Baetidae, cuyas familias son altamente tolerables a la contaminación.

Finalmente, en el sitio J3 durante junio, el nivel de calidad del agua fue “moderada” y las familias de macroinvertebrados que ayudaron a mejorar el grado de contaminación fueron Leptophlebiidae, Blephariceridae, Blaberidae y Psephenidae, las cuales aportaron altos puntajes por ser poco tolerables a la contaminación. En agosto, el agua estuvo “muy contaminada” y las familias que contribuyeron a elevar la calidad del agua fueron Psychodidae y Psephenidae. Mientras que en octubre, se encontró una “contaminación extrema” y en este muestreo solamente se recolectaron dos familias macroinvertebrados, las cuales fueron Simuliidae y Corydalidae, la primera de ellas es altamente tolerable a la contaminación.

Comparando la calidad de agua entre los tres sitios de muestro, se pudo observar que hubo un aumento en el nivel de contaminación a través de los meses, hasta alcanzar una contaminación muy extrema en octubre. En ese último mes de muestreo se presentaron fuertes precipitaciones a nivel nacional producto de la Tormenta Nate, que ocasionó el desprendimiento de grandes

cantidades de tierra en los márgenes del río Jorco y un aumento de los sedimentos en el cauce. Esto pudo contribuir a movilizar los sustratos del río, removiendo el bento y otros hábitats, como hojarascas y zonas lenticas donde se refugian los macroinvertebrados.

Según Lancaster [17] lo anterior se conoce como deriva catastrófica, lo cual consiste en el desprendimiento y acarreo de macroinvertebrados aguas abajo, disminuyendo su abundancia local. Este fenómeno podría explicar la poca presencia de familias encontradas en el tercer muestreo, lo que influyó en la clasificación de calidad de agua del ICA biológico, para ese mes.

### Estrategia de monitoreo hídrico comunitario

Los resultados de esta investigación demostraron que en el río Jorco existen diferentes grados de contaminación en el agua de las zonas muestreadas; además, se comprobó que la integridad ecosistémica del recurso se encuentra deteriorada, principalmente por la falta de cobertura boscosa en los entornos y zonas ribereñas del río, la expansión del cultivo de café, el urbanismo y la actividad ganadera, cuyas actividades fueron observadas en los sitios de muestreo como se describió anteriormente.

En la microcuenca río Jorco no existe algún sistema de gestión que dirija sus esfuerzos en mejorar o conservar la calidad del agua para los usuarios del recurso, ni tampoco se ha involucrado o incentivado a las comunidades en participar en asuntos ambientales del cantón. Por esas razones se consideró imperioso plantear y proponer una estrategia para mejorar la gestión del río y en consecuencia la calidad del agua. La estrategia planteada consistió en proponer al consejo municipal del cantón de Acosta implementar un monitoreo hídrico comunitario siguiendo un plan de acción, que ayude en la toma de decisiones. La dinámica de este plan de acción consistió en llevar a cabo monitoreos de calidad del agua en el río Jorco, para buscar junto con la comunidad soluciones correctivas y preventivas ante el problema de la contaminación. En el cuadro 7 se muestran los componentes de esta propuesta.

**Cuadro 7** . Propuesta de monitoreo hídrico comunitario para el río Jorco con el fin de implementar el monitoreo hídrico comunitario, mediante un plan de acción, para mejorar la calidad del agua en el río Jorco.

Líneas de acción	Actividades
1. Promover la cooperación institucional y de comunidades locales.	1.1. Afirmar alianzas institucionales. 1.2. Realizar un diagnóstico de participación. 1.3. Consolidar equipos de trabajo.
2. Brindar educación ambiental, técnica y científica.	2.1. Iniciar un proceso de educación ambiental no formal 2.2. Efectuar capacitaciones técnicas-científicas
3. Monitorear la calidad del agua del río Jorco.	3.1. Realizar campañas de monitoreo
4. Determinar soluciones que mejoren la calidad del agua.	4.1. Implementar medidas correctivas y preventivas propuestas por la comunidad

La primera de ellas consistió en afirmar alianzas institucionales, cuyas instituciones propuestas fueron la municipalidad del cantón de Acosta, el Instituto Nacional de Acueducto y Alcantarillados (AYA) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería. Cabe resaltar que son instituciones que cuentan con la capacidad de crear vínculos interinstitucionales y comunitarios, cuando se requiere resolver un problema ambiental a nivel local. La segunda línea se enfoca en abordar una tarea educativa dirigida a los equipos de trabajo responsables de monitorear la calidad del agua. Por un lado, la educación en el campo ambiental es un proceso que inicia desde lo preventivo, lo cual resulta más conveniente tanto en términos económicos como medioambientales. Con ese

este tipo de educación se busca promover un cambio de hábitos y actitudes cotidianas que se concreten en acciones ambientalmente adecuadas. La tercera línea de acción propuesta pretende llevar a cabo el monitoreo hídrico como tal y la última línea de acción propuesta busca proponer las soluciones que los quipos de trabajo y comunidad local han logrado construir. Por ello la actividad propuesta fue la de implementar medidas correctivas y preventivas propuestas por la comunidad. En esta investigación también se establecieron los procedimientos, las metas y tareas específicas para cada una de las líneas de acción y actividades con cada uno de los actores (para mayores detalles ver Karla 2017) [18].

## Conclusiones

El ICA Holandés hace una sobrevaloración de la calidad del agua al utilizar solamente 3 indicadores de calidad. Por otra parte, hay concordancia en la valoración de la calidad del agua efectuada por el ICA Calvo-TEC y por el BMWP-CR. En general, estos dos ICA mostraron una contaminación alta en los sitios J2 y J3, los cuales parecen estar asociadas a la falta de cobertura riparia alrededor del río, el urbanismo y las actividades agrícolas y ganaderas en la mayor parte de la microcuenca del Jorco, así como la presencia de un tajo en la zona.

Con respecto a la propuesta, se concluye que la estrategia de monitoreo hídrico comunitario, presentada ante el consejo municipal del cantón Acosta, es una alternativa válida para mejorar la gestión de la microcuenca y por ende la calidad del agua del río Jorco; sin embargo, se deben de tomar en consideración las recomendaciones aportadas por miembros del consejo municipal.

El uso del ICA Calvo-TEC resultó ser una herramienta adecuada y confiable para evaluar el grado de contaminación del agua superficial, debido a que genera resultados realistas sobre la calidad de agua en comparación con el ICA-Holandés, tal como se pudo comprobar también con los estudios en campo. El uso del BMWP-CR es altamente aconsejable de usar para conocer la integridad del ecosistema hídrico, principalmente porque es fácil de aplicar y económico.

Se recomienda que la municipalidad del cantón de Acosta a través de la coordinación del departamento de gestión ambiental implemente la propuesta para mejorar la gestión del río Jorco y su calidad de agua. Algunas soluciones que se recomienda tener en cuenta son: conservar y restaurar las zonas riparias del río, optar por aplicar la Bandera Azul Ecológica con cinco estrellas en el transepto J1. Implementar el uso de sistema agrosilvopastoriles en la zona alta y media de la microcuenca, y sistemas silvopastoriles en la zona baja y reducir las descargas de aguas residuales domésticas, fomentado sistemas de reciclaje de aguas residuales domésticas.

## Referencias

- [1] Calvo, G. (2015). Ríos: Fundamentos sobre su Calidad y la Relación con el Entorno Socioambiental. San José, Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- [2] MINAE (1997). Decreto Ejecutivo N° 25721-MINAE. "Ley Forestal". Publicado en La Gaceta Oficial n° 16, Jueves 23 de enero de 1997. San José, Costa Rica.
- [3] MINAE (2002). Resolución N 5666-2002. Recuperado de [http://www.merlink.co.cr:8084/search/EP\\_SEJ\\_EXA257.jsp?cartelNo=20150400160&cartelSeq=00&cartelCate=1&bidocUnikey=D20150421131716135114296438369160&reAdjuCnt=0](http://www.merlink.co.cr:8084/search/EP_SEJ_EXA257.jsp?cartelNo=20150400160&cartelSeq=00&cartelCate=1&bidocUnikey=D20150421131716135114296438369160&reAdjuCnt=0)
- [4] Göransson, G., Norrman, J., and Larson, M. (2018). Contaminated landslide runoff deposits in rivers: Method for estimating long-term ecological risks. *Science of The Total Environment*, Volume 642, pp 553-566. ISSN 0048-9697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.078>.
- [5] Mora, E. (2014). Asignan casas a beneficiarios de proyecto El Tablazo en Acosta. *El Jornal*. Recuperado de <http://eljornalcr.com/asignan-casas-a-beneficiarios-de-proyecto-el-tablazo-en-acosta/>

- [6] IMN (2011). Estudio de Cuencas Hidrográficas de Costa Rica: Cuenca del río Parrita. Recuperado de [http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/cuenca\\_rio\\_parrita\\_1.pdf](http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/cuenca_rio_parrita_1.pdf)
- [7] Hu, Y., Yang-Liu, C. and Chen T. (2017). Ecological improvement and community participation: lessons from Xiaoqing River Ecological Improvement Project in Jinan, China. *Community Development Journal* 52(1):21-37. DOI: [10.1093/cdj/bsw049](https://doi.org/10.1093/cdj/bsw049)
- [8] Calvo-Brenes, G. (2018). Índices e indicadores sobre la calidad del agua, 1th ed. Cartago, Costa Rica, ET. ISBN 978-9977-66-454-5.
- [9] MINAE (2007). Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales, La Gaceta, no. 33903-MINAE-S, 2007.
- [10] Calvo-Brenes, G. (2019). Nuevo índice para valorar la calidad de aguas superficiales en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 32 (4), p 104-115
- [11] Ortiz, E. (2014). Atlas digital de Costa Rica 2008. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal.
- [12] APHA, AWWA and AEF, "Standard methods for the examination of water and wastewater", 23rd ed. WA, DC, USA, 2017.
- [13] Dojlido, J., Raniszewski, j., and Woyciechowska, J. (1994). Water quality index applied to rivers in the vistula river basin in Poland. *Environmental monitoring and assessment*, vol. 33, pp. 33-42.
- [14] Landwehr, J. (1974). Water quality indices: construction and analysis. Tesis doctoral. University of Michigan, United States of America.
- [15] Ferreira, A. (2015). Respuestas poblacionales de macroinvertebrados a distintas calidades de agua en cuerpos loticos de la llanura pampeana. (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/44807>
- [16] Perevochtchikova, M., Aponte, N., Zamudio, V., y G, Sandoval, (2016). Monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua: caso Ajusco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* 7(6), 5-23.
- [17] Lancaster, J. (2008). Movement and dispersion of insects of stream channels: What role does flow play? En Lancaster, J., y Briers, R. (Eds.). *Aquatic Insects: Challenges to Populations* (p.139-157). North American, Editorial CABI.
- [18] Salazar-Céspedes, K. (2018). Estrategia de Monitoreo Hídrico Comunitario para la microcuenca río Jorco basado en el análisis de indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos de la calidad de agua. Tesis de grado. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.