

Universidad Nacional
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Escuela de Ciencias Biológicas
Licenciatura en Biología con Énfasis en Manejo de Recursos Naturales

Informe Escrito Final

Evaluación de la influencia de las actividades socioeconómicas en el caudal, calidad del agua y comunidades de macroinvertebrados bentónicos en el río Maravilla, Cartago, Costa Rica

“Tesis de grado” presentado como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Biología con Énfasis en Manejo de Recursos Naturales

Kassandra Navarro Salas y Yanory Monge Fernández

Campus Omar Dengo
Heredia, 2021

Agradecimientos

Primeramente, a Dios, gracias por permitirnos culminar este proceso, por darnos la fortaleza y paciencia para seguir adelante a pesar de los momentos de dificultad y desesperación. ¡A ti Padre Celestial sea la gloria y la honra!

Gracias a nuestro comité asesor Alicia Fonseca, Meyer Guevara y Hannia Vega por su apoyo y ayuda brindada durante todo este proceso. Un agradecimiento especial a Alicia y Meyer por asistir con nosotras a las giras y ayudarnos para la toma de muestras y trabajo de campo, su apoyo fue vital, muchísimas gracias por el tiempo y dedicación.

A nuestro tutor Meyer por sus consejos, aportes, retroalimentación, tiempo, dedicación, comprensión y estar siempre atento a nuestro progreso en este trabajo. Por darnos palabras de ánimo y motivación cuando lo necesitábamos, y ser un ejemplo de esfuerzo y alegría para nosotras que nos motivó a seguir adelante. Por enseñarnos a tomar todo con calma y entusiasmo. Fue un excelente tutor. ¡Siempre lo recordaremos profe!

A Alicia por brindarnos la oportunidad de realizar la tesis dentro de su Proyecto, el cual nos facilitó diversos medios para llevar a cabo. Gracias por la confianza en nosotras. Por estar siempre atenta a nuestras consultas, dudas y brindarnos recursos para la elaboración de esta tesis.

A Hannia, no olvidaremos las tardes de video llamadas por zoom profe, mil gracias por su paciencia y apoyo.

A las demás personas que nos apoyaron de una u otra forma, tanto académicos como compañeros de carrera. En especial a Óscar Vásquez y Fabián Sibaja, por su ayuda en los muestreos de campo y en el trabajo de identificación en el laboratorio. A David Romero que también nos ayudó con la identificación. Gracias a los tres porque siempre nos dieron ánimos.

De igual forma el agradecimiento a todas las personas que formaron parte del proyecto dentro del cual se realizó este trabajo. Al Laboratorio de Hidrología Ambiental y al Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional por brindarnos espacio y equipo de trabajo. Asimismo, al Laboratorio de Recurso Hídrico de la Escuela de Química por el apoyo en el análisis de muestras, en especial a Rolando Sánchez quien también nos apoyó en algunas de las giras realizadas, muchas gracias.

Agradecer al Fondo para el Fortalecimiento de las Capacidades Estudiantiles (FOCAES) de la Universidad Nacional de la Vicerrectoría de Investigación por la ayuda económica brindada en el periodo 2018-2019, apoyo indispensable para la compra de materiales necesarios para el muestreo de campo y la realización de las giras.

Finalmente, y no menos importante, gracias infinitas a nuestras familias que fueron motor y apoyo crucial para poder culminar esta etapa en nuestras vidas, por impulsarnos y animarnos a seguir adelante, sin ellas esto no hubiera sido posible.

Dedicatoria

Le dedico este trabajo final de graduación a mis padres: Melvin Monge y Carmen Fernández. Porque ha sido por ellos el esfuerzo y la entrega que he realizado día con día en la Universidad y en ésta carrera, para cumplir esas metas que buscan la oportunidad de brindarles un mejor futuro a ellos. Gracias porque sé que no ha sido fácil el no poder compartir con ustedes por estudiar tan lejos todos estos años, sin embargo, siempre fueron un ejemplo de paciencia, valentía y fuerza para mí... Gracias por ese apoyo incondicional, por confiar y creer en mí... Por todo eso y mucho más: ¡esto es por ustedes mis papitos!

Yanory Monge Fernández

A Dios y a la Santísima Virgen María, que me han dado cada día la salud y la fuerza para seguir adelante en cada momento de mi vida. Especialmente durante este largo proceso, cada momento de dificultad lo superé gracias a ellos. Todo el esfuerzo que conllevó este documento es para mí Señor, sin la fortaleza y misericordia de lo alto, esto jamás hubiera sido posible.

A mi madre Carmen, mi padre Rolando y mi hermana Yuli, por su amor y apoyo incondicional desde el inicio de mi carrera y por estar siempre pendiente de mí en todo el proceso. En especial a ti madre bella, Carmen Salas, siempre estuviste a mi lado a pesar de la distancia física, siempre me alentaste y me hiciste sentir capaz; todo tu sacrificio y empeño para conmigo y mis estudios hoy día se reflejan en este trabajo. ¡Esto es para ti madre mía!

A la Santa Madre Naturaleza, por ser perfecta, pura y renovar mi espíritu cuando estoy en medio de ella. Por ser mi fuente de paz e inspiración en los momentos que lo necesito...A los bosques, a los ríos, a las aves, a toda la creación.

Kassandra Navarro Salas

Índice

Agradecimientos	I
Dedicatoria	II
Índice	III
Índice de cuadros	V
Índice de figuras	VI
Abreviaturas o acrónimos	VIII
Resumen	IX
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Justificación.....	5
1.3. Planteamiento del problema a investigar.....	8
1.4. Objetivos	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
2. Marco Teórico	9
2.1. Caudales fluviales	9
2.2. Caudal ambiental.....	10
2.3. Caudal ecológico	11
2.4. Características físicas e hidráulicas del hábitat, parámetros fisicoquímicos y calidad del agua	12
2.5. Afectaciones de actividades socioeconómicas	13
3. Marco Metodológico	17
3.1. Área de estudio.....	17
3.2. Muestreo parámetros hidráulicos y caracterización del hábitat	20
3.2.1. Caudal	20
3.2.2. Caracterización del hábitat	21
3.3. Muestreo comunidades de macroinvertebrados	21
3.4. Muestreo parámetros fisicoquímicos	22
3.5. Actividades socioeconómicas	23
3.5.1. Mapeo de actores.....	23
3.5.2. Primera reunión de contacto.....	23
3.5.3. Análisis FODA.....	23

3.5.4. Taller Final	24
3.5.5. Encuestas	24
3.6. Análisis de los datos	25
4. Resultados	27
4.1. Parámetros hidráulicos y caracterización del hábitat	27
4.1.1. Caudal	27
4.1.2. Caracterización del hábitat	29
4.1.2.1. Sustrato	29
4.1.2.2. Velocidad	29
4.1.2.3. Profundidad	30
4.1.2.4. Número de Froude.....	31
4.2. Comunidades de macroinvertebrados bentónicos	32
4.2.1. Abundancia de macroinvertebrados	32
4.2.2. Índices de diversidad.....	33
4.3. Índices de Calidad de Agua.....	35
4.3.1. Índice BMWP-CR	35
4.3.2. Índice Holandés.....	35
4.4. Parámetros fisicoquímicos	36
4.5. Análisis de datos	43
4.5.1. Análisis con micrositios	43
4.5.1. Análisis con datos simplificados	44
4.6. Muestreo actividades socioeconómicas	46
4.6.1. Encuestas.....	46
4.6.2. Mapeo de actores.....	51
4.6.3. Primera reunión de contacto.....	52
4.6.4. Análisis FODA.....	54
4.6.5. Taller Final	55
4.6.6. Propuestas de estrategias de manejo generadas a raíz de este estudio.	55
5. Discusión.....	57
6. Conclusiones.....	83
7. Recomendaciones.....	85
8. Referencias	86
9. Anexos.....	106

Índice de cuadros

Cuadro 1. Descripción de los sitios de estudio.....	19
Cuadro 2. Abundancia absoluta de macroinvertebrados bentónicos colectados en los sitios de muestreo durante todo el periodo de estudio.....	32
Cuadro 3. Valores promedio de riqueza, índice de Shannon-Wiener, índice de Simpson, índice de Pielou por sitio de muestreo en la campaña uno (época transición seca-lluviosa), campaña dos (época lluviosa), campaña tres (época seca) y campaña cuatro (época transición seca-lluviosa), río Maravilla, Cartago.....	34
Cuadro 4. Propuestas o recomendaciones sugeridas por las personas encuestadas para mejorar la situación actual del Río Maravilla.....	50
Cuadro 5. Mapeo de Actores de la Microcuenca Maravilla-Chiz.....	51
Cuadro 6. Problemáticas y soluciones planteadas por los participantes en el taller realizado el 08 de marzo del 2018 en Juan Viñas, Cartago	52
Cuadro 7. Matriz de Análisis FODA de la microcuenca Maravilla-Chiz.....	54

Índice de figuras

Figura 1. Usos de suelo en la microcuenca del río Maravilla, Cartago.....	18
Figura 2. Sitios de muestreo en la microcuenca del río Maravilla, Cartago.....	18
Figura 3. Caudal por campaña y sitio de muestreo (M1=Muestreo 1, M2=Muestreo 2, M3=Muestreo 3, M4=Muestreo 4), río Maravilla, Cartago.....	28
Figura 4. Sitio MAR06, campaña 3 (A y B) y 4 (C y D) de muestreo.....	28
Figura 5. Tipo de sustrato por sitio y campaña de muestreo en el río Maravilla, Cartago.....	29
Figura 6. Valores promedio de velocidad por campaña y sitio de muestreo (M1: Muestreo 1, M2: Muestreo 2, M3: Muestreo: 3, M4: Muestreo 4), río Maravilla, Cartago	30
Figura 7. Valores promedio de profundidad por campaña y sitio de muestreo (M1: Muestreo 1, M2: Muestreo 2, M3: Muestreo: 3, M4: Muestreo 4), río Maravilla, Cartago	31
Figura 8. Valores promedio de Número de Froude por campaña y sitio de muestreo (M1: Muestreo 1, M2: Muestreo 2, M3: Muestreo: 3, M4: Muestreo 4), río Maravilla, Cartago	32
Figura 9. Índice BMWP por sitio y campaña de muestreo (M1: Muestreo 1, M2: Muestreo 2, M3: Muestreo: 3, M4: Muestreo 4), río Maravilla, Cartago	35
Figura 10. Índice Holandés de la calidad fisicoquímica del agua para todos los sitios durante las cuatro campañas de muestreo (M1: Muestreo 1, M2: Muestreo 2, M3: Muestreo: 3, M4: Muestreo 4), río Maravilla, Cartago	36
Figura 11. Promedios (más menos DE) de las diferentes variables registradas por sitio y campaña de muestreo en el río Maravilla, Cartago A. Oxígeno Disuelto mg/L, B. Porcentaje de Saturación de Oxígeno %, C. Temperatura °C, D. pH, E. Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ y F. ORP mV.....	38
Figura 12. Diferentes variables registradas por sitio y campaña de muestreo en el río Maravilla, Cartago A. DBO mg/L, B. DQO mg/L, C. STD mg/L y D. ST mg/L.....	39
Figura 13. Alcalinidad por sitio y campaña de muestreo en el río Maravilla, Cartago.....	40
Figura 14. Concentraciones de A. Amonio, B. Nitrato, C. Fosfato, D. Fluoruro, E. Cloruro y F. Sulfato, por sitio y campaña de muestreo en el río Maravilla, Cartago	42
Figura 15. Concentraciones de A. Sodio, B. Magnesio, C. Potasio y D. Calcio, por sitio y campaña de muestreo en el río Maravilla, Cartago.....	43

Figura 16. Biplot de los resultados del análisis de redundancia para las familias de macroinvertebrados con respecto a los parámetros fisicoquímicos y fechas de muestreo (M1: muestreo 1, M2: muestreo 2, M3: muestreo 3, M4: muestreo 4), para el río Maravilla, Cartago	45
Figura 17. Biplot de los resultados del análisis de redundancia para las familias de macroinvertebrados con respecto a los parámetros fisicoquímicos y sitios de muestreo, para el río Maravilla, Cartago.....	46
Figura 18. Actividades socioeconómicas con más uso del agua del río Maravilla según percepción social.....	47
Figura 19. Actividades socioeconómicas con afectación en el río Maravilla según percepción social.....	48
Figura 20. Entidades con responsabilidad principal en la solución de problemas asociados al agua según percepción de los encuestados.....	49

Abreviaturas o acrónimos

ASADAS	Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados
AYA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados sanitarios
CA	Caudal Ambiental
CNE	Comisión Nacional de Emergencias
COMCURE	Comisión de Manejo y Ordenamiento de la Cuenca Alta del Río Reventazón
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
GIRH	Gestión Integrada del Recurso Hídrico
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
INDER	Instituto de Desarrollo Rural
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
JASEC	Junta Administrativa del Servicio Eléctrico Municipal de Cartago
LEUNA	Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional
LHA	Laboratorio de Hidrología Ambiental
LAMRHI	Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MEP	Ministerio de Educación Pública
MIB	Macroinvertebrados Bentónicos
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
MinSa	Ministerio de Salud
RECOPE	Refinadora Costarricense de Petróleo
SENARA	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento
SINAC	Sistemas Nacional de Áreas de Conservación
SDT	Sólidos Disueltos Totales
ST	Sólidos Totales
UNA	Universidad Nacional de Costa Rica

Resumen

Costa Rica posee gran riqueza hídrica, no obstante, muchos de sus cuerpos de agua y cuencas en general, están muy degradadas producto de actividades antropogénicas. En la cuenca del río Maravilla en Cartago prevalecen intensivas actividades agrícolas e industriales, que afectan las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y el ecosistema fluvial. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la influencia de las actividades socioeconómicas en el caudal del río Maravilla mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos para el desarrollo de estrategias de manejo de la microcuenca. Para esto, se utilizaron índices de calidad del agua biológicos (basados en macroinvertebrados) y fisicoquímicos, así como medición de variables hidráulicas en siete diferentes puntos de muestreo. También, se aplicó una encuesta para conocer la percepción de las comunidades respecto al estado actual del río y se trabajó con actores clave de la zona. Entre los resultados, se obtuvieron niveles de contaminación desde moderados a altos según ambos índices. Además, hay procesos de extracción de agua que disminuyen drásticamente el caudal, resultando en tramos del río sin agua. Las familias Chironomidae, Simuliidae y Baetidae fueron las más abundantes. Las encuestas aplicadas indicaron un elevado conocimiento por parte de las comunidades sobre las problemáticas ambientales y su disposición a participar en procesos a favor del río. Los distintos índices aplicados e información obtenida indicaron que el río Maravilla está altamente degradado tanto a nivel de ecosistema fluvial como en sus riberas, impactos generados por actividades de índole agrícola e industrial, por lo que es necesario un equilibrio entre el uso de los recursos naturales y las actividades socioeconómicas mediante estrategias sostenibles que disminuyan los impactos negativos en los ríos.

1. Introducción

Las actividades antropogénicas están causando un alto impacto en el recurso hídrico alrededor del mundo. Entre algunos de estos impactos se encuentra la contaminación de cuerpos de agua producto del manejo inadecuado de aguas residuales o residuos sólidos, la contaminación por agroquímicos que ingresan a los ríos por procesos de escorrentía o industrias, entre muchos otros (Angeoletto y Santos, 2016). Además de esto, la extracción del agua para proyectos de energía eléctrica o agricultura también están generando importantes afectaciones. A nivel mundial, la agricultura utiliza aproximadamente un 76% del agua dulce para su producción sin ningún control, regulación o manejo de la actividad (UNESCO, 2014).

Uno de los efectos más importantes que se refleja con la extracción de agua en los ríos son las variaciones de las características hidráulicas del cuerpo de agua, principalmente en el caudal, que se define como el volumen de agua que circula por el cauce de un río en un periodo determinado de tiempo (Sabaj et al., 2014). Por ello, se considera que el régimen natural del caudal de un río, cumple una función determinante en el mantenimiento y desarrollo de las comunidades biológicas, debido a que regula los periodos de desarrollo, ciclos reproductivos, la disponibilidad de recursos alimenticios, las características físicas del hábitat como los refugios y el sustrato, entre otros (Poff et al., 1997; Sabaj et al., 2014).

Las variaciones del caudal como consecuencia de las actividades antropogénicas repercuten en las características ecológicas de los ríos, por lo cual se vuelve necesario implementar procesos de gestión y manejo de cuenca que permitan determinar cuánto caudal natural del río debe mantenerse de modo que no se alteren sustancialmente las funciones ecológicas y permitan el desarrollo de las comunidades biológicas (Deitch y Kondolf, 2012). Así, el correcto manejo de un caudal ambiental permite el equilibrio entre aspectos sociales y económicos al tener un mejor control en el uso del recurso, sin exceder los límites críticos del cuerpo de agua ni afectar las comunidades del ecosistema acuático. Por tanto, analizar cómo las actividades socioeconómicas pueden afectar las variaciones de caudal en un río e intervenir en las comunidades del ecosistema acuático, permite generar estrategias de manejo.

1.1. Antecedentes

La sobreexplotación del recurso hídrico producto de las actividades agrícolas por un uso excesivo del agua para riego y los proyectos hidroeléctricos cuyos procesos generan efectos adversos en la calidad del ecosistema acuático, conllevan a la necesidad de implementar un manejo adecuado de este recurso (León et al., 2016). Para esto, es necesario el mantenimiento de los flujos de caudal ambiental con el fin de lograr el mantenimiento de las funciones ecológicas del ecosistema acuático (Grantham et al., 2010; Deitch y Kondolf, 2012). De acuerdo con Sabaj et al. (2014), estos caudales son fundamentales para el mantenimiento de la salud ecosistémica del río y para mantener los servicios ecosistémicos de los cuales la sociedad se beneficia (Izquierdo y Madroño, 2013).

En muchas regiones, el interés de trabajar con caudal ambiental se debe al aumento de proyectos de energía hidroeléctrica tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo (Soares et al., 2015). Estados Unidos y algunos países de Europa, Asia y Sudamérica han realizado estudios al respecto (Esselman y Opperman, 2009). Un estudio realizado por Richter & Thomas (2007) en Estados Unidos, ejemplifica de manera específica cómo afecta la modificación del caudal ambiental al ecosistema con la puesta en marcha de una represa hidroeléctrica, de tal manera que permite buscar soluciones alternativas de manejo para impedir que se den mayores impactos. Otro caso analizado en China permitió determinar las relaciones entre procesos hidrológicos y biológicos, y la variación en el régimen de caudal (Sun et al., 2015).

En el caso de Ecuador, el concepto de caudal ambiental se aplicó en el año 2007 y a partir de entonces se incluye para la regulación y mitigación de impactos generados por la generación hidroeléctrica (Arias, 2012). También, en Chile la utilización de metodologías para la determinación de caudales ambientales ha generado grandes aportes en proyectos de interés para la adecuada gestión del recurso hídrico de la zona, los cuales cuentan con el apoyo de importantes iniciativas mundiales que incluyen factores hidrológicos y las características de la biota presente en el ecosistema (Pouilly y Aguilera, 2012).

Además de esto, existen estudios de caudal ambiental enfocados en proyectos de origen agrícola, ya que estos generan una alta sobreexplotación en los ríos y quebradas a las cuales tienen acceso (Guevara-Mora et al., 2016; Xue et al., 2016). De acuerdo con Batchelor

et al. (2014), la intensificación de la producción agrícola en la India, sobre todo en lugares de escasez o con periodos altos de sequía, ha generado desbalances en los caudales ambientales, principalmente reducciones que afectan directamente los procesos ecológicos del río.

A nivel centroamericano, se han venido realizando esfuerzos en la estimación de caudales ambientales y los principales esfuerzos se realizan para poder aplicar medidas de manejo en ecosistemas que se ven afectados por el impacto de plantas hidroeléctricas que ha venido en aumento en esta región. En un estudio realizado en el río Patuca en Honduras por Esselman y Opperman (2009) se resalta la problemática asociada a las represas hidroeléctricas, las cuales constituyen los principales modificadores del caudal de un río. Dentro de los principales hallazgos se resalta la importancia de los datos hidrológicos, sociales y biológicos para generar recomendaciones del caudal ambiental que debe tener el río de modo que no afecte el ecosistema y que permita el manejo sostenible del recurso.

En Costa Rica, se cuenta con varios estudios sobre caudal ambiental (Chaves, Picado, Krasovskaia y Gottschalk, 2010; Chaves-Ulloa, Umaña-Villalobos y Springer, 2014; Quesada-Alvarado, Uñaña, Springer y Picado, 2020). En el río Tempisque, por ejemplo, se determinaron los caudales necesarios para el desarrollo de especies como el cocodrilo y el guapote por medio de métodos hidrobiológicos (Calvo et al., 2008). Este estudio resalta la problemática que presentan muchos de los ríos de este país, en la falta de información o datos meteorológicos de precipitación y escorrentía, que son necesarios para los estudios de caudales ambientales (Calvo et al., 2008).

De acuerdo con Boix et al (2010), el establecimiento de poblaciones humanas genera efectos importantes en el río, principalmente por una regulación inadecuada en la extracción del agua que, sumado a eventos de sequía, genera impactos en procesos biogeoquímicos y en la biota acuática, la cual depende de ciertos niveles de agua para su desarrollo. La mayoría de los organismos tienen la capacidad de resistir y adaptarse a ciertas condiciones o eventos según el nivel de agua. Sin embargo, el efecto continuo del ser humano no permite que transcurra el tiempo suficiente para que las poblaciones desarrollen estrategias adaptativas.

Los macroinvertebrados se pueden ver perjudicados por alteraciones en los flujos de agua. En un estudio realizado en el río Fossil Creek en Arizona, se evaluaron los cambios en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en dos sitios de muestreo: aguas arriba y

otro abajo de una represa hidroeléctrica; la represa realiza desviaciones de agua a otras represas hidroeléctricas cercanas causando una reducción del flujo base del río en alrededor de un 95%. Se encontró que la comunidad de macroinvertebrados mostró mayor abundancia, riqueza y diversidad en el punto anterior a la reducción del caudal. Además, se determinó que las desviaciones de agua conllevan a alteraciones en la comunidad como consecuencia de la interrupción del flujo libre y natural del sistema acuático (Muehlbauer et al., 2009).

Los cambios en la vegetación de ribera producto de esas variaciones de caudal afectan las comunidades de macroinvertebrados y generan cambios en la alimentación de estos organismos. En épocas de disminución de caudal, los macroinvertebrados filtradores son los más afectados producto de las variaciones en los niveles de agua (Boix et al, 2010). También, la disminución de caudal influye en la disponibilidad de hábitats o sustratos del río y, en consecuencia, propicia cambios en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados que habitan estos ambientes (Walteros y Castaño, 2020).

El tipo de sustrato es importante en el hábitat de un río y permite el establecimiento de diversas especies. La escala de Wentworth, por ejemplo, permite conocer el tipo de sustrato y ha sido utilizado en diversos estudios para caracterizar los sustratos rocosos en diferentes cuerpos de agua (Elosegi y Díez, 2009; Carrera, 2015). En Chile, se utilizó para conocer el tipo de lecho presente en el fondo oceánico como parte de un estudio complejo en la costa y su relación con la fauna bentónica (Rodrigo, 2006). También, se ha utilizado para la caracterización de sustrato en ríos de Chile, como componente de un estudio del estado ecológico y capacidad de autodepuración del río (Domínguez, 2009). En Colombia, se ha utilizado para la evaluación del estado ecológico de la especie *Brycon henni* en el río Nare y Guatapé, donde el conocimiento del tipo de sustrato es sumamente importante (Mancera-Rodríguez, 2017).

Por su parte, algunos índices como el número de Froude, se consideran un indicador de las características hidráulicas del río, así como de los microhábitats que utilizan los macroinvertebrados bentónicos (Guevara-Mora et al., 2016). En Chile se ha utilizado para categorizar el estado de flujo en un río con alta degradación producto de la erosión de la cuenca y acumulación de sedimentos (Escobar, 2019). También, en Perú, se ha utilizado para conocer el cambio en el flujo de los ríos producto de obras ingenieriles como construcción y

demoliciones (Torres, 2019). La determinación de estos índices al estudiar ecosistemas acuáticos brinda información importante sobre el estado actual del río.

1.2. Justificación

Gran parte de los estudios relacionados con caudales y su adecuada implementación para la gestión y manejo de los recursos hídricos, giran en torno a la evaluación del impacto ecológico que generan las represas hidroeléctricas (Anderson, 2013). Sin embargo, otras actividades son fuente potencial de afectación a los ecosistemas acuáticos, como el crecimiento agrícola y la expansión poblacional. A pesar de que nuestro país es privilegiado al contar con una gran riqueza hídrica, no existe un adecuado uso del recurso hídrico, debido a que muchísimos ríos están siendo alterados por diversas presiones antropogénicas y no hay un verdadero control por parte de las entidades sobre las que recae esta responsabilidad. La alta producción agrícola que se da en algunas zonas del país ha llevado a la sobre extracción del agua, generando cambios en la dinámica natural de los flujos de agua en muchos ríos (Jiménez, 2010). Por ejemplo, la extracción desproporcionada del agua genera afectación en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, los cuales requieren de flujos de agua para realizar diferentes procesos en su ciclo de vida o bien necesitan determinado caudal para poder desarrollarse en diversos hábitats del río (Guevara, 2015).

El beneficio de mantener el caudal natural de un cauce es tanto ambiental como socioeconómico. Ecológicamente, el caudal natural permite características óptimas para el buen funcionamiento de los procesos biológicos y de las comunidades que se desarrollan en ese ecosistema. En el aspecto social y económico, mantener un caudal mínimo u óptimo permite un mejor control en el uso del recurso hídrico, sin exceder los límites críticos del cuerpo de agua. Por lo tanto, su adecuado mantenimiento es fundamental para la gestión sostenible del recurso y uso socioambiental correcto. Así mismo, permite hacerle frente a la problemática generalizada de pérdida de diversidad y generar un equilibrio de los servicios ecosistémicos que brinda (Pinilla-Agudelo, 2014).

Son múltiples los servicios ecosistémicos que proveen los ecosistemas acuáticos fluviales, entre los que se pueden citar: el acceso al agua para consumo, la generación de recursos alimenticios, la diversidad de organismos, oportunidades de recreación, entre

muchos otros beneficios; además, tienen un valor cultural intrínseco. La protección de los ecosistemas acuáticos genera beneficios a largo plazo, y permite establecer diferentes condiciones en el sistema, de modo que se identifiquen aquellas que generan un balance con las necesidades económicas o sociales (Dyson y Bergkamp, 2003).

Vamos a entender como actividades socioeconómicas, aquellas actividades que afectan de manera directa o indirecta los usos de suelo dentro de la microcuenca. Que se encuentran categorizadas dentro de actividad agrícola y ganadera, actividad urbana y actividad industrial. Actividades que generan ingresos económicos y beneficios sociales al país, pero que por un manejo inadecuado generan afectaciones en el ambiente y en los ríos.

En Costa Rica, la expansión agrícola ha generado una importante problemática social y ambiental; por ejemplo, Cartago es una de las provincias con mayor desarrollo agrario, lo que genera fuertes impactos en cuencas hidrográficas y en ríos de interés nacional. El cantón de Jiménez, en particular, tiene un desarrollo económico basado principalmente en actividades agrícolas, específicamente del cultivo de café y caña de azúcar. Por ejemplo, el distrito de Juan Viñas posee un 65% de su territorio destinado a estos cultivos. Debido a esto, la presencia de los ingenios Juan Viñas y Atirro S.A, así como el Beneficio Juan Viñas, y otros procesadores pequeños de café a nivel familiar, generan importantes procesos de degradación en los ríos de la zona (PREVDA, s.f.).

La mayoría de los ríos en el cantón de Jiménez mantienen cierta cantidad de agua durante el año, sin embargo, en algunos no ocurre esto debido a la intervención humana sobre los cauces, causando importantes reducciones del caudal, como en el caso del río Maravilla (PREVDA, s.f.). Este río pertenece a la microcuenca Maravilla-Chiz, en donde las actividades con mayor presencia son la agricultura y la ganadería, que abarcan casi un 70% del área, principalmente por cultivos de caña de azúcar, café y hortalizas. Por tanto, estas actividades, junto con importantes asentamientos humanos causan una fuerte presión sobre esta microcuenca (Jiménez, 2010).

Además, la contaminación con agroquímicos y las descargas de aguas residuales junto con las de tipo agrícola provenientes del ingenio de caña y el beneficiado de café, así como las extracciones de agua del río para el riego de cultivos como hortalizas y para el uso de agua potable, están causando una degradación ambiental importante en la zona (Jiménez, 2010; Alvarado et al., 2015; Alfaro, 2019; Fonseca-Sánchez et al, 2019). En la cuenca, las

áreas agrícolas de cultivos de hortalizas y verduras presentan un elevado potencial de generar cargas contaminantes difusas en la zona, mientras que las áreas de cultivo de café, caña de azúcar y zonas urbanas presentan un moderado potencial de generar fuentes difusas de contaminación. Además, el desfogue de aguas residuales se considera una fuente puntual de contaminación con un potencial elevado en esta cuenca (Fonseca-Sánchez et al., 2019).

Particularmente, al latifundio de la Hacienda Juan Viñas, se le ha atribuido muchos de los problemas de contaminación de los ríos de la zona (como el río Maravilla), debido al exceso de fertilizantes, sobreuso de herbicidas y mal manejo de los suelos. También, en la zona no se cumple con las áreas de protección ribereñas lo que hace que estos cuerpos de agua se vean más amenazados y perjudicados por estas actividades (Alvarado et al., 2019). Las descargas constantes de aguas residuales en el río y la afectación por agricultura disminuyen la capacidad del río para recuperarse de estos efectos, haciendo que la afectación por amenaza de contaminación sea constante (Alfaro, 2019).

En relación a esto, los estudios de calidad de agua son necesarios para conocer el estado del río mediante características fisicoquímicas que tiene el agua en un momento determinado (Toro et al., 2002). Además, el uso de indicadores biológicos como los macroinvertebrados bentónicos permiten conocer cuál es el estado del río desde un periodo largo de tiempo, complementando así los índices fisicoquímicos, haciendo que ambos índices sean importantes para caracterizar la calidad del agua, y por tanto su implementación en éste estudio (Toro et al., 2002; Yépez et al., 2017).

Existen algunos esfuerzos en la intervención de las problemáticas mencionadas, como por ejemplo la labor de la Comisión de Manejo y Ordenamiento de la Cuenca Alta del Río Reventazón (COMCURE), la cual implementa acciones para el mejoramiento integral de los recursos naturales de esa parte de la cuenca, y pasos iniciales para procesos de Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) en la zona. No obstante, es necesario que se realicen más acciones de conservación y manejo de los recursos, que permitan crear espacios de trabajo a nivel de microcuenca de manera coordinada entre los distintos actores, con participación de las comunidades e instituciones locales (Izquierdo y Madroñero, 2013). Por lo tanto, es indispensable la vinculación de los principales actores sociales para mejorar la situación actual de la microcuenca por medio de acciones concretas.

A partir del presente estudio se pretende generar información para conocer cuál es el grado de afectación sobre el caudal y el medio acuático (comunidad biológica de macroinvertebrados bentónicos) causado por diversas actividades socioeconómicas que hacen uso del recurso acuático del río Maravilla. De esta manera se pueden generar herramientas y estrategias que ayuden a modificar las prácticas negativas que potencialmente podrían estar afectando a este cauce, mediante planes y programas dirigidos por entes como municipalidades o las propias industrias agrícolas que influyen en el río Maravilla.

1.3. Planteamiento del problema a investigar

Dado que el caudal de un río y la calidad física y química del agua son factores relevantes y determinantes para el desarrollo de las comunidades biológicas, es necesario analizar ¿cómo las actividades socioeconómicas afectan el régimen de caudal y por lo tanto a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos que habitan en el río Maravilla?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de las actividades socioeconómicas sobre la calidad del agua y el caudal del río Maravilla, Cartago, mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos para el desarrollo de estrategias de manejo de cuenca.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Relacionar la composición de macroinvertebrados bentónicos con las variables fisicoquímicas, hidráulicas y componentes físicos del hábitat en el río Maravilla, Cartago.
2. Determinar las actividades socioeconómicas con mayor influencia en las variaciones del caudal y parámetros fisicoquímicos en el río Maravilla, Cartago.

3. Proponer estrategias de manejo para la gestión del recurso hídrico en la microcuenca del río Maravilla, Cartago.

2. Marco Teórico

2.1. Caudales fluviales

Los ríos son ecosistemas caracterizados por tener aguas de corrientes rápidas o lentas que fluyen constantemente hacia zonas más bajas a través de un cauce, con características que propician gran diversidad de hábitats para el establecimiento de diversas comunidades de organismos (Toledo y Esteban, 2003). A lo largo del gradiente longitudinal del río, se distribuyen comunidades biológicas como los macroinvertebrados, con funciones ecosistémicas diferentes de acuerdo con la zona del río en la que se encuentren, por ejemplo, degradadores de materia orgánica alóctona en la parte alta y filtradores en la parte baja. Asimismo, las distintas zonas del río presentan características físicas e hidráulicas diferentes como la pendiente, el ancho, la profundidad, la velocidad y el caudal (Vannote et al., 1980).

En relación con lo anterior, el caudal es uno de los elementos hidráulicos más importantes de un río, definido por Sabaj et al. (2014), como el volumen de agua que presenta el río en un tramo específico por unidad de tiempo. Este parámetro influye directamente en las características estructurales y morfológicas del hábitat, en las comunidades de flora y fauna y en los diferentes procesos ecológicos que ocurren a lo largo del sistema hídrico; según Esselman y Opperman (2009) es una variable indispensable ya que controla directamente otras variables dentro del río, tanto físicas como biológicas.

El régimen de caudal natural de un río está definido por procesos y factores dentro de la cuenca como: tamaño y forma de la cuenca, características geológicas y climáticas, tipos y usos de suelo, vegetación; factores que conducen variaciones naturales del caudal y ecosistema acuático (Esper y Perucca, 2014). Por tanto, el régimen natural permite el establecimiento de distintas especies en diferentes hábitats, aumentando la diversidad de especies, así como condicionando diferentes patrones de ciclos de vida (Martínez y Villalejo, 2020).

La magnitud, frecuencia y duración del caudal en un río es altamente variable en la escala espacial y temporal debido principalmente a condiciones climáticas como las precipitaciones, tasas de evaporación, sequías, entre otros, que pueden generar cambios en los volúmenes de agua y en la velocidad en un tiempo determinado (Sabaj et al., 2014; Ashraf et al., 2016). Estos cambios en la velocidad condicionan los tipos de hábitats y sustratos en un tramo del río, donde los organismos deben presentar rasgos funcionales que les permiten adaptarse según la disponibilidad de recursos en condiciones hidráulicas distintas (Motta-Díaz y Vimos-Lojano, 2020).

2.2. Caudal ambiental

Se han realizado diversas actividades en muchos ríos del mundo con el fin de satisfacer las necesidades humanas. Las grandes represas, por ejemplo, tienen un gran impacto al alterar la distribución y sincronización natural del flujo o del caudal, estas afectaciones se dan tanto aguas arriba como aguas abajo de la represa, incluyendo también desvíos importantes de agua (Rodríguez et al., 2020). Pero no solo los embalses o represas tienen efectos negativos sobre el sistema hídrico, también las desviaciones de aguas superficiales y el bombeo de agua subterránea alteran el flujo natural de un cuerpo de agua, como lo señala Grantham et al. (2010), al indicar que el retiro de agua directo de un río puede llegar a disminuir el flujo local en más de un 90% originando efectos considerables aguas abajo.

Debido a todos esos procesos de degradación que están ocurriendo en los diferentes ríos del mundo, nace el concepto de Caudal Ambiental (CA), cuyo principal objetivo es determinar cuánto flujo del caudal de un río es necesario para mantener las funciones ecológicas en el ecosistema acuático (Deitch y Kondolf, 2012). El establecimiento de un CA permite regular las actividades socioeconómicas que están haciendo uso del recurso hídrico, con el fin de que no se sobrepasen los límites de las extracciones de caudal y se altere el funcionamiento y la composición de las comunidades biológicas (Toledo y Muñoz, 2018). De acuerdo con Izquierdo y Madroñero (2013), el CA permite identificar cuánta agua puede extraerse del río sin que se afecte el funcionamiento ecosistémico y la permanencia de algunas comunidades biológicas, por ejemplo, peces y macroinvertebrados.

De este modo, el CA implica tanto el aspecto biológico como social en cuanto al uso humano del recurso hídrico, y se utilizan diferentes metodologías que en su mayoría toman en cuenta parámetros hidrológicos: registros históricos de precipitación y caudal a lo largo de diferentes periodos de tiempo; hidráulicos: características de velocidad y profundidad; biológicos: relacionado a comunidades de macroinvertebrados, características del hábitat, entre otros; y aspectos socioeconómicos referentes a las actividades humanas que hacen uso del recurso (Sabaj et al., 2014).

Dentro del concepto de CA se encuentra el término caudal ecológico, el cual busca determinar que la cantidad de agua transportada por el cauce de un río permita una adecuada función y estructura del sistema, es decir, es un enfoque basado en la conservación y sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados para el buen estado ecológico de los ríos (Sánchez, 2019). Existen diversas metodologías para su determinación, sin embargo, muchas requieren información tanto del componente socioeconómico como del biológico, registros hidrológicos, geomorfológico e información hidráulica (Izquierdo y Madroño, 2013).

2.3. Caudal ecológico

Para la determinación del caudal ecológico es necesario conocer las variaciones naturales de flujo, así como las alteraciones a causa de perturbaciones producto de actividades humanas; el mantener un régimen de caudal ecológico permite que las comunidades y la funcionalidad del ecosistema se conserven a pesar del desarrollo de actividades antropogénicas (Izquierdo y Madroño, 2013).

Las comunidades biológicas en un ecosistema acuático presentan una alta sensibilidad a los cambios que pueden ocurrir en su hábitat y en las variaciones del régimen de caudal. Variaciones en las características hidráulicas como la velocidad o la profundidad afectan el comportamiento de las especies e inclusive pueden interrumpir procesos de reproducción y migración indispensables para el desarrollo de los organismos (Aguilera y Pouilly, 2012). Cuando se plantean caudales ecológicos se suelen calcular curvas de idoneidad o de preferencia del hábitat de los organismos, ya que estas permiten conocer las características óptimas que debe tener el hábitat (velocidad, profundidad, entre otros) para la

supervivencia y desarrollo de las especies. Por lo tanto, se contribuye a la protección de las condiciones necesarias para las comunidades acuáticas (Da Costa et al., 2015).

En el caso particular de los macroinvertebrados, las alteraciones en los patrones naturales de flujo por procesos de extracción y retorno de agua generan cambios constantes sobre los hábitats que estos organismos utilizan, afectando el establecimiento en determinados sitios, lo que repercute directamente en la abundancia. Las represas hidroeléctricas, por ejemplo, producen importantes variaciones en las comunidades de los macroinvertebrados como cambios en la distribución, gremios, diversidad y en las tallas de los individuos (Cortés-Guzmán y Ospina-Torres, 2014).

2.4. Características físicas e hidráulicas del hábitat, parámetros fisicoquímicos y calidad del agua

El caudal afecta las características físicas del hábitat, tipo de sustrato, vegetación ribereña, profundidad; componentes que determinan la calidad del ecosistema y por tanto la presencia de determinadas especies (Quesada, 2019). Particularmente el sustrato es de los aspectos más importantes para evaluar la diversidad de macroinvertebrados, por ser fuente de hábitats, desplazamiento y reproducción (Dávila-Recinos et al., 2019).

La escala de Wentworth se utiliza para la identificación de sustratos en un cuerpo de agua y clasifica el tipo de roca de acuerdo con su tamaño (Rodrigo, 2006; Carrera, 2015). Los tipos de sustrato de acuerdo con esta escala son: roca madre (bloques mayores a 1 m de diámetro), bloques (>250 mm diámetro), cantos (60-250 mm diámetro), guijarros (20-60 mm diámetro), grava (0.2-20 mm diámetro), arena (0.006-0.2 mm diámetro) y limo (<0.006 mm diámetro) (Elosegi y Díez, 2009; Montaña, 2018). La escala permite caracterizar el sustrato y relacionarlo también con la composición de organismos, quienes hacen uso del sustrato para su desarrollo (Elosegi y Díez, 2009).

Por su parte, el número de Froude (Fr) permite conocer el comportamiento del flujo de agua en el río, si el flujo es lento o rápido. Si el valor de $Fr < 1$ se considera que el flujo es subcrítico de aguas lentas de baja velocidad, si el valor de $Fr = 1$ se considera crítico, y si el valor de $Fr > 1$ se considera un flujo de agua supercrítico con velocidades muy altas (Torres, 2019). Su valor es muy importante porque permite analizar el efecto del flujo sobre los otros

componentes del ecosistema, como las variables fisicoquímicas y las comunidades biológicas (Escobar, 2019).

Por otra parte, el uso de suelo afecta las variables fisicoquímicas del agua como la temperatura, oxígeno disuelto, concentración de nutrientes, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), entre otros. La agricultura, por ejemplo, causa contaminación de las fuentes de agua, a través del transporte de sustancias químicas de fertilizantes o plaguicidas por procesos de escorrentía, cambiando la fisicoquímica del agua y afectando la calidad y las comunidades biológicas (Meza-S et al., 2012). Los asentamientos urbanos también son una fuente importante de contaminación, causando cambios en las concentraciones de nutrientes y materia orgánica en los ríos (Díaz, 2019).

Los análisis fisicoquímicos son necesarios para conocer el estado del río, para esto se cuenta con índices de calidad de agua como el índice Holandés utilizado para la evaluación de la contaminación orgánica en un cuerpo de agua superficial (Robledo et al., 2014). Utiliza como parámetros el porcentaje de saturación de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno, y el nitrógeno amoniacal, parámetros que permiten establecer la calidad del agua al momento de hacer la medición, es decir, brinda un valor temporal del estado del río al momento exacto de hacer la valoración (Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales, 2007).

Además, otro índice de importancia de calidad de agua es el índice BMWP, el cual usa la presencia de familias de macroinvertebrados de acuerdo con su grado de sensibilidad a la contaminación (Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales, 2007). Las comunidades biológicas (principalmente los macroinvertebrados) son indicadores de los cambios fisicoquímicos en los ríos, y brindan información de largos periodos de tiempo debido a su establecimiento en diferentes hábitats (Oscóz et al., 2006; Yépez et al., 2017).

2.5. Afectaciones de actividades socioeconómicas

Los ecosistemas acuáticos están siendo presionados por el ser humano que hace un uso excesivo de los recursos hídricos, causando un deterioro y una limitación en la disponibilidad y calidad del agua (Meza-S, 2012). No solo el ser humano depende del agua,

sino que también los ecosistemas y la biodiversidad necesitan del agua para cumplir sus funciones y lograr su supervivencia (UNESCO, 2014). Las actividades humanas relacionadas con el cambio de la cobertura y uso del suelo amenazan los ríos, al ocasionar alteraciones del hábitat físico y calidad del agua, afectando los patrones espacio temporales de las comunidades biológicas y sus recursos. Tales actividades se convierten en presiones antropogénicas que eventualmente pueden modificar el funcionamiento y desarrollo de organismos sí como alterar la composición de especies y diversidad (Rincón et al., 2017).

Aunque el agua dulce representa sólo un 2.6% del agua total disponible en el planeta, solo el 0.3 % se encuentra disponible en ecosistemas acuáticos superficiales, no obstante, tres cuartas partes son aprovechadas por la sociedad para realizar las diferentes actividades productivas. La agricultura, es la actividad que más utiliza el agua dulce tanto de fuentes superficiales como subterráneas, debido a que es un factor limitante para el desarrollo agrícola, y que se encuentra en conflictos con otros sectores que también demandan del recurso, como el abastecimiento humano, el sector industrial y el hidroeléctrico (León et al., 2016).

A pesar de la importancia que tiene el agua para el desarrollo humano, se han afectado los recursos hídricos mediante cambios en el uso del suelo, incendios forestales, construcciones, malas prácticas agrícolas, embalses, vertido de sustancias contaminantes y aguas residuales, que son mal planificados y generan grandes impactos en el recurso (Val et al., 2016). El desarrollo económico y social actual no solo pone en riesgo los beneficios que la sociedad obtiene del recurso hídrico, también todo el componente natural y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y comunidades bióticas están siendo altamente amenazados y disminuidos (Izquierdo y Madroño, 2013). El desarrollo socioeconómico sustentable no se ha logrado enteramente, por el contrario, el ser humano cada vez está degradando sus propias fuentes de agua, sin existir un equilibrio entre el desarrollo socioeconómico y el ecosistema acuático (Xue et al., 2016).

Los altos niveles de extracción de agua han ocasionado que el agua no alcance la parte baja de las cuencas, causando condiciones de sequía en muchos ríos del mundo (Xue et al., 2016). Las disminuciones de las capas freáticas y los altos niveles de extracción de agua de los ríos están generando conflictos entre las actividades humanas y el bienestar del ecosistema acuático que muchas veces es ignorado o desatendido (Xue et al., 2016).

Los principales conflictos entre las comunidades y proyectos en Costa Rica surgen a partir de la generación de permisos para proyectos de interés económico por parte de instituciones públicas, quienes dan la viabilidad ambiental sin estudios profundos (Arias, 2017). Entre algunos de los conflictos que han sido publicados en nuestro país se encuentra el ocurrido en Monteverde en 2005 donde una empresa privada y una sociedad pretendía extraer el agua de dos quebradas de la zona para su uso directo, sin embargo, no se contaba con estudios de impacto ambiental y los ríos contaban con especies en peligro de extinción, los vecinos interpusieron denuncias y generó protestas en la zona para frenar el desarrollo de la actividad (Villalobos, 2018).

Por otro lado, se encuentra el conflicto generado a raíz del proyecto privado para energía hidroeléctrica en San Rafael de Pérez Zeledón, donde al ser proyecto de interés nacional, que se realiza con modalidad al filo de agua, se deja al río con únicamente un 10% de su caudal, situación que afecta especies de peces en peligro de extinción y plantas acuáticas que requieren de un determinado caudal para su crecimiento. Muchos de estos proyectos son aceptados por las instituciones competentes debido a su importancia como generador de energía limpia para el país, obligando a que las comunidades donde están ejecutándose, tengan que generar movimientos y pronunciarse para ser escuchados. Sin embargo, el poder político va a estar por encima de los derechos de los ciudadanos, causando una molestia y una desmotivación por parte de la sociedad (Arias, 2017).

Hay muchos otros ejemplos de conflictos por el recurso hídrico en el país, la mayoría por desabastecimiento o procesos de contaminación de fuentes de agua potable. Sin embargo, el tema de extracción de agua sin una regulación adecuada es importante, y es necesario implementar los estudios técnicos de caudal ambiental (Villalobos, 2018).

Debido a lo anterior, es indispensable el trabajo conjunto con las comunidades, empresas e instituciones para comenzar procesos de gestión integrada del recurso hídrico. En este sentido, la percepción del ser humano sobre el tema del agua es necesaria en los estudios de cuencas hidrográficas debido a la importancia que tiene este recurso para la sobrevivencia de las personas y para el desarrollo de sus actividades económicas (Vásquez, 2018). Dentro de los hallazgos de algunos estudios de percepción social, se resalta la importancia de la capacitación y divulgación de información sobre los efectos de las actividades económicas para los actores propietarios de terrenos con alguna modalidad productiva dentro de las

cuenas hidrográficas (Fernández-Ronquillo et al., 2016; Vásquez, 2018; Espinoza, 2019). Es a través del conocimiento y la concientización que se puede dar un involucramiento participativo de estos actores en iniciativas de protección y conservación para lograr un cambio en el uso sostenible del recurso (Espinoza, 2019).

La aplicación de encuestas para conocer el grado de conocimiento que pueden tener las personas hacia la contaminación en un río ayuda a la toma de decisiones respecto al actuar dentro de la cuenca. Por ejemplo, Fernández-Ronquillo et al. (2016) encontraron en su estudio la necesidad de las poblaciones por implementar sistemas de manejo adecuado de aguas residuales con el fin de disminuir los procesos de contaminación que presenta el río Milagro. Además, las personas fueron conscientes de la afectación de estos contaminantes a la vida acuática y su continuidad a través de toda la cuenca; lo cual indica que en muchas ocasiones las poblaciones humanas conocen las problemáticas y tienen un interés por disminuir los efectos de sus actividades en los ríos.

En Costa Rica el interés por el tema del agua no es ajeno, y la afectación del recurso ha venido en aumento en los últimos años, donde las actividades agrícolas e industrias de exportación han venido demandando cada vez más el recurso para riego, así como contaminando las fuentes de agua y ríos con agroquímicos (Villalobos, 2018). Por ejemplo, los problemas asociados a la contaminación de los ríos son evidentes para las poblaciones del Valle Central de Costa Rica a las que se les realizó un estudio de percepción social. Las personas indicaron que los malos olores y la presencia de basura en un río genera malestar y preocupación y la mejor solución para proteger el río es generar campañas de concientización y reforestación (Ureña y Barrientos, 2017). Si bien no se realiza un uso directo del agua para alguna actividad económica, sí se utiliza como reservorio de residuos sólidos o de aguas residuales, por lo que las comunidades son conscientes que deben generar estrategias de restauración.

Ante tal situación, la Gestión Integrada del Recurso Hídrico de la Asociación Mundial para el Agua (Global Water Partnership) promueve el manejo y el aprovechamiento del agua, la tierra y demás recursos naturales, para buscar integralmente el bienestar social y económico, sin que se perjudiquen los ecosistemas. Es por esto que la gestión del agua superficial debe abordar aspectos cualitativos, cuantitativos y ecológicos, tomando en cuenta también los requerimientos, necesidades y usos del recurso por parte de las comunidades e

industrias, más aún en temas de disminución de la cantidad de agua de los ríos (Izquierdo y Madroño, 2013).

3. Marco Metodológico

3.1. Área de estudio

Este estudio formó parte del proyecto “Procesos de Gestión Integrada del Recurso Hídrico en las subcuencas Chiz-Maravilla y Quebrada Honda, Cartago, Costa Rica” del Laboratorio de Hidrología Ambiental, Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional (Código SIA 0015-17). Se realizó en el río Maravilla localizado en la cuenca del río Reventazón-Parismina, específicamente dentro de la microcuenca Maravilla-Chiz en Cartago. Esta microcuenca presenta un área de drenaje de aproximadamente 81.29 km², precipitación promedio de 2458 mm anuales y caudal promedio diario de 3.3 m³/s (PREVDA, 2008).

El río Maravilla presenta una longitud total de 12.66 km y tiene interacción directa con los pueblos de Santa Teresa, Capellades, Bajo Abarca, San Martín, Buenos Aires y Juan Viñas, desembocando en el río Reventazón. Es considerado un río permanente, sin embargo, en periodos de poca precipitación puede reducir considerablemente su caudal. Además, su microcuenca manifiesta problemas asociados a cambios en el uso del suelo debido a las actividades socioeconómicas, principalmente la agricultura (Jiménez, 2010) (Figura 1).

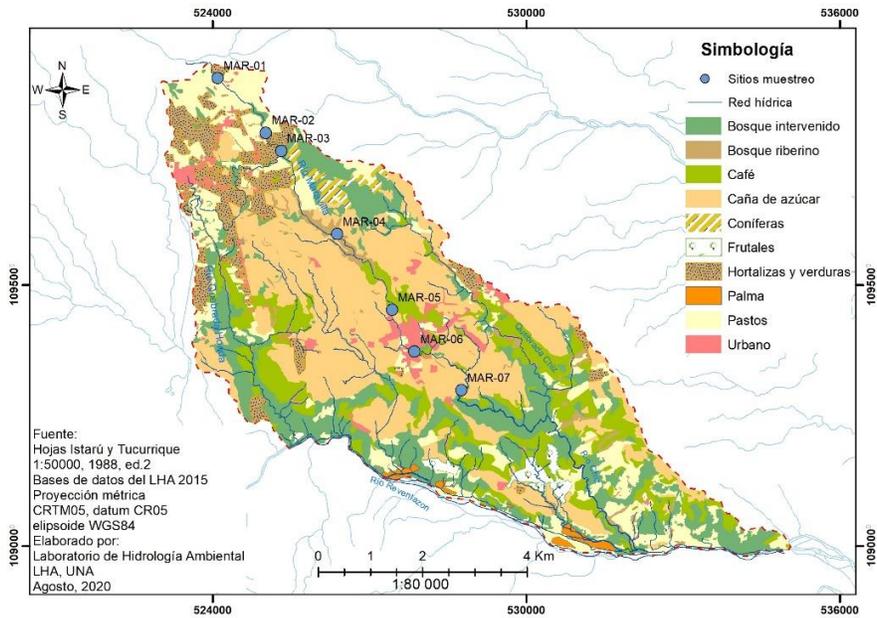


Figura 1. Usos de suelo en la microcuenca del río Maravilla, Cartago.

Se establecieron siete sitios de muestreo distribuidos en la zona alta y media del río Maravilla (Figura 2), identificados como: MAR01, MAR02, MAR03, MAR04, MAR05, MAR06 y MAR07 (Cuadro 1 y Anexo 18). Se tomaron además muestras de parámetros fisicoquímicos, hidráulicos, características de hábitat y macroinvertebrados acuáticos.

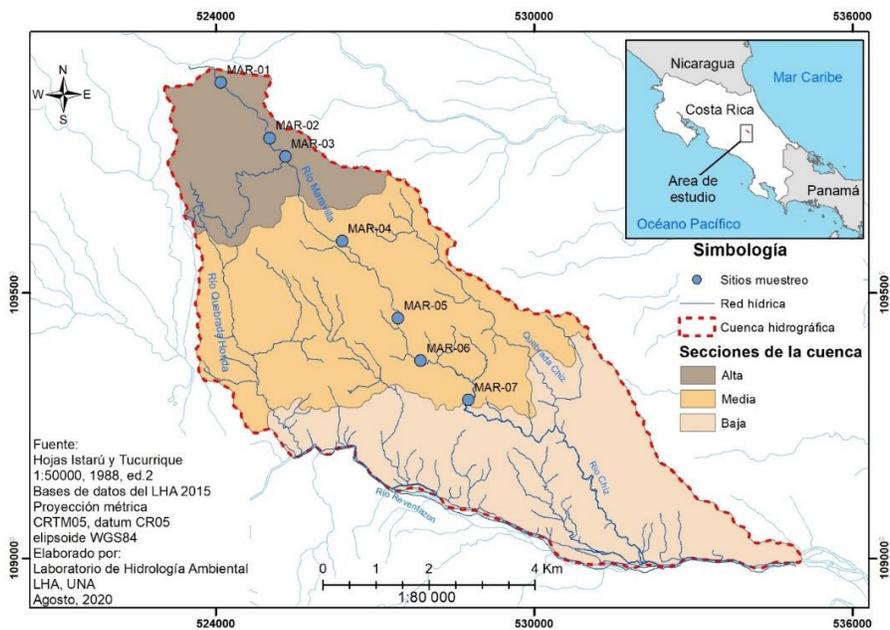


Figura 2. Sitios de muestreo en la microcuenca del río Maravilla, Cartago.

Cuadro 1. Descripción de los sitios de estudio

Sitio	Latitud / Longitud	Zona de la microcuena	Descripción
MAR01	9°56'18.97"/ 83°46'48.90"	Alta	Comunidades de Santa Teresa. En canal. Sitio sin árboles rodeado de pequeños arbustos y pastos. Zona agrícola.
MAR02	9°55'44.96"/ 83°46'18.69"	Alta	Comunidades de Santa Teresa. Cerca de puente. Sitio rodeado de vegetación ribereña de arbustos y pastizales. Zona agrícola.
MAR03	9°55'33.73"/ 83°46'8.99"	Alta	Se encuentra después de una toma de la JASEC. Con características muy naturales, con vegetación boscosa, arbustos y plantas variadas, y rodeado de un parche de bosque. Zona boscosa.
MAR04	9°54'41.69"/ 83°45'33.91"	Media	Se encuentra aguas arriba de una toma de la Hacienda Juan Viñas. Con características muy naturales, con vegetación de ribera de arbustos y pastizales, y rodeado de un parche de bosque. Zona boscosa.
MAR05	9°53'54.50"/ 83°44'59.33"	Media	Sitio cercano a un puente sobre calle principal. Rodeado de pastizales, algunos árboles y arbustos y plantaciones cercanas de café. Zona agrícola.

MAR06	9°53'28.43"/ 83°44'45.39"	Media	Sitio en un canal aguas abajo al Ingenio de Caña de la Hacienda Juan Viñas. Con alto impacto de asentamientos urbanos e influencia de industria de caña de azúcar. Rodeado de algunos pastos. Zona urbana.
MAR07	9°52'58.55"/ 83°44'15.57"	Media	Sitio rodeado de cultivos de café, pastizales y algunos árboles, e influencia de asentamientos humanos, e industria. Zona agrícola.

Fuente: Elaboración propia

Debido a las condiciones de degradación que presenta la microcuenca, no fue posible localizar un sitio de control adecuado para este estudio. El único sitio con características menos alteradas forma parte de otra microcuenca por lo que no fue posible utilizarlo para este estudio. Se realizaron un total de cuatro campañas de muestreo: la primera campaña se realizó el 16 y 24 de mayo del 2018 considerado época de transición seca-lluviosa, la segunda campaña se realizó el 23 y 29 de agosto 2018 considerado época lluviosa, la tercera campaña se realizó el 23 y 25 de abril 2019 considerado época seca, y la cuarta campaña de muestreo se realizó el 13 y 18 de junio considerado época de transición seca-lluviosa.

3.2. Muestreo parámetros hidráulicos y caracterización del hábitat

3.2.1. Caudal

Se realizaron mediciones de caudal en cada sitio de muestreo de acuerdo con la metodología de Elozegi et al., (2009). Para esto se utilizó una cinta métrica de 150 m para hacer la medición del ancho total del río. Para la profundidad y velocidad del agua se usó un correntómetro modelo OTT MF PRO, el cual se colocó a 0.6 de la profundidad de la superficie del río a intervalos regulares de 20 cm, anotando la distancia acumulada de la medición. Se utilizó la siguiente fórmula para determinar el caudal:

$$Q = v * A$$

Donde v es la velocidad (m/s) y A es el área (m², calculada como la profundidad (m) por el ancho (m)). La suma del caudal de cada sección da el caudal total en cada sitio de muestreo.

3.2.2. Caracterización del hábitat

En cada sitio de muestreo se seleccionaron tres micrositios diferentes para realizar las mediciones donde se tomaron datos de profundidad y velocidad con el correntómetro, en cada uno de los micrositios seleccionados. Además, se determinaron los tipos de sustrato presentes en los tramos del río según la escala de Wentworth (Wentworth, 1922). Para esto se colocó una cuadrícula de PVC de 75 cm² en los tres micrositios, cada cuadrícula subdividida en subcuadrículas de 25 cm en las cuales se estimó mediante percepción visual el porcentaje de cada tipo de sustrato (Anexo 1). La medición fue realizada siempre por el mismo observador y siguiendo el mismo orden de contabilización, a fin de conservar los criterios de estimación en todos los micrositios.

Además, se calculó el número de Froude (Fr) en los mismos tres micrositios para cada sitio de muestreo. Este índice representa la calidad del flujo presente en una zona y para su determinación se utilizó la siguiente fórmula:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g * D}}$$

Donde v es la velocidad (m/s), g es la constante de aceleración de la gravedad (9.8 m/s²) y D_h es la profundidad hidráulica. $Fr < 1$ se considera subcrítico, $Fr = 1$ se considera crítico y $Fr > 1$ se considera supercrítico.

3.3. Muestreo comunidades de macroinvertebrados

Con respecto al muestreo de macroinvertebrados se utilizó la metodología establecida por el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, en el Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S publicado en el Diario Oficial La

Gaceta en el año 2007 para la obtención del índice BMWP-CR (“Biological Monitoring Working Party” modificado para Costa Rica). Para esto, se utilizó una red tipo D con malla de 500 μm y con una apertura de 25 cm de diámetro, donde cada muestra se compuso de tres submuestras que se recolectaron en un tiempo de 5 minutos desplazando la red en los diferentes microhábitats en el sitio de muestreo. El material recolectado se depositó en bolsas plásticas con alcohol 70°, posteriormente se procesó en el Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional (LEUNA). Los macroinvertebrados se identificaron a nivel de familia y se consideraron como parámetros la presencia y abundancia de las familias de macroinvertebrados. Para la identificación se utilizó Springer, et al., (2010), Roldán, (1988) y Merritt & Cummins, (1996).

3.4. Muestreo parámetros fisicoquímicos

En las cuatro campañas de muestreo se obtuvieron parámetros fisicoquímicos *in situ* en cada sitio. Se utilizó el multiparámetro de campo Multi 2430 WTW para la determinación de oxígeno disuelto (OD) (mg/L) y el porcentaje de saturación de oxígeno (PSO). Con el multiparámetro Hanna HI9813-3 se determinó la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y el pH. Cada una de estas mediciones se realizó en los mismos tres micrositios mencionados anteriormente con el fin de tener la mayor cantidad de réplicas posibles. Por sitio de muestreo se tomaron muestras de agua con botellas de plástico de alta densidad previamente lavadas, las cuales se mantuvieron refrigeradas y se analizaron dentro de un periodo de máximo 24 horas posterior al muestreo. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Hidrología Ambiental (LHA) de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional y en el Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico (LAMRHI) de la Escuela de Química de la Universidad Nacional. Para los análisis de laboratorio se utilizó la metodología establecida en el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* de Eaton et al. (2012) para determinar la alcalinidad, la concentración de cationes (Na, K, Ca, Mg, y NH_4^+ , Li), aniones (F, Br, NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), así como los sólidos disueltos totales y sólidos totales. Para la determinación de la concentración de los iones se utilizó la técnica de cromatografía de intercambio iónico.

Se obtuvo el índice Holandés conforme la metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua establecida en el Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S (2007).

3.5. Actividades socioeconómicas

3.5.1. Mapeo de actores

Para conocer las principales actividades socioeconómicas y los actores con importancia dentro de la microcuenca del río Maravilla se utilizó como parte del Sistema de Análisis Social (SAS) (Chevalier y Buckles, 2011), el método CLIP (Colaboración/Conflicto, Legitimidad, Intereses, Poder) para un mapeo de los actores sociales (Anexos 14 y 15), con el fin de identificar a todas las organizaciones (públicas, privadas, no gubernamentales) que tienen influencia social y ambiental en la microcuenca a la cual pertenece el río Maravilla y por ende que juegan un papel importante a la hora de ejecutar programas o planes de manejo.

Se generó un perfil de estos actores, y fueron validados en un trabajo en conjunto con la Municipalidad de Jiménez, para asegurar la representatividad de cada ente identificado como clave para un proceso de mejoramiento socioambiental a futuro.

3.5.2. Primera reunión de contacto

Como parte del Proyecto “Procesos de Gestión Integrada del Recurso Hídrico en las subcuencas Chiz-Maravilla y Quebrada Honda, Cartago, Costa Rica”, bajo el cual se llevó a cabo el presente estudio, se realizó el taller “Diagnóstico ambiental, herramientas de protección y gestión participativa para la protección del recurso hídrico de las subcuencas Chiz-Maravilla y Quebrada Honda”, el día 08 de marzo del 2018 en la Municipalidad de Jiménez, impartido por las responsables del proyecto. Se asistió a este taller con el fin de conocer la zona de estudio y la situación actual de la misma, así como conocer a los actores sociales generados con el análisis social CLIP, sus opiniones y el papel que ellos desempeñan con el tema del recurso hídrico.

3.5.3. Análisis FODA

Se convocó a los actores claves a un taller para la aplicación de la matriz FODA con el fin de que tanto personas de las comunidades como de las instituciones pertinentes

podieran identificar las principales problemáticas de la microcuenca (IPN, 2002) y que se integraran las perspectivas de la comunidad sobre el estado socioambiental de la misma, al tiempo que se promueve el diálogo y el intercambio de saberes.

La matriz FODA permite definir y contextualizar una situación problemática en determinada área geográfica a partir de cuatro marcos de análisis: Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (IPN, 2002). Participaron representantes de instituciones públicas y entes privados, así como actores locales, entre ellos representantes del MinSa, MAG, SINAC, COMCURE, Municipalidad de Jiménez, Ingenio Juan Viñas y representantes de las comunidades. Los participantes dieron sus opiniones acerca de las principales problemáticas ambientales que existen en la microcuenca, para poder contextualizar y definir la situación actual presente en el área de interés.

3.5.4. Taller Final

Se realizó un taller final con los actores clave el día 02 de octubre del 2019 en las instalaciones de la Municipalidad de Jiménez. Se contó con diferentes representantes, entre ellos, MinSa, Dirección de Agua, Municipalidad de Jiménez, MINAE, SINAC, Hacienda Juan Viñas, JASEC, COMCURE, RECOPE.

El objetivo de la reunión fue la generación de propuestas y estrategias para el mejoramiento de la calidad y cantidad de agua del río Maravilla como herramientas de protección del recurso hídrico, con base en el conocimiento sobre la situación actual de la microcuenca y las principales problemáticas asociadas a su degradación. Se trabajó con dos ejes de acción: calidad del agua y cantidad de agua.

Se trabajó de manera conjunta en establecer para cada eje de trabajo los mecanismos hacia el logro de los objetivos de cada eje, los cuáles fueron: mejorar la calidad del agua del río Maravilla, y recuperar el caudal ecológico para el equilibrio entre los ecosistemas y el aprovechamiento humano. Se establecieron actividades concretas hacia el cumplimiento del objetivo, las acciones específicas para esto, sus responsables directos, y las posibles alianzas para lograr esa actividad.

3.5.5. Encuestas

Además, para conocer la percepción de la comunidad sobre el estado actual del río Maravilla, se realizaron encuestas en los meses de abril y mayo del 2019 en poblados de la

microcuenca (Anexo 12). Para la estimación de la muestra a encuestar (n) se tomaron los datos de la población generados por el Censo 2011 del INEC (6552 personas), y se determinó a través de la siguiente fórmula (Aguilar-Barojas, 2005):

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot (N-1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}$$

Dónde:

- N = Total de la población
- $Z_{\alpha} = 1.96$ al cuadrado (si la seguridad es del 95%)
- p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)
- q = 1 – p (en este caso 1-0.05 = 0.95)
- d = precisión (5%)

Dicha fórmula generó un valor de 72.19 encuestas, sin embargo, se aplicaron un total de 133 para mejorar la representatividad.

Las encuestas fueron estructuradas con preguntas de tipo cerrado y algunas de tipo abierto para determinar la percepción de la comunidad con respecto a los efectos de las actividades socioeconómicas sobre el río Maravilla. Las encuestas se validaron en una zona cercana al distrito de Juan Viñas con características socioeconómicas y ambientales similares. Para la aplicación de la encuesta se visitaron casas de habitación, así como personas que se encontraban en áreas comunes como parques, calles y aceras.

3.6. Análisis de los datos

El análisis de los datos se realizó mediante el , con ayuda del programa R Studio 3.6.1 y el paquete estadístico Vegan (Oksanen, 2011). El análisis de los datos se trabajó de dos maneras; primero se realizó un análisis contemplando los datos obtenidos en cada micrositio y posteriormente se hizo otro análisis con datos simplificados, es decir, por sitio de muestreo, tomando el promedio de los datos obtenidos a partir de los tres micrositios que integraban cada uno de los sitios. Se comparó los valores de los parámetros fisicoquímicos e hidráulicos con respecto a los sitios y campañas de muestreo por medio de la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis ($p < 0.05$) previa comprobación de normalidad con la prueba de Shapiro Wilks ($p < 0.05$).

Para el análisis con micrositios, en primer lugar, se calcularon parámetros biológicos de diversidad: riqueza, abundancia, índice de diversidad de Shannon-Wiener, índice de Simpson e índice de Pielou para las familias de macroinvertebrados. El índice de Simpson se realizó con la variante propuesta por Oksanen et al (2019), donde se realizó el inverso de la sumatoria de la abundancia proporcional de cada especie presente en la muestra. Para cada uno de los parámetros se realizó una prueba de ANOVA para determinar si había diferencias entre los parámetros respecto a las fechas de muestreo, a los sitios de muestreo y la combinación de ambos (muestreo: sitio). Posteriormente, se probó la normalidad de los residuos del ANOVA con la prueba de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$), para saber si se consideraban o no estos factores en los modelos de regresión lineal mediante la transformación de los datos. Seguidamente, se corrieron modelos de regresión lineal múltiple para explicar cada parámetro biológico de acuerdo con las variables ambientales, con el fin de ver cómo cada parámetro biológico está modificado o influenciado por los parámetros ambientales. Para indicar cuáles de las variables eran las más significativas en el modelo, se utilizó el criterio de Akaike (AIC).

Para el análisis de los datos obtenidos por sitios, se prepararon los datos mediante la transformación de Hellinger para los datos biológicos, mientras que para los datos ambientales se aplicó la estandarización, esto con el fin de generar parsimonia entre los datos registrados. Se aplicó una prueba de análisis de varianza multivariado permutacional usando matrices de distancia (PERMANOVA; $p < 0.05$) a los datos biológicos considerando el factor fecha de muestreo más el factor sitio de muestreo, para explorar la composición de los macroinvertebrados respecto al tiempo y al espacio, mediante la comparación de medias entre grupos realizada por este tipo de análisis.

Se realizó un análisis de ordenación canónico para examinar los gradientes directos y las relaciones entre las matrices de datos biológicos y ambientales. Primeramente, se realizó un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) para determinar el largo de los gradientes y decidir el tipo de análisis canónico a utilizar. De esta manera se aplicó un análisis de redundancia (RDA) para establecer las relaciones entre los datos biológicos y ambientales a través de la exploración de dos matrices con múltiples variables, lo que permitió inquirir cómo los parámetros ambientales generaron cambios sobre los macroinvertebrados. El RDA generado se depuró mediante el análisis ORDISTEP para determinar las variables

ambientales con mayor influencia en la matriz biológica, por lo cual se volvió a correr el RDA únicamente con las variables de mayor peso. Posteriormente, se probó la significancia del modelo seleccionado mediante la función de R cuadrado ajustado.

Además, para mejorar los datos biológicos en los resultados del RDA, se utilizó el análisis SIMPER para determinar las familias de macroinvertebrados que tenían mayor importancia en las diferencias observadas a partir del análisis de ADONIS. Este análisis se ejecutó entre fechas de muestreo y entre sitios de muestreo, permitiendo depurar las relaciones con los parámetros ambientales. Finalmente, una vez determinadas las familias de macroinvertebrados más representativas para el modelo, se corrió nuevamente el RDA.

Para el análisis social, las encuestas se analizaron mediante análisis semi cualitativos descriptivos por medio de estadística descriptiva, utilizando datos de porcentajes y frecuencias de las respuestas obtenidas.

4. Resultados

4.1. Parámetros hidráulicos y caracterización del hábitat

4.1.1. Caudal

No se encontraron diferencias significativas en el caudal entre los diferentes sitios de estudio (Kruskal-Wallis=12.03, g. l=6, p=0.0613) ni entre las campañas de muestreo (Kruskal-Wallis=6.235, g. l=3, p=0.1007). El sitio MAR02 fue el que presentó los caudales más altos durante la segunda campaña de muestreo que corresponde a la época lluviosa del 2018, siendo de 10686 L/s. Por su parte, los menores caudales medidos durante todo el estudio corresponden a los sitios MAR05 con 95.3 L/s en el tercer muestreo, MAR06 con 43 L/s en el segundo muestreo y MAR07 con 12 L/s en la tercera campaña de muestreo en época seca (Anexo 2). A excepción del sitio MAR02, el resto de los sitios no sobrepasaron los 2000 L/s durante todo el periodo de estudio (Figura 3). Cabe resaltar que en las dos últimas campañas de muestreo el sitio MAR06 se encontró completamente sin agua fluyendo (sólo se veían pequeños charcos con agua de lluvia estancada), por tanto, no fue posible realizar la medición de caudal (Figura 4).

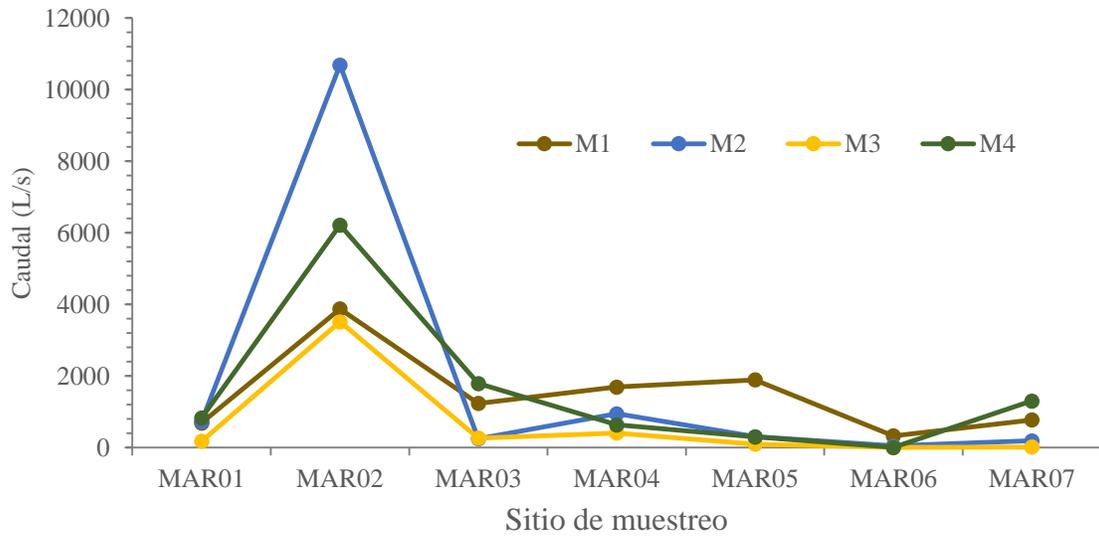


Figura 3. Caudal por campaña y sitio de muestreo (M1=Muestreo 1, M2=Muestreo 2, M3=Muestreo 3, M4=Muestreo 4), río Maravilla, Cartago.



Figura 4. Sitio MAR06, campaña 3 (A y B) y 4 (C y D) de muestreo.

4.1.2. Caracterización del hábitat

4.1.2.1. Sustrato

El sustrato fue altamente variable en cada campaña de muestreo y a lo largo de los diferentes sitios evaluados (Anexo 4). Para la parte alta del río los sitios MAR01 y MAR02 tuvieron predominancia de bloques y cantos, para el sitio MAR03, grava y guijarro, en MAR04 bloque y guijarro, MAR05 bloque y canto, y para los sitios en la parte media MAR06 y MAR07 predomina el sustrato de bloque y limo (Figura 5).

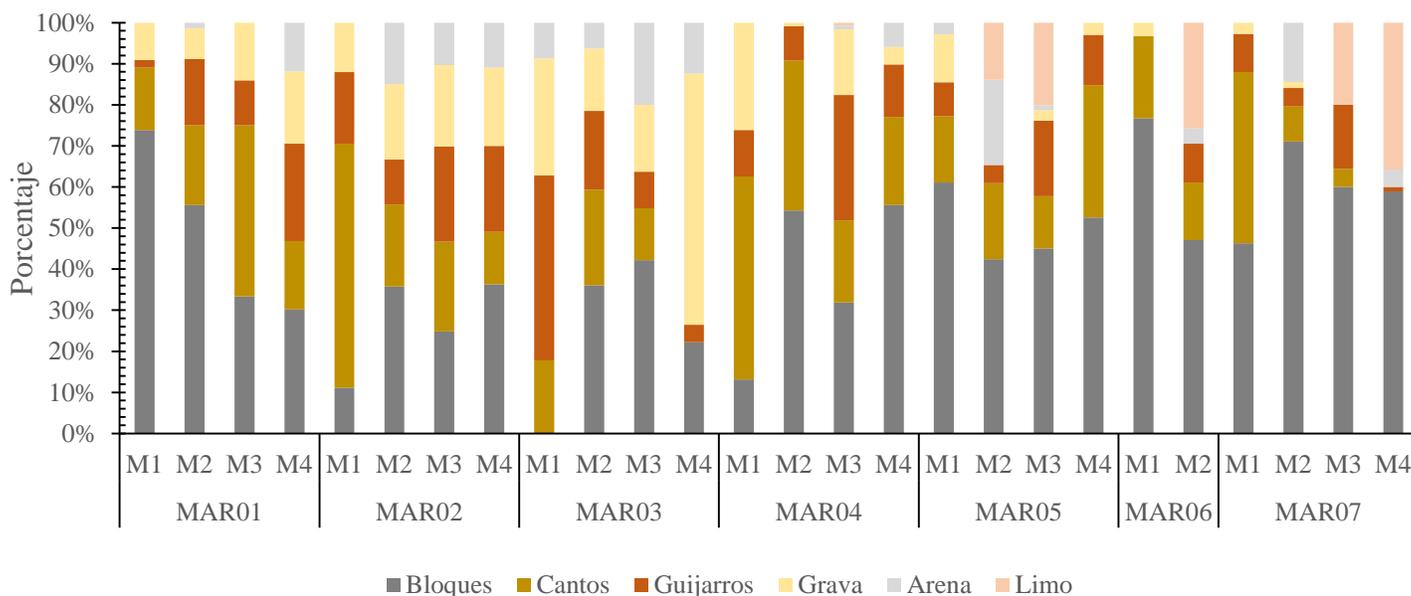


Figura 5. Tipo de sustrato por sitio y campaña de muestreo en el río Maravilla, Cartago.

4.1.2.2. Velocidad

No se encontraron diferencias significativas entre los sitios de estudio ni entre las campañas de muestreo (Kruskal-Wallis=7.1181, g. l=6, p=0.3101; Kruskal-Wallis=5.101, g. l=3, p=0.1646). De manera general, las mayores velocidades de corriente registradas corresponden a la primera campaña de muestreo (época transición seca-lluviosa). La velocidad máxima obtenida fue 0.90 m/s en el sitio MAR01 en la campaña uno y la más baja que se obtuvo fue de 0.02 m/s en el sitio MAR06 en la campaña dos (época lluviosa) (Anexo 3). Con respecto a la comparación entre sitios, el sitio MAR01 fue el que presentó las

velocidades más homogéneas durante las campañas de muestreo. Se observó que existe una disminución generalizada de las velocidades de la corriente de agua conforme se avanza en los sitios ubicados en la parte media de la microcuenca, a partir del MAR05 hay disminuciones importantes de las velocidades (Figura 6).

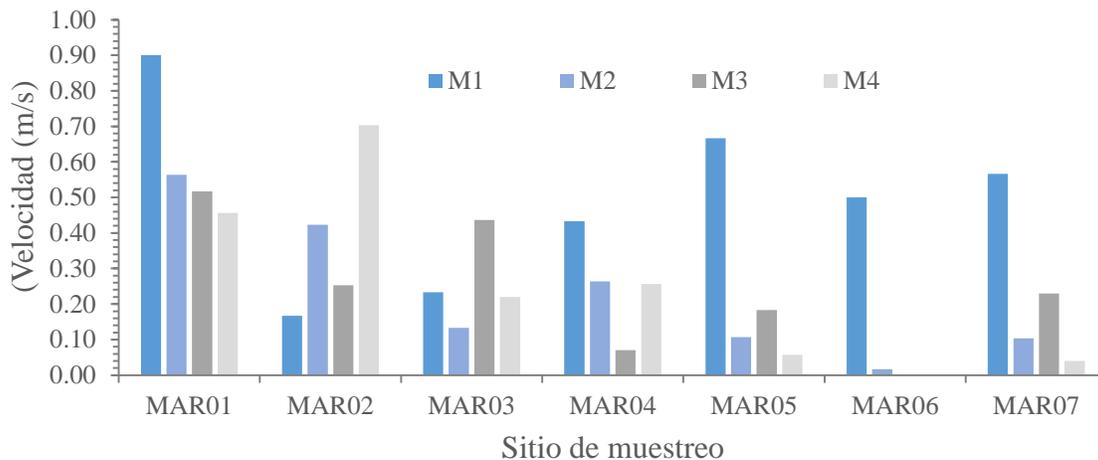


Figura 6. Valores promedio de velocidad por campaña y sitio de muestreo (M1: Muestreo 1, M2: Muestreo 2, M3: Muestreo: 3, M4: Muestreo 4), río Maravilla, Cartago.

4.1.2.3. Profundidad

No hubo diferencias significativas en la profundidad a lo largo de los sitios de estudio ni en las campañas de muestreo (Kruskal-Wallis=11.052, g. l=6, p=0.0868; Kruskal-Wallis=6.2623, g. l=3, p=0.0995). Las profundidades de la columna de agua variaron a lo largo de las campañas de muestreo, donde las más altas se encontraron principalmente durante las campañas uno y dos, época de transición seca-lluviosa y época lluviosa, respectivamente. Mientras que las profundidades más bajas se obtuvieron generalmente en la campaña tres (época seca) y cuatro (época de transición seca-lluviosa). La profundidad promedio más alta registrada fue de 0.45 m para el sitio MAR05 en la campaña uno, y la más baja fue de 0.11 m para el sitio MAR04 en la campaña tres. A lo largo de los sitios de muestreo se visualiza que la profundidad promedio tiende a bajar en los puntos intermedios, como lo son MAR03 y MAR04, pero ésta vuelve a incrementarse en los sitios aguas abajo

de este estudio. El sitio MAR06 no presentó agua durante las dos últimas campañas de muestreo por lo que no fue posible medir la profundidad (Figura 7).

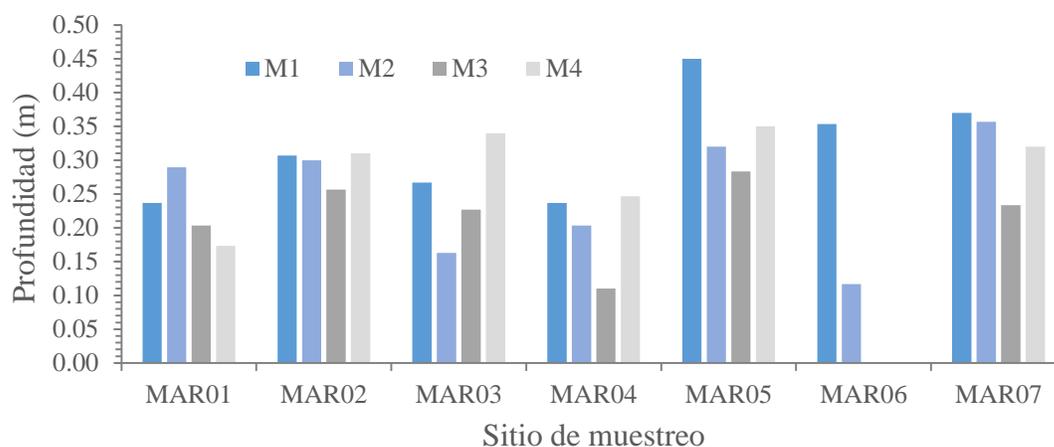


Figura 7. Valores promedio de profundidad por campaña y sitio de muestreo (M: Muestreo 1, M2: Muestreo 2, M3: Muestreo: 3, M4: Muestreo 4), río Maravilla, Cartago.

4.1.2.4. Número de Froude

No hubo diferencias significativas en el número de Froude en los sitios de estudio ni en las campañas de muestreo (Kruskal-Wallis=8.4422, g. l=6, p=0.2075; Kruskal-Wallis=3.5840, g. l=3, p=0.3100). Se presentaron los valores más elevados durante la primera campaña de muestreo (transición seca-lluviosa) para la mayoría de los sitios, excepto para los sitios MAR02 y MAR03 que los mayores valores se obtuvieron en la cuarta (transición seca-lluviosa) y tercera campaña (época seca), respectivamente. El sitio MAR01 fue el que presentó valores más homogéneos a lo largo de las campañas de muestreos, siendo al mismo tiempo el que obtuvo el valor más alto de 0.59. Por su parte, el sitio con menor número de Froude fue MAR06 con 0.02 para la segunda campaña (época lluviosa) (Figura 8). Para todos los microsítios se obtuvo un número de Froude menor a 1, por lo que se categorizan como subcríticos respecto a la intensidad de la corriente del cuerpo de agua (Anexo 3).

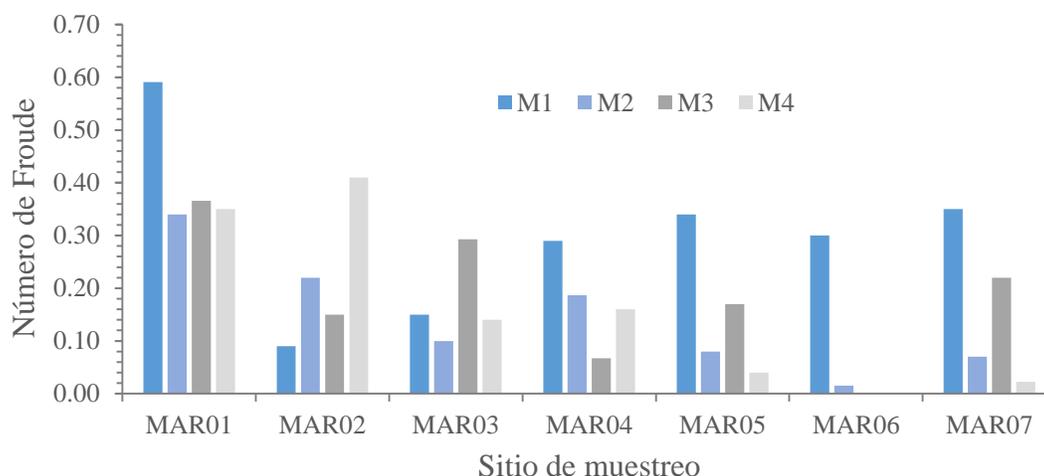


Figura 8. Valores promedio de Número de Froude por campaña y sitio de muestreo (M: Muestreo 1, M2: Muestre 2, M3: Muestreo: 3, M4: Muestreo 4), río Maravilla, Cartago.

4.2. Comunidades de macroinvertebrados bentónicos

4.2.1. Abundancia de macroinvertebrados

Se identificaron un total de 24 230 individuos de macroinvertebrados distribuidos en 45 familias, pertenecientes a 12 órdenes diferentes (Anexos 5 y 6). El sitio con mayor abundancia fue MAR04, mientras que MAR06 presentó la menor abundancia (Cuadro 2). Las campañas con mayor abundancia correspondieron a las realizadas en época de transición. Debido a que el sitio MAR06 se encontró sin agua para la tercera y cuarta campaña de muestreo, no fue posible realizar recolecta de macroinvertebrados bentónicos durante los dos últimos periodos de trabajo de campo.

Cuadro 2. Abundancia absoluta de macroinvertebrados bentónicos recolectados en los sitios de muestreo durante todo el periodo de estudio.

Sitio	Abundancia absoluta
MAR01	4986
MAR02	3919
MAR03	3025
MAR04	6353
MAR05	861
MAR06	462

4.2.2. Índices de diversidad

Para la primera campaña de muestreo (época de transición seca-lluviosa) el sitio MAR03 y MAR04 presentaron la mayor riqueza y el sitio MAR06 la riqueza más baja. El índice de Shannon-Wiener fue bajo para todos los sitios, denotando una baja diversidad en el área respecto a las familias de macroinvertebrados presentes, siendo el sitio MAR06 con la menor diversidad según Shannon (0.84) y también fue el que presentó la menor dominancia según el índice de Simpson (2.03). Por su parte, el sitio MAR04 presentó la mayor diversidad y dominancia. Respecto al índice de Pielou, el sitio MAR04 fue el menos equitativo y el MAR06 el sitio con mayor equitatividad (Cuadro 3) (Anexo 7).

Para la segunda campaña de muestreo (época lluviosa), el sitio con mayor riqueza fue MAR07 y el sitio con menor riqueza MAR02. El índice de Shannon presentó valores bajos para todos los sitios de muestreo. El sitio MAR06 presentó el mayor índice de Shannon y la mayor dominancia. El sitio MAR03 obtuvo la menor diversidad de acuerdo con Shannon y al mismo tiempo la menor dominancia según Simpson. El sitio que presentó la menor equitatividad fue el sitio MAR04 y el que tuvo la mayor equitatividad fue MAR03 (Cuadro 3) (Anexo 8).

Para la tercera campaña de muestreo (época seca) la mayor riqueza se presentó en el sitio MAR04 y la menor en el sitio MAR05. El sitio MAR04 obtuvo la mayor diversidad y dominancia, mientras que el sitio MAR07 presentó la menor diversidad y dominancia. En cuanto al índice de Pielou, el sitio más equitativo fue MAR04 y el menos equitativo fue MAR07 (Cuadro 3) (Anexo 9).

Para la cuarta campaña de muestreo (época de transición seca-lluviosa) la mayor riqueza se presentó en el sitio MAR01 y la menor en el sitio MAR07. La mayor diversidad de acuerdo con Shannon se obtuvo en el sitio MAR03, mismo que presentó la mayor dominancia según índice de Simpson. Mientras que los valores más bajos de diversidad y dominancia correspondieron a MAR07. La mayor equitatividad la presentó el sitio MAR03 y la menor el sitio MAR07 (Cuadro 3) (Anexo 10).

Cuadro 3. Valores promedio de riqueza, índice de Shannon-Wiener, índice de Simpson, índice de Pielou por sitio de muestreo en la campaña uno (época transición seca-lluviosa), campaña dos (época lluviosa), campaña tres (época seca) y campaña cuatro (época transición seca-lluviosa), río Maravilla, Cartago.

	Sitio	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
Campaña 1	MAR01	8.33	1.01	2.26	0.48
	MAR02	6.33	1.15	2.62	0.62
	MAR03	12.33	1.20	2.65	0.52
	MAR04	12.33	1.51	3.51	0.06
	MAR05	6.33	1.21	2.52	0.67
	MAR06	3.00	0.84	2.03	0.77
	MAR07	7.00	1.31	3.13	0.75
Campaña 2	MAR01	7.33	1.08	2.36	0.54
	MAR02	0.93	0.93	2.07	0.52
	MAR03	3.33	0.80	2.00	0.74
	MAR04	6.00	0.88	2.06	0.49
	MAR05	5.33	1.15	2.78	0.71
	MAR06	5.67	1.17	2.87	0.67
	MAR07	7.67	1.14	2.79	0.56
Campaña 3	MAR01	12.33	1.39	3.52	0.70
	MAR02	13.00	1.86	4.74	0.73
	MAR03	12.33	1.69	3.65	0.67
	MAR04	15.00	2.02	5.54	0.75
	MAR05	8.33	1.16	2.27	0.58
	MAR07	9.00	0.76	1.91	0.45
Campaña 4	MAR01	15.67	1.65	3.63	0.61
	MAR02	12.67	1.78	4.47	0.71
	MAR03	14.00	1.97	5.76	0.75
	MAR04	14.00	1.44	2.75	0.55
	MAR05	13.33	1.56	3.24	0.60
	MAR07	7.67	0.88	1.88	0.44

4.3. Índices de Calidad de Agua

4.3.1. Índice BMWP-CR

En la mayoría de las campañas y sitios de muestreo se obtuvieron resultados correspondientes a la categoría de “Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada”, de acuerdo con BMWP-CR. No obstante, en todos los sitios de muestreo, desde el sitio ubicado aguas arriba (MAR01), se obtuvieron resultados que corresponden a la categoría de aguas de calidad mala y contaminadas. El sitio que presentó una mejor calidad del agua fue el sitio MAR04 con “Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible” con una puntuación de 103, durante la primera campaña de muestreo (época de transición seca-lluviosa). Por otra parte, las calidades de agua inferiores, correspondientes a la categoría “Aguas de calidad mala, muy contaminadas”, se presentaron en las dos primeras campañas de muestreo (época transición seca-lluviosa y época lluviosa), siendo el sitio MAR03 el que puntuó el valor más bajo (22), esto durante la segunda campaña de muestreo (Figura 9).

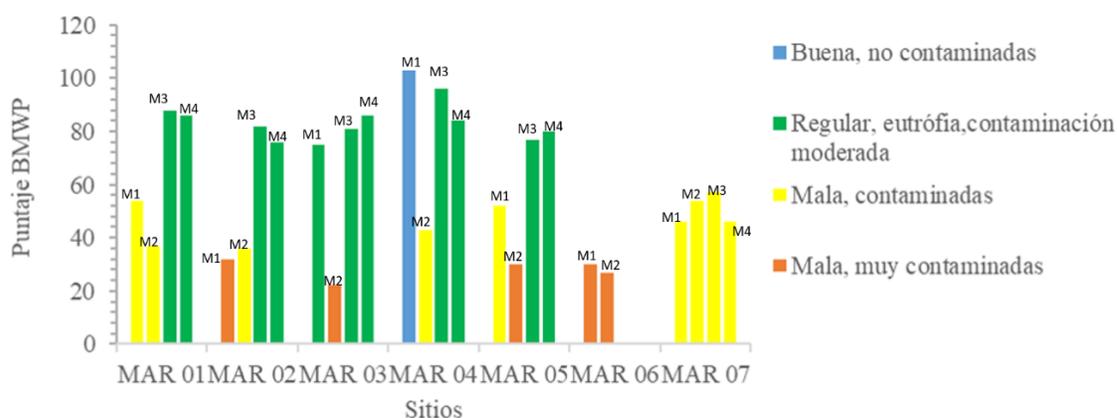


Figura 9. Índice BMWP por sitio y campaña de muestreo (M1=Muestreo 1, M2=Muestreo 2, M3=Muestreo 3, M4=Muestreo 4), río Maravilla, Cartago.

4.3.2. Índice Holandés

Para la calidad fisicoquímica del agua, de acuerdo con el Sistema Holandés, los valores corresponden en su mayoría a la categoría “Contaminación incipiente”. Los sitios MAR01, MAR02, MAR03 y MAR04 presentan calidad “Sin contaminación” (puntaje 3) y

“Contaminación incipiente” (puntaje 4) durante todas las campañas de muestreo. Sin embargo, en los sitios MAR06 y MAR07 durante todas las campañas de muestreo, excepto una, la calidad del agua es “Contaminación moderada” y “Contaminación severa” (puntaje 12). Estos resultados concuerdan con el índice BMWP-CR, donde las menores calidades del agua se encuentran en los sitios de muestreo que corresponden a aguas abajo (Figura 10).

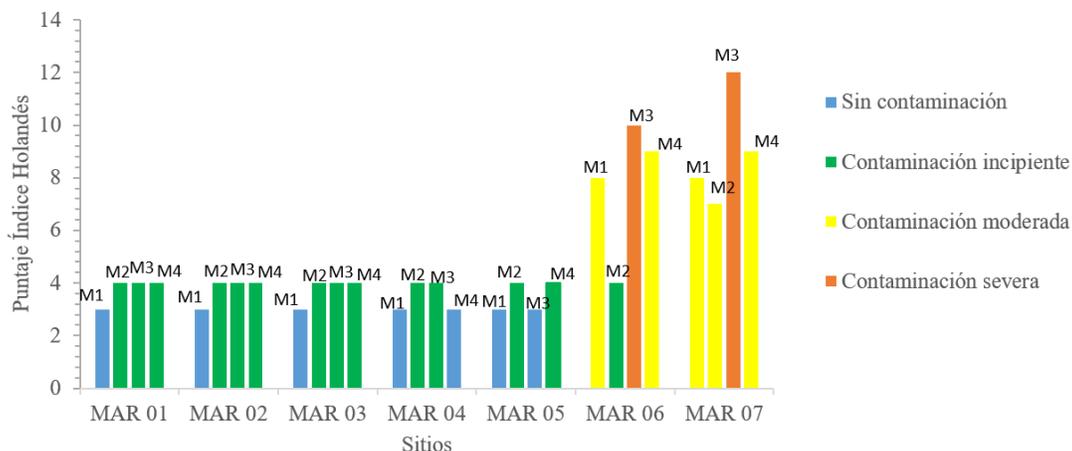


Figura 10. Índice Holandés de la calidad fisicoquímica del agua para todos los sitios durante las cuatro campañas de muestreo (M1=Muestreo 1, M2=Muestreo 2, M3=Muestreo 3, M4=Muestreo 4, río Maravilla, Cartago).

4.4. Parámetros fisicoquímicos

Cabe destacar que a pesar de que el sitio MAR06 se encontraba sin agua debido a la desviación del caudal por parte de la Hacienda Juan Viñas, se decidió tomar las mediciones de los parámetros fisicoquímicos en un punto antes del desvío de las aguas.

Hubo una variación en la concentración de oxígeno disuelto de manera significativa entre los sitios de estudio (Kruskal-Wallis=19.097, g. l=6, p=0.0040), aunque no hay diferencias entre las campañas de muestreo (Kruskal-Wallis=3.0822, g. l=3, p=0.3791). Las más altas concentraciones de oxígeno disuelto se presentaron en los sitios MAR03 y MAR04, con una disminución de esta concentración en los sitios MAR06 y MAR07 con valores de 3.38 mg/L y 4.95 mg/L respectivamente, durante la época seca; asimismo, estos sitios

siempre fueron los que mantuvieron menores concentraciones de este parámetro. En cuanto al porcentaje de saturación de oxígeno, no hubo diferencias significativas entre los sitios de estudio (Kruskal-Wallis, g. l=6, p=0.1863), sin embargo, a nivel de las épocas de muestreo si hubo diferencias significativas (Kruskal-Wallis=10.14, g. l=3, p=0.0174). El comportamiento es el mismo al observado en el oxígeno disuelto, con menores valores para los sitios ubicados en la parte baja del tramo del río estudiado.

La temperatura varió entre los primeros y últimos sitios, con un mínimo de 16.3 °C para el sitio MAR01 (época lluviosa) y un máximo de 34.7 ° C para el sitio MAR06 (época seca), aunque no de manera significativa entre sitios y campañas de muestreo (Kruskal-Wallis=15.063, g. l=6, p=0.1977; Kruskal-Wallis=2.2712, g. l=3, p=0.5181 respectivamente). En general, la temperatura tuvo un aumento desde aguas arriba hasta aguas abajo de la microcuenca. Los valores de pH tuvieron variaciones entre 5.96 y 8.02, aunque no de manera significativa (Kruskal-Wallis=9.5747, g. l=6, p=0.1437), coincidiendo el mínimo y el máximo para el sitio MAR01 durante la campaña dos (época lluviosa) y uno (época transición seca-lluviosa), respectivamente, mientras que en época lluviosa se observa una disminución a lo largo de los puntos de muestreo. Para la conductividad, hubo diferencias significativas entre sitios (Kruskal-Wallis=14.592, g. l=6, p=0.0236), aunque no entre campañas de muestreo (Kruskal-Wallis=4.3673, g. l=3, p=0.2244). Los mayores valores se obtuvieron en las dos últimas campañas; presentando MAR07 los valores más elevados.

En cuanto al potencial redox, este presentó variaciones entre los sitios y durante el periodo de estudio, aunque no de manera significativa (Kruskal-Wallis=5.1147, g. l=6, p=0.5292). Sin embargo, a nivel de campañas de muestreo si hubo diferencias significativas (Kruskal-Wallis=17.237, g. l=3, p=0.0006), con valores negativos de -23 y -11 para MAR06 durante la época seca y época de transición, respectivamente; siempre en este sitio hubo una notoria disminución de este parámetro; mientras que los máximos valores se presentaron para las dos primeras campañas de muestreo (transición y lluviosa), siempre en los sitios de aguas arriba de la microcuenca (Figura 11).

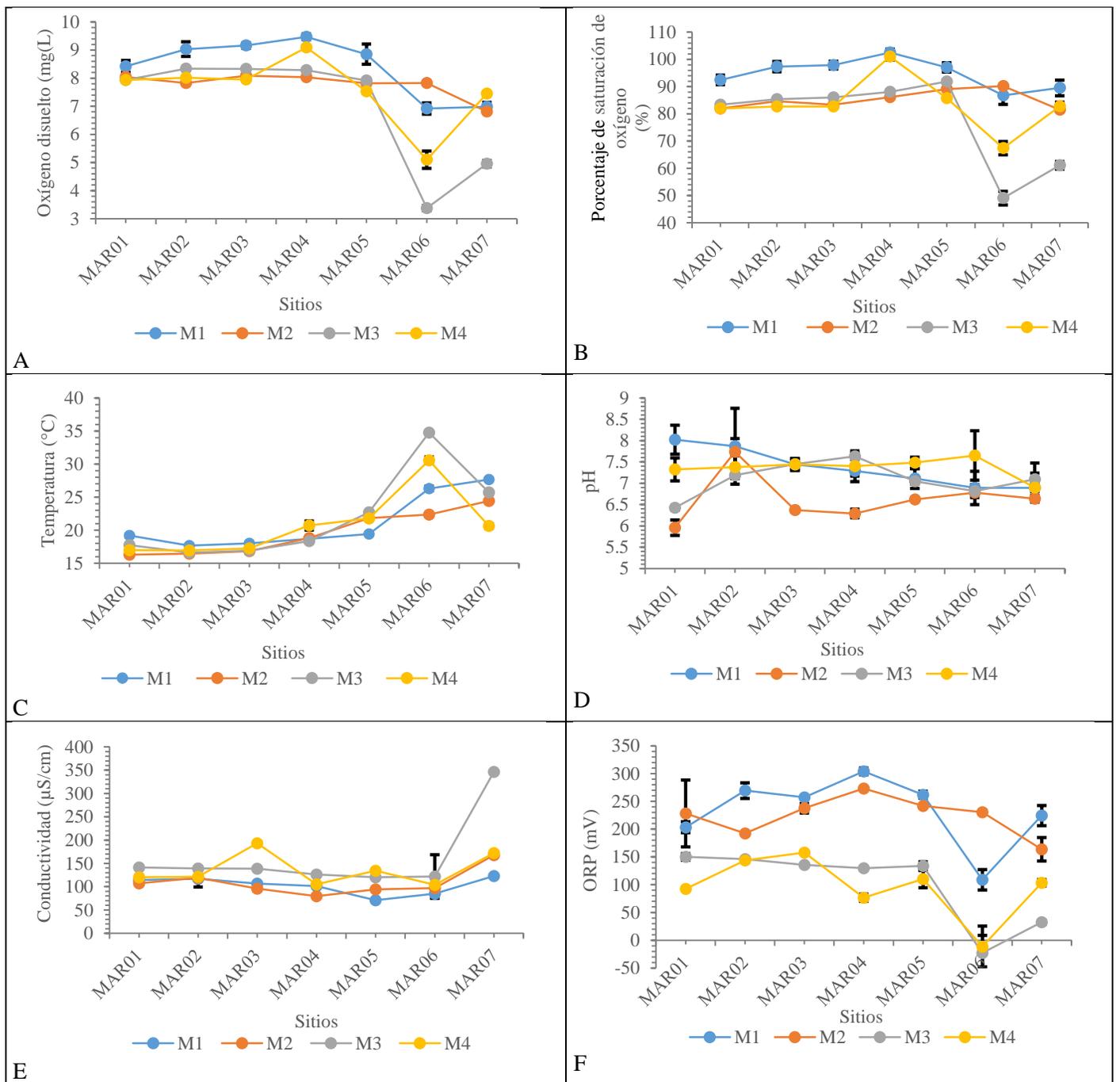


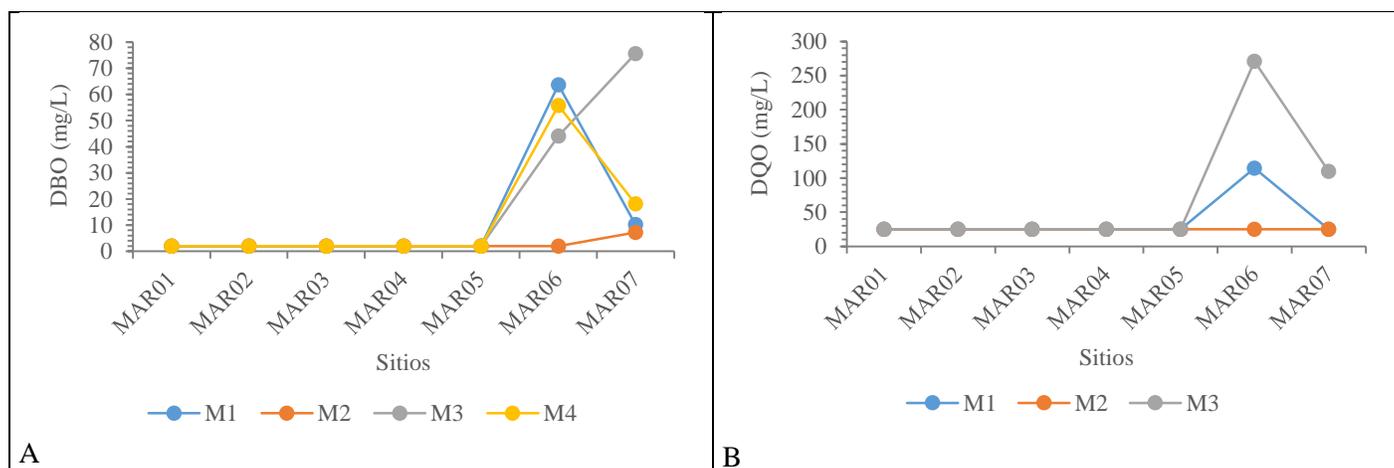
Figura 11. Promedios (más menos DE) de las diferentes variables registradas por sitio y campaña de muestreo en el río Maravilla, Cartago. A. Oxígeno Disuelto mg/L, B. Porcentaje de Saturación de Oxígeno %, C. Temperatura °C, D. pH, E. Conductividad µS/cm y F. ORP mV.

La DBO presentó diferencias significativas entre los sitios de muestreo (Kruskal-Wallis=15.525, g. l=6, p=0.0164), aunque no entre campañas de muestreo (Kruskal-Wallis=0.6146, g. l=3, p=0.8931). Presentó concentraciones bajas por debajo del valor de detección (<2 mg/L), por lo cual, para efecto del análisis de este parámetro, se consideró

como el mínimo detectable de 2 mg/L. De manera que, para los sitios correspondientes a la parte alta y media del río Maravilla, la DBO tuvo valores por debajo de 2 mg/L, mientras que en los sitios de la parte media de la cuenca se encontraron concentraciones de 10.3 mg/L hasta 75.6 mg/L.

Cabe indicar que para la última campaña de muestreo en época de transición no fue posible la determinación de la DQO. Sin embargo, durante las otras campañas de muestreo se obtuvo una DQO por debajo de los valores mínimos detectables (<25 mg/L) en los sitios de la parte alta de la microcuenca, mientras que en MAR06 y MAR07 se presentaron valores entre 110 y 271 mg/L, los cuales no presentaron diferencias significativas (Kruskal-Wallis=0.84559, g. l=6, p=0.9908). A nivel de campañas de muestreo sí se encontraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis=19.013, g. l=3, p=0.0003).

Los resultados de SDT muestran una tendencia a aumentar en los sitios de la parte media del río, sin embargo, el sitio MAR03 presentó la mayor concentración para la última campaña durante época de transición. Los SDT no se midieron en la primera campaña de muestreo debido a un problema en la recolección de datos, así como la medición de los ST para la última campaña, con esto en consideración, se encontraron valores más bajos de ST en la época seca, mientras que los máximos correspondieron a la época de transición y lluviosa (Figura 12).



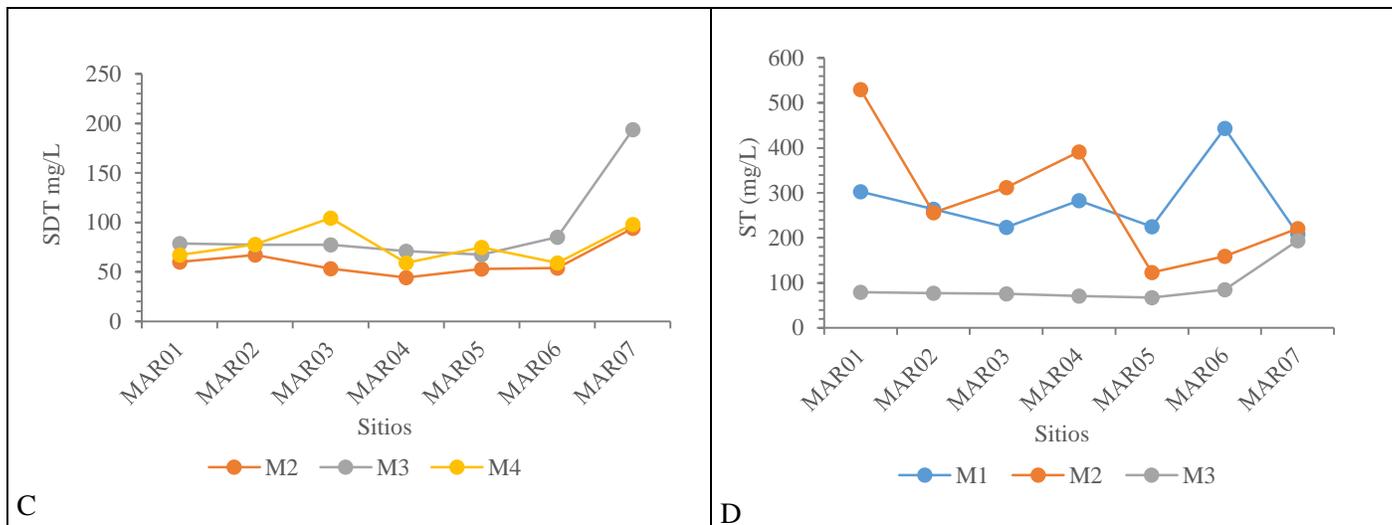


Figura 12. Diferentes variables registradas por sitio y campaña de muestreo en el río Maravilla, Cartago. A. DBO mg/L, B. DQO mg/L, C. STD mg/L y D. ST mg/L.

Por otra parte, la alcalinidad, presentó variaciones significativas entre campañas de muestreo (Kruskal-Wallis=14.97, g. l=3, p=0.0018). La época lluviosa tuvo las mayores concentraciones en comparación a las demás campañas de muestreo, las cuales mantuvieron concentraciones más homogéneas entre sí y entre sitios. Aunque no se encontraron diferencias de manera significativa entre sitios (Kruskal-Wallis=8.2923, g. l=6, p=0.2175). Cabe resaltar que el sitio MAR07 siempre presentó las mayores alcalinidades (Figura 13).

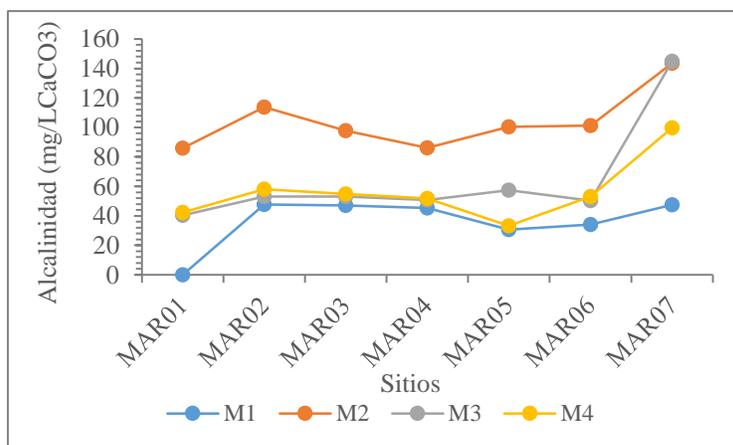


Figura 13. Alcalinidad por sitio y campaña de muestreo en el río Maravilla, Cartago.

Los iones, amonio, fosfato y fluoruro produjeron algunos valores por debajo del mínimo de detección, sin embargo, no hubo diferencias significativas entre sitios (Kruskal-Wallis=4.2288, g. l=6, p=0.6457; Kruskal-Wallis=1.1957, g. l=6, p=0.9771; Kruskal-Wallis=3.0556, g. l=6, p=0.8018, respectivamente). Sin embargo, sí hubo diferencias significativas entre las concentraciones por campaña de muestreo (Kruskal-Wallis=16.842, g. l=3, p=0.0007; Kruskal-Wallis=17.058, g. l=3, p=0.0006; Kruskal-Wallis=17.593, g. l=3, p=0.0005). Particularmente en el caso del nitrito, bromuro y litio, las concentraciones estuvieron por debajo del umbral de detección durante todo el periodo de estudio. Para el amonio, el valor mínimo detectado fue de 0.052 mg/L en el sitio MAR01 y el máximo fue de 3.207 mg/L en el sitio MAR07 en época seca. El fosfato mostró la concentración más alta en el sitio MAR02 con 69 mg/L para la época lluviosa. Para el fluoruro, solamente en el sitio MAR06 se pudo detectar una concentración de 1.435 mg/L en época de transición (Figura 14).

En general, cloruro, nitrato, sulfato, sodio, magnesio, potasio y calcio presentaron las concentraciones más altas entre todos los iones analizados, siendo los iones sodio y calcio los que presentaron las concentraciones más altas de 25.32 mg/L y 26.60 mg/L respectivamente, en los sitios MAR05, MAR06 y MAR07 (Figura 15). Hubo diferencias significativas entre campañas de muestreo para el sulfato y magnesio (Kruskal-Wallis=7.6671, g. l=3, p=0.0534; Kruskal-Wallis=11.788, g. l=3, p=0.0081). El nitrato y el sodio presentaron diferencias significativas entre los sitios de estudio (Kruskal-Wallis=12.712, g. l=6, p=0.0478; Kruskal-Wallis=15.495, g. l=6, p=0.01674 respectivamente), aunque no en relación con las campañas de muestreo (Kruskal-Wallis=2.7352, g. l=3, p=0.4343; Kruskal-Wallis=7.2385, g. l=3, p=0.0646). A excepción del nitrato, todos estos iones presentaron la concentración más alta en el sitio MAR07 durante la época seca y de transición. De manera general, para el nitrato, las concentraciones más altas, como lo fue 12.90 mg/L, se encontraron en la parte alta de la microcuenca, y estas fueron disminuyendo conforme se descendió a los sitios ubicados en la parte media de la misma, con mínimos de 1.12 mg/L y 1.08 mg/L en MAR06 y MAR07, respectivamente (Figura 14).

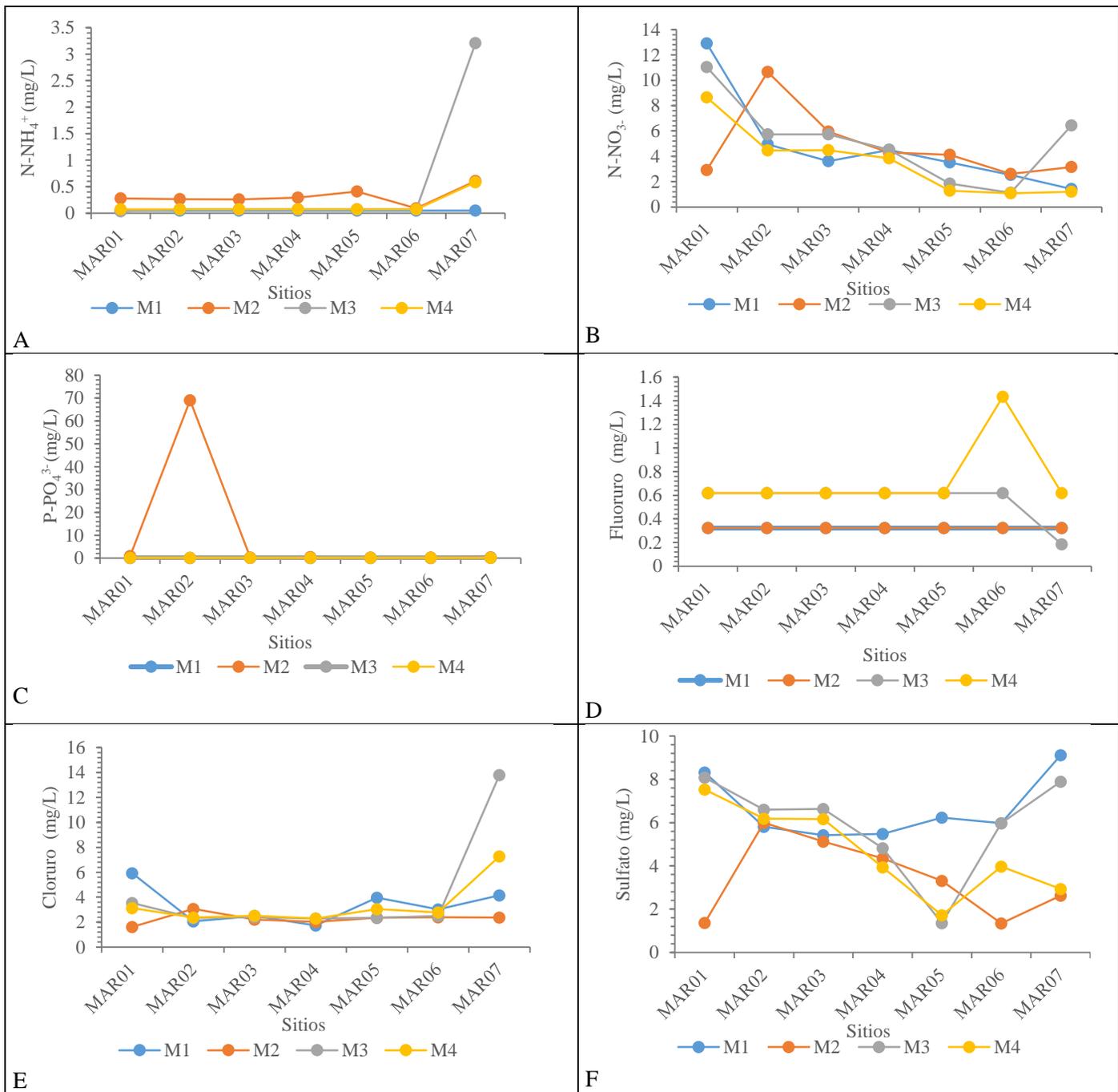


Figura 14. Concentraciones de A. Amonio, B. Nitrato, C. Fosfato, D. Fluoruro, E. Cloruro y F. Sulfato, por sitio y campaña de muestreo en el río Maravilla, Cartago.

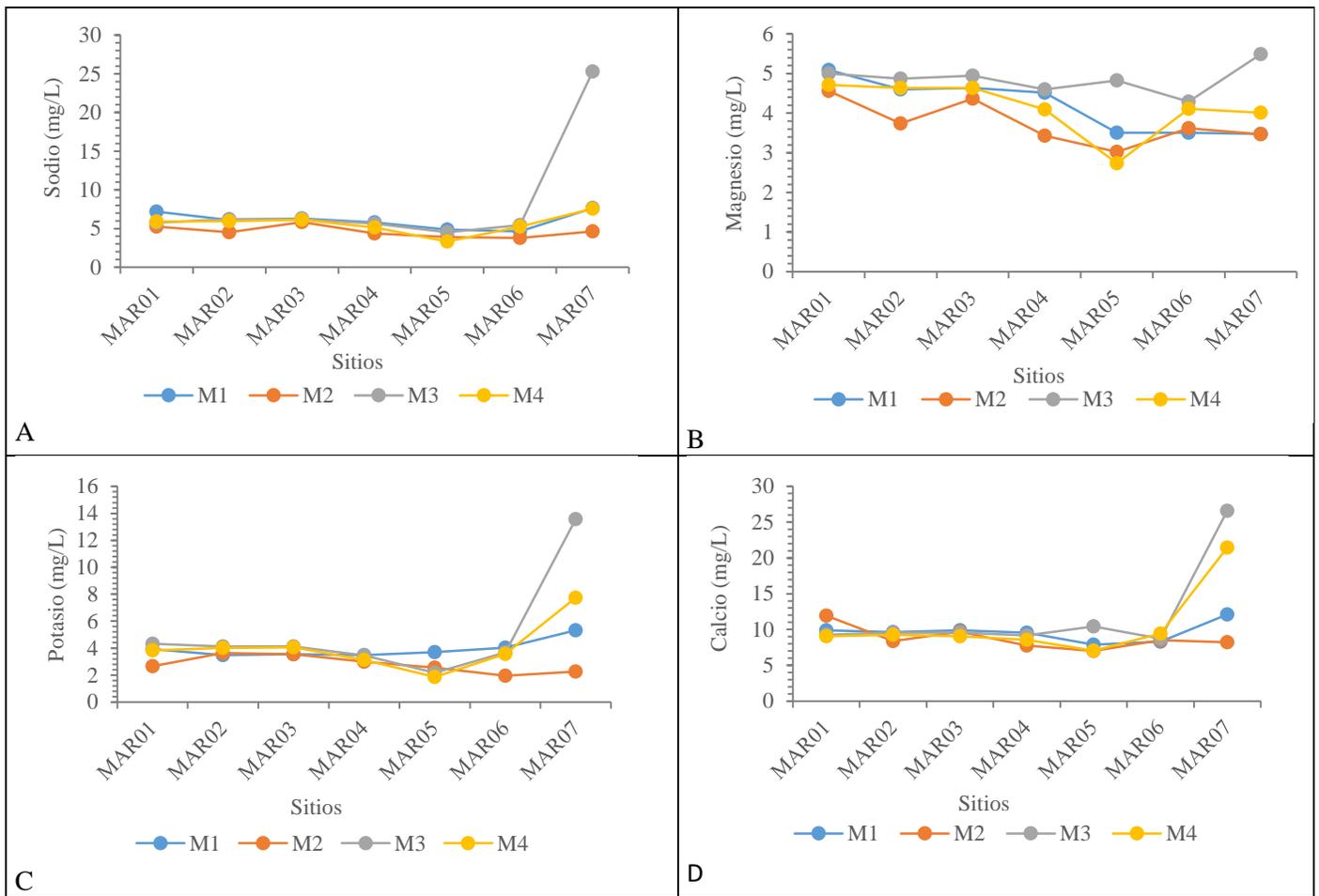


Figura 15. Concentraciones de A. Sodio, B. Magnesio, C. Potasio y D. Calcio, por sitio y campaña de muestreo en el río Maravilla, Cartago.

4.5. Análisis de datos

4.5.1. Análisis con micrositios

Los resultados del ANOVA muestran que no se encontraron diferencias significativas en la riqueza de macroinvertebrados entre las fechas de muestreo ($P=0.26$), entre los micrositios ($P=0.93$) y entre la combinación de fechas de muestreo y micrositios ($P=0.93$), ($W=0.98$, $p\text{-value}=0.13$). Las variables ambientales de mayor influencia en la riqueza fueron, velocidad, número de Froude, temperatura, PSO, conductividad y ORP ($F=13.7$, $g. l=6;71$, R^2 ajustado=0.49, $p<0.05$).

Del mismo modo, no se encontraron diferencias significativas en la diversidad de Shannon entre fechas de muestro ($P=0.09$), entre micrositios de muestro ($P=0.71$) y entre la combinación de fechas de muestro y micrositios ($P=0.88$), ($W=0.98$, $p\text{-value}=0.29$). Las variables más significativas para explicar la diversidad de Shannon fueron el OD, la conductividad y el ORP ($F=11.41$, $g. l=3;74$, R^2 ajustado= 0.28 , $p\text{-value}=3.103e-06$).

No se encontraron diferencias significativas en el índice de Simpson entre fechas de muestro ($P=0.099$), entre micrositios de muestro ($P=0.481$) y entre la combinación de fechas de muestro y micrositios ($P=0.705$), ($W=0.96$, $p\text{-value}=0.06$). Las variables ambientales de mayor influencia en el índice de Simpson fueron, el OD, la conductividad y el ORP ($F=6.344$, $g. l=3;74$, R^2 ajustado= 0.17 , $p\text{-value}=0.000691$).

Tampoco se encontraron diferencias significativas en la abundancia entre las fechas de muestro ($P=0,09$), entre los micrositios ($P=0.91$) y entre la combinación de fechas de muestro y micrositios ($P=0.84$), ($W=0.97$, $p\text{-value}=0.07$). El modelo de la abundancia fue explicado de forma significativa por la velocidad, Froude, OD y pH ($F=3.997$, $g. l=4;73$, R^2 ajustado= 0.13 , $p\text{-value}=0.0054$).

4.5.1. Análisis con datos simplificados

Al aplicarse la prueba de ADONIS se encontraron diferencias significativas en la composición de macroinvertebrados respecto al tiempo y espacio, es decir, a nivel de campañas de muestro ($R^2=0.30$, $P=0.001$) y de sitios de muestro ($R^2=0.35$, $P=0.001$).

Por otra parte, se encontró que, de todas las variables ambientales registradas, el OD, el fluoruro, la DBO, la temperatura y el sodio fueron los parámetros más significativos en el análisis del RDA, es decir, son los parámetros que generan cambios o influyen significativamente sobre los macroinvertebrados. De acuerdo con el modelo RDA, aproximadamente el 54% de la varianza de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo explicada por los parámetros ambientales anteriormente mencionados ($p<0.001$).

En cuanto a las familias de macroinvertebrados, las familias que fueron más significativas y que generaron mayor diferencia entre fechas de muestro y entre sitios de muestro fueron Chironomidae, Baetidae, Simuliidae, Oligochaeta, Glossosomatidae, Leptohyphidae e Hydropsychidae. Se encontró que los sitios MAR02, MAR03, MAR04 y MAR05 durante la primera campaña de muestro y los sitios MAR02 y MAR03 durante la

cuarta campaña de muestreo, fueron los que presentaron más concentración de OD, y menor temperatura, sitios relacionados con las familias Simuliidae y Baetidae. Las familias Leptohiphidae, Hydropsychidae y Glossosomatidae se encontraron en los sitios MAR02, MAR03, MAR04 y MAR05 durante la tercera fecha de muestreo, en el sitio MAR06 para la primera fecha de muestreo y en el sitio MAR04 en la cuarta fecha de muestreo, y se relacionaron con altos contenidos de fluoruro.

Las familias Chironomidae y Oligochaeta se encontraron en los sitios MAR01 y MAR07 en la tercera fecha de muestreo, en los sitios MAR05 y MAR07 en la cuarta fecha de muestreo, en los sitios MAR06 y MAR07 en la segunda fecha de muestreo y en el sitio MAR07 en la primera fecha de muestreo, sitios caracterizados por alta temperatura, DBO y sodio, y menor contenido de OD (Figuras 16 y 17).

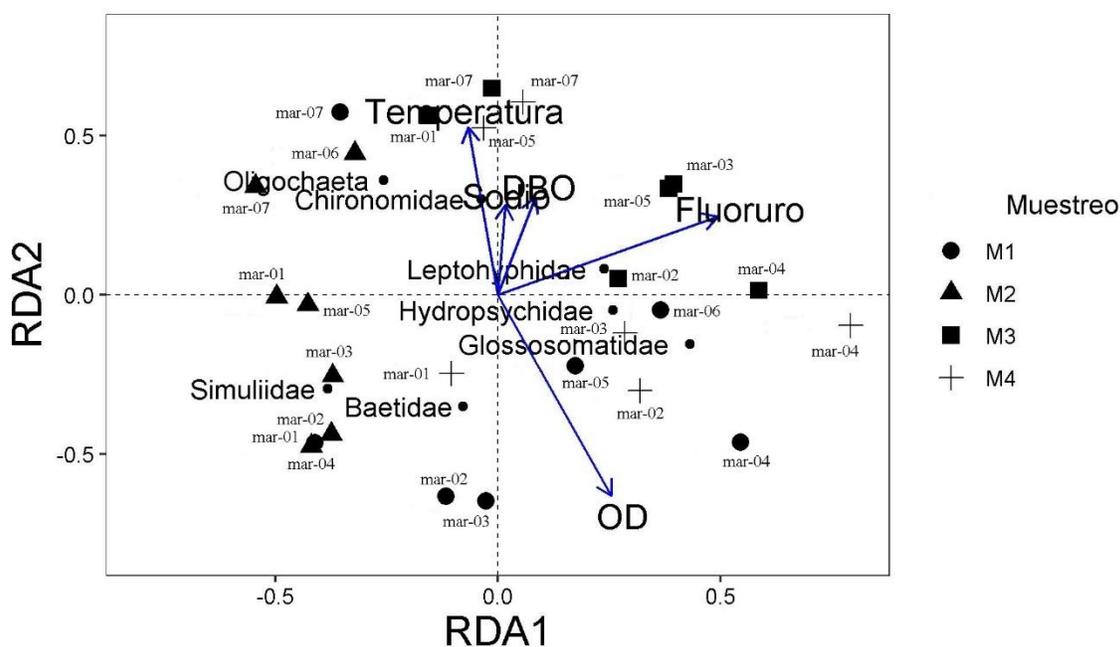


Figura 16. Biplot de los resultados del análisis de redundancia para las familias de macroinvertebrados con respecto a los parámetros fisicoquímicos y fechas de muestreo (M1: muestreo 1, M2: muestreo 2, M3: muestreo 3, M4: muestreo 4), para el río Maravilla, Cartago.

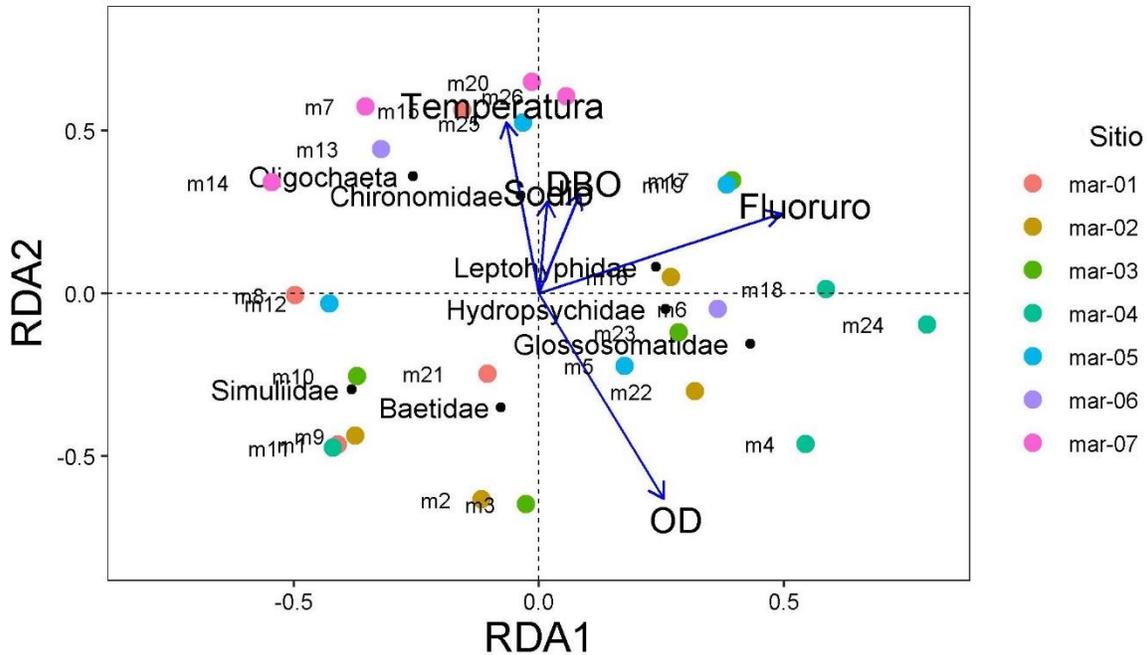


Figura 17. Biplot de los resultados del análisis de redundancia para las familias de macroinvertebrados con respecto a los parámetros fisicoquímicos y sitios de muestreo, para el río Maravilla, Cartago.

4.6. Muestreo actividades socioeconómicas

4.6.1. Encuestas

Con base en 133 encuestas aplicadas, se encuestaron un total de 53 hombres y 80 mujeres, donde el 20.30% presentaron edades entre los 18 y 35 años, 41.35% entre los 35 y 60 años, y un 38.35% con más de 60 años. La mayoría de los encuestados fueron mujeres amas de casa (36.84%) seguido de personas jubiladas (21.80%). Los datos generales pueden observarse en el Anexo 13.

Un 72.93% de los encuestados afirmaron que el recurso hídrico es una de sus principales preocupaciones, y el motivo que más le preocupa del tema es la escasez de agua (44.92%), seguida de la transmisión de enfermedades (13.56%) y el mal sabor del agua (10.17%). También, el 98% de los encuestados afirmó conocer el río Maravilla y más de la mitad (51.88%) indicó que la calidad del agua es mala.

Por otro lado, el 81.95% de los encuestados indicó no hacer uso del agua del río contra un 18.04% que indicaron hacer un uso mayoritariamente doméstico (39.62%). En relación

con esto, alrededor de un 53.04% de los encuestados indicaron que sus actividades no afectan el río Maravilla y el 28.69% restante indicaron que sus actividades podrían estar afectando la calidad (22.12%) y la cantidad de agua (13.46%).

Dentro de las actividades socioeconómicas que hacen más uso del agua se encuentra la industria con 33.33% de las opiniones, la agricultura con 30.89% y la generación de electricidad con 11.38% (Figura 18). Las actividades socioeconómicas con más afectación en el río Maravilla fueron el cultivo de caña de azúcar con 47.66%, las industrias con 17.76%, y el cultivo de café con 12.15% (Figura 19).

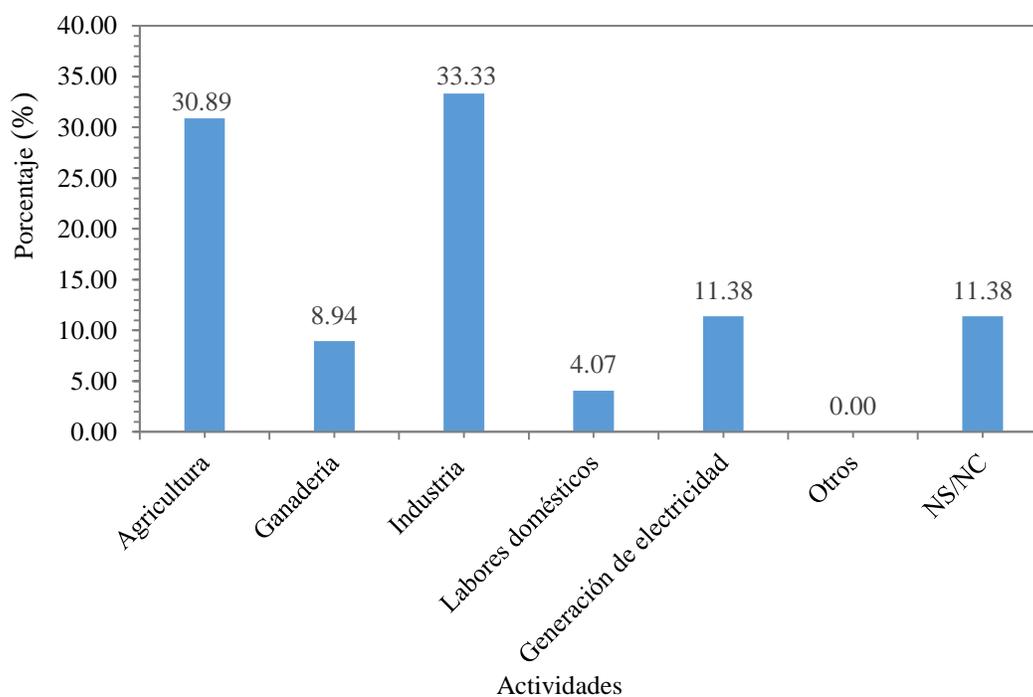


Figura 18. Actividades socioeconómicas con más uso del agua del río Maravilla, Cartago, según percepción social 2019.

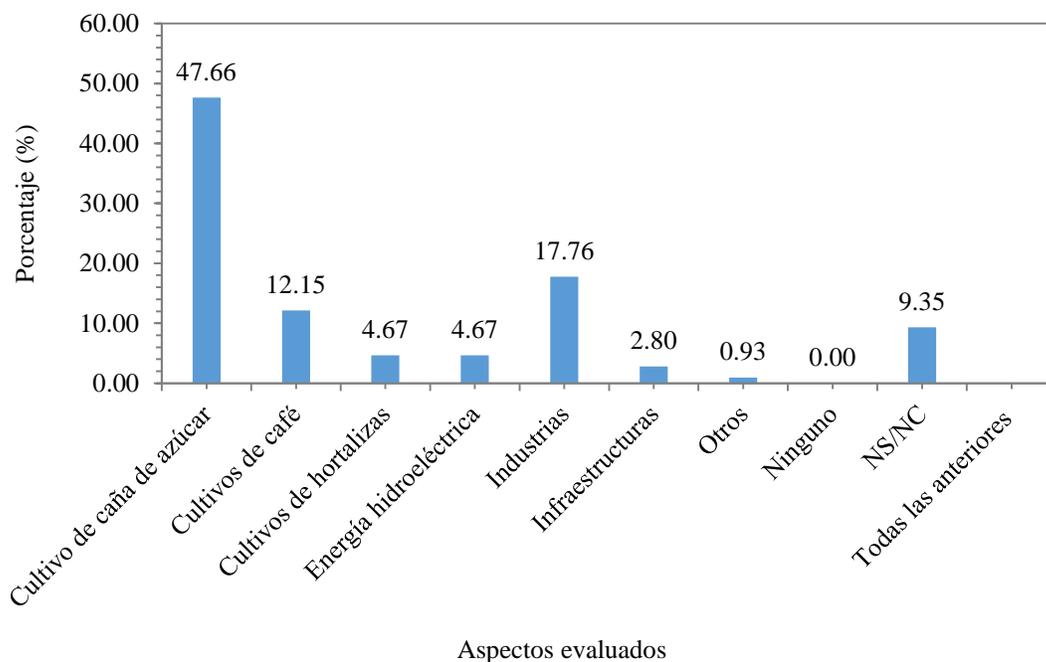


Figura 19. Actividades socioeconómicas con afectación en el río Maravilla, Cartago, según percepción social.

Por otro lado, un 33.08% de los encuestados indicaron que trabajan, ya sea ellos o algún familiar, en las industrias agrícolas desarrolladas alrededor del río Maravilla, desempeñándose en esas labores entre uno y más de 50 años, indicando depender en su totalidad de este empleo (33.04%).

Alrededor del 73.68% de todos los encuestados indicaron que el río Maravilla ha cambiado sus características a lo largo de los años, siendo la cantidad de agua la característica más sobresaliente, con un 37.80% de las opiniones, seguida de la calidad del agua con 25.20%. La mayoría de los encuestados considera que estos cambios se deben a las extracciones y captaciones de agua con un 35.09% y a la contaminación por residuos urbanos con un 21.93%.

Cuando se les preguntó si el río Maravilla era importante para ellos, el 79.70% indicó que sí lo es. Un 93.98% afirmó la importancia de que el río lleve ciertas cantidades de agua para mantener la vida acuática como peces y la vegetación. Por otra parte, el 45.11% de los encuestados indicó que en algunas ocasiones el río no lleva agua y cuando se les preguntó si conocían el concepto de caudal ecológico el 58.96% afirmó no conocerlo.

El 35% de las personas encuestadas opinó que las municipalidades son quienes tienen la mayor responsabilidad concerniente a la solución de problemas asociados al agua, mientras que un 20% indicó que la responsabilidad es tanto de la municipalidad como de los ciudadanos, empresa privada, ecologistas, investigadores y gobernantes (Figura 20).

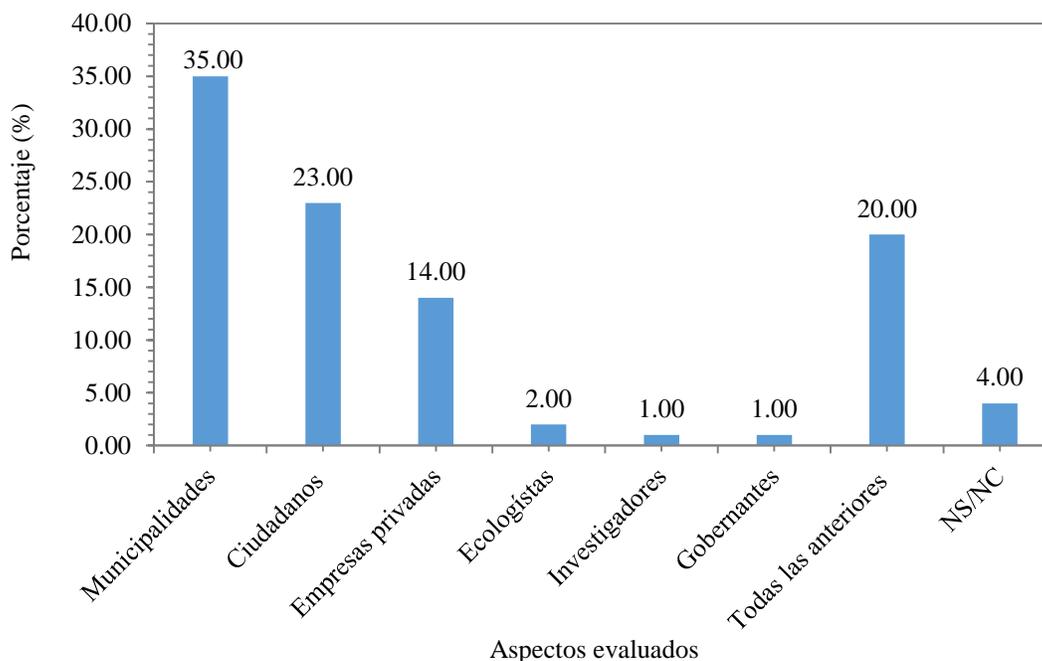


Figura 20. Entidades con responsabilidad principal en la solución de problemas asociados al agua según percepción de los encuestados.

Para el 47.79% de los encuestados la forma más efectiva de proteger el agua es promoviendo una adecuada educación ambiental, seguida de la creación de nuevas leyes (16.81%). Según las opiniones obtenidas la mejor forma de concienciar a la población sobre el buen uso del agua es poner multas a quien deteriore las aguas (34.48%) e informar sobre la conservación del medio acuático y recurso hídrico (34.48%). Además, un 82.84% de los encuestados están dispuestos a participar en la protección y conservación del río, donde la mayoría indicaron tener la disposición de participar en todas las propuestas brindadas en la encuesta (talleres, capacitaciones, limpieza y campañas de reforestación).

Por otra parte, cuando se les preguntó sobre el uso del agua del río por parte de empresas e industrias, un 88.72% indicó que sí debería estar legislada la cantidad de agua de la cual estos entes se benefician. Respecto a la permisibilidad asociada a la extracción de

agua del río, un 85.71% opinó que se debe dar una extracción segura del agua de modo que no se altere sus condiciones naturales ni se produzcan resultados indeseables, y un 68.42% consideró que se debe permitir la explotación máxima que el río puede soportar mientras se permita el mantenimiento natural y la conexión de los ecosistemas.

Finalmente, con respecto a las propuestas o recomendaciones de las personas encuestadas para mejorar la situación actual del río Maravilla, se obtuvo variedad de respuestas, donde se resaltan las siguientes: hacer educación ambiental, reforestar, no botar basura, hacer limpieza y regular las extracciones de agua (Cuadro 4). No obstante, aunque no con mucha frecuencia, sobresalieron respuestas como “prohibir que Hacienda Juan Viñas capte tanta agua” y “que Hacienda Juan Viñas trate las aguas y residuos de forma correcta”.

Cuadro 4. Propuestas o recomendaciones sugeridas por las personas encuestadas para mejorar la situación actual del Río Maravilla.

Propuestas o recomendaciones	Porcentaje de opiniones (%)
Educación ambiental.	29
Reforestar.	14
No botar basura.	13
Limpieza.	11
Regular las extracciones de agua.	9
Buen mantenimiento del río.	7
Prohibir que Hacienda Juan Viñas capte tanta agua.	4
Que Hacienda Juan Viñas trate aguas y residuos de forma correcta.	2.3
Municipalidad se preocupe y se haga a cargo.	2.3
Trabajar con la hacienda.	2.3
Cuidar el caudal.	1.5
Mayor regulación de la hacienda.	1.5
Que mejore la Hacienda Juan Viñas.	1.5
Tratamiento y red de las aguas negras.	1.5

4.6.2. Mapeo de actores

En el cuadro 5 se observan los diferentes actores mapeados de la microcuenca a la que pertenece el Río Maravilla, en las categorías de dominante, fuerte, influyente, inactivo, interesado, vulnerable y marginado, según la metodología CLIP (Anexos 14 y 15).

Se puede observar como la municipalidad, el Ministerio de Salud, el SINAC, COMCURE, JASEC y la Hacienda Juan Viñas son actores dominantes, e instituciones como el AyA, Dirección de Agua, SENARA, MAG son actores influyentes dentro de la microcuenca.

Cuadro 5. Mapeo de Actores de la Microcuenca Maravilla-Chiz, categorizados según la metodología CLIP.

Categoría	Siglas	Aspectos	Instituciones
I			
Dominante	PIL	Poder alto, ganancia o pérdida neta alta, legitimidad alta.	<ul style="list-style-type: none"> • Municipalidad • MinSa • SINAC • COMCURE • ICE • CNE • JASEC • Hacienda Juan Viñas
Fuerte	PI	Poder y ganancia o pérdida neta altos (legitimidad baja o ninguna).	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
II			
Influyente	PL	Poder y legitimidad altos (ganancia o pérdida neta baja o ninguna).	<ul style="list-style-type: none"> • Dirección de Agua • SENARA • AyA • MAG
Inactivo	P	Poder alto (legitimidad y ganancia o pérdida neta bajas o ningunas).	<ul style="list-style-type: none"> • MEP • Ingenio Juan Viñas • Asociación Solidarista de Juan Viñas

Interesado	L	Legitimidad alta (poder y ganancia o pérdida neta altos o ninguno).	<ul style="list-style-type: none"> • Universidades
III			
Vulnerable	IL	Legitimidad y ganancia o pérdida neta altas (poder bajo o ninguno).	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
Marginado	I	Ganancia o pérdida neta altas (poder y legitimidad bajos o ninguno)	<ul style="list-style-type: none"> • ASADAS • Asociación de Desarrollo • Grupo de Bandera Azul Ecológica

4.6.3. Primera reunión de contacto

Se contó con la presencia de representantes de la Dirección de Agua, Laboratorio Nacional de Aguas, MINAE, SINAC, CUMCURE, AYA, JASEC, MEP, Asociación Solidarista Empleados de la Hacienda Juan Viñas, Café Viñas, Hacienda Juan Viñas, Municipalidad de Jiménez, Poder Judicial (Juzgado Jiménez), Ministerio de Salud, Programa Bandera Azul Ecológica (categoría cuencas), Liceo Hernán Vargas de Pejibaye y representante de la comunidad de Juan Viñas.

Primeramente, se presentaron charlas para darle a conocer a los participantes el estado ambiental de la microcuenca y las presiones antropogénicas que tiene. Luego de esto se conocieron las opiniones de los diversos participantes acerca de la problemática de las subcuencas. Además, brindaron algunas acciones y soluciones que podrían implementarse en un futuro para mejorar la situación actual de la microcuenca. En el Cuadro 6 se presentan las problemáticas asociadas a la situación actual de la zona, así como las posibles soluciones, según criterio de todos los actores sociales participantes del taller.

Cuadro 6. Problemáticas y soluciones planteadas por los participantes en el taller realizado el 08 de marzo del 2018 en Juan Viñas, Cartago.

Problemáticas
Cambios en el uso de la tierra que generan cargas contaminantes en las zonas de captación y abastecimiento de agua.
Disposición inadecuada de aguas residuales y vertido de aguas negras a los ríos.

Uso indiscriminado del suelo para la producción agrícola y alta contaminación que daña las fuentes de abastecimiento.

Uso indiscriminado/intensivo de agroquímicos. Falta de capacitación en el uso.

Contaminación del agua superficial y subterránea por plaguicidas.

Pérdida de cobertura boscosa.

Cambios de uso de suelo por actividades agrícolas y ganaderas.

Falta de información técnica sobre el estado de la cuenca.

Incumplimiento de las áreas de protección de ríos y manantiales.

Poca concientización sobre las consecuencias de nuestras acciones sobre el ambiente.

Falta de cultura y conciencia en la disposición de los residuos sólidos.

Desconocimiento en el manejo del recurso hídrico: tala de árboles, control de quemas a cielo abierto y quema en viviendas.

Sobreuso del agua del río y falta de control para un caudal ecológico saludable.

Soluciones

Manejo integral que incluya la participación comunal e institucional.

Aplicación de legislación a nivel de diseño y constructivo para un manejo de aguas residuales.

Plan de regulación /ordenamiento territorial.

Manejo adecuado/alternativas de tratamiento de aguas residuales.

Capacitaciones sobre alternativas ecológicas como ahorro, procesos de construcción ecoamigables, manejo de agroquímicos, cosecha de agua y otros.

Mayor participación, control y seguimiento de entidades públicas.

Educación ambiental a los actores de la zona.

Participación en programas socioambientales como Programa de Bandera Azul Ecológica y Programa Sello, Calidad, Saneamiento; y Corredor Biológico.

Procesos de restauración y recuperación de ecosistemas.

Incentivo de sistemas agroforestales, agrosilvopastoril y alternativas ecológicas.

Sensibilización y concientización ambiental con respecto al uso adecuado de las aguas.

Aplicación de legislación en recuperación de áreas protegidas en ríos, quebradas y nacientes.

Plan de manejo de desechos líquidos en la agroindustria.

Implementación de buenas prácticas agrícolas en coordinación con el MAG.

Control y seguimiento de los usos del agua. Inventario de concesiones.

Implementación de un plan piloto de recuperación de áreas de protección en ríos y quebradas.

Capacitación y concientización en el manejo del recurso hídrico por gestión comunitaria, municipal e institucional.

Renovación en las políticas regulatorias para el manejo del recurso hídrico.

Acompañamiento de las organizaciones rectoras con las asociaciones y grupos organizados para la planificación del adecuado manejo del recurso hídrico.

4.6.4. Análisis FODA

Se generó la siguiente matriz de análisis FODA (Cuadro 7). Donde se identifican las principales fortalezas y debilidades, así como las oportunidades y amenazas más importantes en la microcuenca.

Cuadro 7. Matriz de Análisis FODA de la microcuenca Maravilla-Chiz.

Análisis	Fortalezas	Debilidades
interno	<p>Cuenca pequeña y poco poblada lo que permite mejor intervención a la hora de ejecutar procesos de recuperación y mejoramiento socioambiental.</p> <p>Existe voluntad política.</p> <p>Abundante disponibilidad hídrica.</p> <p>Presencia de instituciones que intervienen sobre el tema hídrico.</p> <p>Condiciones climáticas favorables.</p> <p>Estar dentro de la cuenca del río Reventazón (Manejo de cuenca COMCURE, ICE).</p>	<p>Pocos recursos económicos para mejoras e inversiones.</p> <p>Falta de información y capacitación en instituciones.</p> <p>Falta de coordinación y planificación entre prestadores de servicios públicos.</p> <p>Pérdida de suelo por escorrentía superficial, erosión y sedimentación.</p> <p>Falta de control de aguas residuales.</p> <p>No poder implementar protección de nacientes como un gasto operativo.</p>
Análisis	Oportunidades	Amenazas
externo	<p>Fortalecimiento en la recaudación financiera por parte de las instituciones públicas.</p> <p>Trabajo en conjunto Hacienda-Comunidad.</p> <p>Facilidad de trabajo en conjunto de actores.</p> <p>Más probabilidad de integración de la comunidad y otros actores (zona rural).</p> <p>Posibilidad que se integren ASADAS al acueducto municipal (aumenta gestión y recaudación, optimización para el manejo integral de la cuenca).</p> <p>Oportunidad de utilizar la cuenca como un corredor biológico.</p>	<p>Fuerte actividad agrícola en la cuenca.</p> <p>Un solo dueño de una gran parte de la microcuenca.</p> <p>Invasión a zonas de protección de ríos y nacientes.</p> <p>Malas prácticas agrícolas.</p> <p>Infraestructuras de acueductos en zonas privadas.</p> <p>Deslizamientos y fallas activas.</p> <p>Falta control en la importación y uso de plaguicidas.</p>

4.6.5. Taller Final

Se generó una matriz con las diferentes actividades, las acciones y los responsables de esas actividades propuestos por los mismos actores para la protección del recurso hídrico en los ejes de cantidad y calidad de aguas (Anexo 16).

Se resalta la importancia de la Dirección de Aguas, La Municipalidad, El Ministerio de Salud, El MAG, así como actores sociales de la zona como las industrias, los productores agrícolas, las ASADAS en las acciones concretas para la protección de la microcuenca.

4.6.6. Propuestas de estrategias de manejo generadas a raíz de este estudio.

Por último, a partir de los resultados e información obtenida tanto ambiental como social, se proponen las siguientes estrategias de manejo para la gestión del recurso hídrico en el río Maravilla:

- Generar estudios hidrológicos e hidráulicos con el fin de obtener información completa base para una futura determinación del caudal ambiental y de un caudal ecológico del río Maravilla, ya que la información biológica y social ya se ha generado a partir del presente estudio. Para esto, es indispensable la vinculación y participación de diversos entes (ONGs, empresa privada, municipalidades, universidades, entre otros) para la creación de alianzas de trabajo comprometidas con el objetivo de crear armonía en el aprovechamiento humano del recurso hídrico y la integridad del ecosistema acuático.
- Cumplir con la legislación ambiental por parte de las autoridades competentes (Dirección de Aguas) en las concesiones para captaciones de agua del río, para la regulación de las cantidades máximas permitidas. Así como hacer exigir el cumplimiento por parte de las industrias y empresas que realizan extracciones de agua del río.
- Intervenir en el cumplimiento de la legislación ambiental por parte de los órganos competentes (MINAE, SINAC), para exigir la protección de las áreas de protección

del río por parte de las industrias y empresas con cultivo agrícola.

- Realizar reuniones y mesas de trabajo con la Hacienda Juan Viñas para crear intercambio de opiniones e ideas con respecto al tema de la extracción de agua, del manejo de los residuos y de sus actividades agrícolas.
- Hacer campañas de reforestación de las zonas de riberas con especies arbóreas nativas de la zona. Esto mediante la participación comunitaria dentro de la microcuenca, de la municipalidad, e instituciones como el MINAE, entre otros.
- Realización de campañas de limpieza del río tanto en su parte, alta, media y baja con participación de empresa privada, pública como escuelas y colegios, instituciones y comunidades dentro de la microcuenca.
- Capacitar a los agricultores y productores de la microcuenca del río Maravilla sobre el uso razonable de agroquímicos, plaguicidas y fertilizantes agrícolas con el fin de crear conciencia sobre el impacto del mal uso de estos productos en el suelo y en los ecosistemas acuáticos. Esto mediante el MINAE, COMCURE, y Universidades.
- Realización de capacitaciones tanto dirigidas a pequeños agricultores como a las industrias agrarias de la microcuenca del río Maravilla sobre la implementación de buenas prácticas agrícolas principalmente enfocadas al uso adecuado del suelo, por parte de instituciones como el MAG y el INA en temas de agricultura orgánica.
- Implementación de sistemas de saneamiento adecuados para las aguas residuales por parte del AYA y las municipalidades. Por ejemplo, se recomienda la construcción de una biojardinera en alguna institución (Municipalidad, escuela, colegio) como sistema alternativo de tratamiento. Asimismo, es muy necesario que se busquen alianzas entre los diferentes actores claves y órganos competentes para la construcción de una planta de tratamiento.

- Realizar talleres enfocados en el desarrollo de prácticas sostenibles en los hogares por parte del MINAE, Universidades, MEP, INA. Por ejemplo, manejo adecuado de grasas y aceites, prácticas de ahorro de agua y electricidad, cosecha de agua, entre otros. Estos talleres deben buscar la participación activa de las mujeres jefas de hogar de las comunidades, por ser ellas las que hacen un uso muy importante del recurso hídrico en las viviendas.
- Realizar talleres de educación ambiental con participación de las comunidades en general y también de las industrias y empresas con el fin de crear conciencia en la protección del recurso hídrico, del río y los demás recursos naturales de la zona. Esto por parte de instituciones como el MEP, COMCURE, INA, Universidades y Municipalidades.
- Se recomienda la intervención oportuna de los órganos e instituciones relacionados a la protección y conservación de los recursos naturales en nuestro país (MINAE, SINAC y Dirección de Aguas), para el cumplimiento de la legislación ambiental. Sin embargo, para esto es necesario que se actualicen las sanciones que dictan las leyes ambientales dado que muchas constan de tarifas obsoletas en la actualidad.

5. Discusión

5.1. Caudal

El mantenimiento del régimen hidrológico natural de un río es clave para el funcionamiento ecológico e íntegro de todo el sistema acuático (Dyson et al., 2003; Anderson, 2013). En el caso del río Maravilla, las características hidrológicas han sido severamente interrumpidas y alteradas por actividades antrópicas, principalmente la agricultura intensiva de caña, café y hortalizas (Jiménez, 2010), causando alteraciones en los caudales del río, inclusive tan extremas como en los dos últimos periodos de estudio, donde el sitio MAR06 no presentó agua, ya que se ubica después de un canal de la Hacienda Juan

Viñas. Las labores del ingenio Juan Viñas que desvía agua del río para ser utilizada en riego y procesamiento de la caña durante época de zafra, estaba en proceso al momento de realizar los muestreos del 2019 (A. Fonseca, comunicación personal, 23 de abril de 2019 y observación personal), y sumado a que esta situación se presentó durante el periodo de época seca, se reflejó un gran impacto en el uso excesivo del agua del río Maravilla, provocando que tramos del río estén secos durante periodos de tiempo, como se pudo constatar en este estudio.

A pesar de que el sitio MAR02 está en la cabecera de la microcuenca del río Maravilla, en este punto se presentaron los mayores caudales, lo cual es contrario a lo esperado, en donde en los tramos medios y bajos el caudal es mayor (Sabater et al., 2009). No obstante, este resultado es consistente con la situación actual del río producto de las extracciones de agua que experimenta, las cuales reducen su caudal. Cabe rescatar que posterior al sitio MAR02 inician las desviaciones de agua, situación que fue muy evidente en los sitios aguas abajo al causarse situaciones extremas como la desecación del río.

Existen estudios que demuestran el efecto de la extracción de agua en los ríos para actividades agrícolas, principalmente en el riego de cultivos (Morillas y Johnson, 2017; Villalobos, 2018; Quesada, 2019), y para producción de energía hidroeléctrica (Arias, 2017; Godínez, 2018). Sin embargo, no existe ningún estudio previo para comparar los datos de caudal obtenidos en este estudio, pero se conoce que en la cuenca del río Reventazón, en la cual se encuentra inmersa el río Maravilla, un 25% de las aguas del río Reventazón se utilizan para consumo de agua potable, un 38% para producción de energía hidroeléctrica (el porcentaje más alto en relación con otras cuencas de importancia) y un 8% para cultivos agrícolas (Ballester y López, 2017). Esta cuenca es una de las más impactadas en cuanto al tema de extracción de agua, y en este estudio, a pesar de abarcar una pequeña parte de toda esta cuenca, pueden visualizarse los efectos de esta problemática.

Adicionalmente, la Junta Administrativa del Servicio Eléctrico Municipal de Cartago (JASEC) posee estructuras de derivación (bypass) sobre el río Maravilla, que son usadas para encausar agua proveniente del Río Coliblanco localizado aguas arriba del río Maravilla. Las aguas que llegan al río Maravilla son dirigidas para el canal oriental de JASEC, por lo que el cauce del río Maravilla, según esta junta, es solamente utilizado para transportar las aguas que tienen concesionadas, ya que dicen que la cantidad de agua que le inyectan al Maravilla

es la misma que extraen, indicando no utilizar agua de este río (A. Hernández, comunicación personal, 02 de octubre de 2019). No obstante, esta adición de caudal proveniente de otro cuerpo de agua puede tener una influencia, ya que se recibe agua con otras características que podrían estar alterando la dinámica ecológica y fluvial propia, es decir, con subsecuentes efectos sobre el resto del sistema fluvial (Meza-Rodríguez et al., 2017).

La extracción de agua que presenta el río Maravilla debe ser abordada lo más pronto posible con el fin de minimizar y reducir los impactos en el ecosistema. De acuerdo con Elossegi y Diez, (2009), y Poff et al., (2010), las reducciones en el caudal por procesos no naturales interfieren en el régimen hidrológico propio del cuerpo de agua; esto trae consigo una serie de desequilibrios y consecuencias a nivel del ecosistema acuático, dado que dicho régimen tiene gran importancia ecológica por ser la fuente que proporciona variabilidad estacional en el caudal, es decir, es un factor determinante en el estado de salud del ecosistema acuático.

En Costa Rica, de acuerdo con la Ley de Aguas N° 276, se establece en su artículo 27 que las actividades como beneficios de café, trapiches, fábricas, actividades de riego agrícola, entre otras, tienen el derecho de solicitar una concesión para aprovechamiento de agua pública en sus actividades económicas productivas. Dicha ley establece que los caudales utilizados por estas empresas deben de mantener un 10% del caudal del río, sin embargo, el valor real del caudal que debe mantener un río para permitir su funcionamiento ecológico debe estar respaldado por estudios, ya que la cantidad podría variar de un río a otro según sus características y zona donde se encuentre.

La hacienda Juan Viñas, tiene concesión sobre el río para su extracción, sin embargo, fue otorgado por la Dirección de aguas hace muchos años, cuando las características y la cantidad de agua del río no eran las mismas que las que se tiene actualmente.

5.2. Sustrato

A pesar de que no se encontró predominancia marcada de algún tipo particular de sustrato para sitios específicos, se puede recalcar que los sustratos del lecho fluvial en los sitios de aguas más arriba fueron de mayor tamaño, compuestos por bloque, canto y guijarros. Es característico que en la cabecera de los ríos los sustratos sean rocas de mayor tamaño y

conforme se baja en el cauce del río es común que las rocas sean más pequeñas. Por ejemplo, Montaña (2018) encontró en un río en Ecuador que los sustratos finos, gravas, arenas y limos registraron un aumento progresivo desde la cabecera hasta la parte media de la cuenca, mientras que los sustratos gruesos, rocas y cantos aparecieron mayormente en la cabecera. Además, esta característica del componente físico de los ríos está determinada en parte por el caudal circulante y la velocidad de la fuerza de arrastre del cuerpo de agua, ya que en las partes altas o cabecera del río la velocidad es más alta por la mayor pendiente, siendo el material más pequeño y fino arrastrado y llevado hasta las partes bajas donde se acumula (Kondolf, 1997; Tamaris y Rodríguez, 2015); situación que ocurrió en los sitios MAR05, MAR06 y MAR07 con mayor presencia de limo y arena.

Las características del hábitat, como el tipo de sustrato y la velocidad del flujo de agua condicionan la permanencia de diferentes especies, las cuales deben de desarrollar adaptaciones especiales que les permitan desenvolverse en diferentes ambientes (Allan y Castillo, 2007; Vásquez, 2014). Los sustratos compuestos de arena y limo, al ser partículas pequeñas son menos estables en los flujos de agua y en este tipo de ambientes la circulación de oxígeno es por lo general más limitado, ocasionando menor diversidad de organismos. Por el contrario, sustratos como grava y cantos pueden albergar gran cantidad de organismos con estrategias alimenticias variadas por una mayor disponibilidad de alimento (Vásquez, 2014), situación observada en los sitios que presentaron sustratos de mayor tamaño, lo que demuestra que el tipo de material del lecho del río y su variabilidad es muy importante para la composición de macroinvertebrados (Allan y Castillo, 2007).

Como indica Meza-S et al. (2012) los sustratos menos favorables para el establecimiento de especies e individuos son los de tipo fondo arenoso, seguido por los fondos pedregosos, mientras que los sustratos constituidos por rocas grandes son más ricos para los MIB, contribuyendo a una mayor diversidad cuando están acompañados por vegetación, en relación a esto, en este estudio los sitios MAR03 y MAR04 presentaron alta abundancia y riqueza de MIB con sustratos de tipo cantos, grava y guijarros. Además, fueron los sitios con más presencia de vegetación ribereña, que de acuerdo con Meza-S et al. (2012) los sustratos constituidos por hojarasca proporcionan una mayor disponibilidad de recursos para la fauna acuática y se convierten en los hábitats que pueden presentar una alta riqueza de especies y al mismo tiempo mantener una mayor densidad de individuos. Además,

sustratos de mayor tamaño son más estables, beneficiando el crecimiento de perifiton y refugios para los MIB en comparación con sustratos de dimensiones menores como arcillas, arenas o limo (Alave, 2018), que fueron los encontrados en los sitios más bajos del estudio (MAR06 y MAR067).

Por otra parte, los procesos de erosión hídrica en una cuenca hidrográfica varían de acuerdo con el tipo de uso de suelo presente en la cuenca. Las zonas deforestadas y reemplazadas por actividades agrícolas y ganaderas ocasionan mayor arrastre de sedimentos a través de las precipitaciones y por ende mayor aporte de sedimentos al río (Llanes et al., 2020). La microcuenca del río Maravilla contiene una intensiva actividad agrícola que interactúa de manera directa con los sitios muestreados, por lo que la presencia de sustrato tipo limo o lodoso en los sitios bajos del estudio constituyen depósitos de sedimentos aluviales. De acuerdo con Basile (2018), los materiales sedimentarios son transportados por el río y depositados debido a una disminución en la velocidad del flujo del agua. En un estudio realizado por De Cabo et al. (2019), en la cuenca Matanza-Riachuelo en Argentina se encontró mayor porcentaje de limo (34.4%) y arcilla (32.5%) en la zona baja del río donde existe una mayor deposición de sedimentos, en relación con otros sustratos. Los autores indican que el arrastre de sedimentos de la cuenca hacia el río se ha agravado debido a los cambios de uso de suelo que pasaron de bosque primario a pastizales para ganadería. Una situación bastante similar a la que se genera actualmente en la microcuenca del río Maravilla.

5.3. Velocidad y profundidad

De acuerdo con Pozo y Elozegi (2009), la velocidad es una variable hidráulica que está modelada por factores como la pendiente, la profundidad, la rugosidad del lecho, el ancho del cauce, el caudal, entre otros. Las mayores velocidades se presentaron en los sitios de la cabecera del río, por ejemplo MAR01 cuenta con características hidráulicas menos alteradas ya que no sufre impacto directo de extracción de agua, además presenta un canal fluvial más angosto y con mayor presencia de rápidos que aumenta la velocidad del curso de agua, en contraste con MAR06 que se encuentra en la parte media de la microcuenca con un canal más ancho y menor pendiente conduciendo a velocidades más bajas (Pozo y Elozegi, 2009). Asimismo, MAR06 fue el que presentó un mayor impacto por extracción de agua,

presentando un volumen de agua muy bajo siendo apenas posible realizar mediciones de velocidad e inclusive no poderse realizar por la ausencia de agua.

La profundidad en los cuerpos de agua corrientes tiende a aumentar en las partes bajas de los ríos donde la pendiente es menor y el agua se acumula (Martín, 2009). En el río Maravilla esta naturaleza del sistema fluvial no existe debido a las desviaciones de agua. Sin embargo, el aumento de profundidad en ciertos puntos abajo es causa del aporte de acuíferos que hay en la microcuenca, ya que las aguas subterráneas explican la permanencia de un caudal base de un río durante un periodo seco (Martín, 2009) gracias a la interacción río-acuífero que genera intercambio de flujos entre aguas subterráneas y el río, conformando un sistema dinámico (Martínez-Nájera y Berezowsky-Verduzoo, 2008; Bécher et al., 2015). Otra causa es el desfogue de aguas residuales, hecho que fue más evidente en el sitio más abajo (MAR07) que siempre presentó agua con mucha contaminación, basura, aguas de tonalidad gris, jabonosa, y mal olor, y gran presencia de organismos acuáticos asociados a ambientes contaminados.

Por otra parte, cuando un río lleva poca agua y su canal se hace más ancho en un tramo en específico, las profundidades disminuyen si se compara con tramos donde el canal es más angosto (García-Ruiz et al., 1987), como sucedió en MAR04, punto con el canal fluvial más ancho y ya impactado aguas arriba por extracción de agua.

5.4. Número de Froude

El número de Froude es un parámetro que está muy relacionado con la velocidad, por ser un indicativo de la intensidad de la corriente (Elossegi y Diez, 2009). Como se evidenció en los resultados, el sitio con mayor velocidad registrada corresponde al sitio que reportó el mayor número de Froude (MAR01), así como el sitio con menor velocidad presentó el número de Froude más bajo (MAR06), lo cual indica que en la parte alta las condiciones del flujo son aguas ligeramente más rápidas. Sin embargo, esto no es una característica definida, debido a que el número de Froude arrojó condiciones subcríticas para todos los sitios de estudio, denotando que las aguas a lo largo del río Maravilla son, en general, aguas lentas; no hay dominancia de condiciones turbulentas marcadas, lo que podría explicar los bajos niveles de oxígeno disuelto.

De acuerdo con este calificativo de las aguas, podría inferirse que la ausencia de aguas rápidas, categorizadas por Froude como “supercríticas”, es porque el río Maravilla experimenta captaciones de agua prácticamente a lo largo de su cauce, lo cual reduce significativamente su caudal, y por ende la posibilidad de que se creen condiciones turbulentas. Además, los tramos estudiados no fueron sitios con fuerte pendiente que favorezcan aguas rápidas y turbulentas (López y Barragán, 2003).

5.5. Flujos naturales y desviaciones de flujo

Los flujos de agua en el río Maravilla han perdido sus patrones naturales producto de las desviaciones, afectándose las escalas temporales y espaciales determinadas por el flujo y que a su vez intervienen en la ecología del sistema acuático (Vannote et al., 1980; Bunn y Arthington, 2002). Las extracciones de agua repercuten sobre la distribución, abundancia y diversidad de las comunidades de MIB presentes en el río Maravilla debido al impacto negativo sobre las características de los sustratos y la distribución de los remansos y rápidos, aspectos que son determinados por el régimen de flujo natural (Poff y Allan, 1995).

Los disminuciones y cambios de flujo en el río están afectando además del caudal, la calidad del agua, es decir, su capacidad de autodepuración, así como los componentes físicos de los hábitats acuáticos (Poff et al., 1997; Konrad et al., 2008; Acreman et al., 2014; Alomía y Carrera, 2017). Una consecuencia directa de las disminuciones del caudal sobre el río Maravilla, es la permanencia de sedimentos finos en el cauce, que generan reducción en la riqueza de especies de MIB. De acuerdo con Poff et al. (2010), la acumulación de sedimentos finos ocupa y bloquean los espacios intersticiales, desplazando a los MIB de estas cavidades que son sus hábitats potenciales.

Asimismo, las alteraciones en el caudal del río Maravilla están repercutiendo sobre los procesos propios del sistema acuático (por ejemplo, procesos de degradación de materia orgánica y sustancias) y su integridad ecológica, con efectos negativos sobre la dinámica de la materia orgánica y energía, y la eficiencia de las interacciones bióticas (Vásquez, 2014; Bagneres y Hossaert-Mckey, 2020), procesos que son extremadamente impactados sobre el sitio MAR06 que presentó extracción total de caudal y por ende secciones del río secas. Estas desviaciones han originado pérdida de hábitats y de fertilidad de los suelos inundados,

obstrucción de rutas, retención de material sedimentario, así como reducción o desaparición de especies, entre ellos los MIB (Soares et al., 2015).

Las reducciones de flujo sobre el río Maravilla impactan sobre el intercambio de materia y energía que naturalmente ocurre en las zonas hiporreicas y llanuras aluviales, lo que se traduce en afectación para las comunidades bénticas, por ser zonas de gran disponibilidad de recursos. Además, con la interrupción del caudal se imposibilita el funcionamiento del agua como vehículo, con impacto directo sobre los MIB, al verse interferido el intercambio de organismos, partículas, energía y distintas sustancias disueltas (Ritcher et al., 1997).

No obstante, los efectos de las desviaciones de flujo en el río Maravilla se hacen mayores por encontrarse inmerso en un paisaje con cambio en el uso de suelo, con conversión de terrenos para la agricultura, que realizan irrigación y uso de productos agroquímicos; factores que se traducen en múltiples estresores para el sistema hídrico (Bunn y Arthington, 2002), por tanto, siendo la sinergia de todos estos factores la responsable del gran deterioro ambiental presente en la microcuenca.

5.6. Conexiones del sistema fluvial

La conectividad longitudinal y lateral del río Maravilla podría estar afectada por las actividades agrícolas y agroindustriales presentes en la microcuenca, que han provocado la eliminación de bosque de ribera y la interrupción del río (Observación personal). Las extracciones de agua están impidiendo que la conectividad longitudinal ocurra, es decir, el transporte e intercambio de energía, nutrientes, organismos, sustratos y la comunicación en el sistema fluvial; al mismo tiempo la invasión de la frontera agrícola irrumpe en la transición del sistema acuático con la vegetación ribereña y la entrada de materia orgánica proveniente del bosque ribereño, consecuencia de la conectividad lateral (Bunn y Arthington, 2002).

En gran parte de la microcuenca del río Maravilla no se respetan las áreas de protección de ribera establecidas en el artículo 33 de la Ley Forestal N°7575 (1996) debido a los cultivos de caña, café, y áreas de pasto (Observación personal). Las consecuencias de la ausencia de bosque de ribera concuerdan con la mayor riqueza y abundancia de MIB encontrados en los sitios con vegetación ribereña en comparación a los sitios desprovistos de vegetación riparia (Arcos, 2005). La presencia de material vegetal proveniente de la ribera

es fuente alimenticia y de hábitat para los MIB (Ladrera, 2012; Meza-S et al., 2012); lo que refleja la relevancia de este tipo de bosque para la salud e integridad de todo el ecosistema acuático. Asimismo, otros autores definen el mismo comportamiento, al recalcar que la carencia de vegetación ribereña lleva a un declive en la composición de los MIB (Alonso, 2006), mientras Trujillo (2018) encontró que, a menor porcentaje de cobertura vegetal en zonas ribereñas, menor aporte de nutrientes y menor diversidad de macroinvertebrados, mismos resultados a los encontrados en este estudio.

Por tanto, la zona ribereña mantiene conexión y relación con el sistema fluvial e influye en las características físicas y químicas del río y en los organismos que habitan al regular la entrada de nutrientes y sedimentos (Mancilla et al., 2009; Trujillo, 2018). De acuerdo con Montalvo (2017), el aporte de nutrientes y materia orgánica cambia las características fisicoquímicas del agua y condiciona la abundancia y composición de macroinvertebrados, así como la calidad del agua. Es por esto que los sitios de mayor cobertura vegetal (MAR03 y MAR04), obtuvieron gran abundancia de MIB.

5.7. Índices de diversidad

A nivel de biota acuática los impactos en el río se reflejan con la baja diversidad de MIB encontrados en este estudio. Los MIB son organismos acuáticos que por mucho tiempo han sido utilizados como indicadores biológicos de calidad de agua, ya que responden tanto espacial como temporalmente a los cambios físicos y químicos del agua, por ser organismos con ciclos de vida largos, abundantes con amplia distribución y ser sensibles a cambios en la calidad del agua y otras variables hidráulicas, por lo que presentan diferentes tolerancias ante las perturbaciones (Roldán, 1999; Meneses-Ocampo et al., 2019). Estos impactos en la diversidad se reflejan en el índice de Shannon (<2), valores que según este índice corresponden a baja diversidad para un ecosistema determinado (Mora-Donjuán et al., 2017).

Los valores más altos de diversidad según el índice de Shannon, así como la riqueza específica reportados para los sitios MAR03 y MAR04, pueden atribuirse a que estos sitios fueron los que presentaron condiciones menos deterioradas al contar con parches de vegetación y bosque de ribera, y no estar directamente bordeados por cultivos agrícolas y áreas de potrero. Esto refleja la importancia del bosque de ribera para la conservación de la integridad ecológica de los ríos tropicales, al propiciar condiciones aptas y recursos

necesarios para las comunidades acuáticas (López-Delgado et al., 2015). A pesar de la baja diversidad a lo largo del río, los valores mínimos del índice se obtuvieron para los sitios aguas abajo (MAR06 y MAR07), indicando que estos sitios presentan condiciones más deterioradas, por lo que son menos capaces de mantener y asegurar la biodiversidad acuática (Abell et al. 2019). Esto concuerda con lo observado durante las giras de campo, donde se pudo visualizar mucha contaminación (plásticos, electrodomésticos, botellas) y descargas directas de aguas residuales.

En cuanto a los índices de dominancia de Simpson y de equitatividad de Pielou, el sitio MAR04 obtuvo mayor índice de Simpson en la primera y tercera campaña de muestreo. De acuerdo con Zacarias-Eslava et al. (2011), esto indica que es un sitio fuertemente dominado por alguna especie en particular. En nuestro caso las familias Baetidae y Glossosomatidae fueron las más abundantes en estos sitios respectivamente, sitios que a la vez cuentan con mayor diversidad. En relación a esto, el índice de equitatividad de Pielou fue más bajo en este sitio en esas respectivas campañas indicando una baja uniformidad en la comunidad de macroinvertebrados habiendo más abundancia de unas especies y por tanto mayor dominancia (Morelli y Verdi, 2014).

5.8. Parámetros fisicoquímicos e índices de calidad de agua

La alta degradación y los niveles críticos en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos para los sitios MAR06 y MAR07 concuerdan con los obtenidos por Alfaro (2019), donde reportó para MAR06 valores muy elevados de temperatura de hasta 36.7 ° C a causa de las descargas realizadas por el ingenio Juan Viñas, relacionándolo con las pocas especies de macroinvertebrados encontradas en ese punto; además encontró aguas con “Contaminación severa” según Índice Holandés, indicando que los sitios con mayor contaminación y degradación corresponden a los situados en la parte media de la microcuenca, resultados que concuerdan con este estudio. Además, Fonseca-Sánchez et al. (2019), mencionan que MAR06 se encuentra en una de las zonas con mayores fuentes puntuales de contaminación dentro de la cuenca.

Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno en los sitios medios y bajos pueden deberse a una alta cantidad de materiales orgánicos en

descomposición aportados por el ingenio (Observación personal). Se considera que las aguas residuales negras o de desechos industriales consumen el oxígeno del agua debido a la presencia de microorganismos capaces de descomponer esta materia por procesos de degradación anaerobia (Bolaños et al., 2015).

Por otra parte, el porcentaje de saturación de oxígeno se mantuvo por encima del 55% en los sitios de la parte alta de la microcuenca, si bien este valor demuestra que hay un déficit de oxígeno, también indica que, a pesar de la falta de turbulencia y la visible acumulación de materia orgánica, permite el establecimiento y desarrollo de organismos acuáticos (D'Ambrosio et al., 2017). El oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno son parámetros que varían constantemente, sus concentraciones varían de acuerdo con las condiciones de turbulencia del agua, temperatura, concentración de sales y actividad de los organismos en el río (Solano, 2011).

La disminución del oxígeno está relacionada con los parámetros DBO y DQO, ambos utilizados para determinar si existe contaminación orgánica, la cual fue observada en los puntos de muestreo. El DQO se define como la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar materiales inorgánicos en el agua, y el DBO constituye la cantidad de oxígeno disuelto que necesitan los microorganismos del sistema acuático para oxidar la materia orgánica en condición aerobia (Solano, 2011). En este estudio ambos parámetros reflejan el estado en que se encuentran los sitios, con valores de DBO por encima de 50 mg/L en el sitio MAR06 y MAR07, así como concentraciones de DQO superiores a 200 mg/L, los cuales, de acuerdo con la literatura, permite clasificar estos cuerpos de agua con contaminación severa, indicando además que puede haber contaminación por descargas de aguas residuales (Bolaños et al., 2015).

La estacionalidad de la época seca podría incidir en la caída tan pronunciada del oxígeno disuelto en MAR06 (Ordóñez, 2019). El uso de agua en este sector, por parte de la Hacienda Juan Viñas, se inicia antes del sitio MAR05, donde el agua es llevada a las instalaciones del ingenio para el procesamiento de la caña. Posteriormente el agua es devuelta al río justo antes del sitio MAR06, cambiando la calidad del agua por la cantidad de melaza que contiene (Observación personal), reflejándose en los valores de DBO y DQO.

La mayor concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) y Sólidos Totales (ST) en MAR07, con un valor superior a 100 mg/L en época seca afectan de manera directa la

disponibilidad de oxígeno en este sitio. Desde el punto de vista ecológico la alta turbidez y cantidad de sólidos disueltos causan una disminución en la entrada de luz al cuerpo de agua, disminuyendo la posibilidad de que se establezcan comunidades de perifiton por afectación de los procesos de fotosíntesis y no se produzca una adecuada liberación de oxígeno al agua, condicionando el desarrollo de algunos organismos (Gualdrón, 2016).

La temperatura es uno de los parámetros fisicoquímicos con mayor incidencia en la estabilidad de los ecosistemas fluviales, afectando el metabolismo de los organismos, su reproducción y la producción primaria (Macías, 2019). Se pudo observar un aumento de la temperatura a partir del sitio MAR04 en todas las campañas de muestreo, donde se resaltan las altas temperaturas obtenidas en el sitio MAR06 cuyos valores se encontraron entre 22.37°C a 34.77 °C, durante las épocas seca y de transición (2019). A pesar de que en el trópico la temperatura es altamente variable durante el día, existe una diferenciación entre la época seca y lluviosa, periodos que influyen en las condiciones ambientales y en la temperatura del río (Macías, 2019). Además, los dos últimos muestreos se realizaron cuando la Hacienda Juan Viñas se encontraba en proceso de zafra, realizando el ingenio descargas de agua al río, las cuales cambian las condiciones fisicoquímicas del agua, especialmente la temperatura.

Las descargas de aguas residuales por parte de las industrias es un problema cada vez mayor en muchos países (Brañez et al., 2018). En Costa Rica, a pesar de la existencia del Reglamento N°33601 sobre Vertido y Reuso de Aguas Residuales es común encontrar descargas directas sin tratamientos previos o bien con un tratamiento mínimo. Los desfuegos de aguas residuales alteran las características fisicoquímicas propias del río (González et al., 2020), con efectos en el funcionamiento ecosistémico (Chávez et al., 2017). En el sitio MAR06 los cambios en la composición fisicoquímica eran evidentes y con esto la abundancia de macroinvertebrados encontrados en comparación con los demás sitios.

El pH y la alcalinidad variaron a lo largo de los sitios y campañas de muestreo, para la época lluviosa valores de pH por debajo de 7 en la mayoría de los sitios indican un estado del agua más ácido, contribuyendo a la dilución de algunos materiales de característica inorgánica y a las reacciones de disolución de sales, que está relacionado con un mayor equilibrio en el flujo del agua en esta época (Bolaños et al., 2015). Los menores valores encontrados en época de lluvias coinciden con Mora et al. (2008), el cual indica que

disminuciones del pH en esta época pueden explicarse por el lavado de la materia orgánica acumulada en las laderas de los ríos y el sustrato, provocando la presencia de sustancias húmicas en solución, tornando las aguas ácidas. Asimismo, las variaciones de pH se relacionan con una disminución del caudal, generando concentración de productos químicos derivados de material foliar (Guevara, 2015).

Por otra parte, los valores de pH mayores a siete están asociados a aguas con altas alcalinidades, características que pueden ser atribuidas a la meteorización de rocas carbonáticas, es decir, a condiciones edáficas (Neal et al., 2000). Además, altos valores de pH (>8) fueron encontrados por Custodio y Pantoja (2012) en un río de Perú con presión de actividades agropecuarias y domésticas, mencionando que esta tendencia en el aumento del parámetro es producto del ingreso de fertilizantes al medio acuático.

El aumento progresivo de la alcalinidad conforme se desciende en la microcuenca, fue evidente al presentar el sitio MAR07 los valores más altos en todas las campañas de muestreo. La alta alcalinidad en este sitio indica que la capacidad del río para neutralizar los ácidos es mayor debido a las altas condiciones de degradación en este sitio, de modo que, para mantener un pH adecuado, la capacidad alcalina en este punto debe ser más alta (Feria-Díaz et al., 2016). La alcalinidad es un parámetro que le da estabilidad al ecosistema si se encuentra en valores adecuados, al conformar un sistema que posee interacciones importantes en los procesos de respiración celular y fotosíntesis, además de permitir a los cuerpos de agua resistir a los grandes cambios de pH, cuyas variaciones pueden ser letales a nivel enzimático para los organismos acuáticos, por ello la importancia del sistema de alcalinidad al dotar de capacidad amortiguadora a las aguas naturales (Santos, 2011).

Por otra parte, el aumento de la conductividad en el sitio MAR07 está relacionado con un aumento en la concentración de electrolitos disueltos producto de una mayor descomposición de materiales orgánicos e iones presentes en el agua (Ospina-Zúñiga et al., 2016), por lo que está determinada con la cantidad de sales disueltas al momento de la medición (Gualdrón, 2016), lo cual concuerda con MAR07 que obtuvo mayor concentración de sólidos disueltos. Además, al igual que Escobar y Montoya (2019), las altas conductividades se presentaron en sitios muy alterados con presión de cultivos de café, impactos antrópicos que elevan los valores de este parámetro. La mayor conductividad se presentó en la época seca y época de transición seca-lluviosa, mientras que las disminuciones

en época de lluvias es consecuencia de la dilución de sales disueltas por aumento del caudal (Mora et al., 2008).

Las altas concentraciones de nitrógeno en forma de nitrato y de fósforo en forma de fosfatos en los sitios MAR01 y MAR02, respectivamente, son consecuencia de las actividades agrícolas con gran uso de fertilizantes químicos en la parte alta de la microcuenca, productos que son arrastrados por el agua de lluvia o por el riego a los cuerpos de agua (Rojas-Rodríguez et al., 2020). Además, el nitrato puede provenir del estiércol que es arrastrado al río mediante procesos de escorrentía superficial, o bien a través de heces producto de pozos sépticos (Ramírez-González, 2018). Cabe destacar que la mayor concentración de fosfatos en MAR02 se presentó durante el muestreo en época lluviosa cuando la escorrentía superficial es mayor, lo cual refleja las interacciones sinérgicas, en este caso negativas, de las precipitaciones con las actividades de uso y manejo de la tierra sobre el río (Méndez et al., 2017).

Iones como amonio, sodio, calcio, potasio y cloruro fueron encontrados principalmente en el sitio más contaminado (MAR07). Beita (2008) menciona que el sodio puede provenir de descargas de aguas residuales, problemática existente en la zona (Observación personal). Cabe recalcar que la determinación de concentraciones de nutrientes en un río es necesaria por sus repercusiones en el sistema acuático, por ejemplo, pueden generar grandes impactos en el ecosistema al provocar eutrofización, fenómeno que conduce al desarrollo masivo de algas, que proliferan de manera exponencial impidiendo la entrada de luz en el cuerpo de agua y alterando su funcionamiento normal de liberación de oxígeno (Vásquez, 2014).

Estudios como el de Figueroa et al., (2003), encontraron que altos niveles de las variables fósforo, temperatura, nitritos, conductividad eléctrica, demanda biológica de oxígeno y nitrógeno se relacionaron positivamente con aguas de mala calidad, mientras que la variable oxígeno disuelto presentó relación positiva con aguas de calidad buena y además mencionan que todas estas variables están estrechamente asociadas a actividades agrícolas y ganaderas, similar al caso de la microcuenca del río Maravilla.

Además, los resultados de calidad de agua son similares a los encontrados en otros estudios realizados en la microcuenca del río Maravilla, donde se obtuvieron niveles de contaminación altos de acuerdo con índices fisicoquímicos y biológicos (Alfaro, 2019;

Fonseca-Sánchez et al., 2019). Al igual como lo señalan estos autores, la calidad reportada para los diferentes sitios de muestreo indican la alta degradación que tiene la microcuenca producto del uso de suelo para actividades agrícolas e industriales, ya que según el índice BMWP-CR todos los sitios del río Maravilla tienen una calidad mala, con contaminación incluso desde los sitios en la parte alta de la microcuenca. Sin embargo, se resalta que las peores calidades en MAR06 y MAR07 de acuerdo con BMWP-CR e índice Holandés coinciden con lo encontrado por Alfaro (2019) donde encontró contaminación severa en estos puntos.

Además, los sitios alterados presentaron mayor abundancia de familias de macroinvertebrados indicadoras de aguas de contaminación moderada a severa concordando con varios estudios a nivel latinoamericano, donde los cambios de uso de suelo y el efecto antrópico determinan la mala calidad de las aguas (Montalvo, 2017; Linares, 2018; Mosquera-Restrepo y Peña-Salamanca, 2019).

Es importante recordar que las condiciones fisicoquímicas del agua al momento de tomar la muestra dependen de diferentes factores ambientales como el clima, que incide directamente en la temperatura del agua y en el movimiento del flujo, así como la cantidad de materia orgánica presente en el río y que puede deberse a diferentes factores como descargas de aguas residuales, o arrastre de sedimentos por procesos de erosión y escorrentía, entre otros (Dandali et al., 2017). Por tanto, la complementariedad de ambos índices es indispensable para una mejor caracterización de la calidad del agua, dado que al tomarse en cuenta las poblaciones de macroinvertebrados, se permite que la interpretación de la calidad del agua sea representativa de un periodo de tiempo debido a la adaptabilidad, desarrollo y crecimiento que deben tener estas poblaciones para poder habitar y desenvolverse en un sitio específico (Fontalvo-Julio y Tamaris-Turizo, 2018; Vásquez 2019; Romero-Vargas et al., 2020).

5.9. Micrositios

Las no diferencias encontradas en los índices de diversidad, abundancia y riqueza respecto a los micrositios evaluados reflejan las características físicas e hidráulicas similares en la microcuenca. Esto fue evidente al realizarse el trabajo de campo, ya que desde la cabecera el río está impactado, con áreas de pasto y cultivos de hortalizas y en la parte media

por cultivos de caña y café que están afectando directa e indirectamente al río (Observación personal). Actividades que irrumpen el continuo fluvial natural del río, imposibilitando la generación de la heterogeneidad de hábitats y condiciones para los diversos organismos acuáticos (Bonada y Resh, 2013).

Statzner y Higler, (1986), indica que la velocidad es una de las variables hidráulicas más importantes en la determinación de las comunidades bénticas e incide en la riqueza de MIB encontrados en este estudio. La velocidad genera zonas de diferentes condiciones hidráulicas que repercuten de forma directa sobre la composición y permanencia de los macroinvertebrados, al interactuar con la morfología del lecho rocoso y configurando la diversidad de microhábitats (Guevara, 2015), Además, la velocidad está relacionada con el flujo (Farah, 2016), por ello las desviaciones de flujo también repercuten sobre la riqueza de las comunidades bénticas.

El número de Froude fue una de las variables más significativas para explicar los modelos de riqueza y la abundancia de MIB. Guevara (2015) encontró una relación positiva del número de Froude con la abundancia total, e indica la importancia de las características de los microhábitats en la distribución por parches de los organismos bentónicos.

La temperatura también fue una variable que interviene en los procesos de desarrollo de los MIB (Bunn y Arthington, 2002), y por ende influye en la riqueza y distribución de las familias (Bustamante et al., 2008). Jacobsen et. al (1997) señalan que es un factor determinante en la riqueza de organismos acuáticos existente en un cuerpo de agua, encontrándose en quebradas tropicales un incremento lineal de la riqueza con aumentos de temperatura.

En aguas con temperaturas elevadas la solubilidad del oxígeno disminuye y por ende el porcentaje de saturación de oxígeno, incidiendo sobre la riqueza de MIB, ya que las concentraciones mínimas y tolerables varían según las especies, no obstante, se considera que el medio favorable debe contener al menos un 70% de saturación de oxígeno disuelto (López Ortega, 2012). Por lo que cabe rescatar que en sitios de mayor intervención antrópica (MAR06 y MAR07) se encontraron porcentajes muy por debajo de este valor aceptable, de hasta 46.2%.

Guerrero et al. (2003) mencionan que el oxígeno disuelto junto con la temperatura establece la riqueza y los patrones de distribución de las familias de MIB. Estos dependen

fuertemente de la concentración de oxígeno disuelto presente en el cuerpo de agua que determina las especies que habitan, según la tolerancia o el rango de adaptación ante determinadas condiciones (Meneses-Campo et al., 2019). Por tanto, ante disminuciones de oxígeno disuelto ocurren afectaciones a los organismos, con impactos en su fisiología, y en la composición y estructura de las comunidades. Sin embargo, hay especies o poblaciones que son más resistentes o tolerantes a esos cambios en el oxígeno disuelto (Naranjo-López y López-del Castillo, 2013).

En este estudio los parámetros fisicoquímicos como la conductividad, el pH y la temperatura fueron variables de influencia para el establecimiento de comunidades de macroinvertebrados, y coincide con lo encontrado en estudios realizados por Quinn y Hickey, (1990), Toro et al., (2002), Carvacho, (2012), y Morelli y Verdi (2014), quienes indican la sensibilidad de estos organismos a estos parámetros fisicoquímicos para su distribución. El pH, por ejemplo, es una variable altamente influyente en el ecosistema acuático, al ser un parámetro requerido bajo rangos naturales por la vida acuática (Villanueva y Chanamé, 2016), con rango óptimo que oscila entre 6.5 y 9.0 para las especies de agua dulce (Escobar y Montoya, 2019).

Además, la concentración de oxígeno disuelto en los ríos de zonas tropicales es esencial para explicar el funcionamiento de los sistemas de aguas corrientes (Mancilla et al., 2009; Carvacho, 2012), variable que también fue significativa para las comunidades de macroinvertebrados en este estudio.

5.10. Datos simplificados

Las diferencias en la composición de los macroinvertebrados respecto a las campañas de muestreo pueden atribuirse a las distintas condiciones climáticas bajo las cuales se realizó cada muestreo, ya que en época de transición las abundancias de la mayoría de las familias fueron mucho más altas en comparación a los otros periodos de recolección. En época de fuertes y frecuentes lluvias, los ríos cambian su caudal y las condiciones hidráulicas se vuelven más difíciles para diversos macroinvertebrados, por ejemplo, Guevara-Mora et al. (2016) mencionan que velocidades extremas de la corriente no son buenas para las comunidades de macroinvertebrados, como ocurre durante periodos de crecidas, al generarse condiciones hidráulicas agresivas que afectan la abundancia de MIB.

Respecto a las diferencias en la composición de macroinvertebrados entre los sitios de muestreo, puede tener influencia el diferente grado de impacto a través de la microcuenca, donde hay sitios más impactados que otros. Por ejemplo, hubo sitios que además de la extracción de agua, recibían descarga directa de aguas residuales, mientras que en otros sitios la afectación fue principalmente a causa de reducciones de caudal, y en otros por afectación directa de actividades agrícolas. La interacción de diversas fuentes de impacto conlleva a mayor presión y efectos negativos para los diferentes taxa de MIB (Correa-Araneda et al., 2010).

Además, según el tipo de actividad alrededor del cauce de un río, se repercute en la estructura física del río o en las propiedades físicas y químicas del agua (Pavé y Marchese, 2005), y por ende sobre la composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. Zúñiga y Cardona (2009) señalan que la configuración de las comunidades de macroinvertebrados cambia en densidad o tipo de organismos dependiendo de las condiciones ambientales del sistema hídrico, como calidad o cantidad de recursos requeridos para su sobrevivencia.

La composición química del agua fluvial está influenciada directamente por el flujo natural (Guevara-Mora et al., 2016) y esto a su vez repercute sobre los MIB y demás organismos acuáticos. Estos mismos autores señalan que, en ríos bajo condiciones de poca agua, se producen cambios temporales y espaciales en los compuestos de nitrógeno, así como demás cambios en la composición de otros iones, pudiendo causar incluso condiciones anóxicas.

En este estudio los parámetros que explicaron la mayor parte de la variación de macroinvertebrados fueron el oxígeno disuelto, el fluoruro, el DBO, la temperatura y el sodio. La salinidad en un cuerpo de agua está determinada por la dinámica de diferentes fuentes naturales, sin embargo, los niveles aumentan al haber aportes de actividades antrópicas, lo que vuelve al sodio uno de los contaminantes más importantes en los cuerpos de agua (Cañedo-Argüelles et al., 2013). Esto es importante de considerarse porque es una variable que establece la distribución y abundancia de los organismos acuáticos según su tolerancia, de modo que la salinización en los ríos puede favorecer a los organismos fisiológicamente tolerantes, con capacidad de configurar sus procesos para poder vivir bajo tales condiciones (Guerra, 2017).

En cuerpos de agua los fluoruros pueden incrementar su concentración a causa de actividades agropecuarias o a las condiciones geológicas naturales del lugar (Poblete, 2013). Por lo que podría indicarse que en el río Maravilla este ion proviene de actividades agropecuarias, ya que el fluoruro es utilizado en la fabricación de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas (Barettino et al., 2005; Romero et al., 2017). El fluoruro es un indicador de contaminación en ecosistemas acuáticos, y puede ser acumulado en los tejidos de los macroinvertebrados e incluso concentraciones inferiores a 1 mg/L indica contaminación por fluoruro, siendo algunos organismos acuáticos muy sensibles a la toxicidad por este ion (Gonzalo, 2013).

Entre las familias de macroinvertebrados que destacan en este estudio, se encuentra Chironomidae, siendo de las más abundantes durante todo el estudio. Dentro del orden Diptera, los chironómidos es uno de los grupos de mayor frecuencia en los ecosistemas lóticos al ser una familia cosmopolita y con una distribución amplia, por lo cual en muchos ecosistemas de agua dulce los chironómidos representan gran parte de la biomasa total de macroinvertebrados presentes (Zúñiga y Cardona, 2009). Asimismo, Springer (2010) se refiere a que los dípteros se caracterizan por habitar en muchos tipos de agua.

La familia Chironomidae es abundante en ambientes acuáticos con alta cantidad de nutrientes (Oscoz et al., 2006), como los fosfatos (Meneses-Campo et al., 2019). Por tanto, la mayor presencia de este grupo en MAR06 y MAR 07 es debido al enriquecimiento de nutrientes en el agua, especialmente de fosfatos y nitrógenos, provenientes de cultivos agrícolas, actividades domésticas e industriales adyacentes (Figuroa et al., 2003). Iones que generan contaminación orgánica y promueven la presencia de determinados órdenes de macroinvertebrados que se van beneficiados bajo estas condiciones (Harding et al., 1999). Esto concuerda con la presencia de chironómidos en los sitios con alto DBO, sodio y temperatura, así como su relación negativa con el oxígeno disuelto (Sierra, 2011; Naranjo-López y López-del Castillo, 2013). Además, las larvas de chironómidos poseen variedad morfológica (Springer, 2010) y rasgos fisiológicos que les posibilita el desarrollarse en diferentes condiciones de disturbio, siendo la principal característica la producción de hemoglobina para sobrevivir en condiciones de anoxia, adaptación que les confiere una coloración roja (Panis et al., 1995; Ramírez y Pringle, 2006), aspecto que fue muy evidente en muchos de los individuos colectados en los sitios con mayor alteración y contaminación

en este estudio. Otro grupo característico de ambientes perturbados es el Oligochaeta, grupo que pertenece a los anélidos (Springer, 2010), y que en general tiene prevalencia en aguas contaminadas (Casanova y Figueroa, 2015).

El orden Ephemeroptera, en términos generales, es un grupo que presenta gran diversidad, abundancia y amplia distribución altitudinal en los sistemas hídricos, además de ser sensibles a la degradación de los hábitats (Zúñiga y Cardona, 2009), aunque algunos de sus géneros muestran ser más tolerantes al adaptarse a amplios espectros ambientales (Zúñiga et al., 1997). Por ejemplo, la familia Baetidae se encuentra comúnmente en aguas contaminadas (Ríos-Touma, 2004; Ríos-Touma et al., 2014), y específicamente el género *Baetodes* es considerado parcialmente tolerante a la contaminación (Escobar y Montoya, 2019), familia encontrada en este estudio.

La presencia y mayor abundancia de baétidos a lo largo de los sitios muestreados durante los periodos de estudio, indican que este río empieza a sufrir impactos desde aguas arriba con aportación de nutrientes al cuerpo de agua (Meneses-Campo et al., 2019). Gran parte de los nutrientes aprovechados por estos grupos de macroinvertebrados provienen de los vertidos que generan una sobrecarga de materia orgánica en el agua, consecuencia directa de la ausencia de una red de alcantarillado en la comunidad de Juan Viñas (Fonseca et al., 2019).

La familia Simuliidae suele encontrarse en aguas de calidad baja, inclusive con alta contaminación de sustancias tóxicas y contaminantes (Ríos-Touma et al., 2014). Dentro de esta familia se encuentra el género *Simullium*, que junto con *Baetodes* y la familia Chironomidae, son considerados como parcialmente tolerantes a la contaminación (Escobar y Montoya, 2019), grupos que fueron los más abundantes en este estudio.

Las larvas del orden Trichoptera son sensibles tanto a los impactos en el hábitat como en la calidad del agua, razón por lo cual la familia Hydropsychidae habitan en aguas limpias y oxigenadas (Escobar & Montoya, 2019). Sin embargo, en el estudio de Ballesteros et al. (1997) realizado en una región colombiana, encontraron que algunos géneros de Hydropsychidae tienen adaptación a ambientes con cierto grado de degradación. Familia que fue encontrada en todos los sitios de muestreo, pero especialmente en el sitio MAR04, sitio rodeado de bosque y con características más naturales.

Ríos-Touma, Acosta y Prat (2014) indican que Leptohyphidae, que fue encontrada en este estudio, es una familia que se encuentra en aguas ligeramente contaminadas. Mientras que Castro (2012) señala que se asocia a aguas que experimentan bajo grado de contaminación, bajo caudal y aumento de la temperatura.

La familia Glossosomatidae ha sido asociada a corrientes lentas (Guerrero-Bolaño et al., 2003) y también se ha relacionado con aguas oxigenadas y de buena calidad (Montoya et al., 2011). Esto concuerda con el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales (N° 33903-MINAE-S) que clasifica a la familia con sensibilidad a la contaminación (puntuación 8), concordando con el RDA al relacionarse positivamente con el oxígeno disuelto, que fue mayor en los sitios MAR02, MAR03 y MAR04.

5.11. Aspectos socioeconómicos

La evaluación socio ambiental de la cuenca, presentó que la mayor parte de las personas encuestadas fueron amas de casa, lo que indica el importante papel de las mujeres en el tema del manejo del recurso hídrico desde los hogares. Por eso desde el punto de vista de género, las mujeres deben ser especialmente tomadas en cuenta en los procesos educativos y de implementación de herramientas en pro del agua, como lo dicta la Declaración de Dublín sobre Agua y Desarrollo Sostenible (1992) en su Principio N°3: “La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua”.

Se obtuvo resultados positivos con respecto a la percepción de las personas encuestadas, donde la mayoría, mostró preocupación respecto al tema del agua, su importancia, y preocupación con respecto a la mala la calidad del agua. De acuerdo con Luna y Madroño (2016), el conocimiento de las problemáticas en torno al recurso hídrico por parte de las comunidades y su interés constituye un paso importante para el involucramiento en procesos de mejora integral del recurso hídrico.

En este estudio se encontró que un porcentaje de la población hace un uso del agua principalmente doméstico, y al igual que lo encontrado en Sánchez y Cañon (2010), que hicieron un estudio de percepción social en un río de Colombia, las personas son conscientes de que sus propias actividades diarias podrían estar afectando la calidad del agua. Además, la población tiene claro cuales actividades socioeconómicas son las principales en ejercer presión sobre la microcuenca del río. La industria, agricultura y generación de electricidad

son las áreas que más uso hace del agua del río, situación similar a la encontrada en muchos estudios de cuencas y agua superficial (Naranjo y Duque, 2004; Pineda et al., 2006; Luna y Madroñero, 2016). Y las personas afirman que en ocasiones el río no lleva agua, producto del uso de estas actividades.

La agricultura es la actividad laboral más importante en la zona, como lo señala el INDER (2015), cuando se indica que el 65% del territorio de Juan Viñas está acaparado por los monocultivos de caña de azúcar y café, actividades destacadas por parte de los encuestados que más afectan el río Maravilla. Además, gran parte de las familias dependen por completo del trabajo que le ofrece la Hacienda Juan Viñas, lo cual demuestra el gran poder y latifundio que posee esta hacienda en el distrito, al ser dueña del 85% del territorio del distrito de Juan Viñas (Jiménez, 2010). Estas grandes extensiones agrícolas intensivas se traducen en impactos para los suelos y todo el medio ambiente circundante, es decir, están fuertemente vinculadas con la degradación presente en la zona debido al alto uso de agroquímicos y plaguicidas que permanecen en el ambiente y que representan toxicidad para la fauna acuática (Bach, 2013).

Otra consecuencia de la intensiva actividad agrícola, son los grandes procesos erosivos, hecho que se confirma con la generación de aproximadamente 8 ton/ha/año, altas cantidades derivadas del mal manejo de los cultivos sin prácticas de conservación de suelos, situación que se agrava al ser cultivos localizados sobre suelos no aptos para ese tipo de actividad (Jiménez, 2010).

En Costa Rica, la utilización de agua para actividades industriales y los proyectos de generación de electricidad han venido en aumento en los últimos años, y los ríos de la cuenca del río Reventazón es un ejemplo de ello (Ballester y López, 2017). Si bien algunas personas encuestadas indicaron conocer a alguien que labora en las industrias de la zona, son conscientes de los cambios que ha sufrido el río Maravilla a lo largo de los años, principalmente con efectos sobre cantidad y calidad de agua, y atribuyen esos impactos las captaciones y extracciones de agua producto de la actividad agrícola e industrial y por el vertido de residuos urbanos.

Mata y Fernández, (2010) realizaron un estudio en España, donde se resalta el valor cultural de los paisajes que interactúan con el recurso hídrico (“paisajes culturales del agua”), mencionan el valor turístico que tienen los paisajes con una protección de este recurso. En

este estudio se reconoce por parte de los encuestados la importancia cultural que tiene el río, por su valor intrínseco natural y como sitio de recreación (donde cuentan de las pozas donde se podía nadar o pescar). Sin embargo, actualmente el río ha perdido esas características y el grado de contaminación y el bajo nivel del agua es sumamente alto. Para los encuestados, existe la importancia de preservar el río y sus ecosistemas asociados, con el fin de recuperar su belleza paisajística. Para muchos ciudadanos la municipalidad debe ser la principal responsable en las problemáticas asociadas al recurso hídrico. Sin embargo, se debe trabajar con la ciudadanía para hacerles saber que el tema del agua no debe ser únicamente una responsabilidad de los gobiernos locales, por el contrario, debe ser un esfuerzo integrado que involucre a diversas organizaciones públicas y privadas, así como la comunidad en general (Martínez y Villalejo, 2018).

Es de destacar que, si bien no existe conocimiento por parte de la ciudadanía sobre el concepto de caudal ecológico, saben que es importante disminuir la cantidad de agua que se le quita al río al realizarse extracciones de agua seguras sin exponer a los ecosistemas acuáticos. Más de la mitad de las personas están conscientes de que el río debe tener una explotación máxima que pueda soportar mientras permita el mantenimiento natural del río, es decir no quitarle más agua de la que puede resistir el ecosistema.

Dentro de las recomendaciones generadas por los encuestados se resalta la implementación de procesos de educación ambiental, que a la vez se relaciona con campañas de reforestación, campañas de limpieza, campañas de cultura hacia el no botar basura, y capacitaciones y divulgaciones para regular las extracciones de agua. La educación ambiental es crucial para los procesos de Gestión Integrada del Recurso Hídrico, la concientización de la población inmersa en la cuenca es necesaria para generar cambios en las actividades económicas y en los hábitos ciudadanos (Flores y Espeleta, 2017; Herrera et al., 2017; Pérez, et al., 2019). Por tanto, la participación ciudadana es necesaria para generar acciones y cambios concretos, ya que son ellos los que interaccionan de manera directa con el recurso (Cervantes-Cocom y Chan-Ceh, 2020). En este estudio un gran porcentaje de los encuestados tienen la disposición y anuencia de participar en diversas actividades para la recuperación y conservación del río Maravilla.

Además de estas recomendaciones, es importante recalcar que para muchos de los encuestados la mayor afectación en el río es producto de esas actividades industriales. Incluso

señalan a los responsables y recomiendan el involucramiento de la industria, en específico la Hacienda Juan Viñas, en los programas y planes para la recuperación y manejo de la microcuenca.

Por su parte, con respecto al mapeo de los actores, el principal problema respecto a la implementación de planes de manejo en la microcuenca en un marco de trabajo conjunto es que las tres principales instituciones públicas relacionadas al recurso hídrico (Dirección de Agua, el AyA y SENARA), son órganos únicamente influyentes, lo que significa que han mostrado poco o nulo interés sobre el recurso y las comunidades. No obstante, es importante destacar que la Municipalidad, el Ministerio de Salud y el ICE tienen importante participación en la comunidad, de acuerdo con la percepción de esta, constatado mediante resultados previos del Proyecto del cual forma parte el presente estudio. Además, hay que resaltar el papel dominante que posee la Hacienda Juan Viñas dentro de la microcuenca, lo cual es evidente con solo visitar y visualizar la zona de Juan Viñas.

Se identificó una prevalencia en la falta de participación e involucramiento en los diferentes procesos por parte de la mayoría de las instituciones públicas y privadas. Por lo cual, para generar procesos de mejoramiento ambiental en la microcuenca, como paso inicial es necesario:

- Identificar a las personas de cada institución para presentarles la situación actual del río y de la microcuenca, y explicarles el proceso de mejora y gestión que se requiere y urge aplicar, como lo sería una GIRH.
- Convocar a todas las instituciones involucradas y generar espacios de trabajo y discusión para hacerles ver la importancia de un trabajo en conjunto para la protección y el uso sostenible del recurso hídrico de todos los actores dentro de la microcuenca.
- Es realmente importante que en todas las reuniones y talleres que se realicen asistan los actores categorizados como marginados, dado que, aunque no poseen legitimidad, sí cuentan con el aspecto más importante a la hora de generar procesos sociales. De manera que, todas sus opiniones y propuestas deben ser escuchadas.

Con relación a la primera reunión de contacto fue evidente como los diferentes participantes de las instituciones, entes, organizaciones públicas y privadas son conscientes

de las problemáticas socioambientales que existen actualmente en la microcuenca del río Maravilla y en un nivel más amplio como lo es a nivel de subcuenca. Además, las diversas problemáticas señaladas por ellos, deja de manifiesto que esta microcuenca está severamente degradada y que urge la implementación de acciones de manejo enfocadas a la recuperación y conservación de los recursos naturales de la zona. Otro aspecto importante, es la claridad de este grupo sobre cuáles son aquellas medidas que deben aplicarse como soluciones a las problemáticas socioambientales presentes, lo cual es un punto muy positivo y a favor a la hora de poner futuros planes en acción, y al existir concordancia entre las opiniones se facilita el trabajo en conjunto.

Por otra parte, a través de la matriz FODA se hizo posible la generación de una serie de recomendaciones generales que funcionan como primera respuesta a la problemática y brinda oportunidades de mejora visualizadas en la zona de estudio. Diversos estudios han utilizado este análisis con el fin de generar esas estrategias para la conservación y manejo del recurso hídrico, donde es necesaria la participación de las comunidades e instituciones (Navarrete y Paspuezán, 2017; Castillo, 2020). Entre las recomendaciones básicas obtenidas en este estudio se pueden señalar las siguientes:

- Definir medidas de ahorro en el consumo del agua para el uso urbano, industrial o ganadero y principalmente agrícola.
- Mejorar la eficiencia de la infraestructura de transporte de agua.
- Incremento de la depuración/tratamiento de las aguas residuales e industriales.
- Establecer medidas en la agricultura con el fin de eliminar las fuentes de contaminación difusa y reducir los procesos erosivos.
- Mantener una limpieza periódica de todos los tanques sépticos.
- Definir medidas para la adaptación y control de daños producidos por el cambio climático.
- Implicar y hacer partícipe a los usuarios y a la población en general en los asuntos relacionados con la gestión del agua.

Asimismo, a partir del análisis FODA se plantearon las estrategias que se deben emplear en los procesos que buscan la gestión integrada del recurso hídrico, por lo que esta

información sirve de línea base para la futura implementación de GIRH en la microcuenca. Se establecen aspectos que permitan mejorar la situación actual de la microcuenca desde el punto de vista de las fortalezas y oportunidades que tiene cada actor para poder superar las amenazas y debilidades presentes. Con base en el conocimiento de las problemáticas se facilitan los mecanismos de acción para la superación de esas problemáticas, por ejemplo, a través del planteamiento de acciones oportunas antes las actividades que están afectando la calidad del agua; la clarificación de las acciones institucionales para el mejoramiento de las condiciones ambientales a partir de cómo reaccionar según el rol de cada actor para superar las debilidades que tenga y aprovechar las oportunidades; definición de medidas de adaptación para mejorar la calidad del agua y del caudal; usar las fortalezas que tienen los actores y las acciones de la microcuenca para evitar las amenazas que estén presentes en la misma, como es el enfrentar la descoordinación institucional al existir articulación de los actores.

Finalmente, durante el taller final se encontró como diferentes instituciones gubernamentales como la Dirección de Aguas, La Municipalidad, El Ministerio de Salud, El MAG, así como actores sociales de la zona como las industrias, los productores agrícolas, las ASADAS tienen un compromiso y una anuencia en participar en las diferentes actividades con el fin de trabajar los temas de cantidad y calidad de agua de la microcuenca.

Cabe resaltar que existe una mayor apertura respecto al eje de la calidad del agua, por parte de los actores sociales, donde actividades como el monitoreo de la calidad del agua, manejo de aguas residuales, la implementación de buenas prácticas agrícolas, son cruciales para un mejoramiento de la situación actual de la microcuenca. Por su parte, para el eje de calidad de agua la implementación de un caudal ambiental y de un caudal ecológico es indispensable, así como un control en las concesiones.

Las propuestas de manejo generadas en este estudio abarcan todos los aspectos visualizados en la microcuenca. Se observa una disposición por parte de las instituciones y entes con actividades socioeconómicas en la zona para mejorar el estado actual de la microcuenca y por tanto del río Maravilla. Se espera que las propuestas aquí presentadas influyan de manera positiva en la microcuenca del río Maravilla, y por tanto en la cantidad y calidad de agua del río y en sus comunidades acuáticas como los macroinvertebrados.

6. Conclusiones

El río Maravilla se encuentra altamente degradado producto de actividades socioeconómicas, principalmente agropecuarias e industriales, así como actividades urbanas de tipo doméstico, que ejercen fuerte presión sobre el ecosistema acuático. Estas actividades interfieren en las características de la cuenca y pueden afectar en el río, tanto a nivel de la calidad del agua, como en la cantidad y estructura física del río.

Las actividades socioeconómicas encontradas en la cuenca y que tienen efectos sobre el caudal, calidad del agua y comunidades de macroinvertebrados bentónicos, fueron actividades agrícolas como cultivo de caña de azúcar, cultivo de café, cultivo de hortalizas y verduras, cultivo de frutales y cultivo de palma. Actividades industriales como el Ingenio de Juan Viñas y el Beneficio de café. Actividades domésticas y urbanas como los establecimientos y locales en Juan Viñas y las casas de habitación. Y actividades agropecuarias como el cultivo de pastos para actividades ganaderas y sus respectivas lecherías. Todas estas actividades afectan la calidad o cantidad de agua del río Maravilla a través de diferentes procesos directos o indirectos, como escorrentía superficial, descarga directa de sustancias y extracciones directas del agua.

En cuanto al tema de cantidad de agua, existen fuertes procesos de captación a lo largo del río Maravilla, llegando incluso a situaciones extremas de cero aguas en el punto MAR06 a causa de la actividad industrial del ingenio. La presencia de canales de desviación y captación de agua en el río Maravilla, constituye un fuerte impacto sobre el ecosistema fluvial al irrumpir el régimen natural de flujo, principalmente causado por las captaciones totales del caudal visualizadas en ese sitio. Esta alteración desencadena una serie de impactos físicos, químicos, hidráulicos y biológicos en el ecosistema acuático, por ser el caudal la variable maestra que dirige los procesos y funcionamiento ecosistémico del río.

En cuanto a la calidad del agua, en la parte alta de la microcuenca del río Maravilla los impactos se generan principalmente por la entrada de agroquímicos producto de actividades agrícolas y desechos de lecherías por actividades ganaderas al cauce del río. Sin embargo, los mayores impactos ocurren en la parte media, a raíz de los extensos monocultivos de caña de azúcar y café, sin manejos adecuados en el uso del suelo e irrespeto de las áreas de protección del río, así como el vertido de aguas residuales.

El monitoreo de parámetros fisicoquímicos e hidráulicos son indispensables para conocer si hay un efecto en la composición química y física del río y por ende en las comunidades biológicas. La calidad del agua del río se deteriora conforme se avanza río abajo, siendo los sitios de la parte media, MAR06 y MAR07, de la microcuenca los que presentan mayor deterioro en su calidad por la alta contaminación e impactos del ingenio, y descargas de aguas residuales en el cauce del río, tanto del ingenio como de viviendas y comercios. Así, los índices de calidad del agua integrando tanto biológicos como fisicoquímicos constituyen una herramienta útil para la caracterización del estado actual del río y permiten comprender los procesos en términos temporales.

El efecto de la contaminación se ve reflejado con la gran presencia de familias de MIB que son tolerantes a la contaminación y condiciones alteradas, como ocurrió en MAR06 y MAR07, con abundancia de organismos indicadores de mala calidad del agua. Además, la ausencia de un adecuado tratamiento de las aguas residuales y residuos industriales ha conllevado al vertido directo de esas sustancias al río, causando que las aguas sean de mala calidad, particularmente, aguas abajo de este estudio, a pesar de la legislación existente sobre vertidos y que no se aplica, el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (N° 33601-MINAE-S).

La composición de macroinvertebrados bentónicos en el río Maravilla es afectada por algunas variables fisicoquímicas como la temperatura, porcentaje de saturación de oxígeno, conductividad y ORP que influyen en la riqueza de MIB, y el oxígeno disuelto y el pH que influyen en la abundancia, así como variables hidráulicas como la velocidad y número de Froude.

Las estrategias de manejo generadas en este estudio utilizan como base la percepción social obtenida por las encuestas aplicadas a la comunidad, así como la información brindada por parte de los diferentes actores sociales que participaron de los talleres. Las estrategias recalcan la necesidad de generar actividades de educación ambiental en la microcuenca y procesos de capacitación de manejo sostenible de los recursos. También se recalca la necesidad de trabajar el tema de la extracción de agua en conjunto con la hacienda Juan Viñas y con las instituciones gubernamentales encargadas de la supervisión de las actividades agrícolas e industriales. Los procesos de extracción de agua en la microcuenca del río Maravilla son sumamente complejos y requieren de la toma de medidas urgentes para

minimizar los impactos que está teniendo el río. Se requiere de un manejo integrado del recurso donde participen las personas con actividades socioeconómicas de impacto directo, y aquellas otras que, si bien no impactan de manera directa, velan por una mejor gestión de los recursos naturales.

El presente trabajo constituye una línea base para futuras investigaciones. Dentro de los cuales se encuentra: la determinación del caudal ecológico y ambiental del río Maravilla para una regulación de las extracciones de agua que presenta el río, también, se podría conocer el efecto específico de las actividades socioeconómicas en cada lugar utilizando marcadores a través de isótopos ambientales para saber la proveniencia de un contaminante específico (ya sea indicadores como hidrocarburos, marcadores como coprostanol y epicoprostanol como indicadores de contaminación fecal, isótopos para la identificación de nitratos, fenoles y alcoholes aromáticos como indicadores de vertidos de aguas residuales domésticas entre otros).

Es importante destacar que para la gestión adecuada de un río se debe generar un manejo integral de la cuenca hidrográfica, ya que tanto la calidad del agua como la cantidad de agua se ven afectadas por las diferentes actividades socioeconómicas que circundan el río, dado que el efecto en la parte baja de un río inicia desde las interacciones que ocurren en la parte alta. Debido a esto, se debe involucrar desde el punto de vista social a todas las personas con actividades socioeconómicas, comunidades y ciudadanos que interactúan en toda la cuenca.

7. Recomendaciones

Es necesario generar más estudios en la microcuenca enfocados hacia la recolección y análisis de datos hidrológicos *in situ* de precipitaciones y caudales. Estos datos puedan ayudar al establecimiento futuro de un caudal ambiental en el río Maravilla. Además, se recomienda para futuros estudios en este río la recolección de parámetros de turbidez, ya que es una variable de interés para las características fisicoquímicas del agua y de importancia para la biota acuática

Se recomienda la generación de modelos de simulación de caudal para el análisis de proyecciones de posibles escenarios que pueden generarse en el futuro bajo determinadas

condiciones. Esto permite prever situaciones y formular estrategias para prevenir o revertir futuros impactos en el río.

La mayoría de los residentes de la zona consideran que la municipalidad es la única responsable sobre los impactos negativos que existen en el río Maravilla, por lo cual se recomienda que la municipalidad se involucre con las comunidades a través de charlas referidas a los efectos de las diferentes actividades sobre el río, dando a conocer que es una responsabilidad conjunta, de ciudadanos, empresas, industrias y municipalidad.

Es de alta necesidad el trabajo conjunto por parte de los diferentes actores sociales para la aplicación de las propuestas de manejo generadas en este trabajo, ya que la solución de la problemática actual de la microcuenca debe ser abordada de manera conjunta e interdisciplinaria para un adecuado manejo.

Se recomienda el involucramiento y la participación social comunitaria en todos los procesos de mejoramiento y restauración de la microcuenca, para esto, en primer lugar, es importante el desarrollo y fortalecimiento de procesos de educación ambiental que involucren a toda la ciudadanía, como mecanismo vital de la gestión integrada del recurso hídrico.

8. Referencias

- Abell, R., Vigerstol, K., Higgins, J., Kang, S., Karres, N., Lehner, B., Sridhar, A. y Chapin, E. (2019). Freshwater biodiversity conservation through source water protection: Quantifying the potential and addressing the challenges. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29, 1022-1038.
- Acreman, M., Arthington, A. H., Colloff, M. J., Couch, C., Crossman, N. D., Dyer, F., Overton, I., Pollino, C., Stewardson, M. y Young, W. (2014). Environmental flows for natural, hybrid, and novel riverine ecosystems in a changing world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12 (8), 466-473
- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333-338.

- Aguilera, G. y Pouilly, M. (2012). Caudal ecológico: definiciones, metodologías y adaptación a la región andina. *Acta zoológica Lilloana*, 56(1-2), 15-30.
- Alave, C.H. (2018). “Evaluación del perifiton como indicador de calidad de agua en el embalse Cerro Blanco de la Empresa Prestadora de Servicios de Tacna” (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna, Tacna, Perú.
- Alfaro, A.J. (2019). *Caracterización del agua superficial en las subcuencas Quebrada Honda y Chiz-Maravilla, Cartago, Costa Rica* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional, Heredia.
- Allan, D. y Castillo, M. (2007). *Stream ecology: Structure and function of running waters*. Chapman and Hall.
- Alonso, A. 2006. Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. *Ecosistemas*, 15 (2),101-105.
- Alomía, I. y Carrera, P. (2017). Environmental flow assessment in Andean rivers of Ecuador, case study: Chanlud and El Labrado dams in the Machángara River. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 17 (2), 103-112.
- Alvarado, S. N., Rojas, Q. L. y Sibaja, A. J. (2019). Propuesta de Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) en la Microcuenca Maravilla-Chiz, Cartago, Costa Rica. Universidad Nacional, Facultad de Tierra y Mar, Escuela de Ciencias Ambientales.
- Anderson, E. P. (2013). *Desarrollo Hidroeléctrico y Servicios Ecosistémicos en Centroamérica*. (Nota Técnica IDB-TN-518). Banco Interamericano de Desarrollo.
- Angeoletto, F., & Santos, J.C. (2016). Agonizantes: los ríos y arroyos en el contexto ecológico urbano. *Revista Espacio Académico*, 16(183), 104-112.
- Arcos, I. 2005. *Efecto del ancho de los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras* [Tesis de Maestría, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba]. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/4888>
- Arias, C.L. (2017). Conflictos en torno a la generación hidroeléctrica: el caso del Proyecto Hidroeléctrico San Rafael, Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista Nuevo Humanismo*, 5(1), 109-121.

- Arias, V. (2012). Los caudales ecológicos en el Ecuador: análisis institucional y legal. *Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental (CEDA): Temas de análisis*, 24, 1-8.
- Ashraf, F. B., Haghghi, A. T., Marttila, H. y Klove, B. (2016). Assessing impacts of climate change and river regulation on flow regimes in cold climate: A study of a pristine and a regulated river in the sub-arctic setting of Northern Europe. *Journal of Hydrology*, 542, 410-422.
- Bach, O. (2013). Decimonoveno informe estado de la nación en desarrollo humano sostenible. Agricultura – rumbo hacia la sostenibilidad. San José, CR. http://www.pnp.cr/sites/default/files/bach_o._2013._agricultura_rumbo_hacia_la_sostenibilidad_decimonoveno_informe_de_la_nacion_en_desarrollo_humano_sostenible.pdf
- Bagneres, A., y Hossaert-Mckey, M. (2020). *Ecología química*. Londres, Inglaterra: ISTE International.
- Ballestero, V.M. y López, L.T. (2017). *El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en Costa Rica. El caso de la cuenca alta del río Reventazón*. CEPAL, Santiago, Chile.
- Ballesteros, Y.V., Zúñiga, M del C., y Rojas, A.M. (1997). Distribution and structure of the order Trichoptera in various drainages of the Cauca River basin, Colombia, and their relationships to water quality, p. 19-23. En R.W. Holzentha y O.S., Flint (Eds.), *Proceedings of the 8th International Symposium on Trichoptera* (pp. 19-23). Ohio Biological Survey.
- Barettino, D., Loredó, J. y Pendás, F. (2005). *Acidificación de suelos y aguas: Problemas y soluciones*. Instituto Geológico y Minero de España.
- Basile, A.P. (2018). *Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales*. Rosario, Argentina: UNR Editora.
- Batchelor, C., Reddy, V. R., Linstead, C., Dhar, M., Roy, S. y May, R. (2014). ¿Do water-saving technologies improve environmental flows? *Journal of Hydrology*, 518, 140-149
- Bécher, F. N., Blarasin, M. T. y Panarello, H. O. (2015). Modelado geoquímico e isotópico de las relaciones agua superficial-subterránea en la planicie arenosa del sur de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 72(4), 506-518.

- Beita, S.W. (2008). “*Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica*” [Tesis de grado, Universidad de Costa Rica]. <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/334>
- Boix, D., García-Berthou, E., Gascón, S., Benejam, L., Tornés, E., Sala, J., Benito, J., Munné, A., Solá, C. y Sabater, S. (2010). Response of community structure to sustained drought in Mediterranean rivers. *Journal of Hydrology*, 383, 135-146.
- Bonada, N. y Resh, V. H. (2013). Mediterranean-climate streams and rivers: geographically separated but ecologically comparable freshwater systems. *Hydrobiologia*, 719(1), 1-29.
- Bolaños, J., Montero, N., Rodríguez, N., y Sánchez, A. (2015). Calidad de aguas superficiales: estudio de la quebrada Estero, ubicada en el cantón de San Ramón, Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, 15(25), 61-76.
- Brañez, M., Gutiérrez, R., Pérez, R. Uribe, C. y Valle, P. (2018). Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil. *Revista Campus*, 23(26), 129-144.
- Bunn, S. E., y Arthington, A. H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental management*, 30(4), 492-507.
- Bustamante, T., Monsalve, D. y García, R. (2008). Análisis de la calidad del agua en la cuenca media del río Quindío con base en índices físicos, químicos y biológicos. *Rev. Invest. Univ. Quindío*, 1, 22-31.
- Calvo, A.J., Jiménez, R.J., González, E., Pizarro, F. y Jiménez, A. (2008). Determinación preliminar del caudal ambiental en el río Tempisque, Costa Rica: el enfoque hidrológico con limitación de datos. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 5(13), 1-18.
- Cañedo-Argüelles, M., Kefford, B. J., Piscart, C., Prat, N., Schafer, R. B. y Schulz, C. J. (2013). *Environmental Pollution*, 173, 157-167.
- Carrera, N.C. (2015). “*Análisis y evaluación de resultados del uso de las técnicas de control de arena en el yacimiento M-1 del Campo Eden Yuturi*” (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.

- Carvacho, C. (2012). *Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile* [Tesis de Maestría, Universidad de Barcelona]. <https://core.ac.uk/download/pdf/16207073.pdf>
- Casanova, J. F. y Figueroa, A. (2015). Determinación del caudal ambiental y su relación con variables indicadoras de calidad del recurso hídrico. *Revista Luna Azul*, 40, 5-24.
- Castillo, B.P. (2020). Plan de mejoramiento para la gestión integral del recurso hídrico en la unidad de gestión de la cuenca Amaime y Bolofraile-Desbaratado. Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia.
- Castro, M. I. (2012). *Efectos de la fertilización sobre la composición de macroinvertebrados en un arroyo de montaña tropical* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/11533/>
- Cervantes-Cocom, G., & Chan-Ceh, C. G. (2020). Gestión hídrica y educación ambiental como facilitadores del desarrollo turístico sustentable en Valladolid, Yucatán. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(5), 31-91.
- Chalar, G. (1994). Composición y abundancia del zoobentos del Arroyo Toledo (Uruguay) y su relación con la calidad del agua. *Revista Chilena de Historia Natural*, 67, 129-141.
- Chávez, J., Rascón, J. y Eneque, A. (2017). Evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales en la calidad del río Ventilla, Amazonas. *INDES*, 3(1), 99-107.
- Chaves-Ulloa, R, Umaña-Villalobos, G y Springer, M. (2014). Downstream effects of hydropower production on aquatic macroinvertebrate assemblages in two rivers in Costa Rica. *Revista de biología tropical*, 62, 179-201.
- Chaves, A, Picado, J, Krasovskaia, I y Gottschalk, L. (2010). Linking annual cycles of ecological indicators with statistical flow descriptors for environmental flow assessment. *IAHS-AISH publication*, 340, 327-334.
- Chevalier, J. 2004. El Sistema de Análisis Social: Metodología CLIP (Colaboración/Conflicto, Legitimidad, Intereses, Poder). Carleton University.
- Chevalier, J. M. y D. J. Buckles. (2011). *Guía para la Investigación, la Evaluación y la Planificación Participativas*. Ottawa, Canadá: SAS2 Dialogue.

- Cortés-Guzmán, D. y Ospina-Torres, R. (2014). Comunidades de macroinvertebrados acuáticos en quebradas de la Isla de Providencia, Mar Caribe Colombiano. *Revista Intropica*, 9, 9-22.
- Correa-Araneda, F., Rivera, R., Urrutia, J., De Los Ríos, P., Contreras, A. y Encina-Montoya. (2010). Efectos de una zona urbana sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de un ecosistema fluvial del sur de Chile. *Limnética*, 29(2), 183-194.
- Custodio, M. y Pantoja, R. (2012). Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas. *Apuntes de Ciencia & Sociedad.*, 02(02), 130-137.
- Da Costa, M. R., Mattos, M. T., Muñoz-Mas, R., Martínez-Capel, F., Fernández, V. H. y Araújo, F. G. (2015). Estimación de caudales ecológicos basada en simulación del hábitat físico en un pequeño río del sudeste de Brasil. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 41, 245-252.
- De Cabo. I., Faggi, A., Miguel, S. y Basílico, G. (2019). Rehabilitación de las riberas de un sitio de la cuenca baja del río Matanza-Riachuelo. *Biológica Acuática*, 33, 1-14.
- D'Ambrosio M., Elordi, M., Buffone, B., Balbi, K., Porta, A., Andrinolo, D., y Cano, L.A. (2017). Evaluación de la calidad del agua de la Laguna de los Patos, Ensenada, mediante índices de calidad y de contaminación. En H. Campaña (Presidencia). VI Congreso Bianual PROIMCA y PRODECA. Simposio llevado a cabo en el congreso Bianual PROIMCA y PRODECA, Bahía Banca.
- Dandali, B.A., Baharim, H.N, y Mohd, H.M. (2017). Predicting Impact of Climate Change on Water Temperature and Dissolved Oxygen in Tropical Rivers. *Clima*, 5(3), 1-24.
- Dávila-Recinos, G., Ortíz-Aldana, J. y Reyes-Morales, F. (2019). Efecto del microhábitat sobre la abundancia y riqueza específica de los macroinvertebrados bentónicos en dos ríos tropicales de montaña, Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 6(1), 7-21.
- Deitch, M. J. y Kondolf, G. M. (2012). Consequences of variations in magnitude and duration of an instream environmental flow threshold across a longitudinal gradient. *Journal of hydrology*, 420, 17-24.
- Declaración de Dublín sobre el agua y el desarrollo sostenible. (26-31 de enero de 1992). Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA). Dublín, Irlanda.

- Díaz, D.D. (2019). “Caracterización e impacto de la descarga de aguas residuales vertidas en el río San Lucas zona urbana de Cajamarca” (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Domínguez, V. (2009). Mecanismos de autodepuración de clorofenoles en ríos. *Revista ID Tecnológico*, 6(1), 49-54.
- Dyson, M. Bergkamp, G y J. Scanlon. (2003). Getting Started. En M. Dyson, G. Bergkamp & J. Scanlon (Eds). *Flow. The Essentials of Environmental Flows* (pp. 1-9). UICN.
- Eaton, A., Clesceri L. y Greenberg A. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington DC, USA: American Public Health Association.
- Elosegi, A., Butturini, A. y Armengol, J. (2009). El caudal circulante. En A. Elosegi & S. Sabater (Eds). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial* (pp. 51-70). España: Fundación BBVA.
- Elosegi, A. y Díez, J. (2009). La estructura física de los cauces fluviales. En A. Elosegi & S. Sabater (Eds). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial* (pp. 71-84). España: Fundación BBVA.
- Elosegi, A., Donato, J. C., Giorgi, A. y Elosegi, A. (2009). El río como ecosistema. En A. Elosegi & S. Sabater (Eds). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial* (pp. 71-84). España: Fundación BBVA.
- Escobar, A. F. y Montoya, Y. (2019). Los macroinvertebrados acuáticos y la calidad biológica del agua en una quebrada andina, Antioquia-Colombia. *Revista Politécnica*, 15(29), 65-81.
- Esper, M. Y. y Perucca, L. P. (2014). Caracterización morfométrica de la Cuenca del río Seco a propósito de las fuertes precipitaciones de enero de 2013, Departamento Sarmiento, San Juan, Argentina. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 235-245.
- Espinoza, M.E. (2019). *Percepción ambiental sobre la calidad y disponibilidad del agua en el área de influencia directa de la mina Pierina-Distrito de Jangas, Ancash y propuesta para una gestión sostenible- 2016* (Tesis doctoral). Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, Ancash, Perú.
- Esselman, P. C. y Opperman, J. J. (2009). Overcoming Information Limitations for the Prescription of an Environmental Flow Regime for a Central American River. *Ecology and Society*, 15(1), 1-26.

- Farah, A. (2016). *Fragmentación del hábitat por represas hidroeléctricas para la ictiofauna dulceacuícola en Costa Rica* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/5879>
- Feria-Díaz, J. J., Rodiño-Arguello, J. P., y Gutiérrez-Ribon, G. E. (2016). Comportamiento de la turbidez, pH, alcalinidad y color del agua del río Sinú tratada con coagulantes naturales. *Revista Facultad de Ingeniería*, 78, 119-129.
- Fernández-Ronquillo, M., Fernández-Solís, T. y Solís-Beltrán, G. (2016). Percepción de la población sobre los niveles de contaminación ambiental del río Milagro y grado de conocimiento preventivo social sobre el efecto de su carga contaminante. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(21), 125-134.
- Figuroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. y Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76, 275-285.
- Flores, M. N., & Espeleta, M. A. (2017). La Educación Ambiental como herramienta para la Gestión Ambiental en la Oficina de Bienestar y Salud, Universidad de Costa Rica. *Biocenosis*, 31(1-2).
- Fonseca-Sánchez, A., Madrigal-Solís, H., Núñez-Solís, C., Calderón-Sánchez, H., Moraga-López, G. y Gómez-Cruz, A. (2019). Evaluación de la amenaza de contaminación al agua subterránea y áreas de protección a manantiales en las subcuencas Maravilla-Chiz y Quebrada Honda, Cartago, Costa Rica. *Uniciencia*, 33(2), 76-97.
- Fontalvo-Julio, F., y Tamaris-Turizo, C. (2018). Water quality in the lower section of Córdoba River (Magdalena, Colombia), using the ICA-NSF. *Intropica*, 13(2), 101-111.
- García-Ruiz, J. M., Gómez-Villar, A. y Ortigasa-Izquierdo, L. M. (1987). *Aspectos dinámicos de un cauce fluvial en el contexto de su cuenca: el ejemplo del río Oja*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Godínez, B.J. (2018). Disponibilidad del recurso hídrico en la subcuenca del río Corredores para establecer un mecanismo de control en el aprovechamiento del caudal disponible, mediante un balance hídrico superficial e integrado (Tesis de pregrado). Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

- González, A., Palacios, I. y Ábalos, A. (2020). Impacto ambiental del vertido de residuales en la cuenca hidrográfica Guaos-Gascón de Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*, 32(1), 154-171.
- Gonzalo, C. (2013). *Ecological responses of aquatic macrophytes and benthic macroinvertebrates to different anthropogenic perturbations* [Doctoral dissertation, Universidad de Alcalá]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=252559>
- Gualdrón, D.L. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. *Revista Dinámica Ambiental*, 1(1), 83-102.
- Guevara, M. (2015). *Efectos de la reducción del caudal por actividades agrícolas en ríos de la zona mediterránea de Chile* [Tesis de Doctorado, Universidad de Concepción]. <http://repositorio.conicit.go.cr:8080/xmlui/handle/123456789/62>
- Guevara-Mora, M., Pedreros, P., Urrutia, R., & Figueroa, R. (2016). Effects of agricultural water withdrawal in the fluvial habitat of benthic macroinvertebrates in Chile. *Hidrobiológica*, 26(3), 373-382.
- Guerra, D. A. (2017). *Alteración física y fisiológica en un macroinvertebrado acuático (Género Smicridea) como efecto de cambios en la salinidad* [Tesis de pregrado, Universidad De Las Américas, Quito]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/7517>
- Guerrero-Bolaño, F., Manjarrés-Hernández, A. y Núñez-Padilla, N. (2003). Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (Cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana*, 8(2), 43-55.
- Guevara-Mora, M., Pedreros, P., Urrutia, R. y Figueroa, R. (2016). Effects of agricultural water withdrawal in the fluvial habitat of benthic macroinvertebrates in Chile. *Hidrobiológica*, 26(3), 373-382.
- Grantham, T. E., Merenlender, A. M. y Resh, V. H. (2010). Climatic influences and anthropogenic stressors: an integrated framework for streamflow management in Mediterranean-climate California, U.S.A. *Freshwater Biology*, 55(1), 188-204.
- Hanson, P., Springer, M. y Ramírez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58(Suppl.4), 3-37.
- Harding, J. S., Young, R. G., Hayes, K. A. y Stark, J. D. (1999). Changes in agricultural intensity and river health along a river continuum. *Freshwater Biology*, 42(2), 345-357.

- Herrera, C. C., Roncancio, J. R., & Velasco, E. B. (2017). Perspectivas sobre la educación hídrica para la cuenca baja del río Fucha 1. Experiencia en la localidad de Fontibón. *Escritos sobre Biología y su enseñanza*, 518-524.
- Instituto de Desarrollo Rural (INDER). (2015). Plan de desarrollo rural del territorio Turrialba-Jiménez 2015-2020 (en línea). Cartago. CR. Consultado el 22 de julio 2020. Disponible en: https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_central/planes_desarrollo/PDRT-Turrialba-Jimenez.pdf
- Instituto Politécnico Nacional (IPN). (2002). Metodologías para el análisis FODA (en línea). Distrito Federal, MX. http://www.uventas.com/ebooks/Analisis_Foda.pdf
- Izquierdo, S. M. Madroñero, P. S. (2013). Régimen de caudal ecológico, herramienta de gestión para conservar la biota acuática. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 23(2), 77-94.
- Jacobsen, D., Schultz, R., y Encalada, A. (1997). Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. *Freshwater Biology*, 38, 247-261.
- Jiménez, S. M. (2010). *Intervenciones basadas en la planificación y gestión territorial de los riesgos del agua y del medio ambiente con enfoque de multiculturalidad y género en el cantón de Jiménez, Cartago, Costa Rica* [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos, Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3067.pdf
- Kondolf, G. (1997). Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, XXI, 533-551.
- Konrad C.P., Brasher A.M.D. y May J.T. (2008) Assessing streamflow characteristics as limiting factors on benthic invertebrate assemblages in streams across the western United States. *Freshwater Biology*, 53, 1983–1998.
- Ladrera, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de información ambiental*, (39), 24-29.
- León, A. M., Arzube, M. M. y Ramírez, L. F. (2016). Efecto de variante de riego en la producción de maíz (*Zea mays* L.) en la comuna Río Verde, Cantón Santa Elena, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica, UPSE*, 3(2), 100-104.
- Ley 276 de 1942. Ley de Aguas. 27 de agosto de 1942.

- Ley 7575 de 1996. Ley Forestal. 13 de febrero de 1996.
- Linares, S.J. (2018). “*Caracterización físicoquímica y de macroinvertebrados bentónicos de los ríos Perlamayo y Tacamache, Distrito de Chugur Cajamarca*” [Tesis de postgrado]. Universidad de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Llanes, M.G., Rizo, B.D., Mendoza, C.R., Avilés, S.E. y Duarte, C.H. (2020). Agricultura de conservación de suelos y su efecto en la erosión hídrica y propiedades hidrofísicas en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, 2017. *Recursos Naturales y Ambiente*, 20(34), 57-63.
- López-Delgado, E., Vásquez-Ramos, J., Villa-Navarro, F. y Reinoso-Florez, G. (2015). Evaluación de la calidad del bosque de ribera, utilizando un método simple y rápido en dos ríos de bosque seco tropical (Tolima, Colombia). *Revista Tumbaga*, 1(10), 6-29.
- López Ortega, M., Pulido Flores, G., Serrano Solís, A., Gaytán Oyarzún, J. C. Monks Sheets, W. S. y López Jiménez, M. A. (2012). Evaluación estacional de las variables físicoquímicas del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (3), 713-719.
- López, R. y Barragán, J. (2003). Expresiones para la determinación del factor de fricción en ríos de fuerte pendiente. *Ingeniería Civil*, 130, 43-50.
- Luna, H.S., y Madroñero, P.S. (2016). Importancia del componente social en el manejo del recurso hídrico, río El Encano, Humedal Ramsar La Cocha (Nariño, Colombia). *Revista Luna Azul*, 42, 201-216.
- Macías, M.L. (2019). *Patrones ambientales de temperatura y caudal a lo largo de la gradiente longitudinal en los ríos Atacames y Súa en el periodo julio 2016 – junio 2017* [Tesis de pregrado]. Universidad Católica del Ecuador, Esmeraldas, Ecuador.
- Mancera-Rodríguez, N. (2017). Biología reproductiva de *Brycon henni* (Teleostei: Bryconidae) y estrategias de conservación para los ríos Nare y Guatapé, cuenca del río Magdalena, Colombia. *Rev. Biol. Trop.*, 65(3), 1105-1119.
- Mancilla, G., Valdovinos, C., Azocar, M., Jorquera, P. y Figueroa, R. (2009). Efecto del reemplazo de la vegetación nativa de ribera sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en arroyos de climas templados, Chile central. *Hidrobiológica*, 19(3), 193-203.

- Martín, J. P. (2009). *Ingeniería de ríos*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- Martínez, Y. y Villalejo, V. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 39(1), 58-72.
- Martínez, Y. y Villalejo, V. M. (2020). Caudal ambiental: herramienta ecohidrológica en la gestión de los recursos hídricos. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 41(1), 56-70.
- Martínez-Nájera, J. D. y Berezowsky-Verduzoo, M. (2008). Evaluación del abastecimiento de sistemas río-acuífero. *Ingeniería hidráulica en México*, XXIII (4), 173-187.
- Mata, O.R. y Fernández, M.S. (2010). Paisajes y patrimonios culturales del agua. La salvaguarda del valor patrimonial de los regadíos tradicionales. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 14(337), 1-29.
- Méndez, C., Moreno, M., Montoya, J. V., Felicien A., Nikonova, N. y Buendía C. (2017). Escenarios de cambio climático y la conservación de los ríos de Venezuela. En D. Rodríguez (Ed.), *Ríos en Riesgo de Venezuela I* (pp. 173-188). Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA).
- Meneses-Ocampo, Y., Castro-Rebolledo, M. I. y Jaramillo-Londoño, A. M. (2019). Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/COL y ABI. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 299-320.
- Merritt, R. W., y Cummins, K. W. (1996). *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall Hunt Publishing Company.
- Meza-Rodríguez, D., Martínez-Rivera, L. M., Mercado-Silva, N., García de Jalón-Lastra, D., González del Tágano- Del Río, M., Marchamalo-Sacristán, M. y De la Mora-Orozco. (2017). Propuesta de caudal ecológico en la cuenca del Río Ayuquila- Armería en el occidente de México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(5),1017-1030.
- Meza-S, A. M., Rubio-M, J., Días, L. y Walteros, J. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia*, 34(2), 443-456.
- Montalvo, S.P. (2017). *Influencia del cambio de uso de suelo sobre la fisicoquímica del agua y la composición de la comunidad de macroinvertebrados en la zona del Angel*,

- (Carchi-Ecuador) [Tesis de pregrado]. Universidad de Las Américas, Quito, Ecuador.
- Montaño, H. A. (2018). *Comparación de características geomorfológicas de las cuencas del río Atacames y Súa* [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/1481>
- Montoya, Y., Acosta, Y. y Zuluaga, E. (2011). Evolución de la calidad del agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/COL y el ASPT. *Caldasia*, 33(1), 193-210.
- Mora. A., Sánchez, L., Mac-Quhae, C. Visáez, F. y Calzadilla, M. (2008). Geoquímica de los ríos morichales de los llanos orientales venezolanos. *Interciencia*, 33(10), 717-724
- Mora-Donjuán, C. A., Burbano-Vargas, O. N., Méndez-Osorio, C. y Castro-Rojas, D. F. (2017). Evaluación de la biodiversidad y caracterización estructural de un Bosque de Encino (*Quercus L.*) en la Sierra Madre del Sur México. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(35):68-75.
- Morelli, E. y Verdi, A. (2014). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 1160-1170.
- Morillas, L. y Johnson, M. (2017). Dinámicas de uso del agua en fincas agrícolas intensivas de la provincia de Guanacaste, Costa Rica. *FuturAgua*, 7, 1-7.
- Mosquera-Restrepo, D. y Peña-Salamanca, E. (2019). “Ensamblaje” de macroinvertebrados acuáticos y su relación con variables fisicoquímicas en un río de montaña en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 67(6), 1235-1246.
- Motta-Díaz, A. y Vimos-Lojano, D. (2020). Influencia de la variación temporal de los parámetros hidráulicos en la estructura y la función de la comunidad de macroinvertebrados en un río andino. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, 44(171), 606-621.
- Muehlbauer, J. D., LeRoy C. J., Lovett, J. M., Flaccus, K. K., Vlieg J. K. y Marks, J. C. (2009). Short-term responses of decomposers to flow restoration in Fossil Creek, Arizona, USA. *Hydrobiologia*, 618, 35–45.

- Naranjo-López, J.C. y López-del Castillo, P. (2013). Biological monitoring working party, un índice biótico con potencialidades para evaluar la calidad de las aguas en ríos cubanos. *Ciencia en su PC*, (2),15-25.
- Naranjo, E. y Duque, R. (2010). Estimación de la oferta de agua superficial y conflictos de uso en la cuenca alta del Río Chama, Mérida, Venezuela. *Revista Interciencia*, 29(3), 130-137.
- Navarrete, H.M. y Paspuezán, T.C. (2017). Evaluación ambiental y valoración económica de los servicios de aprovisionamiento y regulación del recurso hídrico en la microcuenca Ambuquí, cantón Ibarra, provincia de Imbabura. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Neal, C., Jarvie, H.P., Williams, R.J., Pinder, L., Collett, G.D., Neal, M. y Bhardwaj, L. (2000). The water quality of the Great Ouse. *Science of the total environment*, 251/252, 423-440.
- Oksanen, J. (2019). Multivariate Analysis of Ecological Communities in R: vegan tutorial. In Ecology Package. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Ordóñez, R.V. (2019). Sistema de evaluación en línea para controlar el agua residual utilizando como parámetro el oxígeno disuelto en el parque industrial norte de Guayaquil. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Oscoz, J., Campos, F. y Escala, M. C. (2006). Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limnética*, 25(3), 683-692.
- Ospina-Zúñiga, O., García-Cobas, G., Gordillo-Rivera, J. y Tovar-Hernández, K. (2016). Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia). *Ingeniería Solidaria*, 12(19), 20-36.
- Panis, L. I., Goddeeris, B. y Verheyen, R. (1995). The hemoglobin concentration of *Chironomus cf. Plumosus* 1. (Diptera: Chironomidae) larvae from two lentic habitats. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 29(1), 1-4.
- Pavé, P. y Marchese, M. (2005). Invertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua en ríos urbanos (Paraná-Entre Ríos, Argentina). *Ecología Austral*, 15, 183-197.
- Pérez, D. E., Montenegro, T. M., & Palacios, S. M. (2019). Importancia de la cultura y educación ambiental en la microcuenca La Tebaida, municipio de Chachagui. *Boletín Informativo CEI*, 6(3), 133-136.

- Pineda, C., Machado, D., Casanova, E. y Viloría, J. (2006). Evaluación física de tierras de la cuenca alta del río Guárico con fines de producción sustentable de agua. *Agronomía Tropical*, 56(3), 385-414.
- Pinilla-Agudelo, G. A., Rodríguez-Sandoval, E. A. y Camacho-Botero, L. A. (2014). Propuesta metodológica preliminar para la estimación del caudal ambiental en proyectos licenciados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 19(1), 43-59.
- Poblete, E. D. (2013). “Calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos en la cuenca del río Chuyugual, La Libertad. Junio 2012-diciembre 2012” [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo, Perú]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3068>
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., Sparks, R. E. y Stromberg, J. C. (1997) The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47, 769–784.
- Poff, N. L., y Allan, J. D. (1995). Functional organization of stream fish assemblages in relation to hydrological variability. *Ecology*, 76, 606–627.
- Poff, N. L., Richter, B. D., Arthington, A. H., Bunn, S. E., Naiman, R. J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B. P., Freeman, M. C., Henriksen, J., Jacobson, R. B., Kennen, J. G., Merritt, D. M., O’Keeffe, J. H., Olden, J. D., Rogers, K., Tharme, R. E. y Warner A. (2010). The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology*, 55(1), 147–170.
- Pouilly, M. y Aguilera, G. (2012). *Evaluación de Caudales Ecológicos/Ambientales en la cuenca del río Huasco-Chile*. Quito, Ecuador: UICN.
- Pozo, J. y Elosegí, A. (2009). La estructura física de los cauces fluviales. En A. Elosegí & S. Sabater (Eds). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial* (pp. 71-84). España: Fundación BBVA.
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., ... & Stromberg, J. C. (1997). The natural flow paradigm. *BioScience*, 47, 769-784.
- Programa Regional de Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental – PREVDA–. (s.f.). Caracterización Cantón Jiménez, Cartago, Costa Rica. Énfasis:

- Planificación y gestión territorial de los riesgos, del agua y del medio ambiente, con enfoque de multiculturalidad y género. Ciudad de Guatemala, Guatemala: PREVDA. Programa Regional de Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental – PREVDA–. (2008). Plan de cuenca del río Reventazón-Parismina 2008-2010. San José, Costa Rica: PREVDA.
- Quesada-Alvarado, F, Umaña, V.G, Springer, M, y Picado, P.B. (2020). Classification of aquatic macroinvertebrates in flow categories for the adjustment of the LIFE Index to Costa Rican rivers. *Ecohidrología y Hidrobiología*, 20, 210-321.
- Quesada, F. (2019). *Estimación de caudales ambientales utilizando macroinvertebrados acuáticos: una propuesta metodológica* [Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica]. <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/80386>
- Quinn, J. M. y Hickey, C. (1990). Characterization and classification of benthic invertebrate communities in 88 New Zealand rivers in relation to environmental factors. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 24, 387-409.
- Ramírez, A. y Pringle, C. M. (2006). Fast growth and turnover of chironomid assemblages in response to stream phosphorus levels in a tropical lowland landscape. *Limnology and Oceanography*, 51, 189-196.
- Ramírez-González, S., Cruzata-Manuel, R., Zorrilla-Velazco, M., Jiménez-Prieto, Y., Pérez-Villar, M., Cruz-Bermúdez, Y. y Morera-Hernández, L. (2018). Cuantificación de los contenidos de nitrato en aguas de pozo y aguas residuales con el empleo de electrodos selectivos. *Revista Cubana de Química*, 30(1), 131-142.
- Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales, (2007). Decreto N° 33903-MINAE-S. República de Costa Rica.
- Ritcher, B., Baumgartner, J., y Wigington, R. (1997). How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37, 231-249.
- Richter, B. D. y Thomas, G. A. (2007). Restoring Environmental Flows by Modifying Dam Operations. *Ecology and Society*, 12 (1), 1-12.
- Rincón, J., Merchán, D., Sparer, A., Rojas, D. y Zarate, E. (2017). La descomposición de la hojarasca como herramienta para evaluar la integridad funcional de ríos altoandinos del sur del Ecuador. *Revista de Biología Tropical*, 65 (1), 321-334.

- Ríos-Touma, B. P. (2004). *Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de dos cuencas altoandinas del Ecuador* [Trabajo de Investigación del programa de Doctorado y Diplomado en Estudios Avanzados en Ecología, Universitat de Barcelona].
- Ríos-Touma, B., Acosta, R. y Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 249-273.
- Robledo, J., Vanegas, C.E. y García, A.N. (2014). Aplicación del Sistema Holandés para la evaluación de la calidad del agua. Caso de estudio Lago de Izabal, Guatemala. *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(2), 15-21.
- Rodríguez, F. E., Martínez, L. M. y Ortiz, C. I. (2020). Nivel de alteración ecohidrológica en ríos perennes de la cuenca del río Ayuquila- Armería. *Biotecnia* 22(2), 28-38.
- Rodrigo, C. (2006). Caracterización y clasificación de la bahía de Puerto Montt mediante batimetría de multihaz y datos de backscatter. *Investigaciones Marinas*, 34(1), 83-94.
- Rojas-Rodríguez, I., Coronado-García, M., Rossetti-López, S. y Beltrán-Morales, F. (2020). Contaminación por nitratos y fosfatos provenientes de la actividad agrícola en la cuenca baja del río Mayo en el estado de Sonora, México. *Terra Latinoamericana*, 38, 247-256.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Colombia, Medellín: FEN COLOMBIA y COLCIENCIAS.
- Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Academia Colombiana de Ciencia*, 23(88), 375-387.
- Romero, V., Norris, F. J., Ríos, J. A., Cortés, I., González, A., Gaete, L. y Tchernitchin, A. N. (2017). Consecuencias de la fluoración del agua potable en la salud humana. *Revista médica de Chile*, 145(2), 240-249.
- Romero-Vargas, M., Bermudez-Rojas, T., y Duque-Gutierrez, M. (2020). Evaluación cualitativa de indicadores de sostenibilidad socioambiental para su selección y aplicación en ciudades costarricenses. *Revista Geográfica de América Central*, 64(1), 17-41.

- Sabater, S., Charles, J., Giorgi, A., y Elozegi, A. (2009). El río como ecosistema. En A. Elozegi & A. Sabater. (Ed.), *Conceptos y técnicas en ecología fluvial* (pp. 23-37). Bilbao, España: Fundación BBVA.
- Sabaj, V., Rodríguez-Gallego, L., Chreties, C., Crisci, M., Fernández, M., Colombo, N., Lanzilotta, B., Saravia, M., Neme, C. y Conde, D. (2014). *Qué son los caudales ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay*. (Documento técnico PHI-VIII-34). UNESCO.
- Sánchez, A. (2019). *Adecuación de la producción energética de las centrales hidroeléctricas al cumplimiento de los caudales ecológicos en la Demarcación del Júcar. Río Turia* [Tesis de Grado, Universitat Politècnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/127796>
- Sánchez, A.D. y Cañon, B.J. (2010). Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del Río Condoto (Chocó, Colombia). *Revista Gestión y Ambiente*, 13(3), 115-130.
- Santos, D. (2011). “*Estudios de la relación de la toxicidad del plomo con el pH, dureza y alcalinidad del agua*” [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Aguas Calientes]. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/778>
- Sierra, C.A. (2011). *Calidad del Agua. Evaluación y diagnóstico*. Universidad de Medellín.
- Soares, L., Santos, H., Martínez-Capel, F., Callisto, M., Tupinambás, T., Castro, D., Franca, J., Pompeu, P., Sampaio, F., Gandini, C., Lopes, J. V., y Alves, C. (2015). Ecological Flow Methodology base on environmental and management restrictions. *Agua-LAC*, 7(2), 17-28.
- Solano, A. M. (2011). “*Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media- alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo*” [Tesis de grado, Universidad Nacional]. <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Impacto%20ambiental%20por%20aguas%20residuales%20y%20residuos%20s%C3%B3lidos%20en%20la%20calidad%20del%20agua.pdf>
- Springer, M., Ramírez, A. y Hanson, P. (2010). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical*, 58(Suppl 4), 97-136.

- Statzner, B. y Higler, B. (1986). Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation patterns. *Freshwater Biology*, 16, 127-139.
- Sun, T., Zhang, H., Yang, Z. y Yang, W. (2015). Environmental flow assessment for transformed estuaries. *Journal of Hydrology*, 520, 75-84.
- Tamaris, C. E., y Rodríguez, J. (2015). Transporte de materia orgánica a lo largo de un río tropical de montaña en la sierra nevada de Santa Marta (Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 20(3), 209-216.
- Toledo, D. M. y Esteban, R. M. (2003). *Manual de Prácticas de Ecología*. Umbral Editorial.
- Toledo, S. y Muñoz, E. (2018). Determinación de un régimen de caudal ambiental para el río Ñuble considerando actividades recreacionales y requerimientos de hábitat de peces. *Obras y Proyectos*, 24, 71-81.
- Torres, A.K. (2019). “*Flujos en ríos por cambios de sección por acumulación de demoliciones – sector: Puente San Martín de la Integración, río Chillón, Lima - 2019*” (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Toro, M., Robles, S., Avilés, J., Nuño, C., Vivas, S., Bonada, N., Prat, N., Alba-Tercedor, Casas, J., Guerrero, C., Jáime-Cuéllar, P., Moreno, J. Moreno, Moyá, G., Ramón, G., Suárez, M., Vidal-Abarca, M., Álvarez, M. y Pardo, I. (2002). Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. Características físico-químicas. *Limnética*, 21, 63-75.
- Trujillo, P.G. (2018). “*Relación entre cobertura de bosque y geomorfología fluvial con la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río mayo*” (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- UNESCO. (2014). Qué son los Caudales Ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay. Montevideo, Uruguay: PHI-LAC.
- Ureña, S.C. y Barrientos, Z. (2017). Percepción social y comportamiento ambiental de comunidades cercanas a un río urbano tropical en Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 9(1), 127-134.
- Val, J., Pino, R., Navarro, E. y Chinarro, D. (2016). Addressing the local aspects of global change impacts on stream metabolism using frequency analysis tools. *Science of the Total Environment*, 569, 798-814.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. y Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 37(1), 130-137.

- Valdivieso, P. A. (2011). *Incidencia del cambio en el uso del suelo en los caudales; casos de estudio: Cuencas de los ríos Alambi, Intag y Quijos* [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4214/4/CD-3839.pdf>
- Vásquez, C. A. (2014). *Ecología y medio ambiente*. Grupo Editorial Patria.
- Vásquez, H.N. (2017). Percepciones sobre cambio climático en relación a las medidas de mitigación y adaptación sobre la disponibilidad y conservación del agua (Tesis de Maestría). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Vásquez, M. J. (2019). *Monitoreo de la calidad de aguas superficiales en Costa Rica* [Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica]. <http://repositorio.ucr.ac.cr/handle/10669/79313>
- Villalobos, V.D. (2018). Experiencias comunitarias en defensa del agua en distritos rurales de Puntarenas, Costa Rica (2005-2017). *Revista Rupturas*, 8(1), 131-166.
- Villanueva, M. C. y Chanamé, F. C. (2016). Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú. *Scientia Agropecuaria*, 7(1), 33-44.
- Walteros, R.J. y Castaño, R.J. (2020). Composición y aspectos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos presentes en una microcuenca de cabecera en los Andes de Risaralda, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 44(171), 581-592.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), 377-392.
- Xue, J., Gui, D., Zhao, Y., Lei, J., Zeng, F., Feng, X., Mao, D. y Shareef, M. (2016). A decision-making framework to model environmental flow requirements in oasis areas using Bayesian networks. *Journal of Hydrology*, 540, 1209-1222.
- Yépez, R.A., Yépez, Y.A., Urdánigo, Z.J., Morales, C.D., Guerrero, C.N., Tayhing, C. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología*, 10(1), 27-34.
- Zacarias-Eslava, L., Cornejo-Tenorio, G., Cortés-Flores, J., Gonzáles-Castañeda, N. y Ibarra-Manríquez, G. (2011). Composición, estructura y diversidad del Cerro El Águila, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 854-869.

Zúñiga, M del C., Rojas, A. M., y Mosquera, S. (1997). Bioecological aspects of Ephemeroptera in the Southwest of Colombia (pp. 261-268). In Landolt, P., & Sartori, M. (Eds). *Ephemeroptera & Plecoptera: Biology-Ecology-Systematic*. MTL, Fribourg.

Zúñiga, M. del C. y Cardona, W. (2009). Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. Pp. 167-198, En Cantera, J., Carvajal, Y. y Castro, L. (Eds.). *Caudal ambiental: conceptos experiencias y desafíos* (pp.167-198). Universidad del Valle, Cali, Colombia.

9. Anexos

Anexo 1. Escala de Wentworth (1922).

Tipo de sustrato	Diámetro (mm)	Detalles
Roca madre	-	Incluir también bloques mayores de 1 m
Bloques	>250	Mayores que la palma de la mano
Cantos	60-250	Entre un puño y una palma
Guijarros	20-60	Entre una uña de pulgar y un puño
Grava	0,2-20	Menor que la uña del pulgar
Arena	0,006-0,2	Tacto áspero, no mancha
Limo	<0,006	Tacto suave, mancha

Fuente: Elosegí y Díez, 2009.

Anexo 2. Caudal obtenido por sitio y por campaña de muestreo.

Sitio de muestreo	Muestreo	Caudal (m/s)
MAR01	M1	683.6

	M2	722.2
	M3	172.2
	M4	824.28
MAR02	M1	3872.0
	M2	10686.0
	M3	3510.5
	M4	6216.06
MAR03	M1	1230.7
	M2	244.5
	M3	264.6
	M4	1787.96
MAR04	M1	1690.6
	M2	944.3
	M3	407.4
	M4	633.235
MAR05	M1	1888.0
	M2	304.7
	M3	95.3
	M4	293.26
MAR06	M1	326.2
	M2	43.0
	M3	No se midió
	M4	No se midió
MAR07	M1	769.8
	M2	188.4
	M3	12.2
	M4	1300.5

Anexo 3. Valores de velocidad, profundidad y número de Froude por micrositio y campaña de muestreo

Muestreo	Sitio	Micrositio	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)	Froude
M1	MAR01	MAR01.1	1.2	0.20	0.86
		MAR01.2	1.4	0.27	0.86
		MAR01.3	0.1	0.24	0.07
	MAR02	MAR02.1	0.2	0.38	0.10
		MAR02.2	0.1	0.22	0.07
		MAR02.3	0.2	0.32	0.11
	MAR03	MAR03.1	0.2	0.27	0.12
		MAR03.2	0.2	0.36	0.11
		MAR03.3	0.3	0.17	0.23
	MAR04	MAR04.1	0.3	0.16	0.24
		MAR04.2	0.5	0.22	0.34
		MAR04.3	0.5	0.33	0.28
	MAR05	MAR05.1	0.2	0.45	0.10
		MAR05.2	1.7	0.39	0.87
		MAR05.3	0.1	0.51	0.04
	MAR06	MAR06.1	0.1	0.52	0.04
		MAR06.2	1.2	0.27	0.74
		MAR06.3	0.2	0.27	0.12
	MAR07	MAR07.1	0.5	0.28	0.04
		MAR07.2	0.2	0.61	0.74
		MAR07.3	1.0	0.22	0.12
M2	MAR01	MAR01.1	0.44	0.27	0.27
		MAR01.2	0.4	0.35	0.22
		MAR01.3	0.85	0.25	0.54
	MAR02.1	0.08	0.3	0.05	

	MAR02	MAR02.2	1.16	0.39	0.59
		MAR02.3	0.03	0.21	0.02
		MAR03.1	0.08	0.12	0.07
	MAR03	MAR03.2	0.15	0.209	0.10
		MAR03.3	0.17	0.16	0.14
		MAR04.1	0.36	0.14	0.31
	MAR04	MAR04.2	0.34	0.3	0.20
		MAR04.3	0.09	0.17	0.07
		MAR05.1	0.28	0.16	0.22
	MAR05	MAR05.2	0.02	0.49	0.01
		MAR05.3	0.02	0.31	0.01
		MAR06.1	0.01	0.13	0.01
	MAR06	MAR06.2	0.03	0.06	0.04
		MAR06.3	0.01	0.16	0.01
		MAR07.1	0.13	0.52	0.06
	MAR07	MAR07.2	0.01	0.4	0.01
		MAR07.3	0.17	0.15	0.14
		MAR01.1	0.18	0.15	0.15
	MAR01	MAR01.2	0.9	0.19	0.66
		MAR01.3	0.47	0.27	0.29
		MAR02.1	0.37	0.3	0.22
	MAR02	MAR02.2	0.33	0.27	0.20
		MAR02.3	0.06	0.2	0.04
		MAR03.1	0.43	0.2	0.31
	MAR03	MAR03.2	0.45	0.26	0.28
		MAR03.3	0.43	0.22	0.29
		MAR04.1	0.15	0.1	0.15
	MAR04	MAR04.2	0.04	0.1	0.04
		MAR04.3	0.02	0.13	0.02

M3

M4		MAR05.1	0.01	0.16	0.01
	MAR05	MAR05.2	0.04	0.58	0.02
		MAR05.3	0.5	0.11	0.48
		MAR06.1		No muestreado	
	MAR06	MAR06.2			
		MAR06.3			
		MAR07.1	0.03	0.45	0.01
	MAR07	MAR07.2	0.02	0.14	0.02
		MAR07.3	0.64	0.11	0.62
		MAR01.1	0.75	0.19	0.55
	MAR01	MAR01.2	0.25	0.1	0.25
		MAR01.3	0.37	0.23	0.25
		MAR02.1	0.3	0.3	0.17
	MAR02	MAR02.2	0.57	0.33	0.32
		MAR02.3	1.24	0.3	0.72
		MAR03.1	0.14	0.4	0.07
	MAR03	MAR03.2	0.1	0.4	0.05
		MAR03.3	0.42	0.22	0.29
		MAR04.1	0.11	0.19	0.08
	MAR04	MAR04.2	0.4	0.25	0.26
		MAR04.3	0.26	0.3	0.15
	MAR05.1	0.06	0.35	0.03	
MAR05	MAR05.2	0.01	0.5	0.00	
	MAR05.3	0.1	0.19	0.07	
	MAR06.1		No muestreado		
MAR06	MAR06.2				
	MAR06.3				
	MAR07.1	0.06	0.5	0.03	
MAR07	MAR07.2	0.04	0.19	0.03	

MAR07.3 0.02 0.27 0.01

Anexo 4. Porcentaje de sustrato por micrositio y campaña de muestreo.

Muestreo	Sitio	Micrositio	Bloques	Cantos	Guijarros	Grava	Arena	Limo
M1	MAR01	MAR01.1	68.9	25.6	3.3	2.2	0.0	0.0
		MAR01.2	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		MAR01.3	52.8	20.0	2.2	25.0	0.0	0.0
	MAR02	MAR02.1	0.0	42.2	29.4	28.3	0.0	0.0
		MAR02.2	33.3	53.3	6.7	6.7	0.0	0.0
		MAR02.3	0.0	82.8	16.1	1.1	0.0	0.0
	MAR03	MAR03.1	0.0	5.6	82.8	11.7	0.0	0.0
		MAR03.2	0.0	47.8	14.4	11.7	26.1	0.0
		MAR03.3	0.0	0.0	37.8	62.2	0.0	0.0
	MAR04	MAR04.1	19.4	47.2	21.1	12.2	0.0	0.0
		MAR04.2	0.0	67.8	11.7	20.6	0.0	0.0
		MAR04.3	20.0	33.3	1.1	45.6	0.0	0.0
	MAR05	MAR05.1	83.3	0.0	0.0	8.3	8.3	0.0
		MAR05.2	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		MAR05.3	0.0	48.3	25.0	26.7	0.0	0.0
	MAR06	MAR06.1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		MAR06.2	80.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		MAR06.3	50.0	40.0	0.0	10.0	0.0	0.0
	MAR07	MAR07.1	55.6	25.0	11.1	8.3	0.0	0.0
		MAR07.2	63.9	27.8	8.3	0.0	0.0	0.0
		MAR07.3	19.4	72.2	8.3	0.0	0.0	0.0
M2	MAR01	MAR01.1	69.4	11.1	11.1	5.6	2.8	0.0
		MAR01.2	41.7	27.8	21.1	9.4	0.0	0.0
		MAR01.3	No se realizó (Aguas negras)					

	MAR02.1	0.0	0.0	0.0	55.0	45.0	0.0
MAR02	MAR02.2	48.3	25.0	26.7	0.0	0.0	0.0
	MAR02.3	58.9	35.0	6.1	0.0	0.0	0.0
	MAR03.1	No se realizó (muy profundo)					
MAR03	MAR03.2	70.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	MAR03.3	0.0	15.0	37.2	29.4	18.3	0.0
	MAR04.1	41.1	48.9	10.0	0.0	0.0	0.0
MAR04	MAR04.2	90.5	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	MAR04.3	31.1	51.1	15.0	2.8	0.0	0.0
	MAR05.1	67.2	29.4	3.3	0.0	0.0	0.0
MAR05	MAR05.2	9.4	0.0	0.0	0.0	48.9	41.7
	MAR05.3	50.6	26.1	10.0	0.0	13.3	0.0
	MAR06.1	0.0	0.0	11.7	0.0	11.1	77.2
MAR06	MAR06.2	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	MAR06.3	41.1	42.2	16.7	0.0	0.0	0.0
	MAR07.1	62.2	12.2	0.0	2.2	23.3	0.0
MAR07	MAR07.2	81.1	4.4	0.0	0.0	14.4	0.0
	MAR07.3	70.0	8.9	13.3	2.2	5.6	0.0
	MAR01.1	0.0	45.6	26.1	28.3	0.0	0.0
MAR01	MAR01.2	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	MAR01.3	0.0	79.4	6.7	13.9	0.0	0.0
	MAR02.1	0.0	60.0	17.8	18.9	3.3	0.0
MAR02	MAR02.2	0.0	0.0	51.7	25.0	23.3	0.0
	MAR02.3	74.4	5.6	0.0	15.6	4.4	0.0
	MAR03.1	26.7	37.8	26.7	8.9	0.0	0.0
MAR03	MAR03.2	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	MAR03.3	0.0	0.0	0.0	40.0	60.0	0.0
	MAR04.1	35.6	20.6	26.7	17.2	0.0	0.0
MAR04	MAR04.2	37.8	11.7	35.0	15.6	0.0	0.0

M3

	MAR04.3	22.2	27.8	30.0	15.0	2.8	2.2
	MAR05.1	51.1	5.6	5.0	5.6	1.1	31.7
MAR05	MAR05.2	32.8	31.7	4.4	2.2	0.0	28.9
	MAR05.3	51.1	1.1	45.6	0.0	2.2	0.0
	MAR06.1						
MAR06	MAR06.2			No muestreado			
	MAR06.3						
	MAR07.1	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0
MAR07	MAR07.2	72.8	0.0	27.2	0.0	0.0	0.0
	MAR07.3	67.2	13.3	19.4	0.0	0.0	0.0
	MAR01.1	0.0	27.8	42.2	24.4	5.6	0.0
MAR01	MAR01.2	0.0	20.0	28.9	25.6	25.6	0.0
	MAR01.3	90.5	2.2	0.0	2.8	4.4	0.0
	MAR02.1	22.2	37.8	8.9	4.4	26.7	0.0
MAR02	MAR02.2	0.0	0.0	53.3	40.6	6.1	0.0
	MAR02.3	86.7	0.6	0.6	12.2	0.0	0.0
	MAR03.1	20.0	0.0	2.2	77.8	0.0	0.0
MAR03	MAR03.2	46.7	0.0	10.6	25.6	17.2	0.0
	MAR03.3	0.0	0.0	0.0	80.0	20.0	0.0
	MAR04.1	55.6	22.2	15.0	2.2	5.0	0.0
MAR04	MAR04.2	18.9	40.0	23.3	10.6	7.2	0.0
	MAR04.3	92.2	2.2	0.0	0.0	5.6	0.0
	MAR05.1	92.2	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0
MAR05	MAR05.2	17.8	44.4	28.9	8.9	0.0	0.0
	MAR05.3	47.8	52.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	MAR06.1						
MAR06	MAR06.2			No muestreado			
	MAR06.3						
	MAR07.1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

MAR07	MAR07.2	76.7	0.0	3.3	0.0	0.0	20.0
	MAR07.3	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8	87.2

Anexo 5. Abundancias absolutas de macroinvertebrados por campaña de muestreo, sitio y micrositio.

Muestreo	Sitio	Micrositio	Abundancia	
M1	MAR01	MAR01.1	611	
		MAR01.2	414	
		MAR01.3	913	
				1938
	MAR02	MAR02.1	518	
		MAR02.2	311	
		MAR02.3	489	
				1318
	MAR03	MAR03.1	266	
		MAR03.2	399	
		MAR03.3	1307	
				1972
MAR04	MAR04.1	1028		
	MAR04.2	613		
	MAR04.3	453		
			2094	
MAR05	MAR05.1	26		
	MAR05.2	26		
	MAR05.3	55		
			107	
MAR06	MAR06.1	4		
	MAR06.2	13		
	MAR06.3	7		

			24
	MAR07	MAR07.1	45
		MAR07.2	12
		MAR07.3	459
			516
	MAR01	MAR01.1	112
		MAR01.2	68
		MAR01.3	95
M2			275
	MAR02	MAR02.1	201
		MAR02.2	61
		MAR02.3	127
			387
	MAR03	MAR03.1	5
		MAR03.2	54
		MAR03.3	10
			69
	MAR04	MAR04.1	401
		MAR04.2	499
		MAR04.3	558
			1458
	MAR05	MAR05.1	143
		MAR05.2	53
		MAR05.3	19
			215
	MAR06	MAR06.1	88
		MAR06.2	170
		MAR06.3	180
			438
	MAR07	MAR07.1	399
		MAR07.2	383

		MAR07.3	1466
			2248
	MAR01	MAR01.1	20
		MAR01.2	280
		MAR01.3	154
M3			454
	MAR02	MAR02.1	115
		MAR02.2	246
		MAR02.3	513
			874
	MAR03	MAR03.1	205
		MAR03.2	101
		MAR03.3	114
			420
	MAR04	MAR04.1	178
		MAR04.2	709
		MAR04.3	243
			1130
	MAR05	MAR05.1	58
		MAR05.2	96
		MAR05.3	137
			291
	MAR07	MAR07.1	396
		MAR07.2	108
		MAR07.3	701
			1205
	MAR01	MAR01.1	373
		MAR01.2	1140
		MAR01.3	806
			2319
M4	MAR02	MAR02.1	500

	MAR02.2	474
	MAR02.3	366
		1340
MAR03	MAR03.1	270
	MAR03.2	181
	MAR03.3	113
		564
MAR04	MAR04.1	777
	MAR04.2	427
	MAR04.3	467
		1671
MAR05	MAR05.1	48
	MAR05.2	120
	MAR05.3	80
		248
MAR07	MAR07.1	77
	MAR07.2	306
	MAR07.3	270
		653

Anexo 6. Abundancia de los órdenes y familias de macroinvertebrados en los diferentes sitios de muestreo en el río Maravilla, Cartago, Costa Rica.

Orden	Familia	Sitio de muestreo						
		MAR01	MAR02	MAR03	MAR04	MAR05	MAR06	MAR07
Littorinimorpha	Hydrobiidae	3	3	0	2	0	0	4
Basommatophora	Physidae	4	2	2	6	23	0	398
	Planorbidae	1	0	0	0	0	0	1
Coleoptera	Carabidae	1	0	0	0	0	0	0
	Curculionidae	1	0	0	0	0	0	0
	Elmidae	0	1	5	15	12	1	7

	Hydrophilidae	0	0	0	1	0	0	0
	Staphylinidae	3	1	0	1	1	7	21
	Chironomidae	582	454	325	475	88	144	1644
	Empididae	8	12	9	10	0	0	6
	Ephydriidae	4	0	1	1	0	2	1
Diptera	Muscidae	27	8	3	1	0	0	0
	Psychodidae	7	5	14	32	4	0	0
	Simuliidae	2506	1228	804	961	136	10	1040
	Syrphidae	0	0	0	0	0	0	1
	Tipulidae	5	4	2	9	0	1	4
	Pyralidae	7	0	2	0	1	0	0
Lepidoptera	Crambidae	0	0	0	0	8	0	18
	Baetidae	978	1130	1182	1728	155	131	198
Ephemeroptera	Leptohiphidae	35	116	55	194	219	1	9
	Leptophlebiidae	0	0	0	10	8	0	0
Plecoptera	Perlidae	0	0	0	1	0	0	0
	Belostomatidae	0	0	0	0	3	0	4
Hemiptera	Veliidae	0	0	0	1	1	0	0
Veneroidea	Sphaeriidae	0	0	0	0	1	0	0
Megaloptera	Corydalidae	0	0	0	0	0	0	3
	Calopterygidae	24	15	14	41	7	1	1
Odonata	Coenagrionidae	8	0	0	0	0	0	0
	Libellulidae	0	1	1	68	9	0	0
Rhynchobdellid	Glossiphoniidae	0	0	0	0	12	0	22
a								
	Ecnomidae	0	0	0	0	1	0	0
	Glossosomatidae	60	355	272	2123	12	0	10
Trichoptera	Helicopsychidae	2	0	1	1	1	0	0
	Hydrobiosidae	2	4	7	22	0	0	0
	Hydropsychidae	13	372	178	387	17	16	97

	Hydroptilidae	252	123	44	225	11	0	4
	Lepidostomatidae	277	22	57	1	2	0	0
	Leptoceridae	22	40	26	6	8	0	1
	Polycentropodidae	0	0	1	0	0	0	0
Annelida	Oligochaeta	113	20	15	28	123	148	1057
Isopoda	Isopoda	4	1	0	0	0	0	0
Amphipoda	Familia no identificada	31	2	3	0	0	0	0
Subclase Hirudinea	Familia no identificada	5	0	2	3	2	0	70
Filo Mollusca	Familia no identificada	0	0	0	0	7	0	1
Filo Nematoda	Familia no identificada	1	0	0	0	0	0	0

Anexo 7. Riqueza, índice de Shannon-Wiener, índice de Simpson, índice de Pielou por micrositio de muestreo en el muestreo uno (M1).

Micrositio	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MAR01-01	7	0.9728	2.1509	0.4999
MAR01-02	8	1.0755	2.4296	0.5172
MAR01-03	10	0.9876	2.2109	0.4289
MAR02-01	6	1.1618	2.7569	0.6484
MAR02-02	6	1.0760	2.3960	0.6005
MAR02-03	7	1.1982	2.7071	0.6157
MAR03-01	9	1.2789	2.7756	0.5820
MAR03-02	10	1.2113	2.6568	0.5260
MAR03-03	11	1.1167	2.5042	0.4657
MAR04-01	13	1.3617	3.0337	0.5309
MAR04-02	13	1.4972	3.3785	0.5837
MAR04-03	11	1.6663	4.1295	0.6949

MAR05-01	6	1.3355	2.6825	0.7454
MAR05-02	4	0.7736	1.6328	0.5580
MAR05-03	9	1.5317	3.2561	0.6971
MAR06-01	3	1.0397	2.6666	0.9463
MAR06-02	3	0.6870	1.6095	0.6254
MAR06-03	3	0.7963	1.8148	0.7248
MAR07-01	5	1.3438	3.2714	0.8349
MAR07-02	4	1.1437	2.7692	0.8250
MAR07-03	12	1.4418	3.3607	0.5802

Anexo 8. Riqueza, índice de Shannon-Wiener, índice de Simpson, índice de Pielou, por micrositio de muestreo en el muestreo dos (M2).

Micrositio	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MAR01-01	8	1.2582	2.8239	0.6051
MAR01-02	7	1.0214	2.0370	0.5249
MAR01-03	7	0.9701	2.2114	0.4985
MAR02-01	6	0.9647	2.1917	0.5384
MAR02-02	4	0.6644	1.5446	0.4793
MAR02-03	8	1.1508	2.4673	0.5534
MAR03-01	3	1.0549	2.7777	0.9602
MAR03-02	5	0.8552	1.7398	0.5313
MAR03-03	2	0.5004	1.4705	0.7219
MAR04-01	6	1.0010	2.4626	0.5587
MAR04-02	7	0.9124	1.9084	0.4689
MAR04-03	5	0.7257	1.8056	0.4509
MAR05-01	6	1.0054	2.3626	0.5611
MAR05-02	6	1.2123	2.7245	0.6766
MAR05-03	4	1.2381	3.2522	0.8931
MAR06-01	5	0.9831	2.3033	0.6108
MAR06-02	6	1.3106	3.2930	0.7315

MAR06-03	6	1.2039	3.0011	0.6719
MAR07-01	7	1.3211	3.3341	0.6789
MAR07-02	6	0.6955	1.5926	0.3882
MAR07-03	10	1.3890	3.4322	0.6032

Anexo 9. Riqueza, índice de Shannon-Wiener, índice de Simpson, índice de Pielou, por micrositio de muestreo en el muestreo tres (M3).

Micrositio	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
MAR01-01	5	1.3923	3.5087	0.8650
MAR01-02	17	1.8113	3.9817	0.6393
MAR01-03	15	1.5775	3.0696	0.5825
MAR02-01	12	1.9714	5.1279	0.7933
MAR02-02	13	1.9287	5.3734	0.7519
MAR02-03	14	1.6911	3.7240	0.6408
MAR03-01	11	1.4679	2.5936	0.6121
MAR03-02	13	1.6293	3.1034	0.6352
MAR03-03	13	1.9695	5.2572	0.7678
MAR04-01	14	2.1626	6.9635	0.8194
MAR04-02	16	1.9246	4.2695	0.6941
MAR04-03	15	1.9676	5.3881	0.7265
MAR05-01	8	1.1671	2.0216	0.5613
MAR05-02	3	0.5934	1.5851	0.5401
MAR05-03	14	1.7073	3.1958	0.6469
MAR07-01	9	1.0051	2.0013	0.4574
MAR07-02	6	0.8172	1.7097	0.4561
MAR07-03	12	0.4561	2.0312	0.4355

Anexo 10. Riqueza, índice de Shannon-Wiener, índice de Simpson, índice de Pielou, por micrositio de muestreo en el muestreo cuatro (M4).

Micrositio	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
-------------------	----------------	----------------	----------------	---------------

MAR01-01	13	1.8297	4.8455	0.7133
MAR01-02	16	1.4936	2.7865	0.5387
MAR01-03	18	1.6404	3.2587	0.5675
MAR02-01	10	1.7033	4.4638	0.7397
MAR02-02	14	1.8531	4.4062	0.7021
MAR02-03	14	1.7768	4.5258	0.6732
MAR03-01	17	2.1462	6.2823	0.7575
MAR03-02	13	1.6595	3.9676	0.6470
MAR03-03	12	2.1076	7.0197	0.8481
MAR04-01	16	1.0360	1.6723	0.3736
MAR04-02	14	1.6855	3.3924	0.6386
MAR04-03	12	1.6071	3.2002	0.6467
MAR05-01	13	2.0028	5.5119	0.7808
MAR05-02	11	1.0893	1.8136	0.4542
MAR05-03	16	1.5819	2.3916	0.5705
MAR07-01	5	0.8102	1.7140	0.5034
MAR07-02	8	0.4710	1.2251	0.2265
MAR07-03	10	1.3607	2.6964	0.5909

Anexo 11. Datos fisicoquímicos (temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), porcentaje de saturación de oxígeno (%), conductividad y ORP) por campaña y sitio de muestreo.

Muestreo	Sitio	Micrositio	Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)	PSO (%)	Conductividad (µS/cm)	ORP (mV)
M1	MAR01	MAR01-1	19.00	8.42	8.55	93.10	104.00	193.00
	MAR01	MAR01-2	19.30	7.81	8.53	93.80	114.00	204.00
	MAR01	MAR01-3	19.20	7.83	8.18	90.50	125.00	213.00
		Promedio	19.16	8.02	8.42	92.46	114.33	203.33
		DE	0.15	0.34	0.21	1.73	10.50	10.01
	MAR02	MAR02-1	17.60	8.83	9.08	97.50	137.00	253.00

MAR02	MAR02-2	17.80	7.74	9.27	99.10	106.00	277.00	
MAR02	MAR02-3	17.60	7.05	8.74	95.30	107.00	278.00	
	Promedio	17.66	7.87	9.03	97.3	116.66	269.33	
	DE	0.11	0.89	0.26	1.90	17.61	14.15	
MAR03	MAR03-1	18.00	7.60	9.24	99.40	104.00	259.00	
MAR03	MAR03-2	18.00	7.32	9.04	96.50	107.00	255.00	
MAR03	MAR03-3	18.00	7.40	9.19	97.70	109.00	258.00	
	Promedio	18	7.44	9.15	97.86	106.66	257.33	
	DE	0	0.14	0.10	1.45	2.51	2.08	
MAR04	MAR04-1	18.70	7.15	9.52	104.00	101.00	311.00	
MAR04	MAR04-2	18.70	7.37	9.35	101.90	101.00	301.00	
MAR04	MAR04-3	18.70	7.35	9.53	101.80	101.00	300.00	
	Promedio	18.7	7.29	9.46	102.56	101.00	304	
	DE	0	0.12	0.10	1.24	0.0	6.08	
MAR05	MAR05-1	19.40	7.09	8.68	96.60	72.00	255.00	
MAR05	MAR05-2	19.40	6.89	9.27	99.00	69.00	268.00	
MAR05	MAR05-3	19.40	7.36	8.6	95.60	72.00	263.00	
	Promedio	19.4	7.11	8.85	97.06	71	262	
	DE	0	0.23	0.36	1.74	1.73	6.55	
MAR06	MAR06-1	26.50	6.61	6.76	84.10	85.00	129.00	
MAR06	MAR06-2	26.50	6.73	7.15	90.40	85.00	93.00	
MAR06	MAR06-3	25.90	7.34	6.86	85.80	85.00	104.00	
	Promedio	26.3	6.89	6.92	86.76	85	108.66	
	DE	0.34	0.39	0.20	3.25	0.0	18.44	
MAR07	MAR07-1	27.80	6.98	6.98	90.90	123.00	242.00	
MAR07	MAR07-2	27.60	6.79	6.82	86.20	125.00	225.00	
MAR07	MAR07-3	27.60	6.89	7.15	91.50	121.00	206.00	
	Promedio	27.66	6.88	6.98	89.53	123	224.33	
	DE	0.11	0.09	0.16	2.90	2	18.00	
M2	MAR01	MAR01-1	16.30	5.96	8.03	81.93	107.33	228.00
	MAR01	MAR01-2	16.50	6.25	8.02	82.01	105.00	120.00

MAR01	MAR01-3	16.40	6.29	8.06	82.03	104.00	128.00
	Promedio	16.4	6.16	8.03	81.99	105.44	158.66
	DE	0.1	0.18	0.02	0.05	1.70	60.17
MAR02	MAR02-1	16.50	8.07	8.15	83.50	119.00	192.00
MAR02	MAR02-2	16.40	7.71	8.2	83.70	119.00	193.00
MAR02	MAR02-3	16.40	7.45	8.21	83.80	119.00	192.00
	Promedio	16.43	7.74	8.18	83.66	119	192.33
	DE	0.05	0.31	0.03	0.15	0.0	0.57
MAR03	MAR03-1	17.00	6.45	8.08	83.60	88.00	254.00
MAR03	MAR03-2	17.00	6.46	8.03	83.10	89.00	241.00
MAR03	MAR03-3	16.50	6.37	8.09	83.40	95.33	237.66
	Promedio	16.83	6.42	8.06	83.36	90.77	244.22
	DE	0.28	0.04	0.03	0.25	3.97	8.63
MAR04	MAR04-1	18.80	6.50	8.03	86.20	79.00	271.00
MAR04	MAR04-2	18.80	6.29	8.02	86.10	79.33	273.33
MAR04	MAR04-3	18.70	6.34	8.04	86.10	79.00	273.00
	Promedio	18.76	6.37	8.03	86.13	79.11	272.44
	DE	0.05	0.10	0.01	0.05	0.19	1.26
MAR05	MAR05-1	21.90	6.62	7.81	89.00	95.00	242.00
MAR05	MAR05-2	21.80	6.60	7.81	89.00	94.00	243.00
MAR05	MAR05-3	21.80	6.64	7.85	89.40	94.00	241.00
	Promedio	21.83	6.62	7.82	89.13	94.33	242
	DE	0.05	0.02	0.02	0.23	0.57	1
MAR06	MAR06-1	22.40	6.84	7.81	90.00	97.00	227.00
MAR06	MAR06-2	22.40	6.75	7.85	90.50	97.00	234.00
MAR06	MAR06-3	22.30	6.76	7.84	90.10	97.00	231.00
	Promedio	22.36	6.78	7.83	90.2	97	230.66
	DE	0.05	0.04	0.02	0.26	0.0	3.51
MAR07	MAR07-1	24.40	6.58	6.83	81.70	167.00	186.00
MAR07	MAR07-2	24.40	6.66	6.79	81.20	168.00	161.00
MAR07	MAR07-3	24.40	6.67	6.81	81.50	168.00	144.00

	Promedio	24.4	6.63	6.81	81.46	167.66	163.66
	DE	0	0.04	0.02	0.25	0.57	21.12
MAR01	MAR01-1	17.75	6.44	7.95	83.35	143.00	150.00
MAR01	MAR01-2	17.80	6.37	7.91	83.20	142.00	156.00
MAR01	MAR01-3	17.70	6.48	7.96	83.50	141.00	144.00
	Promedio	17.75	6.43	7.94	83.35	142	150
	DE	0.05	0.05	0.02	0.15	1	6
MAR02	MAR02-1	16.60	7.19	8.35	85.35	139.00	146.00
MAR02	MAR02-2	16.60	7.21	8.31	85.20	140.00	143.00
MAR02	MAR02-3	16.60	7.17	8.36	85.50	138.00	149.00
	Promedio	16.6	7.19	8.34	85.35	139	146
	DE	0	0.02	0.02	0.15	1	3
MAR03	MAR03-1	16.90	7.45	8.33	86.00	140.00	137.00
MAR03	MAR03-2	16.90	7.55	8.34	86.10	139.00	135.00
MAR03	MAR03-3	16.90	7.35	8.32	85.90	138.00	136.00
	Promedio	16.9	7.45	8.33	86	139	136
	DE	0	0.1	0.01	0.1	1	1
MAR04	MAR04-1	18.35	7.63	8.28	88.05	126.00	131.00
MAR04	MAR04-2	18.40	7.56	8.27	88.00	126.00	131.00
MAR04	MAR04-3	18.30	7.70	8.29	88.10	126.00	128.00
	Promedio	18.35	7.63	8.28	88.05	126	130
	DE	0.05	0.07	0.01	0.05	0.0	1.73
MAR05	MAR05-1	22.70	7.07	8	92.60	120.00	142.00
MAR05	MAR05-2	22.90	7.09	7.88	91.50	120.00	132.00
MAR05	MAR05-3	22.50	6.97	7.87	91.60	121.00	127.00
	Promedio	22.7	7.04	7.91	91.9	120.33	133.66
	DE	0.2	0.06	0.07	0.60	0.57	7.63
MAR06	MAR06-1	35.00	3.20	6.86	46.20	203	-120
MAR06	MAR06-2	34.70	3.45	6.88	50.20	123	-68
MAR06	MAR06-3	34.60	3.49	6.71	50.70	121	-64
	Promedio	34.76	3.38	6.81	49.03	149	-84

		DE	0.20	0.15	0.09	2.46	46.77	31.24
	MAR07	MAR07-1	26.00	6.67	5.08	62.70	346.00	28.00
	MAR07	MAR07-2	25.50	7.35	4.87	60.30	347.00	35.00
	MAR07	MAR07-3	25.60	7.32	4.91	60.30	347.00	34.00
		Promedio	25.7	7.11	4.95	61.1	346.66	32.33
		DE	0.26	0.38	0.11	1.38	0.57	3.78
	MAR01	MAR01-1	17.00	7.46	7.92	81.90	120.00	94.00
	MAR01	MAR01-2	17.00	7.50	7.93	82.00	119.00	91.00
	MAR01	MAR01-3	16.90	7.01	7.96	82.10	121.00	93.00
		Promedio	16.96	7.32	7.93	82	120	92.66
		DE	0.05	0.27	0.02	0.1	1	1.52
	MAR02	MAR02-1	17.10	7.68	7.96	82.30	119.00	145.00
	MAR02	MAR02-2	16.70	7.15	8.06	82.80	125.00	146.00
	MAR02	MAR02-3	17.00	7.30	8.02	82.90	119.00	140.00
		Promedio	16.93	7.37	8.01	82.66	121	143.66
		DE	0.20	0.27	0.05	0.32	3.46	3.21
	MAR03	MAR03-1	17.30	7.57	7.97	83.00	190.00	159.00
	MAR03	MAR03-2	17.20	7.30	7.94	82.50	195.00	155.00
M4	MAR03	MAR03-3	17.20	7.45	7.95	82.60	194.00	160.00
		Promedio	17.23	7.44	7.95	82.7	193	158
		DE	0.05	0.13	0.01	0.26	2.64	2.64
	MAR04	MAR04-1	20.00	7.00	9.04	102.00	0.08	69.00
	MAR04	MAR04-2	20.70	7.50	9.07	101.60	0.08	80.00
	MAR04	MAR04-3	21.40	7.70	9.17	99.60	0.07	81.00
		Promedio	20.7	7.4	9.09	101.06	0.07	76.66
		DE	0.7	0.36	0.06	1.28	0.01	6.65
	MAR05	MAR05-1	21.70	7.42	7.53	85.60	133.00	99.00
	MAR05	MAR05-2	21.90	7.64	7.52	85.80	134.00	128.00
	MAR05	MAR05-3	21.80	7.39	7.53	85.80	135.00	103.00
		Promedio	21.8	7.48	7.52	85.73	134	110
		DE	0.1	0.13	0.01	0.11	1	15.71

MAR06	MAR06-1	31.1	7.8	4.74	64.6	0.08	31
MAR06	MAR06-2	30.5	8.15	5.22	68.7	0.07	-32
MAR06	MAR06-3	30.1	7	5.34	69	0.08	-33
	Promedio	30.56	7.65	5.1	67.43	0.07	-11.33
	DE	0.50	0.58	0.31	2.45	0.01	36.66
MAR07	MAR07-1	20.50	6.50	7.41	81.10	0.19	109.00
MAR07	MAR07-2	20.40	7.10	7.4	84.00	0.19	103.00
MAR07	MAR07-3	21.00	7.10	7.53	83.30	0.19	98.00
	Promedio	20.63	6.9	7.44	82.8	0.19	103.33
	DE	0.32	0.34	0.07	1.51	0.0	5.50

Anexo 12. Instrumento de la encuesta aplicado en la comunidad de Juan Viñas con influencia directa en el río Maravilla.

Proyecto: "Procesos de Gestión Integrada del Recurso Hídrico en las subcuencas Chiz-Maravilla y Quebrada Honda, Cartago, Costa Rica"

Instrumento aplicado a comunidades. Uso y Gestión del Agua por parte de la población. Percepción Social Del Río Maravilla.

Este cuestionario forma parte de un estudio realizado por el Laboratorio de Hidrología Ambiental de la Universidad Nacional y tiene como finalidad conocer la visión de la población con respecto a características del río Maravilla, su importancia, usos y actividades socioeconómicas que se llevan a cabo.

Indicaciones: El cuestionario es anónimo, solo debe seleccionar con una "X" su respuesta. Apreciamos mucho su colaboración ¡Gracias!
La confidencialidad de la información que suministre está garantizada por el Artículo 4 de la Ley N° 7839 de 1998 del SISTEMA DE ESTADISTICA NACIONAL.

Nombre del encuestador:		Nombre del digitador:
Fecha:		Fecha:
Comunidad/Poblado: _____	Edad: <input type="checkbox"/> Entre 18 y 35 años <input type="checkbox"/> Entre 35 y 60 años <input type="checkbox"/> Más de 60 años	Sexo: <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Femenino
1. ¿Ocupación? <input type="checkbox"/> funcionario <input type="checkbox"/> Autónomo <input type="checkbox"/> Jubilado <input type="checkbox"/> Estudiante <input type="checkbox"/> Agricultura o ganadería <input type="checkbox"/> Artesanales Otros (especifique cuál): _____	2. ¿Es el recurso hídrico para usted una de sus mayores preocupaciones? <input type="checkbox"/> Sí, el agua es una de mis principales preocupaciones <input type="checkbox"/> No, pero sí me preocupa <input type="checkbox"/> No, me preocupan más otros temas <input type="checkbox"/> NS/NC	3. ¿Qué motivo le preocuparía más en cuanto a los recursos hídricos? <input type="checkbox"/> La escasez de agua <input type="checkbox"/> Rebalses e inundaciones <input type="checkbox"/> El mal sabor del agua <input type="checkbox"/> Turbidez del agua <input type="checkbox"/> Transmisión de enfermedades Otros (especifique cuál): _____
4. ¿Conoce usted el río Maravilla?: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NS/NC	5. ¿Cómo considera usted el estado actual del río? <input type="checkbox"/> La calidad del agua es buena <input type="checkbox"/> La calidad del agua es regular <input type="checkbox"/> La calidad del agua es mala <input type="checkbox"/> NS/NC	6. ¿Hace usted uso del agua del río? <input type="checkbox"/> Sí, siempre hago uso de sus aguas <input type="checkbox"/> Sí, con regularidad <input type="checkbox"/> No, jamás la utilizo <input type="checkbox"/> NS/NC
7. ¿Qué usos hace usted del agua? <input type="checkbox"/> Uso agrícola <input type="checkbox"/> Uso ganadero <input type="checkbox"/> Uso industrial <input type="checkbox"/> Uso doméstico <input type="checkbox"/> Uso recreativo Otros (especifique cual): _____	8. ¿Cree que las actividades diarias que usted está realizando están afectando al río de alguna manera? <input type="checkbox"/> Sí, el río cada vez está más afectado <input type="checkbox"/> Sí, en algunas ocasiones <input type="checkbox"/> No, mis actividades no afectan al río <input type="checkbox"/> NS/NC	9. ¿De qué manera sus actividades afectan el río Maravilla? <input type="checkbox"/> Calidad del agua <input type="checkbox"/> Cantidad del agua <input type="checkbox"/> Paisaje Otros: _____ <input type="checkbox"/> NS/NC

<p>10. Según su punto de vista ¿Quién utiliza más agua del río?</p> <p><input type="checkbox"/> La agricultura</p> <p><input type="checkbox"/> La ganadería</p> <p><input type="checkbox"/> La industria</p> <p><input type="checkbox"/> Los labores domésticos</p> <p><input type="checkbox"/> Generación de electricidad</p> <p><input type="checkbox"/> Otros (especifique cuál): _____</p>	<p>11. ¿Considera usted que alguna de las siguientes actividades están afectando al río?</p> <p><input type="checkbox"/> Cultivo de caña de azúcar</p> <p><input type="checkbox"/> Cultivos de café</p> <p><input type="checkbox"/> Cultivos de hortalizas</p> <p><input type="checkbox"/> Energía hidroeléctrica</p> <p><input type="checkbox"/> Industrias</p> <p><input type="checkbox"/> Infraestructuras: carreteras, caminos, casas...</p> <p>Otros (especifique cuál): _____</p>	<p>12. ¿Usted o algún familiar trabaja en industrias agrícolas desarrolladas alrededor del río Maravilla?</p> <p><input type="checkbox"/> Sí</p> <p>¿Hace cuánto tiempo? _____</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>
<p>13. ¿Dependen en su totalidad de ese trabajo?</p> <p><input type="checkbox"/> Sí</p> <p><input type="checkbox"/> No</p> <p><input type="checkbox"/> N/A</p>	<p>14. ¿Considera usted que el río ha cambiado sus características a lo largo de los años?</p> <p><input type="checkbox"/> Sí, desde hace varios años</p> <p><input type="checkbox"/> Sí, desde hace poco</p> <p><input type="checkbox"/> No, el río sigue igual</p> <p><input type="checkbox"/> NS/NC</p>	<p>15. ¿Qué características considera usted que han cambiado más?</p> <p><input type="checkbox"/> La calidad del agua</p> <p><input type="checkbox"/> La cantidad del agua</p> <p><input type="checkbox"/> Estructura y forma del río</p> <p><input type="checkbox"/> Otros (especifique cuál): _____</p>
<p>16. ¿A qué cree usted que se deben esos cambios en las características del río?</p> <p><input type="checkbox"/> A la contaminación por residuos urbanos</p> <p><input type="checkbox"/> A la contaminación por actividades agrícolas</p> <p><input type="checkbox"/> A la contaminación por actividades ganaderas</p> <p><input type="checkbox"/> A las extracciones y captaciones de agua</p> <p>Otros (especifique cuál): _____</p>	<p>17. ¿Alguna vez el río se ha desbordado e inundado zonas en sus márgenes?</p> <p><input type="checkbox"/> Sí</p> <p>¿Cuándo? _____</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>	<p>18. ¿Esos desbordamientos le han causado problemas en alguna actividad?</p> <p><input type="checkbox"/> Sí</p> <p>¿Cuáles problemas? _____</p> <p><input type="checkbox"/> No</p> <p><input type="checkbox"/> N/A</p>
<p>19. ¿Alguna vez ha observado el río sin agua o con muy poca agua?</p> <p><input type="checkbox"/> En muchas ocasiones el río no lleva agua</p> <p><input type="checkbox"/> En algunas ocasiones el río no lleva agua</p> <p><input type="checkbox"/> El río siempre lleva agua</p>	<p>20. ¿Sabe usted que es importante que el río lleve ciertas cantidades de agua para mantener la vida de los peces, así como su vegetación?</p> <p><input type="checkbox"/> Sí, es importante que el río lleve un mínimo de agua para mantener su buen estado ecológico.</p> <p><input type="checkbox"/> Sí, pero no es importante que siempre lleve agua</p> <p><input type="checkbox"/> No creo que sea importante</p> <p><input type="checkbox"/> NS/NC</p>	<p>21. ¿Conoce usted el concepto de caudal ecológico?</p> <p><input type="checkbox"/> Sí, lo conozco</p> <p><input type="checkbox"/> No, pero me gustaría conocerlo</p> <p><input type="checkbox"/> No, nunca lo he escuchado</p> <p><input type="checkbox"/> NS/NC</p>

<p>22. ¿Es importante para usted el río? <input type="checkbox"/> Sí, mucho <input type="checkbox"/> Sí, pero no mucho <input type="checkbox"/> No</p>	<p>23. La responsabilidad principal en la solución de los problemas asociados al agua debe recaer en: <input type="checkbox"/> Gobernantes <input type="checkbox"/> Municipalidades <input type="checkbox"/> Investigadores <input type="checkbox"/> Ecologistas <input type="checkbox"/> Ciudadanos en general <input type="checkbox"/> Empresas privadas <input type="checkbox"/> Otros (especifique cuál): _____</p>	<p>24. La forma más efectiva de proteger las aguas es: <input type="checkbox"/> Nuevas leyes <input type="checkbox"/> Promover una adecuada educación ambiental <input type="checkbox"/> Reducir el consumo de agua <input type="checkbox"/> Controlar las captaciones de agua <input type="checkbox"/> Poner más impuestos ecológicos <input type="checkbox"/> NS/NC <input type="checkbox"/> Otros (especifique cuál): _____</p>
<p>25. La mejor forma de concienciar a la población sobre el buen uso del agua es: <input type="checkbox"/> Poner multas a quien deteriore las aguas <input type="checkbox"/> Hacer leyes que protejan las aguas <input type="checkbox"/> Informar sobre la conservación del medio <input type="checkbox"/> Facilitar el acceso de agua a la población <input type="checkbox"/> NS/NC <input type="checkbox"/> Otros (especifique cuál): _____</p>	<p>26. ¿Estaría dispuesto a participar en la protección y conservación del río? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> NS/NC</p>	<p>27. ¿En qué actividades usted estaría dispuesto a participar? <input type="checkbox"/> Talleres <input type="checkbox"/> Capacitaciones <input type="checkbox"/> Limpieza <input type="checkbox"/> Campañas de reforestación <input type="checkbox"/> Otros (especifique cuál): _____</p>
<p>28. ¿Cree usted que debería estar legislada la cantidad de agua de la cual se benefician las empresas? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> NS/NC</p>	<p>29. ¿Con que situación de las siguientes estaría usted de acuerdo conforme a la extracción de aguas del río? <input type="checkbox"/> Extracción de agua del 100%, dejando el río seco si fuese necesario <input type="checkbox"/> Extracción límite, que tiene impactos, pero aceptables a largo plazo <input type="checkbox"/> Extracción segura, que permita un flujo del río sin alterar sus condiciones naturales y sin producir resultados indeseables</p>	<p>30. ¿Cuál es el nivel de explotación máximo que usted permitiría del río? <input type="checkbox"/> Permitiría la explotación máxima que el río pudiese soportar y que permitiese el mantenimiento natural y la conexión con los ecosistemas <input type="checkbox"/> Permitiría explotar el caudal medio del río, es decir, aunque el río pueda quedar seco en algún momento. <input type="checkbox"/> Permitiría explotar el doble del caudal medio del río, aunque se alterase gravemente el flujo natural existente.</p>
<p>31. ¿Qué propone y/o recomienda para mejorar la situación actual del río Maravilla?</p>		

Anexo 13. Resultados brutos de encuestas.

Edad de los encuestados		
Opciones de respuesta	Cantidad de encuestados	Porcentaje de encuestados
Entre 18 y 35 años	27	20.30
Entre 35 y 60 años	55	41.35
Más de 60 años	51	38.35
Sexo de los encuestados		
Masculino	53	39.85
Femenino	80	60.15
Opciones de respuesta	Cantidad de encuestados	Porcentaje de encuestados
Pregunta 1. ¿Ocupación?		
Funcionario	8	6.02
Autónomo	13	9.77
Jubilado	29	21.80
Estudiante	9	6.77
Agricultura o ganadería	3	2.26
Artesanales	2	1.50
Amas de casa	49	36.84
Electricista	5	3.76
Desempleado	2	1.50
Otros (Jardinero, chofer, ebanista)	13	9.77
Pregunta 2. ¿Es el recurso hídrico para usted una de sus mayores preocupaciones?		
Sí, el agua es mi principal preocupación	97	72.93
No, pero sí me preocupa	16	12.03
No, me preocupan más otros temas	20	15.04
Pregunta 3. ¿Qué motivo le preocuparía más en cuanto a los recursos hídricos?		

La escasez de agua	53	44.92
Rebalses e inundaciones	7	5.93
El mal sabor del agua	12	10.17
Turbidez del agua	1	0.85
Transmisión de enfermedades	16	13.56
Todas las anteriores	11	9.32
Otros	18	15.25
(contaminación, cenizas)		

Pregunta 4. ¿Conoce usted el río Maravilla?

Sí	131	98.50
No	2	1.50

Pregunta 5. ¿Cómo considera usted el estado actual del río?

La calidad del agua es buena	11	8.27
La calidad del agua es regular	47	35.34
La calidad del agua es mala	69	51.88
NS/NC	6	4.51

Pregunta 6. ¿Hace usted uso del agua del río?

Sí, siempre hago uso de sus aguas	18	13.53
Sí, con regularidad	6	4.51
No, jamás la utilizaría	109	81.95

Pregunta 7. ¿Qué usos hace usted del agua?

Uso agrícola	2	1.89
Uso ganadero	1	0.94
Uso industrial	2	1.89
Uso doméstico	42	39.62
Uso recreativo	7	6.60
Otros: Sin respuesta	52	49.06

Pregunta 8. ¿Cree que las actividades diarias que usted está realizando están afectando al río de alguna manera?

Sí, el río cada vez está más afectado	19	16.52
Sí, en algunas ocasiones	14	12.17

No, mis actividades no afectan al río	61	53.04
NS/NC	21	18.26

Pregunta 9. ¿De qué manera sus actividades afectan al río Maravilla?

Calidad del agua	23	22.12
Cantidad del agua	14	13.46
Paisaje	7	6.73
Todas las anteriores	1	0.96
NS/NC	59	56.73

Pregunta 10. Según su punto de vista ¿Quién utiliza más agua del río?

Agricultura	38	30.89
Ganadería	11	8.94
Industria	41	33.33
Labores domésticas	5	4.07
Generación de electricidad	14	11.38
Otros	0	0
NS/NC	14	11.38

Pregunta 11. ¿Considera usted que alguna de las siguientes actividades están afectando al río?

Cultivo de caña de azúcar	51	47.66
Cultivos de café	13	12.15
Cultivos de hortalizas	5	4.67
Energía hidroeléctrica	5	4.67
Industrias	19	17.76
Infraestructuras	3	2.80
Otros	1	0.93
Ninguno	0	0
NS/NC	10	9.35
Todas las anteriores	0	0

Pregunta 12. ¿Usted o algún familiar trabaja en industrias agrícolas desarrolladas alrededor del río Maravilla?

Sí	44	33.08
----	----	-------

¿Hace cuánto tiempo?

Un año (2 personas (4.54%)) / 2 años (1 persona (2.27%)) / 3 años (1 persona (2.27%)) / 10 años (4 personas (9.09%)) / 15 años (1 persona (2.27%)) / 20 años (4 personas (9.09%)) / 25 años (1 persona (2.27%)) / 30 años (3 personas (6.82%)) / 38 años (1 persona (2.27%)) / 42 años (2 personas (4.54%)) / 50 años (1 persona (2.27%)). Toda la vida (6 personas (13.64%)) / No recordar (17 personas (38.64%)).

No	89	66.92
----	----	-------

Pregunta 13. ¿Depende en totalidad de ese trabajo?

Sí	38	33.04
No	77	66.96

Pregunta 14. ¿Considera usted que el río ha cambiado sus características a lo largo de los años?

Sí, desde hace varios años	98	73.68
Sí, desde hace poco	11	8.27
No, el río sigue igual	20	15.04
NS/NC	4	3.01

Pregunta 15. ¿Qué características piensa usted que han cambiado más?

La calidad del agua	32	25.20
La cantidad de agua	48	37.80
Estructura y forma del río	23	18.11
Todas las anteriores	10	7.87
NS/NC	14	11.02

Pregunta 16. ¿A qué cree usted que se deben esos cambios en las características del río?

Cont. residuos urbanos	25	21.93
Cont. agricultura	22	19.30
Cont. ganadería	3	2.63
Extracción/captación agua	40	35.09
NS/NC	5	4.39
Otros	15	13.16
Todas las anteriores	4	3.51

Pregunta 17. ¿Alguna vez el río se ha desbordado e inundado zonas en sus márgenes?

Si	90	63.38
¿Cuándo?	Hace 15 días (3 personas (3.33%)) / Hace un mes (9 personas (10%)) / Hace 5 años (1 persona (1.11%)) / Hace 15 años (1 persona (1.11%)) / Hace 21 años (1 persona (1.11%)) / Hace 39 años (1 persona (1.11%)) / Hace muchos años (5 personas (5.55%)) / No recordar (69 personas(76.6%))	
No	52	36.62
Pregunta 18. ¿Esos desbordamientos le han causado problemas en alguna actividad?		
Si	26	20.63
¿Cuáles?	Afectación a casas (9 personas (34.61%)) / Afectación a cultivos (1 personas (3.85%)) / Afectación a puentes (9 personas (34.61%)) / Afectación a carreteras (7 personas (26.92%)).	
No	100	79.37
Pregunta 19. ¿Alguna vez ha observado el río sin agua o con muy poca agua?		
En muchas ocasiones el río no lleva agua	36	27.07
En algunas ocasiones el río no lleva agua	60	45.11
El río siempre lleva agua	37	27.82
Pregunta 20. ¿Sabe usted que es importante que el río lleve ciertas cantidades de agua para mantener la vida de los peces, así como su vegetación?		
Sí, es importante que el río lleve un mínimo de agua para mantener su buen estado ecológico	125	93.98
Sí, pero no es importante	3	2.26
No creo que sea importante	2	1.50
NS/NC	3	2.26
Pregunta 21. ¿Conoce usted el concepto de caudal ecológico?		
Sí, lo conozco	20	14.93
No, pero me gustaría conocerlo	35	26.12

No, nunca lo he escuchado	79	58.96
Pregunta 22. ¿Es importante para usted el río?		
Sí, mucho	106	79.70
Sí, pero no mucho	17	12.78
No	9	6.77
NS/NC	1	0.75

Pregunta 23. La responsabilidad principal en la solución de los problemas asociados al agua debe recaer en:

Municipalidades	35	35
Ciudadanos	23	23
Empresas privadas	14	14
Ecologistas	2	2
Investigadores	1	1
Gobernantes	1	1
Todas las anteriores	20	20
NS/NC	4	4

Pregunta 24. La forma más efectiva de proteger las aguas es:

Nuevas leyes	19	16.81
Promover una adecuada educación ambiental	54	47.79
Reducir el consumo de agua	10	8.85
Controlar las captaciones de agua	10	8.85
Poner más impuestos ecológicos	4	3.54
Todas las anteriores	5	4.42
NS/NC	11	9.73

Pregunta 25. La mejor forma de concienciar a la población sobre el buen uso del agua es:

Poner multas a quien deteriore las aguas	40	34.48
Hacer leyes que protejan las aguas	21	18.10
Informar sobre la conservación del medio	40	34.48

Facilitar el acceso de agua a la población	5	4.31
NS/NC	4	3.45
Todas las anteriores	6	5.17

Pregunta 26. ¿Estaría dispuesto a participar en la protección y conservación del río?

Sí	111	82.84
No	23	17.16

Pregunta 27. ¿En qué actividades estaría usted dispuesto a participar?

Talleres	9	8.91
Capacitaciones	14	13.86
Limpieza	20	19.80
Campañas de reforestación	8	7.92
Todas las anteriores	26	25.74
En ninguna	24	23.76

Pregunta 28. ¿Cree usted que debería estar legislada la cantidad de agua de la cual se benefician las empresas?

Sí	118	88.72
No	7	5.26
NS/NC	8	6.02

Pregunta 29. ¿Con qué situación de las siguientes estaría usted de acuerdo conforme a la extracción de aguas del río?

Extracción de agua del 100%, dejando el río seco si fuese necesario	4	3.01
Extracción límite, que tiene impactos, pero aceptables a largo plazo	15	11.28
Extracción segura, que permita un flujo del río sin alterar sus condiciones naturales	114	85.71

Pregunta 30. ¿Cuál es el nivel de explotación máximo que usted permitiría del río?

Permitiría la explotación máxima que el río pudiese soportar y que permitiese el mantenimiento natural y la conexión con los ecosistemas	91	71.09
Permitiría explotar el caudal medio del río, es decir, aun dejando el río seco	33	25.78
Permitiría explotar el doble del caudal medio del río, aunque se alterase gravemente el flujo natural existente.	4	3.13

Pregunta 31. ¿Qué propone o recomienda para mejorar la situación actual del río Maravilla?

No botar basura. Vigilar que el rio este limpio. Multar a las personas que lo contaminen
Mantener el rio limpio
Poner impuestos a la empresa de Juan Viñas
No botar basura y limpiarlo
Concienciar a la empresa Juan Viñas para que le de una buena utilidad al rio
Letreros para que no tiren basura y poner multas
Capacitaciones al pueblo en materia de protección de rios y demostrar lo importante que es para la comunidad
Prohibir a la hacienda JV que capte tanta agua
Que no boten basura a los rios y educación ambiental
No sabe
Medir el agua que usa la hacienda JV ya que deja al pueblo sin agua
No tirar basura
Buen mantenimiento del rio, limpieza y buena circulación
Responsabilizar a la comunidad de cuidar y prevenir
Colocar "sombreros" a las chimeneas para evitar la dispersión de la ceniza
Concienciar a la población a no tirar basura para no afectar al rio
Proteger con árboles
Cuidarlo bastante y educar a los niños
Que la hacienda JV no capte tanta agua
Restaurar el rio para que llegue a su caudal normal
Educación ambiental para el pueblo y más educación
Cuidar y prevenir a toda la comunidad

Más impuestos a JV
Municipalidad comunique a la población y a otras instituciones. Hacienda JV podría colaborar.
La empresa JV debería poner límites en sus usos y tratar temas de basura
Disminuir la tala de árboles
Mejorar la empresa y que traten las aguas de forma correcta. Leyes que protejan las aguas
Concienciar a la población
Órgano que vigile. Educar a la gente. Regular las plantas hidroelectricas. Hacer estudios para que haya un balance. Trabajo 30 años como jefe de la hacienda JV.
Formación y concienciar en educación ambiental en todas las poblaciones y empresas
Responsabilizarnos con las tareas que hacemos. Plantas de tratamiento. Empezar a recoger basura
Reforzar con árboles las orillas y regar cada tiempo. Que mejore la hacienda JV
Buscar los medios para que el impacto sea menor.
Aplicación de leyes sobre el ingenio
Más árboles, menos deforestación
Aplicación de leyes, concienciar a la población y sobre todo a las empresas privadas.
Mejor cuidado del río de la población
Campañas de limpieza
Que la hacienda JV colabore, que no solo contaminan el agua sino tambien el aire y el beneficio de café, agroquímicos.
Que la hacienda JV tire sus residuos pero previamente tratados
Limpieza y buen mantenimiento del río.
Plantaciones de agua y restauración
Limpiar, concienciar a la hacienda JV
Concienciar y mantener limpio
Hacer conciencia y tratar de mantener limpio el río.
Cuidar el caudal, tomar en cuenta el calentamiento global y cumplir con las leyes. Proteger mejor las partes altas
Reforestar zonas donde destruyeron montañas
Regular o mejorar las desviaciones del río y ser drásticos
Buscar soluciones para el ingenio
Hacer campañas de concienciación
Concienciar a la población
La municipalidad que se haga cargo
Que la hacienda JV no lo contamine
El problema viene de la gente que pasa, no de los pobladores, hay malas prácticas con los desechos
Se contamina con lo que tira la hacienda JV
Informar a la gente y conservar
Respeto a la vida silvestre
La gente no sea cochina
Proceso de reforestación
Protección de la cuenca que está muy desprotegida
Limpieza de ríos entre la comunidad y la municipalidad
Que mantengan los árboles y no tiren la basura
No tiren residuos ingenio

Siembra de árboles y que la agente no tire basura
Limpieza de ríos y educación ambiental
Concienciar a la gente de que el agua es un recurso agotable
Crear un comité que se encargue de la limpieza
Cuidarlo de no contaminar
Quitar todo lo que el ingenio tira al río, y multar a la hacienda JV
Que se tome el agua necesaria y de forma limpia y sin contaminarla
Educar a la ciudadanía, desde pequeños crear conciencia
Informar
Educación ambiental
Vigilancia de ríos
Hacer una buena revisada para que vean cómo está el río sucio del ingenio aguas abajo. Ingenios y aguas que sueltan del beneficio, principal afección. Tiene tanques y los sueltan al río.
No contaminar tanto, que el ingenio tenga un mayor cuidado en cuanto al agua que usa y control
Pedir a la hacienda JV que hagan tratamiento especial a los residuos
No echar basura y que se cuide más
Que las entidades que trabajan con el flujo tengan una cantidad de agua que usan. El agua no sale en un 90% igual a como entró a las plantas
Dejar de tirar químicos y basura. Mayor regulación de la hacienda JV.
Estar vigilando el río.
Sembrar árboles al margen del río, ampliar la montaña
Hacer uso de las aguas, pero más controlado. Que los residuos sean más tratados para que no contaminen las aguas.
Hablar con la municipalidad para que sea quien hable con la hacienda JV y negocie para que se minimice la extracción.
Cambiar leyes o hacerlas valer de modo que se respete la protección del medio. Reforestación
Que se mantenga una cantidad de agua que permita el caudal ecológico
No echar basura y que se cuide mas
Que dejen de tirar basura, ni químicos. Hacer trabajos más profundos en el ingenio (mayor regulación de la hacienda JV)
No echar basura al río, que lo mantengan limpio, dirigido a miembros de la comunidad
Restaurar para que sus aguas estén más limpias y no se contamine el ambiente
Dice que no tiene poder ni voto lo que ellos digan sino que habría que trabajar con la hacienda JV
Educar a los ciudadanos del pueblo para que les de un mejor valor y protección al río. La contaminación afecta todo, no solo al río
Reforestar los márgenes, que se mantenga vivo el río
Trabajar para minimizar los desechos que contaminan el río y regular la extracción de agua
Reforestación en las orillas
No tirando basura
Trabajar en el mantenimiento, limpieza y siembra de árboles
Limpieza de basura, darle utilización adecuada
Concientizar la población
Trabajar con el ingenio
Solucionar el tema de extracción de agua
Reforestación

Campañas
Reforestar
Limpieza
Tratamiento para las aguas negras
Reforestar
Regular la extracción de agua
Mínimizar los desechos que contaminan
No tirar basura
Limpieza
Educación ambiental
Regular el tema de extracción
Que no le quiten agua
Limpieza, disminución de la captación de agua y también la contaminación
Campañas de limpieza y educación
Que las municipalidad se preocupe en darle mantenimiento y evitar que las personas lo contaminen
Coordinación con la comunidad para limpiar y proteger el río
Tratar de mantener vigilancia por parte de la muni, y que las personas no lancen desechos al río
Campañas de reforestación, limpieza y una mejor red de aguas negras, ya que no hay tantos tanques séptic
Reforestar
Educación ambiental, que la gente tenga más conocimiento
Creo que no se puede hacer nada, la misma Muni lo draga.
Que no le quiten más agua; regule la extracción de agua por parte del beneficio y del ingenio.
Regular le tema de la extacción de agua.
Poner más atención en la protección del río.
Concientizar a la comunidad para reducir el consumo; campañas de reforestación; trabajar con los niños para concientizarlos.
Trabajar con la Hacienda (hay mucho chorizo entre la Muni y la Hacienda JV).
Limpieza y recolección de basura.
Sembrar a la orilla de los río para protegerlos de los sedimentos.
Campañas de concientización y reforestación.
Hacer campañas de concientización.
Trabajar junto con el ingenio y la muni para la solución de problemas; concientización.
Concientizar a la población a través de campañas.

Anexo 14. Metodología CLIP.

1. Identificar a todos los actores.
2. Identificar el nivel de poder o recursos que cada actor puede utilizar, pudiendo ser alto, medio o bajo. El poder estará definido por tres factores: a) riqueza económica, b) autoridad política y c) el acceso a la información.
3. Identificar los intereses netos de cada actor, estos se reconocerán mediante las ganancias o pérdidas netas que afectan el grado al que un actor controla la riqueza

económica, la autoridad política, el uso de la fuerza, el acceso a la información, los medios para comunicarse, la legitimidad y las relaciones sociales.

4. Identificar cada uno de los niveles de legitimidad de los actores. Anotar y describir brevemente el nivel de legitimidad en las tarjetas de los actores utilizando uno de estos tres valores: alto, medio o bajo.
5. Se establecerán las categorías de actores de acuerdo con el Anexo 14.
6. Colocar cada actor en el perfil que corresponda.
7. Identifique los nexos de colaboración o conflicto (incluyendo las membresías de los grupos) que cada actor tiene con otro. Discutir los resultados del análisis.
8. Discutir las acciones y los primeros pasos que se pueden tomar para lograr el objetivo del análisis y, al mismo tiempo, tratar con los intereses opuestos encontrados.
9. Evaluar cómo los nexos actuales de colaboración o conflicto permiten que la situación sea más fácil o más difícil de manejar y qué pasos inmediatos puede tomar para mejorar estos nexos.
10. Discutir lo que puede hacerse para facultar con poder de decisión a los grupos marginados y vulnerables que tienen peticiones legítimas y necesidades o intereses apremiantes.

Anexo 15. Categorización de los actores sociales según la metodología CLIP.

Categoría	Siglas	Aspectos
I		
Dominante	PIL	Poder alto, ganancia o pérdida neta alta, legitimidad alta.
Fuerte	PI	Poder y ganancia o pérdida neta altos (legitimidad baja o ninguna).
II		
Influyente	PL	Poder y legitimidad altos (ganancia o pérdida neta baja o ninguna).
Inactivo	P	Poder alto (legitimidad y ganancia o pérdida neta bajas o ningunas).
Interesado	L	Legitimidad alta (poder y ganancia o pérdida neta altos o ninguno).
III		
Vulnerable	IL	Legitimidad y ganancia o pérdida neta altas (poder bajo o ninguno).
Marginado	I	Ganancia o pérdida neta altas (poder y legitimidad bajos o ninguno)

Anexo 16. Propuestas para la mejora de la calidad y cantidad del agua en el río Maravilla, Cartago, Costa Rica.

Objetivo general: Generar un espacio para la generación de propuestas y acciones para la mejora de la microcuenca del río Maravilla por parte de los actores claves de la microcuenca.

Eje: Calidad del agua

Objetivo: Mejorar la calidad del agua del río Maravilla.

Actividad propuesta	Acciones	Responsable	Posibles alianzas
1. Planes de Seguridad del Agua	Apertura de expedientes	Dirección de Agua, Municipalidad	
2. Monitoreo de la calidad del agua subterránea y superficial	Denuncias ambientales más expeditas	Municipalidad, UNA, Ministerio de Salud	
3. Aplicación de legislación a nivel de diseño y constructivo para un manejo de agua residuales	Visita a campo para diagnosticar vertidos existentes (legales e ilegales). Georeferenciación de sitios.	Dirección de Aguas. MAG Ministerio de Salud Municipalidades Industrias	ONG COMCURE Comisión que supervise y mejore estos mecanismos
	Inventario de pozos por zonas	Dirección de Aguas	
	Inventario de tanques sépticos, pozos negros, hogares con desfuegos directos al río.	Municipalidades	
	Determinación de sistemas de saneamiento adecuados para la zona para aguas residuales domiciliarias y pecuarias (planta de tratamiento, sistemas alternativos).	MAG AyA Municipalidades	

	Construcción de biojardinera para aguas grises en alguna institución en el cantón de Jiménez.	UNA	
	Mayor coordinación interinstitucional, a través del CCCI, convenios o cartas de entendimiento entre las municipalidades y los entes rectores.	Municipalidad y Grupo Gestor	
	Mayor fiscalización interinstitucional en la aplicación de la legislación	Dirección de Aguas Fiscalía, Ministerio de Salud MAG SE, NASA SINAC	
4. Implementación de buenas prácticas agrícolas en coordinación con el MAG	Identificar zonas de uso mayor de agroquímicos	UNA, MAG Industria Productores	CATIE Colegio de Agrónomos
	Capacitación de agricultores para la aplicación de mejores prácticas agrícolas	MAG, INA, Servicio fitosanitario, Corporación Hortícola Nacional	
	Capacitación de agricultores para la implementación de agricultura orgánica	MAG, INA, Servicio fitosanitario, Corporación Hortícola Nacional	COMCURE
	Atender zonas sin necesidad de denuncia	Municipalidad Dirección de Aguas SETENA SINAC Tribunal Ambiental	Interinstitucional
Eje: Cantidad de agua			
Objetivo: Recuperar el caudal ecológico para el equilibrio entre los ecosistemas y el aprovechamiento humano.			
Actividad propuesta	Acciones	Responsable	Posibles alianzas

	Inventario de concesiones vigentes de aguas superficiales y subterráneas en uso.	Dirección de aguas	Dirección de Aguas
	Seguimiento a concesiones vencidas o canceladas.	Dirección de aguas SINAC Ministerio de Salud	Dirección de aguas SINAC Ministerio de Salud AyA
1.Control de inventario de concesiones	Identificar aprovechamientos ilegales sin ningún tipo de registro.	Grupo gestor	Dirección de Aguas Fiscalía UNA-LHA
	Apoyo en los procesos de legalización en los tramites de concesión de aprovechamientos de agua ilegales y concesiones vencidas o canceladas.	SINAC ASADAS A Y A	
	Inventario de fuentes no registradas.	Grupo gestor	
	Disponibilidad de la información de concesiones y tomas.	Dirección de Aguas, SINAC, Ministerio de Salud, LHA	
	Selección de fincas o instituciones	Grupo gestor	COMCURE MAG
2.Cosecha de agua	Formulación del proyecto para financiamiento por parte de COMCURE	Grupo gestor	
	Presentación del proyecto para financiamiento por parte de COMCURE	Grupo gestor	
	Implementación del proyecto de cosecha de agua del SINAC	SINAC	
3.Determinación y control caudal ambiental	Solicitud de información ICE, JASEC, Industria	Dirección de Agua	
	Propuesta de caudal ambiental	ICE, Dirección de Agua, UNA	
	Solicitud de estado de concesión, calibración, otros de los usos sobre el río Maravilla	Dirección de Agua	

Fomentar el mantenimiento del 10% del caudal ambiental	Dirección de Agua, ICE
Propuesta caudal ecológico	ICE, UNA

Anexo 17. Fotografías, taller final 02 de octubre 2019.



Anexo 18. Sitios de muestreo en la Microcuenca del río Maravilla, Cartago, Costa Rica.



Sitio MAR01 Época transición seca-lluviosa



A



B

Sitios MAR02 A. Época lluviosa B. Época Seca



A



B

Sitios MAR03 A. Época lluviosa B. Época Seca



A



B

Sitios MAR04 A. Época lluviosa B. Época Seca



A



B

Sitios MAR05 A. Época lluviosa B. Época Seca



A



B

Sitios MAR06 A. Época transición seca-lluviosa B. Época lluviosa (agua estancada de lluvia).



A



B

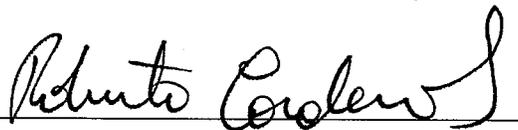
Sitios MAR07 A. Época transición seca-lluviosa B. Época seca.

Este trabajo de graduación fue aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales.



M.Sc. Helga Madrigal Solís

Representante, Decano, quién preside



Dr. Roberto Cordero Solórzano

Representante, Unidad Académica



M.Sc. Alicia Fonseca Sánchez

Tutora



M.Sc. Hannia Vega Bolaños

Asesora



M.Sc. Silvia Echeverría Sáenz

Invitada especial