

UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACION INTERNACIONAL
(UCI)

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA SUPERFICIAL
UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS PARA LA GESTIÓN DE LA
MICROCUCENCA DEL RÍO BIJAGUA, UPALA, COSTA RICA.



REBECA ALEJANDRA GÓMEZ GÓMEZ

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE MÁSTER EN LIDERAZGO Y
GERENCIA AMBIENTAL

San José, Costa Rica

Noviembre, 2021

UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACION INTERNACIONAL
(UCI)

Este Proyecto Final de Graduación fue aprobado por la Universidad como
Requisito parcial para optar al grado de Máster en Liderazgo y Gerencia Ambiental

Msc. Francisco Quesada Alvarado
PROFESOR TUTOR

M.G.I. Daniel Rodríguez Molina
LECTOR No.1

M.Sc. Alicia Fonseca Sánchez
LECTOR No.2

Rebeca Alejandra Gómez Gómez
SUSTENTANTE

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Dios, que nunca me ha alejado de su mano, a mi esposo “Yiyo” y a mi hijo Daniel que me han soportado, acompañado y ayudado en el camino que he recorrido para poder desarrollarlo y culminarlo, y sin ellos, definitivamente, no hubiese siquiera empezado. A mis padres, Ana Grace y Raúl, que me formaron y me dieron las herramientas para poder lograr lo que en la vida me proponga, siempre y cuando me prepare para ello.

Gracias a todos ellos y para ellos es el logro, por colaborar en una u otra forma para que este trabajo se haya podido desarrollar, alcanzando con él una meta propuesta hace ya mucho tiempo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los profesores, compañeros y amigos que, a través del tiempo contribuyeron al cúmulo de conocimientos e interrogantes que hasta el día de hoy siguen llegando y generándose en mí, e incentivando siempre el deseo de aprender más.

Agradezco a mi profesor tutor, Francisco Quesada, que supo leer y guiar mis ideas. A mis profesores lectores, por su apoyo y recomendaciones en el momento en que se les requirió. A la UCI, a sus docentes, y muy especialmente a Paula De la Paz, por el acompañamiento durante el desarrollo de todo el proceso de la maestría.

Gracias infinitas a todos por colaborar en el logro de este proyecto.

ÍNDICE

HOJA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
RESUMEN EJECUTIVO	x
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1.1 Antecedentes	2
1.1.2 Problemática	5
1.1.3 Justificación del problema	6
1.1.4 Supuestos	8
1.1.5 Restricciones	8
1.1.6 Objetivo general	9
1.1.7 Objetivos específicos	9
2 MARCO TEÓRICO	10
2.1.1 Marco referencial	10
2.1.2 Calidad del agua y biomonitorio de las fuentes superficiales	12
2.1.3 Bioindicadores	14
2.1.4 Macroinvertebrados acuáticos	14
2.1.5 Índices Bióticos	15
2.1.6 Índice BMWP-CR en la evaluación de la Calidad del Agua	16
2.1.7 Principales Órdenes de macroinvertebrados acuáticos	16
3 MARCO METODOLOGICO	19
3.1.1 Fuentes de información	19
3.1.2 Tipo de investigación	20
3.1.3 Método de Investigación	20
3.1.4 Área de estudio	21
3.1.5 Métodos e instrumentos de recolección de información	23
4 DESARROLLO	36
4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1.1 Entomofauna encontrada	36
4.1.2 Índices de Diversidad	39
4.1.3 Análisis de los macroinvertebrados aplicando el Índice biológico de calidad “BMWP-CR”	43
4.1.4 Propuesta de Plan estratégico para el mantenimiento, mejoramiento y la conservación de la calidad del agua superficial de la microcuenca del río Bijagua	44
Misión de la Comisión de Gestión de la microcuenca río Bijagua	45
4.1.5 Plan de Biomonitorio	50

5	CONCLUSIONES	53
6	RECOMENDACIONES.....	56
7	BIBLIOGRAFIA	58
8	ANEXOS	66
	Anexo 1: ACTA DEL PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN	66
	Anexo 2: Cronograma.....	69
	Anexo 3: Imágenes satelitales del primer punto de muestreo.....	70
	Anexo 4: Fotografías muestreo en el Sitio 1.....	70
	Anexo 5: Imágenes satelitales del segundo punto de muestreo.....	71
	Anexo 6: Fotografías muestreo en el Sitio 2.....	71
	Anexo 7: Imágenes satelitales del tercer punto de muestreo.	72
	Anexo 8: Fotografías muestreo en el Sitio 3.....	72
	Anexo 9: Imágenes satelitales del cuarto punto de muestreo.	73
	Anexo 10: Fotografías muestreo en el Sitio 4.....	73
	Anexo 11: Imágenes satelitales del quinto punto de muestreo.	74
	Anexo 12: Fotografías muestreo en el Sitio 5.....	75
	Anexo 13: Imágenes satelitales del sexto punto de muestreo.....	76
	Anexo 14: Fotografías muestreo en el Sitio 6.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del distrito de Bijagua en el cantón de Upala, Alajuela, área de estudio. Fuente: Elaborado a partir de Google maps, 2021 y SNIT, 2021.	22
Figura 2. Cuerpos de agua presentes en el distrito de Bijagua, Upala. Fuente: Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021.	23
Figura 3. Mapa de geoaptitud hidrogeológica. Fuente: Tomado de Arias y Astorga, 2013.	23
Figura 4. Sectores seleccionados para los muestreos de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca del río Bijagua. Fuente: Elaborado a partir de los puntos referenciados en los mapas generados con la App Navegación GPS, 2021 y ARCGIS, 2021.	24
Figura 5. Fotografías de la zona de muestreo en el Sitio 1, parte alta río Bijagua, Bijagua, Upala. 28 de agosto 2021.....	26
Figura 6. Fotografías de la zona de muestreo en el Sitio 2, sector medio del río Bijagua, Bijagua, Upala. 28 de agosto 2021.	27
Figura 7. Fotografías de la zona de muestreo en el Sitio 3 quebrada “Horqueta de la Quesera”, Bijagua, Upala. 28 de agosto 2021.	27
Figura 8. Fotografías de la zona de muestreo en el Sitio 4 quebrada “Horqueta de Leda”, Bijagua, Upala. 28 de agosto 2021.	28
Figura 9. Fotografías de la zona de muestreo en el Sitio 5, sector medio, confluencia de quebradas antes de su ingreso en el cauce del río Bijagua, Bijagua, Upala. 28 de agosto 2021.	29
Figura 10. Fotografías de la zona de muestreo en el Sitio 6, parte baja del río Bijagua, Bijagua, Upala. 28 de agosto 2021.	30
Figura 12. Imágenes satelitales del primer punto de muestreo ubicado en la parte alta de la microcuenca río Bijagua (Sitio 1). Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021. .	70
Figura 13. Muestreo y toma de datos en el Sitio 1. Parte alta de la microcuenca río Bijagua, 28 de Agosto 2021.....	70

Figura 14. Imágenes satelitales del segundo punto de muestreo ubicado en la parte media de la microcuenca río Bijagua (Sitio 2). Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021.	71
Figura 15. Muestreo y toma de datos en el Sitio 2. Parte media de la microcuenca río Bijagua, 28 de Agosto 2021.....	71
Figura 16. Imágenes satelitales del tercer punto de muestreo ubicado en la parte alta quebrada “Horqueta de la Quesera”, contribuyente de la microcuenca río Bijagua (Sitio 3). Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021.	72
Figura 17. Muestreo y toma de datos en el Sitio 3. Parte alta quebrada “Horqueta de la Quesera”, 28 de Agosto 2021.	72
Figura 18. Imágenes satelitales del cuarto punto de muestreo ubicado en la parte alta quebrada “Horqueta de Leda”, contribuyente de la microcuenca río Bijagua (Sitio 4). Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021.	73
Figura 19. Muestreo y toma de datos en el Sitio 4. Parte alta quebrada “Horqueta de Leda”, 28 de Agosto 2021.	73
Figura 20. Imágenes satelitales del quinto punto de muestreo ubicado en la parte baja quebrada, desfogando en la parte media del río Bijagua (Sitio 5). Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021.....	74
Figura 21. Muestreo y toma de datos en el Sitio 5. Parte baja quebrada, desfogando en la parte media del río Bijagua, 28 de Agosto 2021.....	75
Figura 22. Imágenes satelitales del sexto punto de muestreo ubicado en la parte baja de la microcuenca río Bijagua (Sitio 6). Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021. .	76
Figura 23. Muestreo y toma de datos en el Sitio 6. Parte baja de la microcuenca río Bijagua, 28 de Agosto 2021.....	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Puntajes de las familias de macroinvertebradas identificadas en Costa Rica. Fuente Gaceta, 2007.	32
Cuadro 2: Categorías de calidad de agua según índice BMWP' CR. Fuente: La gaceta, 2007.	33
Cuadro 3. Presencia y ausencia de macroinvertebrados acuáticos en los diferentes puntos de muestreo en la microcuenca del río Bijagua. 2021.	37
Cuadro 4. Cantidad de Familias, número de individuos e índices de diversidad de Shannon y Margalef aplicados a los sitios de muestreo, según la diferenciación de uso de suelo, entre bosque y caseríos, en la microcuenca del río Bijagua. Bijagua, Upala, 2021.	39
Cuadro 5. Índice de similitud de Jaccard aplicado a los sitios de muestreo de macroinvertebrados acuáticos compilados en usos de suelo de bosque y caseríos en la microcuenca del río Bijagua, Bijagua, Upala, 2021.	41
Cuadro 6. Índice de similitud de Jaccard aplicado a los sitios de muestreo de macroinvertebrados acuáticos compilados en los diferentes estratos del cauce, en la microcuenca del río Bijagua, Bijagua, Upala, 2021.	42
Cuadro 7. Puntajes obtenidos por cada uno de los sitios de muestreo efectuados en la microcuenca de río Bijagua, al aplicar el BMWP-CR. Bijagua, Upala, Agosto-2021.	43
Cuadro 8. Cronograma de las actividades desarrolladas para la realización de la investigación y documento escrito del Proyecto Final de Graduación (PFG). 2021	69

RESUMEN EJECUTIVO

El agua es el elemento más importante para la vida, pero en algunas partes del planeta se ha vuelto escaso y de difícil acceso. La gestión del recurso hídrico podría contribuir a reducir la vulnerabilidad, ya que es preciso desarrollar nuevos abastecimientos y utilizar eficientemente los actuales. A raíz de estos cambios, se ha generado un creciente interés por conocer y proteger los ecosistemas fluviales, estimulando el desarrollo de criterios biológicos que permitan estimar el efecto de estas intervenciones en ellos.

Dentro de los indicadores biológicos más utilizados en la evaluación de los ecosistemas lóticos del mundo, se encuentran las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, los cuales son sensibles a los cambios en las variables fisicoquímicas e hidrológicas que se producen por estas alteraciones. El objetivo de esta investigación fue analizar el estado de las aguas superficiales en diferentes puntos de la microcuenca del río Bijagua, mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos, tomando en cuenta el cambio en el uso del suelo en los alrededores de los cauces, con el fin de generar insumos que conduzcan a la comunidad a promover acciones para la conservación de sus fuentes de agua.

Para establecer la calidad biológica del agua superficial se utilizó el método Biological Monitoring Working Party (BMWP' CR), mientras que para la determinación de la diversidad biológica a nivel de familias se utilizaron varios índices. La diversidad alfa, se estableció mediante el uso de los índices de Shannon-Weinner (H') y Margalef (DMg), en tanto que para determinar la diversidad beta se utilizó el índice de Jaccard (IJ).

Se identificó un total de 1386 individuos, pertenecientes a 22 órdenes y 64 familias. La familia más abundante fue Elmidae con 152 individuos, seguida de Leptohyphidae con 140, Chironomidae con 124 e Hydropsychidae con 108, las familias restantes presentaron entre 1 y 99 individuos. La clasificación biológica del agua de los puntos analizados en la microcuenca se ubicó entre aguas de calidad excelente y aguas de calidad regular, esta última clasificación siendo exhibida por los puntos de muestreo, cuyos cauces habían recorrido sitios con caseríos.

Los resultados obtenidos evidencian que las zonas urbanizadas están ejerciendo cierta influencia sobre los patrones de biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca. Por tanto, para lograr mantener, recuperar, conservar y monitorear la calidad de las aguas superficiales de la microcuenca del río Bijagua se plantea una Propuesta de Plan Estratégico que involucre a los diferentes actores sociales de la comunidad. Concluyendo que este tipo de procesos conviene asociarlos a acciones educativas y de concientización ambiental, que faciliten a las comunidades el fortalecimiento y la apropiación de los desarrollos investigativos.

1 INTRODUCCIÓN

El agua se ha convertido en un bien muy valioso, ya que además de ser la sustancia más importante para la vida, hace ya mucho que dejó de considerarse un recurso abundante e inagotable y de acceso fácil en el planeta (Castro, 2004). El crecimiento demográfico, comercial e industrial de las poblaciones en los países en vías de desarrollo, generalmente no planificado, ejerce una seria presión sobre los recursos naturales, proveedores de diversos servicios ambientales (agua, oxígeno, belleza escénica, etc.) (UNESCO, 2019). El más crítico, probablemente, es el acceso al agua para consumo humano, ya que las proyecciones a nivel mundial muestran un panorama desalentador (UNESCO, 2021).

En años recientes se ha ido acrecentando la amenaza sobre el ambiente y los recursos naturales, al punto que las sociedades están viendo disminuida su calidad de vida hoy más que nunca. (Castro, 2000). Como lo menciona Cortés (s.f.), la demanda por el acceso y el uso de agua es cada vez mayor en el mundo, por lo que su protección es un tema de gran interés. Sin embargo, su disponibilidad ha disminuido en fuentes subterráneas y superficiales (Auquilla, 2005).

La gestión del recurso hídrico podría contribuir a reducir la vulnerabilidad ya que es preciso desarrollar nuevos abastecimientos y utilizar más eficientemente los actuales (Martínez y Villalejo, 2018). Las estrategias a largo plazo para el suministro y la gestión de la demanda podrían incluir reglamentaciones y tecnologías para controlar directamente la utilización de la tierra y el agua, e incentivos e impuestos que afectan indirectamente los comportamientos, la construcción de nuevos depósitos y tuberías para impulsar los suministros, mejoras en las operaciones e instituciones de gestión del agua, y el estímulo de soluciones locales o tradicionales (Navarro, 2008).

Como mencionan Buenadicha et al. (2017) uno de los grandes retos de la sociedad actual es la implementación de modelos de desarrollo que permitan satisfacer las necesidades sin arriesgar las posibilidades de las generaciones futuras. Los seres humanos utilizamos constantemente el agua para diferentes actividades, generando con ello aguas residuales que son vertidas a los cuerpos de agua, lo que ocasiona degradación de los mismos y esto provoca a su vez cambios en el paisaje, aumento de descargas de sedimentos

y nutrientes a los cursos de agua y pérdida de la capacidad reguladora de las cuencas. A raíz de estos cambios, se ha generado un creciente interés por conocer y proteger los ecosistemas fluviales, estimulando el desarrollo de criterios biológicos que permitan estimar el efecto de estas intervenciones en ellos (Roldán, 2003, citado por Gil, 2014).

Dentro de los indicadores biológicos más utilizados en la evaluación de los ecosistemas fluviales del mundo se encuentran las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, los cuales son sensibles a los cambios en las variables fisicoquímicas e hidrológicas que se producen por estas alteraciones (Springer (2010); Gil (2014) y Navarro y Monge (2021)). Mediante análisis de la composición taxonómica y la estructura de las comunidades de macroinvertebrados se puede llegar a determinar el grado de afectación producido por diversas perturbaciones antrópicas (Roldán (2003), Carvacho (2012) y Gil (2014)), y de acuerdo con Bert Kohlmann (Historias Earth, 2012), los sistemas de monitoreo con bioindicadores ofrecen una imagen más amplia y útil que las pruebas químicas convencionales, las cuales suelen ser costosas, ya que según explica “Son indicadores mucho más sensibles”.

Es por todo lo anterior que, el propósito de esta investigación radica en analizar el estado de los cursos de agua en una zona rural de recarga acuífera, basado en el impacto antrópico que genera el pueblo y actividades asociadas, como un insumo que conlleve a la comunidad a promover acciones para la conservación y protección de sus fuentes de agua.

1.1.1 Antecedentes

A lo largo de las civilizaciones el hombre ha usado el agua para sus diferentes actividades, generando consigo la degradación de los cuerpos de agua y, por consiguiente, la pérdida de la capacidad reguladora de las cuencas hidrográficas (Gil, 2014). Costa Rica posee abundantes recursos hídricos; sin embargo, la accesibilidad al agua potable se hace cada vez más escasa, lo cual representa un importante desafío para garantizar su suministro tanto en el presente como en el futuro y así satisfacer la creciente demanda (Valverde, 2013).

Las cuencas hidrográficas como espacio de planificación se han venido discutiendo desde hace bastante tiempo. Dourojeanni et ál. (2002), citado por Veas (2011), explica

como desde 1977, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua se recomendó a los países considerar "como cuestión urgente e importante, el establecimiento y fortalecimiento de direcciones de cuencas fluviales, con miras a lograr una planificación y ordenación de esas cuencas más eficientes e integradas respecto de todos los usos del agua"; reafirmando en 1992 en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, donde se destacó que "la entidad geográfica más apropiada para la planificación y gestión de los recursos hídricos es la cuenca fluvial" (Veas, 2011).

Cuando se analizan interacciones físico-biológicas y socioambientales relacionadas al agua y la manera en que se relacionan con otros recursos naturales, especialmente, como es nuestro caso en cuencas de montaña, el enfoque debe darse, según menciona Jiménez (2008), como una unidad entre la gestión de los recursos naturales y el ambiente. Además, los activos del capital natural, como la tierra y el agua son el vínculo entre el manejo de los recursos naturales de la cuenca y el uso y aprovechamiento de esos recursos para mejorar los medios de vida y la seguridad de la población (REDLACH, 2009 citado por Veas, 2011), lo que hace que la participación de diferentes actores sea importante.

La gestión de los recursos hídricos es un proceso que, según señalan Solanes y González-Villareal (1999), debe promover el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico, equitativamente y sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Una actividad que se ha desarrollado en los últimos años desde la Organización Mundial de la Salud (OMS) son los planes de seguridad del agua. Estos planes se pueden aplicar desde una perspectiva local y participativa, donde convergen grupos comunales y las ASADAS en búsqueda de un fin común: la calidad en el agua abastecida para consumo humano (Veas, 2011).

Se estima que las prácticas de uso del suelo tienen impactos importantes, tanto en la disponibilidad como en la calidad de los recursos hídricos (Guerrero, 2016). Las actividades humanas mal manejadas pueden contaminar el suelo y por ende los acuíferos, reduciendo considerablemente la calidad del agua y obligando a mayores costos por tratamiento de la misma (Veas, 2011).

De acuerdo con Lojano y Lucero (2011), citados por Guerrero (2016), para analizar la perturbación sufrida en las fuentes de agua, tradicionalmente se han utilizado métodos fisicoquímicos que ofrecen información puntual del estado del agua. En los últimos años se ha generado un creciente interés por conocer y proteger los ecosistemas fluviales, estimulando el desarrollo de criterios biológicos que permitan estimar el efecto de estas intervenciones en ellos (Roldán, 2003). Los macroinvertebrados acuáticos se encuentran dentro de los indicadores biológicos más utilizados en la evaluación de los ecosistemas fluviales debido a su sensibilidad a los cambios (Gil, 2014).

Según menciona Auquilla (2005), a diferencia del monitoreo químico de la calidad del agua, que evidencia una contaminación puntual, se hace cada vez más útil el empleo de organismos acuáticos como son los macroinvertebrados, ya que estos pueden ofrecer mayor información respecto a las variaciones que sufre la calidad del agua en el tiempo y lugar. Además, representan un método económico y de fácil aplicación para evaluaciones más frecuentes de los cuerpos de agua. Mediante análisis de la composición taxonómica y la estructura de las comunidades de macroinvertebrados se puede llegar a determinar el grado de afectación producido por diversas perturbaciones antrópicas (Roldán, 2003).

Como menciona Esteves (1998) citado por Gil (2004), los ríos tropicales presentan condiciones fluctuantes, sin embargo, las comunidades de macroinvertebrados se mantienen estables, con cambios ambientales sutiles. Los macroinvertebrados, por incluir organismos que presentan distintos niveles de tolerancia y estrategias de vida para subsistir en aguas limpias o aguas contaminadas, pueden ser empleados para evaluar la calidad del agua en un lugar, a lo largo de ciertos períodos de tiempo. Además, como menciona Guerrero, (2011), cuando se presentan variaciones ambientales extremas se evidencian cambios en las comunidades, los cuales indican el grado de afectación del recurso hídrico, pudiendo por tanto utilizarse como testigos de los cambios que están ocurriendo en los sistemas fluviales.

Por tanto, se considera que, un buen monitoreo de la microcuenca del río Bijagua, tomando en cuenta además los macroinvertebrados acuáticos que viven en ella, puede generar información válida para conocer el grado de contaminación presente en el sitio. Por

su, relativo, bajo costo y accesibilidad puede repetirse con cierta regularidad, generando una base de datos que le provea información regular y constante, tanto a la ASADA como a la comunidad en general sobre los cambios, disponibilidad y comportamiento de sus recursos hídricos. Además, generará un precedente para el desarrollo de programas de educación, protección, conservación, y manejo de las aguas residuales de la comunidad de Bijagua.

1.1.2 Problemática

La escasez de agua es uno de los principales problemas ambientales a los que se enfrenta el mundo en la actualidad, y pese a su importancia y gran esfuerzo en investigación realizado en las últimas décadas, existen aún muchas incertidumbres rodeando a este fenómeno. Uno de los mayores desafíos que enfrentamos es el abastecimiento de agua en cantidad y calidad adecuadas, tanto para el consumo humano como para solventar otras necesidades.

El distrito de Bijagua de Upala, ubicado en la provincia de Alajuela, ha tenido un crecimiento acelerado tanto poblacional como comercial en los últimos años, lo que ha provocado una búsqueda constante de fuentes de agua para suplir las necesidades del pueblo. Bijagua es una comunidad netamente rural pero que recibe gran afluencia de turismo, especialmente extranjero, debido a la cercanía con el Parque Nacional Tenorio y su gran atractivo, la catarata de río Celeste. El tipo de turismo que se percibe en el sitio es en su mayoría familiar o de personas retiradas que, por lo general, pernoctan por una o más noches en los hoteles y cabinas del pueblo, acrecentando aún más la necesidad de contar con un buen suministro de agua y, de buena calidad.

La ASADA Bijagua, constituida en el 2010, ha ido absorbiendo otros acueductos más pequeños de los pueblos aledaños, lo que ha incrementado grandemente la cantidad de usuarios del recurso. Esto ha generado inconformidad, e incluso algunos conflictos en el pueblo, debido a la renuencia en los vecinos de perder el agua, que ellos consideran de su propiedad, en beneficio de otros, lo cual además de afectarles en su consumo directo, podría generarles pérdidas económicas por el impacto en el turismo, gracias al que muchas familias sobreviven.

Aunado a esto, a finales del año 2013 inició la construcción de un proyecto de CoopeGuanacaste que capta aguas de los ríos Bijagua y Zapote para la generación de energía hidroeléctrica trasladada a otras zonas del país. Esto incrementa el temor y la desconfianza de los vecinos de poder contar a largo plazo con el beneficio de agua potable y es por ello que actualmente, la ASADA se encuentra gestionando recursos que le permitan fortalecer el acueducto con miras al futuro y poder darle seguridad al pueblo en cuanto al suministro de agua.

Con el presente trabajo lo que se pretende es evidenciar la calidad del agua de la microcuenca del río Bijagua tomando en cuenta el cambio en el uso del suelo y otras fuentes posibles de contaminación, ayudando a fortalecer la ASADA Bijagua en la generación de una línea base para la gestión y protección del recurso hídrico.

1.1.3 Justificación del problema

El agua es esencial para el mantenimiento de todos los procesos biológicos, la calidad de vida de los habitantes y el sostenimiento de las actividades económicas. El acceso reducido y malas calidades de agua pueden traer como consecuencia el estancamiento al desarrollo, ya que el agua es uno de los insumos más importantes para el vivir cotidiano y para los procesos de producción de cualquier índole (Pavón y Rocha, 2015 y Vega, 2004). Los cuerpos de agua dulce tienen una capacidad limitada para el proceso de cargas de contaminantes de los efluentes de expansión poblacional, comercial y usos agrícolas. La degradación de la calidad del agua puede ser una de las principales causas de la escasez de agua (CEDEX, s.f.).

Sin embargo, hablar sobre el concepto de calidad de agua crea cierto grado de ambigüedad, esto debido a que para una región o grupo de caseríos puede ser que el agua sea de buena calidad, pero para otra no, esto dependerá del uso dado. Asumimos que la calidad de agua debe medirse por medio de parámetros con estándares aceptables, con el fin de evitar ambigüedad. Por lo tanto, es necesario establecer sitios de monitoreo de calidad de agua que permitan realizar comparaciones de los parámetros ya establecidos o estudios realizados previamente (Vega, 2004).

El acelerado deterioro de muchas de nuestras cuencas hidrográficas, los importantes costos de las medidas correctivas que se deben aplicar y el tiempo necesario para su recuperación, evidencian el efecto de la demanda sobre los recursos naturales y del impacto antropogénico sobre los mismos. Por tanto, se impone un cambio de paradigma mediante el cual la sociedad costarricense continúe en su búsqueda de alternativas de desarrollo de sus recursos naturales, pero en armonía con el ambiente, y diseñe al mismo tiempo, opciones para revertir la acelerada degradación del recurso hídrico del país, como un proceso para formular una nueva visión de desarrollo hacia futuro (CADETI, 2004).

Los métodos biológicos se convierten, cada vez más, en una alternativa para monitorear la salud de los ríos y de esta forma determinar los impactos a largo plazo de los procesos de contaminación; especialmente el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos de calidad de agua. Esta es una de las mejores alternativas debido a su sencillo manejo y a que los costos son inferiores a los métodos físicos y químicos. Los macroinvertebrados corresponden a organismos de un tamaño que va entre unos pocos milímetros hasta varios centímetros. Su comportamiento ante la contaminación está bastante establecido, lo que da la posibilidad que los organismos se puedan identificar in situ de forma relativamente fácil (Vega, 2004).

El río Bijagua se ubica dentro de una zona de recarga acuífera y para el distrito de Bijagua, los tributarios de este río constituyen una gran riqueza, siendo de gran importancia para el consumo humano, riego de cultivos, agua para el ganado, incluso para el turismo. Por todo esto, se hace necesario realizar una evaluación biológica del agua de la microcuenca del Río Bijagua. Los resultados permitirán elaborar un diagnóstico sobre el entorno ambiental y la calidad del agua, que podrá ser utilizado por la ASADA Bijagua y todos los actores que intervienen en la gestión integral de la microcuenca, lo que ayudará a la toma de decisiones para realizar acciones concretas referidas a la conservación, protección y manejo del recurso hídrico, así como también, hacer un uso adecuado del agua por parte de todos los habitantes de la microcuenca.

1.1.4 Supuestos

- Los puntos de muestreo que atraviesan el poblado presentarán un nivel de calidad de agua más deteriorado que aquellos puntos ubicados en áreas no urbanizadas.
- Están las aguas servidas, generadas por los habitantes de Bijagua, repercutiendo sobre la diversidad de macroinvertebrados acuáticos del río y las quebradas que atraviesan el pueblo de Bijagua.

Preguntas orientadoras

- ¿Produce la comunidad de Bijagua un efecto negativo en la calidad del agua y en la salud del ecosistema acuático de la microcuenca del río Bijagua?
- ¿Los resultados de esta investigación pueden orientar a la comunidad de Bijagua para la toma de decisiones que permitan la conservación del recurso hídrico de la zona?

1.1.5 Restricciones

Las principales limitantes durante la realización del estudio fueron:

1. Toma de datos: La toma de datos fue difícil debido a la localización del distrito de Bijagua en una zona de alta pluviosidad y la realización del trabajo de campo se realizó en la época del año en que nuestro país se ve expuesto a tormentas y huracanes con la consecuente crecida de los ríos, lo que representa un alto riesgo a la hora de efectuar los muestreos.

2. Poco tiempo: Tiempo limitado para recolectar las muestras y realizar las identificaciones, así como para poder plantear repeticiones de los muestreos para evidenciar si el aumento o disminución en los caudales de los cursos de agua influyen en la cantidad y presencia de familias de macroinvertebrados acuáticos y con ello inciden en la evaluación de la calidad del agua del río Bijagua.

1.1.6 Objetivo general

Evaluar la calidad biológica del agua de la microcuenca del Río Bijagua (Upala) mediante el estudio de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos como línea base para la generación de una propuesta de plan estratégico que permita el uso y manejo integrado por parte de la ASADA de la zona.

1.1.7 Objetivos específicos

- Evaluar la riqueza y diversidad de las familias de macroinvertebrados acuáticos en distintos puntos de muestreo de la microcuenca del Río Bijagua (Upala) con el fin de determinar la calidad de agua según el índice BMWP-CR.
- Establecer el efecto de los distintos usos de suelo sobre la calidad del agua, a través del estudio de la dinámica de los macroinvertebrados acuáticos en distintos puntos de la microcuenca del río Bijagua.
- Desarrollar un plan estratégico para el mantenimiento, mejoramiento y la conservación de la calidad del agua superficial que pueda ayudar a la ASADA Bijagua a establecer planes de educación y preservación del recurso hídrico.

2 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Marco referencial

La creciente escasez de agua es hoy uno de los desafíos principales para el desarrollo sostenible y ese problema aumentará a medida que la población mundial siga creciendo y se intensifique el cambio climático (da Silva, 2017).

El agua es uno de los líquidos más importantes en el desarrollo humano y como es sabido, el agua dulce escaseará cada vez más en el planeta. El agua es esencial para el desarrollo socioeconómico y para mantener sano el ecosistema ya que el incremento de la población y el desarrollo exige el aumento de las asignaciones de las aguas subterráneas y superficiales para el uso doméstico, la agricultura y los sectores industriales. La presión sobre los recursos hídricos se intensifica, provocando tensiones, conflictos entre usuarios, y excesiva presión sobre el medio ambiente (CEDEX, s.f.).

Desde hace muchos años se ha dado una tensión creciente en los recursos de agua dulce inducida por el aumento de la demanda en su uso, así como por una creciente contaminación en todo el mundo, lo que es motivo de gran inquietud. Los regímenes fluviales han venido sometidos a fuertes explotaciones y cambios en el uso de la tierra, viéndose afectada la calidad del agua debido a las principales actividades desarrolladas en las inmediaciones de las cuencas hidrográficas.

La competencia por el agua se incrementará, según da Silva (2017), cuando los habitantes del planeta sobrepasen los 9 000 millones hacia el año 2050, ya que infinidad de agricultores familiares de los países en desarrollo sufren la escasez de agua. Por otra parte, en algunas regiones los conflictos por los recursos hídricos ya han superado a los relacionados a combates terrestres.

La “Crisis del Agua” fue uno de los principales riesgos reportados en el Informe Mundial de Riesgos de 2016 del Foro Económico Mundial, y la mayor preocupación de las empresas mundiales para la próxima década, de hecho, la falta de agua fue considerada el principal impacto a futuro. Justamente, el objetivo 6 de los objetivos de Desarrollo

Sostenible (ODS), adoptados en 2015, se refiere al agua, con metas ambiciosas que buscan mejorar el acceso al agua potable y saneamiento, un mejor tratamiento de las aguas negras, y la protección y restauración de ecosistemas relacionados con el agua. Globalmente, basándose en las tendencias actuales, se prevé que la demanda de agua superará la oferta sostenible en un 40% en 2030 (The Global Risk Report, 2016).

Costa Rica, según Brenes (2002) posee un potencial hídrico per cápita de 31.301 metros cúbicos por año y la extracción para usos domésticos, industriales y agrícolas es del 5%. Esta disponibilidad de agua podría sugerirnos que nuestro país no debería tener problemas hídricos. Sin embargo, en los últimos años se ha notado un acelerado deterioro de las fuentes superficiales y subterráneas de agua, que amenaza seriamente su disponibilidad y calidad futura.

El manejo sostenible de agua involucra a todas las partes interesadas en la coordinación del abastecimiento, la distribución, el uso, y la salida de agua de una manera tal que garantice un nivel suficiente y equitativo de bienestar socioeconómico, sin comprometer la integridad de los ecosistemas de apoyo a través del tiempo (Kuzdas et al., 2012). Algunos vacíos identificados en el análisis de la normativa vigente respecto al recurso hídrico por Betrano (2016) en su análisis del Estado de la Nación son: la carencia de instrumentos de planificación para el uso racional y sostenible del recurso y su adecuada protección, falta devaluación sobre la implementación de compromisos internacionales y la necesidad de fortalecer el marco Jurídico de las Asadas.

Como lo menciona Roldán (1996), la valoración de la calidad de los ambientes de comunidades acuáticas, se ha desarrollado tradicionalmente utilizando métodos basados en determinaciones y cálculos de las características físicas y químicas. Cuando se trata de estimar o determinar la calidad ambiental en general, son aplicados los procedimientos físico-químicos clásicos para denotar el grado de calidad o afectación del parámetro estudiado (Roldán, 1992, citado por Gil, 2014).

Sin embargo, los parámetros físico-químicos no son eficaces para detectar alteraciones in situ por periodos extensos. Según Gil (2014), los problemas de los parámetros físico-químicos residen en que sus resultados, más o menos exactos, son

siempre puntuales. Así pues, menciona el autor que, estos métodos sirven para detectar un vertido en el momento en que está en el agua, pero pueden no detectar un vertido realizado unos días atrás. Además, no tienen en cuenta, en muchas ocasiones, otras alteraciones del ecosistema acuático que pueden afectar a sus componentes. Es por ello que se recurre a métodos biológicos basados en las comunidades de organismos acuáticos, ya que éstos reaccionan ante alteraciones en la calidad de las aguas cambiando su composición específica y aportan una visión, no sólo puntual, sino también histórica.

En países latinoamericanos el uso de bioindicadores acuáticos es relativamente reciente. En Costa Rica, en el año 2007, se publicó el “Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la calidad de los cuerpos superficiales” en el cual se define el uso del índice BMWP-CR para evaluar la calidad del agua de los ríos (Reyes, 2012). El índice de calidad BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica) es un método de valoración de la calidad biológica de un cuerpo de agua y fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método rápido para evaluar la calidad del agua, usando los macroinvertebrados como indicadores. Con base en investigaciones realizadas en Costa Rica, se adaptó el Índice BMWP de acuerdo a los macroinvertebrados existentes en ríos y quebradas del país (Auquilla, 2005).

Como menciona Gil (2014) los índices biológicos de calidad de las aguas estudian parámetros o aspectos biológicos del medio acuático, cuyos cambios indican la existencia de alteraciones de dicho medio y están basados en la correspondencia entre las características del medio y los organismos que en él se desarrollan. El estudio de la taxonomía y la ecología de los macroinvertebrados acuáticos, así como la evaluación de la calidad del agua, contribuyen en la determinación de la salud de los ecosistemas. Ambos tienen como finalidad detectar y comprender los cambios en los sistemas biológicos que resultan de las actividades antropogénicas, respecto a las condiciones de referencia (Reyes, 2012).

2.1.2 Calidad del agua y biomonitoreo de las fuentes superficiales

La calidad del agua corresponde a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, propiedades que al ser afectadas

repercuten tanto sobre las comunidades humanas como la vida vegetal y animal. (Commission for Environmental Cooperation, 2009, citada por Cedeño y Quinteros, 2016). Según mencionan Briñez et al. (2012), la calidad del agua es un factor importante para poder administrar y también lograr determinar el estado de conservación de las cuencas hidrográficas, pues la biodiversidad asociada de estos ecosistemas se ve afectada por la contaminación.

Como bien lo señala Mafla (2005), la contaminación del agua y la pérdida de las zonas de amortiguamiento de los ríos es un grave problema para la salud de todos los seres vivos del planeta, ya que la mayoría de las actividades diarias dependen del agua. Es por ello por lo que debemos considerarla como un recurso valioso cuya preservación es indispensable para el futuro.

Sin embargo, las metodologías de estudio y monitoreo de la calidad del agua están basadas, en su mayoría, como ya se mencionó previamente, en el análisis de parámetros fisicoquímicos, pero la variedad de contaminantes que se liberan y el hecho de que los vertidos se realizan de forma, generalmente, puntual en el tiempo, exige la implementación de metodologías alternas que faciliten e incrementen la información obtenida en los estudios de un sitio. Es por ello que, como lo mencionan Cedeño y Quinteros (2016), el empleo de macroinvertebrados viene a representar una herramienta útil para determinar la calidad del agua, identificando las familias presentes en una muestra. Destacando, además, la utilización de los macroinvertebrados como una técnica idónea para lograr conocer el estado de los recursos hídricos, debido a las ventajas que presentan, entre las que se pueden citar: costos inferiores, técnicas de muestreo muy estandarizadas, no requieren equipos costosos, además de reflejar afectaciones a escala de tiempo más prolongada, siendo esta metodología efectiva para el seguimiento continuo de la calidad del agua de las cuencas hidrográficas (Muñoz et al., 2003).

Cuando se examina la calidad biológica de las aguas lo que se obtiene, según Segnini (2003) citado por Mora (2018), es un reflejo de la capacidad natural de la biota de responder ante los efectos de perturbaciones eventuales o permanentes, alterando su estructura y funcionamiento al cambiarse las condiciones ambientales de sus hábitats

naturales. Por lo que, los cambios en la composición y estructura de las comunidades de biota acuática se pueden interpretar como signos de algún tipo de contaminación.

2.1.3 Bioindicadores

Los bioindicadores son empleados para la evaluación ambiental, como un método de seguimiento a las alteraciones del ambiente. Cada uno de los organismos utilizados como macroinvertebrados poseen determinados límites para su adaptación, las cuales están determinadas por los factores ambientales, o sea que los organismos puedan sobrevivir en límites máximos, intermedios y estrechos, por lo que entre más estrechos sean estos los límites de tolerancia, más alto será su nivel de utilidad como indicador ecológico (Pastrán, 2017).

A los macroinvertebrados acuáticos se les relaciona con diferentes rangos de tolerancia ecológica debido a las exigencias de dichas especies bentónicas, así como las condiciones que estos organismos necesitan para poder sobrevivir ante la presencia de diferentes sustancias contaminantes. El biomonitoreo de grupos sensibles a cambios ambientales, como los macroinvertebrados en ríos y la valoración del hábitat, en conjunto reflejan lo que ocurre en un área más grande, como una cuenca hidrográfica, y asume que se pueden detectar los efectos de los cambios antropogénicos en el sistema (Mafla, 2005). Además, aunque este proceso se podría realizar sin tener ningún índice, ya existen varios, incluso adaptados para Costa Rica, que asocian dichos rangos con niveles de contaminación de aguas, los cuales pueden utilizarse para realizar estas determinaciones.

2.1.4 Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos invertebrados que pueden verse a simple vista y que desarrollan su vida, o parte de ella, en sistemas acuáticos, en este caso de agua dulce. Mayormente estos organismos están comprendidos por grupos de artrópodos, en su mayoría insectos, y fundamentalmente lo que se encuentran son sus formas larvarias.

Como mencionan Ziguio, Siligardi, & Flaim (2006), citados por Pastrán (2017), los macroinvertebrados son utilizados en estudios realizados, como indicadores para

determinar la calidad del agua de los ríos, esto debido a que “su elevado número de especies ofrece un gran número de respuestas a distintos tipos de perturbaciones, tanto físicas como químicas (contaminación orgánica, eutrofización, acidificación, alteración del hábitat, regulación de caudales, canalizaciones, etc.)”, además de poseer características altamente favorables en el momento de realizar su estudio y respectivo análisis, tales como:

- sedentarismo o escasa capacidad de movimiento, lo que los pone en contacto con las sustancias vertidas en las aguas.
- tienen un ciclo de vida largo, en comparación con otros organismos, facilitando el estudio y análisis de lo que pudiese haber ocurrido por un prolongado tiempo.
- Presentan un tamaño adecuado en contraste con otros organismos para su análisis (Martínez, 2010 y Mauad, 2013).

2.1.5 Índices Bióticos

La expresión “calidad biológica” surge cuando se evalúa la calidad del agua a través del análisis de la estructura y composición de las comunidades bióticas, que revela los cambios estructurales determinados con base en la comunidad de macroinvertebrados. Uno de los métodos que se utilizan, comúnmente, para los biomonitoreos acuáticos son los índices bióticos.

Metcalfé (1989), citado por Mauad (2013), diferencia tres orientaciones primordiales para valorar la respuesta de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos a la contaminación:

- el saprobio: se refiere a la capacidad que tienen ciertos organismos de vivir en determinados niveles de contaminación,
- el de diversidad: consideran la riqueza, la uniformidad y la abundancia de la comunidad, y
- el biótico: se basan en la abundancia y diversidad de grupos de macroinvertebrados acuáticos, y suelen expresarse por valores numéricos únicos que resumen las características de todos los grupos presentes.

2.1.6 Índice BMWP-CR en la evaluación de la Calidad del Agua

El índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), se estableció en Inglaterra en 1970 como un método rápido y sencillo para la evaluación de la calidad biológica del agua mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores (Reyes, 2012). Según menciona Mora (2018), este índice se desarrolló por razones económicas y del tiempo que se requiere invertir para obtener resultados representativos y para su desarrollo, se identifican los macroinvertebrados al nivel taxonómico de familia y se usan los rangos de puntaje establecidos para el índice.

Los puntajes se determinan de acuerdo con los niveles de tolerancia de cada familia de macroinvertebrados ante la contaminación. En nuestro caso, se plantea el uso del BMWP-CR: Biological monitoring working party modificada para Costa Rica, el cual presenta una escala que ha sido adaptada para nuestro país, ya que ciertas familias de macroinvertebrados no existen en otras zonas y por ello requiere un ajuste para diferentes países.

2.1.7 Principales Órdenes de macroinvertebrados acuáticos

a) Ephemeroptera

Las ninfas de Ephemeroptera viven por lo regular en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas; sólo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación. El Orden Ephemeroptera ha sido considerado por muchos autores como uno de los órdenes más sensibles a la contaminación del agua, junto con Plecoptera y Trichoptera, sin embargo, dentro del orden, los diferentes géneros muestran una gran variedad de tolerancias a las condiciones ambientales. En general, suele considerárseles indicadores de buena calidad del agua. (Álvarez y Pérez, 2007 y Flowers y De La Rosa, 2010).

b) Plecoptera

Es un grupo pequeño de insectos y en Centroamérica se encuentra una sola familia, Perlidae del Suborden Arctoperlaria, con dos géneros *Anacroneturia* Klapálek y *Perlesta* Banks. Las ninfas se desarrollan en aguas rápidas, bien oxigenadas, debajo de piedras, troncos, ramas y hojas. Se dice que en ciertos casos son especialmente abundantes en riachuelos con fondo pedregoso, de corrientes rápidas y muy limpias situadas alrededor de los 2000m de altura. Son, por tanto, indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas (Álvarez y Pérez, 2007 y Gutiérrez-Fonseca, 2010).

c) Trichoptera

En los ambientes acuáticos, como ríos y quebradas, los Trichoptera juegan un papel importante, tanto en las cadenas alimentarias como el reciclaje de nutrientes. Las larvas viven en diversos ambientes acuáticos y construyen refugios fijados al sustrato o casitas portátiles con variedad de formas y materiales. La gran mayoría de las especies de tricópteros habitan ríos y quebradas de aguas limpias y bien oxigenadas, y es uno de los órdenes de insectos acuáticos más diversos. Debido a esta gran diversidad y el hecho de que sus larvas tienen distintos ámbitos de tolerancia y según la familia o el género al que pertenecen, son muy útiles como bioindicadores de calidad de agua y la salud del ecosistema (Springer, 2010).

d) Coleoptera

La mayoría de Coleoptera acuáticos viven en aguas continentales lóxicas y lénticas. En las zonas lóxicas los sustratos más representativos son troncos y hojas en descomposición, grava, piedras, arena y la vegetación sumergida y emergente. Las zonas más ricas son las aguas someras en donde la velocidad de la corriente no es fuerte, aguas limpias, con concentraciones de oxígeno alto y temperaturas medias (Álvarez y Pérez, 2007).

e) Odonata

Los adultos generalmente vuelan cerca de quebradas, ríos, lagunas y otros cuerpos de agua dulce o salobre. Las ninfas habitan una diversidad de hábitats acuáticos, en pozos, pantanos, márgenes de lagos y corrientes lentas y poco profundas, por lo regular, rodeados de abundante vegetación acuática sumergida o emergente. Viven en aguas limpias o ligeramente eutroficadas (Álvarez y Pérez, 2007 y Ramírez, 2010).

Además, existen otros órdenes de Insecta (Hymenoptera, Diptera, Neoptera) que sumados a otros invertebrados acuáticos (anélidos, nemátodos, platelmintos, moluscos) pueden ayudar a indicarnos qué tal se encuentran los ambientes analizados y si las actividades humanas ejercidas en los alrededores de la microcuenca del río Bijagua han llegado a afectar la calidad de sus aguas o si todavía es un buen momento para planear proyectos de educación, protección y recuperación de la microcuenca.

Es claro entonces que, el uso de macroinvertebrados acuáticos se constituye, para estudios como el nuestro, en un instrumento importante que ayuda a la caracterización biológica e integral de la calidad del agua. La confiabilidad de los resultados que se obtienen al utilizar el índice BMWP lo convierten en una excelente herramienta para la gestión y el seguimiento de la microcuenca.

3 MARCO METODOLOGICO

3.1.1 Fuentes de información

Las fuentes de información son todos aquellos instrumentos o recursos que nos suministran datos útiles para fundamentar el conocimiento sobre determinado tema y construir hechos. Según mencionan Maranto y González (2015), al efectuar una revisión de literatura debemos hacerlo de una manera selectiva y dinámica ya que constantemente surgen publicaciones.

A continuación, se hace referencia a las fuentes de información que se utilizan en este estudio:

- **Fuentes Primarias**

Se utilizaron fuentes de investigación que permitieron proporcionar datos de primera mano, mejor conocidas como fuentes primarias. Estas, según Stein, (1982) son aquellas en donde los datos o la información provienen de una fuente directa, en nuestro caso, estos datos derivaron de los muestreos efectuados en los diferentes sectores de la microcuenca para colectar los macroinvertebrados acuáticos, que fueron preservados y posteriormente llevados al laboratorio para su identificación.

- **Fuentes Secundarias**

Las fuentes secundarias por otra parte permiten conocer hechos o fenómenos a partir de documentos o datos recopilados por otros. Los informantes en ambos casos pueden ser personas o documentos inéditos o publicados, así como otras fuentes que posibilitan al investigador extraer conocimiento sobre un determinado problema en estudio. (Huamán (2011), Miranda y Acosta (2008) y Stein (1982)).

Para nuestro caso, las fuentes secundarias están representadas por la revisión bibliográfica, tanto en internet como de fuentes de información en físico, tales como claves dicotómicas, artículos científicos, tesis universitarias, decretos e índices utilizados, etc, tanto para fundamentar la investigación, como para su posterior clasificación y análisis.

3.1.2 Tipo de investigación

La investigación por desarrollar será tanto exploratoria como descriptiva. Sabino (1994) menciona que: hay casos en que pueden llevarse a cabo trabajos exploratorios - descriptivos o descriptivos - explicativos, de acuerdo con la naturaleza del problema y del estado de los conocimientos en esa área temática. También Hernández, Fernández y Baptista (2014) señalan que una investigación puede ser de uno o varios tipos ya que, la misma puede iniciarse como exploratoria, después ser descriptiva y correlacional y, terminar como explicativa.

Se considera exploratoria pues no encontramos un estudio similar realizado en esta zona. Además, más que una respuesta definitiva, esta investigación pretende sugerir alternativas de trabajo que pudiesen orientar a nuevas investigaciones e intervenciones en este campo, tanto en esta como en otras ASADAS. Al mismo tiempo, se intenta brindar posibilidades de análisis que sean funcionales y accesibles, pero reglamentadas y por tanto útiles para las pequeñas asociaciones de acueductos.

Por otro lado, se considera descriptiva porque presentará una descripción detallada de los procedimientos y análisis que se pretenden realizar para la evaluación de las muestras de agua. No obstante, lo anterior, la investigación no pretende quedarse en la mera descripción de los procedimientos, análisis y resultados obtenidos, sino que intenta formular propuestas que sirvan a la ASADA Bijagua para implementar planes y estrategias de protección del recurso hídrico.

3.1.3 Método de Investigación.

La investigación estuvo enmarcada dentro del método cuantitativo, un enfoque metodológico que, según Hernández (2014), utiliza la colecta de datos para la prueba de supuestos con base en una medición numérica y análisis posteriores, con el fin de establecer, con base en ellos, diferentes pautas, dado que se realizó la identificación de los macroinvertebrados bentónicos encontrados en la microcuenca de río Bijagua hasta los niveles taxonómicos de orden y familia, con la ayuda de claves dicotómicas de diferentes

autores. Así mismo, este enfoque se utilizó para determinar la calidad del agua mediante el índice Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica (BMWP-CR), el cual asocia a los taxa presentes en el área de estudio (familias) con un valor numérico según el nivel de tolerancia.

La metodología que se utilizó fue la que se describe en el “Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales”, publicado en La Gaceta en setiembre del 2007 (MINAE-S N° 33903). Adicionalmente, a los macroinvertebrados acuáticos se aplicaron índices de diversidad para las familias encontradas en los diferentes puntos de muestreo, y relacionar los resultados con los usos del suelo asociados a cada sitio.

3.1.4 Área de estudio

Bijagua es el distrito 04 del cantón de Upala, número trece de la provincia de Alajuela. Se encuentra ubicada en la zona norte de Costa Rica, como se observa en la **figura 1**, entre las coordenadas: 10°73'06" latitud norte y 85°05'65" longitud oeste. La altitud del centro de población es de 430 msnm, sin embargo, en su área geográfica las alturas oscilan entre los 80 y 2019 metros sobre el nivel del mar, con dos zonas de vida Bosque Pluvial Premontano y Bosque Pluvial Montano Bajo, con una temperatura anual entre los 15°C y 24°C y una precipitación anual entre los 3000-4500 mm. Los suelos son aluviales con drenaje de bueno a imperfecto, de tipo andosol lo que los hace muy fértiles, producto de las cenizas volcánicas (Delgado y Córdoba (2012) y SNIT (2021)).

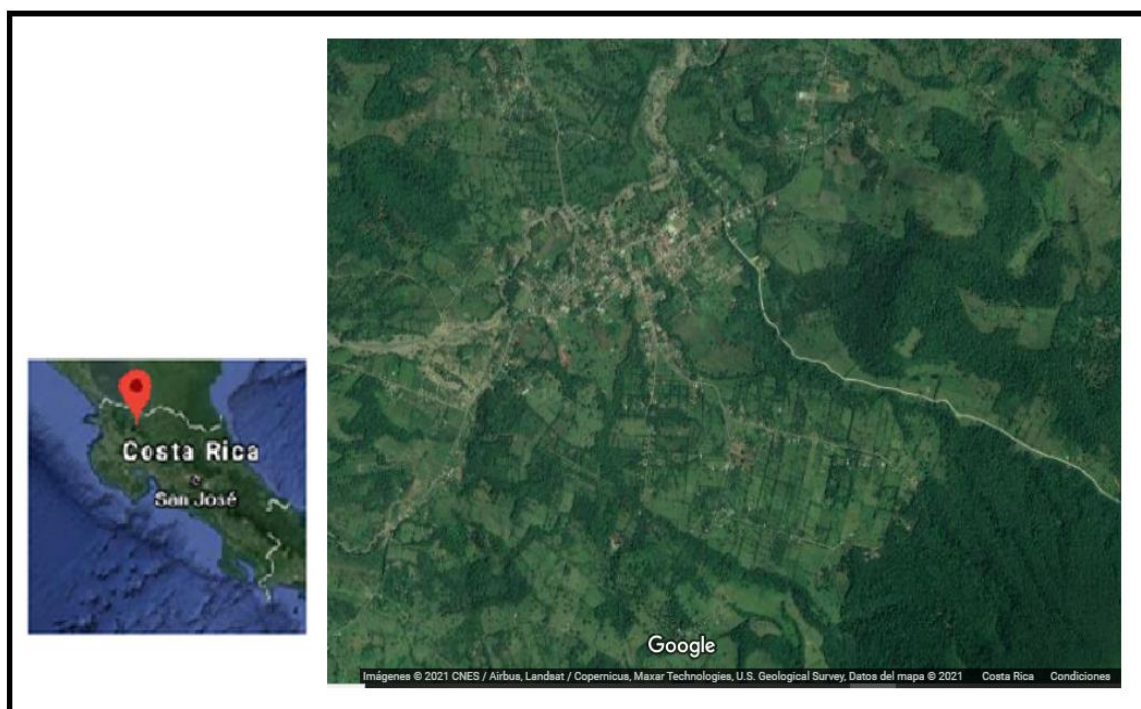


Figura 1. Ubicación del distrito de Bijagua en el cantón de Upala, Alajuela, área de estudio. Fuente: Elaborado a partir de Google maps, 2021 y SNIT, 2021.

El estudio se realizó en seis diferentes sectores de la microcuenca del río Bijagua, en el distrito de Bijagua del cantón de Upala. Este distrito se caracteriza por su importante potencial hídrico, presentando gran cantidad de quebradas, tributarias, mayormente, del río Bijagua que nace en las faldas del volcán Miravalles y desfoga sus aguas, a su vez, en el río Zapote (Figura 2), atravesando en su recorrido, áreas con distintos usos del suelo. Además, como señalan Astorga y Arias (2003) en el mapa de geopotencial hidrológico de Costa Rica, la zona se ubica dentro de un área de alto potencial hídrico y califica como área de recarga acuífera, siendo parte del 44% del territorio nacional incluido dentro de esta calificación (Figura 3).



Figura 2. Cuerpos de agua presentes en el distrito de Bijagua, Upala. Fuente: Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021.

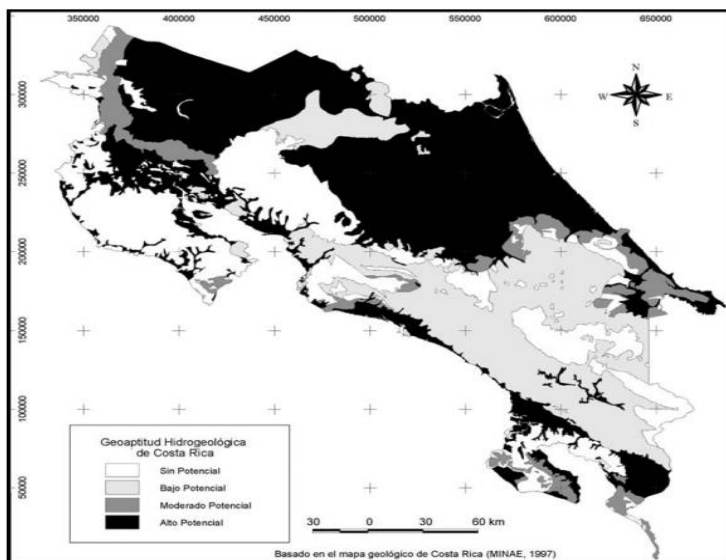


Figura 3. Mapa de geoaptitud hidrogeológica. Fuente: Tomado de Arias y Astorga, 2013.

3.1.5 Métodos e instrumentos de recolección de información

El proyecto consiste en la determinación, inicialmente, de los puntos o sectores a muestrear dentro de la microcuenca del río Bijagua, tomando en cuenta los sectores de los

cursos de agua antes, dentro y después del centro del pueblo de Bijagua, y utilizando como condición para su escogencia que presente un caudal permanente y que, en su recorrido, el flujo de agua debe pasar por diferentes usos de suelo (bosque ripario, caseríos, pastizales y agrícola). El establecimiento de los sitios de muestreo se realizó mediante la observación directa en visitas de campo previas, así como por medio de imágenes satelitales que evidencian la situación de las diferentes zonas. Con base en lo anterior, se determinan seis puntos de muestreo los cuales se muestran en la **figura 4**.

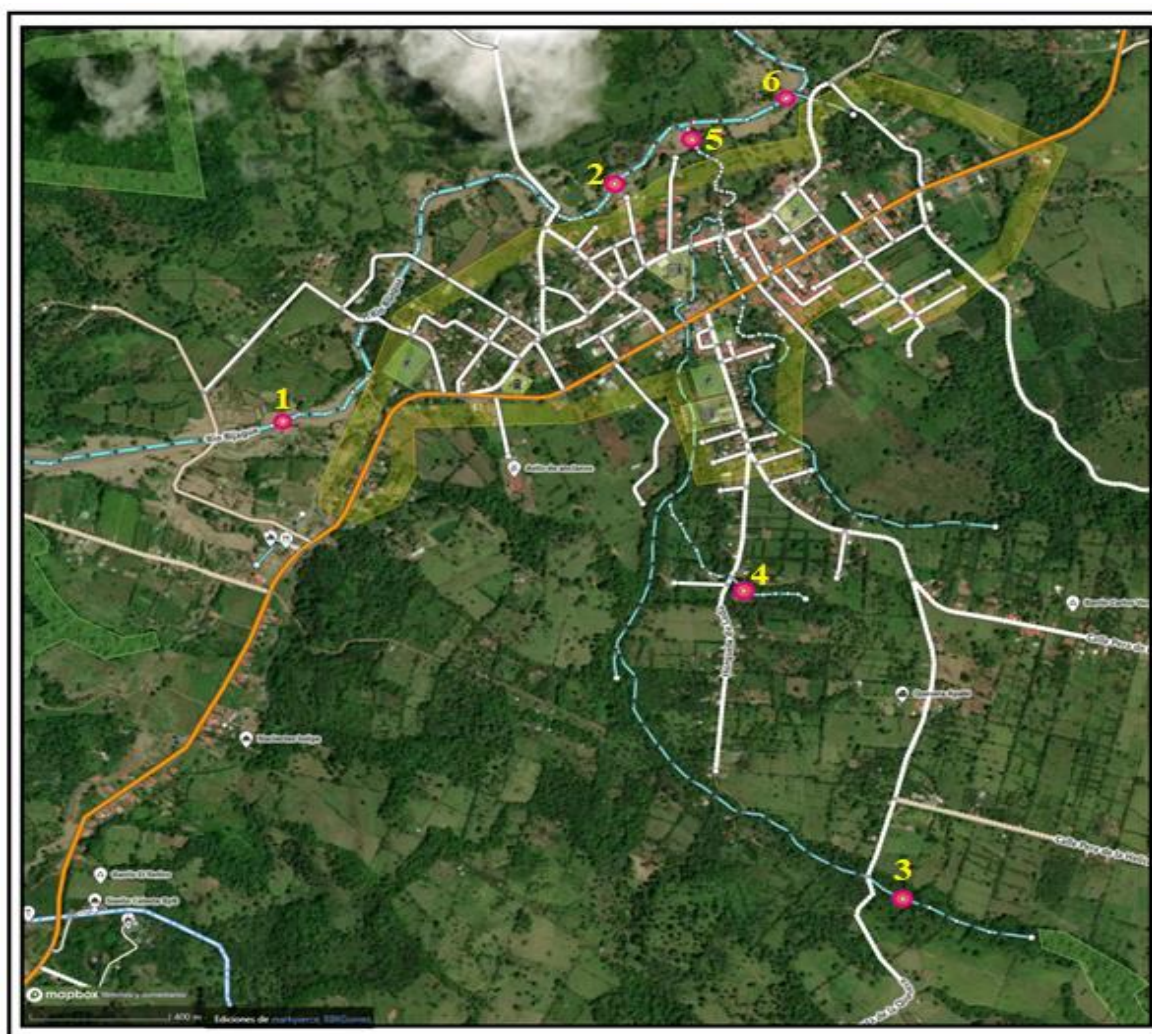


Figura 4. Sectores seleccionados para los muestreos de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca del río Bijagua. Fuente: Elaborado a partir de los puntos referenciados en los mapas generados con la App Navegación GPS, 2021 y ARCGIS, 2021.

Los sitios seleccionados se escogieron para poder determinar la afectación antrópica que pudiese o no estar teniendo la cuenca del río Bijagua, al verse expuesta al desfogue de las aguas provenientes de los caseríos, hoteles y fincas por los que va travesando en su recorrido, tanto el cauce principal como algunos de sus tributarios. Tres de los puntos se ubican aguas arriba de las zonas urbanizadas (**puntos 1, 3 y 4**). Los puntos **2 y 5** se localizan en zonas en que los cursos de agua ya han atravesado y captado las aguas servidas de gran parte del pueblo de Bijagua. El último punto (**punto 6**) se sitúa ya saliendo del pueblo, en un sector de bosque y áreas de pastizales.

3.1.5.1 Descripción de los sitios de Muestreo

Sitio 1: Parte alta del río Bijagua, ubicado a 10, 727587° latitud norte y 85,0566564° longitud oeste. En este punto el río baja de una zona de amplias áreas boscosas, sin embargo, el lugar fue bastante devastado por el huracán Otto, que afectó gravemente al distrito de Bijagua en noviembre del 2016, esto se observa aún en las imágenes satelitales (ver Anexo 3) del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT,2021). Se nota las extensas zonas sedimentadas producto del arrastre de materiales que provenía de las zonas más altas y que fueron esparcidos a lo largo del cauce y sus riberas. En esta parte el río Bijagua aún no ingresa de lleno en el pueblo, aunque en su trayectoria hay algunas casas aisladas y algunas zonas agrícolas y pastizales, pero son más las áreas arboladas y en regeneración.

En este sitio el ancho del río oscila entre los 7 y los 10 m con una profundidad máxima de 0.45 m en la parte de remanso y orillas. Fuerte corriente en los rápidos y orillas con pocas zonas de remanso. El sustrato estaba conformado por canto rodado y arena, rocas grandes tapizando las orillas. Durante el muestreo el agua era incolora y con escasos paquetes de hojas y poco sedimento.

En su margen izquierda hay presencia de grandes árboles, pero alejados de la orilla del curso de agua como a unos 15 metros, separados del río por un playón de piedras

redondeadas. La margen derecha ostenta pastos y otras gramíneas como *Coix lacryma-jobi* o lágrimas de San Pedro, las cuales cuelgan dentro del agua. El sitio estaba completamente expuesto a la luz solar, 0% sombra en los tres microhábitats incluidos en la muestra (Fig. 5 y Anexo 4).



Figura 5. Fotografías de la zona de muestreo en el Sitio 1, parte alta río Bijagua, Bijagua, Upala. 28 de agosto 2021.

Sitio 2: Sector medio río Bijagua, a 10,734566° lat. Norte y 85,058595° long. Oeste. El área de este punto de muestreo se ubica, como se observa en el anexo 5, cerca de caseríos y ha atravesado ya parte del pueblo de Bijagua. Como se ve en la imagen hay árboles y áreas sedimentadas, algunas de las orillas ya van siendo colonizadas por pastos y otras plantas.

Ancho del río entre los 8 y los 12 m con una profundidad máxima de 1m en las pozas. La corriente es moderada con varias pozas en el sitio. Se observó la presencia de roca madre y rocas medias dispersas, así como presencia de limo, mucha arena, sedimentos y paquetes de hojas y ramas sumergidas, percibiéndose un olor a putrefacción en las orillas.

En el margen izquierdo presencia de árboles, arbustos y enredaderas creando una zona de sombra en esa orilla que podría cubrir un 40% del sitio muestreado. El margen opuesto está completamente expuesto al sol, presentando helechos, pastos y algunos heliotropos (*Hedychium coronarium*, Zingiberaceae) (Fig. 6 y anexo 6).



Figura 6. Fotografías de la zona de muestreo en el Sitio 2, sector medio del río Bijagua, Bijagua, Upala. 28 de agosto 2021.

Sitio 3: Parte alta quebrada “Horqueta de la Quesera”. Localizado a 10,713398° lat. Norte y 85,051593° long. Oeste. Como puede verse en el anexo 7, si bien es cierto el punto de muestreo está rodeado de bosque ripario y se encuentra en las proximidades del Parque Nacional Volcán Tenorio, en sus alrededores hay amplias zonas agrícolas y de pastizales (alrededor de 0.510km²), frente a un área de cobertura de bosque sobre el cauce, en la misma zona, de aproximadamente 0.1 km², e incluso, existen algunas casas en partes más altas lo que podría influir en la calidad de las aguas de esta quebrada.

La anchura del cauce oscila entre los 2 y los 3 m con una profundidad máxima de 0,30 m y poca corriente. Hay una base de roca madre en todos los microhábitats contemplados, con rocas sueltas de tamaños grande y medio bastante angulares. En las orillas y pozas hay piedras pequeñas, sin presencia de arena, la hojarasca es escasa, pero si hay mucha presencia de sedimento.

En ambos márgenes hay árboles grandes, arbustos, helechos herbáceos, heliconias y muchos bejucos, lo que promedia alrededor de un 85% de sombra en todos los microhábitats muestreados (Fig. 7 y anexo 8).



Figura 7. Fotografías de la zona de muestreo en el Sitio 3 quebrada “Horqueta de la Quesera”, Bijagua, Upala. 28 de agosto 2021.

Sitio 4: Parte alta quebrada “Horqueta de Leda”. Localizado a 10,722536° lat. Norte y 85,055620° long. Oeste. Al observar las imágenes satelitales, (ver anexo 9) se observa que rodeando la quebrada existe bosque de galería, y que las construcciones, áreas de cultivos y pastizales ubicadas cerca del cauce cumplen las medidas que por ley deben existir desde los cursos de agua. Las zonas aledañas, si bien es cierto incluyen varias viviendas, cultivos y zonas de pastos, no representan más que 0.0645 km², mientras que la cobertura del bosque de galería alcanza 0.03 km².

El ancho del cauce en este sitio de muestreo es de 4m con una profundidad máxima, en las zonas de poza, de 0.55m, con corriente fuerte. El sustrato dominante en el tramo muestreado es roca madre, la cual cubre fondo y orilla de ambos márgenes. Hay algunos helechos y ramas de árboles que descuelgan generando un 80% de sombra en los bordes.

Las pozas presentan fondo arenoso, sin piedras, mucho limo y gran cantidad de paquetes de hojas, ramas y troncos sumergidos, con un 25% de sombra. En los rápidos hay presencia de piedras grandes dispersas y la exposición a la luz solar es 0% (Fig. 8 y anexo 10).



Figura 8. Fotografías de la zona de muestreo en el Sitio 4 quebrada “Horqueta de Leda”, Bijagua, Upala. 28 de agosto 2021.

Sitio 5: Parte baja quebrada, desfogando en la parte media del río, corresponde a la confluencia de quebradas antes de ingresar al río Bijagua, a 10,734543° lat. Norte y 85,056832° long. Oeste. Este lugar de muestreo, como se observa en el cuadro 4, colecta las aguas de varias quebradas, incluidas las muestreadas en los puntos 3 y 4, justo antes de desfogar las aguas en el cauce del río Bijagua. A este punto, las aguas han recorrido gran parte del centro del pueblo de Bijagua con amplias zonas de caseríos en sus márgenes, sin

que, en muchos casos, según lo observado en las imágenes de satélite de Snit (2021) y medido con las herramientas de la misma página, (ver anexo 11), se cumpla con las medidas requeridas según el artículo 33 de la Ley Forestal 7575 (SCIJ, 2021).

Ya en el sitio de muestreo, la anchura del cauce de la quebrada es entre 2 y 3 m con una profundidad máxima de 0,45 m y corriente fuerte, no hay pozas ni remansos. Presencia de rocas medianas y un sustrato de piedras redondeadas y mucha arena. El porcentaje de sombra en el sitio es nulo (0% sombra). Las orillas están cubiertas de pastos, con inserciones en el curso de agua, atrapando mucha hojarasca y ramas. El agua presentó cierta turbidez. (Fig. 9 y anexo 12).



Figura 9. Fotografías de la zona de muestreo en el Sitio 5, sector medio, confluencia de quebradas antes de su ingreso en el cauce del río Bijagua, Bijagua, Upala. 28 de agosto 2021.

Sitio 6: Parte baja del río Bijagua, ubicado a 10, 736738° latitud norte y 85,054552° longitud oeste. En el anexo 13 se observa las imágenes de SNIT (2021) de este sitio, en ellas se nota grandes áreas de sedimentos que se generaron por el desbordamiento del río Bijagua por el impacto del huracán Otto, y que aún no han logrado recuperarse, aunque ya algunos de los márgenes han ido siendo colonizados por lirios, pastos altos y otras Poaceae como *Coix lacryma-jobi* comúnmente llamadas lágrimas de San Pedro. En algunas partes, estas plantas se han extendido por casi 25m desde la ribera del río. Además, hay presencia de algunas zonas arboladas en ciertas partes de los márgenes.

En este sitio de muestreo, el ancho del río fluctúa entre los 8 y los 12 m con una profundidad máxima de 0.65 m en las partes de remanso y orillas. Fuerte corriente en los rápidos y orillas, con amplias zonas de remanso.

En el margen izquierdo hay presencia de árboles grandes, entre ellos Cecropias, balsa, Ingas, también hay presencia de pastos y heliotropos. La margen derecha está cubierta por pastos que se introducen en el agua y al ser removidos liberan un olor desagradable.

El sustrato está conformado por canto rodado, arena y limo, algunas rocas grandes y medias distribuidas en el cauce. El agua era incolora, con muchos paquetes de hojas y ramas sumergidas. El sitio presenta un 50% de sombra en las zonas de rápidos y 100% en orillas y rápidos (Fig. 10 y anexo 14).



Figura 10. Fotografías de la zona de muestreo en el Sitio 6, parte baja del río Bijagua, Bijagua, Upala. 28 de agosto 2021.

3.1.5.2 Colecta e identificación de Macroinvertebrados

Para la recolección de las muestras de macroinvertebrados acuáticos se siguió la metodología expuesta en el Decreto N° 33903 para ríos y quebradas con profundidades iguales o menores a 1 metro, y ancho igual o menor a 15 metros (La Gaceta, 2007). En cada sitio se eligieron tramos no superiores a 50 metros de largo, seleccionando diferentes microhábitats (rápidos, pozas, orillas, paquetes de hojas, troncos y raíces sumergidas).

Se realizó la recolección de los macroinvertebrados acuáticos utilizando una red tipo D con un poro de malla de 500µm, con una apertura de entre 25-30 cm. Se recolectaron tres submuestras de 5 minutos cada una para un total de 15 minutos efectivos por muestra,

tratando de abarcar todos los microhábitats presentes en el sitio. Las tres submuestras fueron reunidas luego en una lista final para cada sitio evaluado, a partir de la cual se calcularán los índices propuestos en este trabajo.

Todo el material y sustrato recolectados se almacenó en recipientes plásticos debidamente identificadas y se agregó alcohol de 96% para su preservación. El material fue trasladado posteriormente al laboratorio para su debida identificación utilizando diferentes claves dicotómicas para las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos, entre ellas las presentadas por Hanson, Springer, Ramírez (2010), Flowers y De la Rosa (2010), y Gutiérrez, (2010) en la Revista de Biología Tropical de la Universidad de Costa Rica, además de las claves contenidas en las guías ilustradas de Pacheco (2010), Gutiérrez (2010) y Menjívar (2010) con Springer como editora.

Se usó también para la identificación la Guía de macroinvertebrados acuáticos de Roldán (1996) así como el Manual de reconocimiento de Coto (1998). Las muestras biológicas recolectadas en los monitoreos se preservaron en frascos con alcohol de 70°, los cuales se rotularon con información de cada muestreo y servirán como material testigo del trabajo y referencia para futuros seguimientos.

En cada sitio de muestreo se realizó, además, una descripción de las características físicas de la quebrada, como de sustrato: roca madre, roca, canto rodado, grava, arena, arcilla y limo; además se caracterizaron las clases de corrientes presentes (lentas, rápidas, pozas), materiales vegetales presentes y el porcentaje de sombra sobre la quebrada.

3.1.5.3 Establecer el efecto de los distintos usos del suelo sobre la calidad del agua

Para determinar la afectación de los diferentes usos del suelo en la calidad del agua obtenida en cada punto de muestreo se utilizó para cada unidad de muestreo el índice biótico BMWP-Cr (Biological Monitoring Working Party) modificado para Costa Rica (La Gaceta, 2007), el cual se calculó sumando las puntuaciones establecidas a las diferentes familias encontradas en las muestras de macroinvertebrados, los cuales se citan en el Cuadro 1 según su grado de sensibilidad a la contaminación. Estas puntuaciones se

adjudican una sola vez por cada familia, independientemente de la cantidad de individuos que se encuentren. La sumatoria de los puntajes de la totalidad de las familias encontradas nos genera el valor final del índice, este nos permitió determinar la calidad del agua según las categorías que se citan en el Cuadro 2.

Cuadro 1: Puntajes de las familias de macroinvertebradas identificadas en Costa Rica. Fuente Gaceta, 2007.

9	O D E P T	<i>Polythoridae</i> <i>Blephariceridae; Athericidae</i> <i>Heptageniidae</i> <i>Perlidae</i> <i>Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae</i>
8	E O T B	<i>Leptophlebiidae</i> <i>Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshmidae; Perllestidae</i> <i>Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae</i> <i>Blaberidae</i>
7	C O T Cr	<i>Prilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae</i> <i>Gomphidae; Lesliidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae;</i> <i>Platystictidae</i> <i>Philopotamidae</i> <i>Talitridae; Gammaridae</i>
6	O M T E	<i>Libellulidae</i> <i>Corydalidae</i> <i>Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae</i> <i>Euthyplociidae; Isonychidae</i>
5	L T C E Cr Tr	<i>Pyralidae</i> <i>Hidropsychidae; Helicopsychidae</i> <i>Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae</i> <i>Leptohyphidae; Oligoneuridae; Polymitarcyidae; Baetidae</i> <i>Crustacea</i> <i>Turbellaria</i>
4	C D H O E Hi	<i>Chrysomelidae; Curculionidae; Halipidae; Lampyridae;</i> <i>Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae</i> <i>Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae;</i> <i>Muscidae; Sciomyzidae; Cerapotogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae</i> <i>Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae;</i> <i>Notonectidae; Calopterygidae; Coenagrionidae</i> <i>Caenidae</i> <i>Hidracarina</i>
3	C D Mo A Cr	<i>Hydrophilidae</i> <i>Psychodidae</i> <i>Valvatidae; Hidrobitidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae</i> <i>Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae</i> <i>Hirudea; Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae</i> <i>Asellidae</i>
2	D	<i>Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae</i>
1	D A	<i>Syrphidae</i> <i>Oligochatea (todas las clases)</i>

Nota: D: Diptera; E: Ephemeroptera; P: Plecóptera; T: Trichoptera; O: Odonata; C: Coleóptera; M: Megaloptera; H: Hemiptera; L: Lepidóptera; B: Blattodea; Tr: Tricladida; Cr: Crustacea; A: Annelida; Mo: Molusco

Según se señala en el reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales de Costa Rica (MINAE, 2007), conforme a esta clasificación, las aguas en nuestro país adquieren valores que van entre 0 y un máximo que,

generalmente, no suele superar 200. Y es en función de estos valores que fueron establecidas las categorías de calidad que se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Categorías de calidad de agua según índice BMWP' CR. Fuente: La gaceta, 2007.

BMWP' -CR	Nivel de Calidad del Agua
>120	Aguas de calidad excelente
101-120	Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible
61-100	Aguas de calidad regular, contaminación moderada
36-60	Aguas de calidad mala, contaminadas
16-35	Aguas de calidad mala, muy contaminadas
<15	Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminada

Para establecer el efecto de los distintos usos de suelo sobre la calidad del agua, se utilizó los resultados del Índice BMWP' CR calculados en cada una de las unidades de muestreo que, como ya se mencionó previamente, fueron establecidas de acuerdo con los distintos usos de suelo incluidos en el trabajo (agrícola, pasturas, bosque y caseríos).

Para la determinación de la riqueza de familias, y comparación entre las comunidades bióticas de los diferentes sitios muestreados, se emplea el índice de Margalef. Este índice transforma el número, en este caso de familias, por muestra a una proporción a la cual las familias son añadidas por expansión de la muestra y presume que hay una relación funcional entre el número de las familias y el número total de individuos (Moreno, 2001).

En cuanto a la estimación de la diversidad de las familias de macroinvertebrados acuáticos, se empleó el índice de Shannon-Wiener, el cual expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las familias de las muestras. Según Arce *et al.* (2006), este índice disminuye en aguas muy contaminadas, por lo que podemos utilizarlo para comparar entre los diferentes sitios de muestreo y relacionar estos resultados con los

usos de suelo asociados, ya que, entre mayor valor tome el índice de Shannon-Wiener mayor será la calidad de agua del objeto de estudio.

Se calcula utilizando la expresión:

$$H = \sum (P_i * \ln P_i)$$

En donde:

P_i: proporción total de la muestra que pertenece a cada familia.

Se dice que el valor máximo que puede adquirir H para las comunidades de invertebrados béticos en los ríos generalmente es de 4,5. Según Guerrero, (2016), valores inferiores a 2,4-2,5 indican que el sistema está sometido a tensión (vertidos, dragados, canalizaciones, regulación por embalses, etc).

Para medir las diferencias entre la similitud de las familias encontradas en los sitios de muestreo se aplicó el índice de similitud de Jaccard. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$I_j = \frac{c}{a+b-c}$$

En donde:

a= Número de familias existentes en el sitio A

b= Número de familias existentes en el sitio B

c= Número de familias existentes en A y B

Este índice nos expresa el grado en el que dos sitios de muestreo son semejantes por las familias presentes en ellas, por lo que representan una medida inversa de la diversidad beta, que se refiere al cambio de familias entre las muestras. Mediante el valor de similitud (s) que obtuvimos en las comparaciones entre puntos de muestreo, se puede calcular fácilmente la disimilitud (d) entre las muestras: $d=1-s$ (Moreno, 2001).

Estos resultados expresan la influencia que pudiese estar ejerciendo el uso de los suelos, observado en los alrededores de los puntos de muestreo y evidenciado también

mediante las imágenes satelitales, para poder plantear algunas opciones que ayuden a la ASADA Bijagua en el desarrollo de un plan estratégico que ayude a mejorar y proteger la microcuenca del río Bijagua.

4 DESARROLLO

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.1 Entomofauna encontrada

Los macroinvertebrados acuáticos tienden a ser una pieza importante en la estructura trófica de los ambientes dulceacuícolas, esto por ser parte activa del ciclaje de nutrientes, y según Peralta, Deloya, & Moreno, (2007), las proporciones encontradas de cada grupo funcional están en relación con la disponibilidad de los recursos. En los seis puntos de muestreo en los tres diferentes niveles del río Bijagua, se logró recolectar, un total de 1370 individuos, distribuidos en 64 familias y 22 órdenes (Cuadro 3).

Dentro de los órdenes recolectados, destaca la presencia de dípteros con un total de 333 individuos, para un 24% del total de recolecta, y fue este mismo orden el que presentó una mayor riqueza de familias, encontrando trece en los sitios muestreados. El punto que presentó una mayor densidad de estos organismos fue el sitio 5, ubicado en el cauce que reúne el agua de varias quebradas antes de ingresar al río Bijagua, ocupando también, este sitio de muestreo, el segundo puesto, después del sitio 2, en cuanto a cantidad de oligoquetos. Según menciona Reyes (2012), en los cursos de agua que se ubican cerca de caseríos, las aguas residuales y las pluviales tienden a ser las principales fuentes de ingreso, y estas contienen grandes cantidades de materia orgánica fina, que deterioran considerablemente la calidad del ecosistema, por lo que en estos sistemas se da un aumento en la cantidad de dípteros y oligoquetos, considerados organismos recolectores.

El segundo orden en cantidad de familias fue Coleoptera con una riqueza de 11, contabilizando un total de 228 individuos, mientras que, del orden Ephemeroptera se encontraron 7 familias y se recolectó una cantidad de 281 individuos. De las familias recolectadas, se determinó que las que presentaron una mayor abundancia fueron: Elmidae con un total de 152 individuos, Leptohyphidae con 140, Chironomidae con 124 e Hydropsychidae con 108 individuos. Gutiérrez (2010), menciona que los élmidos son muy abundantes y diversos en ríos de aguas bien oxigenadas y con presencia de abundante materia orgánica en descomposición (hojarasca y madera), mientras que, con referencia a la

familia Leptohiphidae, Flowers y De la Rosa, (2010), señalan que sus ninfas se encuentran en todo tipo de ríos y quebradas, incluyendo quebradas degradadas en áreas cultivadas y pueden llegar a tolerar niveles relativamente altos de contaminación.

Cuadro 3. Presencia y ausencia de macroinvertebrados acuáticos en los diferentes puntos de muestreo en la microcuenca del río Bijagua. 2021.

Orden	Familia	Número Indiv.	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
Ephemeroptera	Baetidae	51	x	x		x	x	
	Caenidae	30	x					x
	Heptagenidae	5	x					
	Leptohiphidae	140	x	x	x	x	x	x
	Leptophlebiidae	49	x	x	x		x	x
	Oligoneuridae	4						x
	Polymitarcyidae ?	2	x					
Trichoptera	Calamoceratidae	2	x					
	Glossosomatidae	4		x				x
	Hydrobiosidae	27	x	x	x			x
	Hydropsychidae	108	x	x	x	x	x	x
	Hydroptilidae	12	x			x	x	
	Leptoceridae	4		x	x			
	Philopotamidae	10	x			x		x
	Polycentropodidae	3	x					
Coleoptera	Dryopidae	8		x		x		x
	Dytiscidae	6	x			x		x
	Elmidae	152	x	x	x	x	x	x
	Gyrinidae	5	x			x		
	Hydrophilidae	7	x		x	x		x
	Limnichidae	8						x
	Lutrochidae	1				x		
	Psephenidae	8	x					x
	Ptilodactilidae	15	x			x		x
	Scirtidae	3				x		
	Staphylinidae	15	x					x
Hemiptera	Corixidae	6			x		x	x
	Gerridae	2						x

Orden	Familia	Número Indiv.	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
	Naucoridae	43	x	x			x	x
	Notonectidae	1						x
	Saldidae	1						x
	Veliidae	12		x				x
Diptera	Ceratopogonidae	2						x
	Chironomidae	124	x	x	x	x	x	x
	Culicidae	28				x		x
	Dixidae	14					x	
	Dolichopodidae	1						x
	Empididae	2						x
	Muscidae	3				x		
	Psychodidae	29	x			x	x	x
	Simuliidae	99	x	x	x	x	x	x
	Stratiomidae	2	x					
	Syrphidae	10				x		x
	Tabanidae	2			x			
	Tipulidae	17	x			x	x	
Odonata	Calopterygidae	7	x	x			x	x
	Coenagrionidae	1				x		
	Libellulidae	4	x	x				
Plecoptera	Perlidae	11	x	x	x	x		
Megaloptera	Corydalidae	9	x			x		
Lepidoptera	Crambidae	2	x					
Arachnida: Prostigmata:Hydrachnidia		47	x	x	x		x	x
Arachnida: Araneae	Agelinidae	1						x
Acaro: Oribatida		19	x	x	x	x	x	x
Annelida: Oligochaeta: Haplotaxida	Tubificidae	80	x	x	x	x	x	x
Annelida: Arhynchobdellida	Hirudinea	9			x	x	x	x
Crustacea: Amphipoda		20			x	x		x
Crustacea: Malacostraca: Decapoda	Pseudothelphusidae	14		x	x	x	x	x
Crustacea: Conchostraca: Diplostraca		1				x		
Crustacea: Diplostraca: Cladocera	Daphniidae	10						x
Crustacea: Ostracoda: Podocopia		2					x	
Mollusca: Basommatophora	Planorbidae	1					x	

Orden	Familia	Número Indiv.	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
Mollusca: Veneroidea	Sphaeriidae	2		x				
Tricladida	Planariidae	36	x		x	x	x	x
Nematomorpha		17	x					x
	Total de individuos	1386	280	227	138	194	203	344

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Índices de Diversidad

4.1.2.1 Índice de Shannon-Weinner

El Cuadro 4 muestra la totalidad de macroinvertebrados recolectados en cada uno de los sitios de colecta. Además, se muestran los resultados, encontrados para cada sitio, de los índices de Margalef y Shannon.

Cuadro 4. Cantidad de Familias, número de individuos e índices de diversidad de Shannon y Margalef aplicados a los sitios de muestreo, según la diferenciación de uso de suelo, entre bosque y caseríos, en la microcuenca del río Bijagua. Bijagua, Upala, 2021.

Índice	Bosque con menor influencia de caseríos			Caseríos cercanos		
	Sitio 1	Sitio 4	Sitio 6	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 5
Familia_S	35	31	41	21	19	22
N° Individuos	280	194	344	227	138	203
Margalef_DMg	6,034	5,695	6,849	3,687	3,653	3,952
Shannon_H'	3,090	2,991	3,256	2,240	2,462	1,670

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, los sitios que presentan bosque y una menor influencia de caseríos cercanos cuentan con una mayor cantidad de familias, totalizando 58 en este uso de suelo. Mientras que los puntos con influencia de caseríos solamente sumaron 33 familias. De igual forma, el bosque mostró mayor cantidad de individuos, 818 frente a 586 de caseríos. Ambos índices, Shannon-Weinner y Margalef muestran una mayor diversidad

en los sitios cuyo uso de suelo está menos influido por caseríos y presenta más desarrollo de bosque. El índice de Margalef promedia para los tres puntos con uso de suelo de caseríos un 3.764 frente a un 6.20 de los tres puntos de bosque, lo que demuestra en este uso de suelo, una alta diversidad, mientras que en la anterior revela cierta antropización.

De la misma forma, el índice de diversidad de Shannon reveló que el uso de suelo por caseríos presentó una diversidad baja, siendo la menor la mostrada por el cauce que recoge las aguas de varias quebradas y luego confluye en el río Bijagua (sitio 5, con $H'=1.670$). Muestreado poco antes de esta confluencia, este cauce ha atravesado gran parte del pueblo, recolectando las aguas de quebradas que pasan cerca incluso del colegio y escuela de Bijagua. Lo anterior nos demuestra que el sistema está siendo sometido a tensión por actividades antropogénicas, lo cual se puede atribuir al aporte de aguas servidas provenientes de muchas de las viviendas o edificaciones y a la poca vegetación marginal en algunos de los sectores, lo que genera un deficiente aporte de hojarasca por parte de la vegetación ribereña. Según señala Guerrero (2016), la cantidad y calidad del recurso alimenticio que aporta la vegetación de ribera con la hojarasca, determina la disponibilidad de nutrientes para la comunidad de macroinvertebrados, por lo que se puede ver afectada la riqueza y diversidad.

Por el contrario, como muestra el Cuadro 4, los sitios con usos de suelo de bosque, que incluyen también pastizales y cultivos, contrastan notablemente, revelando que en estos puntos existe una alta diversidad en las familias de macroinvertebrados. Esto podría corresponder a la asociación de sustratos de rocas con vegetación ribereña de bosque y herbáceas, lo que puede estar aportando una cantidad mayor de hojarasca. Además, según Meza et al., (2012) citados por Guerrero (2016), en los fondos arenosos, ya sea en sistemas lóticos o lénticos, se hospedan pocas especies, con, igualmente, pocos individuos por especie. Al inverso, los fondos pedregosos acostumbran a ser más ricos, especialmente, la fauna tiende a ser más diversa, cuando las rocas son grandes y hay vegetación de ribera. Igualmente, estos autores argumentan que los sustratos dominados por hojarasca ofrecen una mayor cantidad de recursos, por lo que, aparte de mostrar una mayor riqueza de especies soportan una mayor densidad de organismos.

Según menciona Reyes (2012), las diferencias de la diversidad y abundancia entre los distintos puntos de muestreo están relacionadas con la poca heterogeneidad de los sitios afectados y la calidad del agua, la cual se corresponde directamente con el tipo de uso de suelo. Es por ello que, los sitios localizados en los usos de bosque fueron los que presentaron los valores más altos, dado que las condiciones de estos ambientes eran mejores, ya que mostraban mayor cobertura boscosa, amplias zonas de pastos que retienen y frenan el desplazamiento de ciertas sustancias, una mayor diversidad de sustratos, pero sobre todo una menor influencia antrópica. Estas condiciones no se presentan en su totalidad en los usos de caseríos y es por ello que presentan una diversidad de media a baja en los tres puntos incluidos en este uso de suelo.

4.1.2.2 Índice de Similitud de Jaccard

Se aplicó este índice a la comparación realizada entre los sitios que presentaron bosque y poca influencia de caseríos, con aquellos que sí estuvieron más influenciados por la presencia de viviendas en sus cercanías. Estos resultados se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Índice de similitud de Jaccard aplicado a los sitios de muestreo de macroinvertebrados acuáticos compilados en usos de suelo de bosque y caseríos en la microcuenca del río Bijagua, Bijagua, Upala, 2021.

Total de Familias	Bosque con menor influencia de caseríos	Con Caseríos cercanos	Cantidad de Familias que comparten	Jaccard_IJ
64	58	33	32	0,5424

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, existe alrededor de un 50% de similitud entre las familias que se muestran en cada uno de estos usos de suelo. Si aplicamos el inverso para sacar la disimilitud ($d=1-s$) podemos decir que ambos sitios difieren entre sus familias en alrededor de un 46%, y es evidente la mayor abundancia de familias en los puntos muestreados que tienen cercanía a áreas boscosas, superando el 90% del total de las especies muestreadas en

toda la microcuenca. Por su parte, aquellos sitios de muestreo que tienen cercanía a caseríos presentan tan solo el 51%, que, aunque ciertamente, es un dato muy contrastante con el mostrado por el uso de suelo anterior, no es una cantidad desalentadora y representa muchas posibilidades de recuperación de los sitios en estudio.

Lamentablemente, no contamos con datos previos de estos sitios de muestreo para realizar otras comparaciones y poder evidenciar si el sistema ha venido cambiando y en qué medida habrá venido haciéndolo, con el paso del tiempo y el cambio en el tamaño de los caseríos dispuestos, a la vera de los cursos de agua tomados en cuenta para este trabajo. Es por ello que, se decide aplicar también el índice de Jaccard a los mismos cursos de agua, pero en diferentes estratos de su cauce, por lo que se define para ello los puntos 1,2 y 6 como la parte alta, media y baja, respectivamente, del río Bijagua, así como los puntos 3 y 4, como parte alta, y el punto 5, y parte baja, de quebradas contribuyentes. Esta información se presenta en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Índice de similitud de Jaccard aplicado a los sitios de muestreo de macroinvertebrados acuáticos compilados en los diferentes estratos del cauce, en la microcuenca del río Bijagua, Bijagua, Upala, 2021.

Secciones por Comparar	Totales de Familias	Cantidad de Familias que comparten	Jaccard_IJ
Parte Alta del Río (AR) y Media del Río (MR)	AR: 35 y MR: 21	15	0.366
Parte Alta del Río (AR) y Baja de Río (BR)	AR: 35 y BR: 41	20	0.360
Parte Media del Río (MR) y Baja del Río (BR)	MR: 21 y BR: 41	16	0.350
Parte Alta de quebradas (AQ) y Baja de quebradas (BQ)	AQ: 36 y BQ: 22	17	0.415
Parte Alta de quebradas (AQ) y Parte Alta del Río (AR)	AQ: 36 y AR: 35	22	0,449
Baja de Río (BR) y Baja de quebradas (BQ)	BR: 41 y BQ: 22	16	0,340

Fuente: Elaboración propia.

Como se desprende del cuadro anterior, ninguna de las comparaciones alcanza siquiera el 50% de similitud. Los sitios que presentan una mayor semejanza son los de las partes altas, tanto de río como de quebradas con un 0.449, ya que ambos puntos presentan un buen, y casi idéntico, número de familias, además de compartir buena parte de ellas. Sin embargo, no se puede atribuir únicamente a la condición de calidad del agua, también habría que tomar en consideración las características hidro geomorfológicas de cada uno de los sitios considerados.

4.1.3 Análisis de los macroinvertebrados aplicando el Índice biológico de calidad “BMWP-CR”

Se aplicó el índice BMWP a cada uno de los puntos y los resultados se muestran en el Cuadro 7. Como puede observarse, en todos los sitios se ubicaron áreas de pastizales, por lo que su influencia sería de forma similar en la presencia de macroinvertebrados en todos los puntos y por tanto no debería tener tampoco repercusión sobre el índice.

Cuadro 7. Puntajes obtenidos por cada uno de los sitios de muestreo efectuados en la microcuenca de río Bijagua, al aplicar el BMWP-CR. Bijagua, Upala, Agosto-2021.

Sitio de Muestreo	Puntaje según BMWP-CR	Calidad de Agua	Mayor uso del suelo en los alrededores
1	172	Aguas de calidad excelente.	Bosque, pastizales
2	99	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.	Caseríos , pastizales
3	88	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.	Bosque, pastizales, caseríos cercanos y agrícola.
4	136	Aguas de calidad excelente.	Bosque, pastizales, cultivos y 2 casas .
5	89	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.	Caseríos y pastos
6	160	Aguas de calidad excelente.	Bosques, pastizales

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro anterior muestra que la calidad de las aguas de los sectores analizados en la microcuenca se ubica entre aguas de calidad regular y aguas de calidad excelente. Los puntos 1, 4 y 6, que no presentaron gran cantidad de casas en sus alrededores, son los que muestran un grado de calidad excelente según el índice, mientras que los sitios de muestreo que atraviesan caseríos y sin bosque de ribera, se clasificaron con contaminación moderada con aguas de calidad regular y eutrofia.

Es evidente que las zonas urbanizadas (caseríos) están ejerciendo cierta influencia sobre los patrones de biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca del río Bijagua, que si bien es cierto, no llegan a niveles tan preocupantes, pueden continuar desmejorando si no se actúa a tiempo para contrarrestar las acciones que están repercutiendo sobre comunidades dulceacuícolas de la microcuenca. Es por lo anteriormente mencionado que es menester plantear una estrategia, que involucre a los diversos actores de la comunidad mediante planes educativos y de preservación, que busquen mantener, recuperar y conservar la calidad de las aguas superficiales de la microcuenca del río Bijagua.

4.1.4 Propuesta de Plan estratégico para el mantenimiento, mejoramiento y la conservación de la calidad del agua superficial de la microcuenca del río Bijagua

Para poder desarrollar las estrategias que se proponen, tomando en cuenta las perspectivas social y ambiental, se propone inicialmente la creación de una Comisión de Gestión, que tenga representación de todos los actores sociales relacionados a la gestión y manejo ambiental de la comunidad, para lograr un control y administración responsable de todos los recursos naturales de la zona, por medio de la gestión de las aguas superficiales. Idealmente, debería de haber representación de la ASADA, Asociación de Desarrollo, Municipalidad de Upala, MINAE, participantes del Programa Bandera Azul, grupos religiosos, Instituciones educativas, grupos juveniles, miembros del comercio local, vecinos y dueños de fincas, hoteles y restaurantes de la zona de Bijagua.

La conformación de la comisión se propone de la siguiente forma:

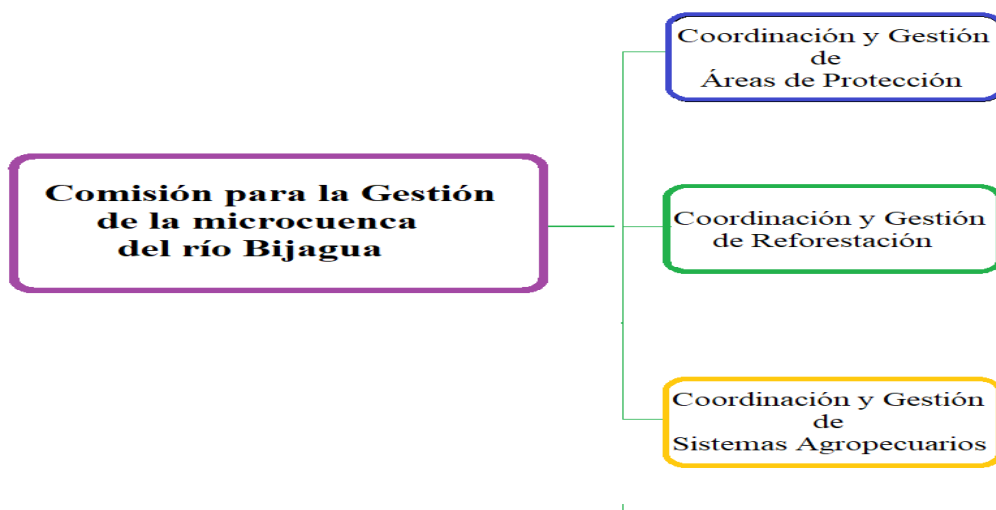


Figura 11. Áreas de gestión involucradas en la propuesta para la formación de una Comisión de Gestión de la microcuenca del río Bijagua, Bijagua, Upala. *Elaboración propia.*

Misión de la Comisión de Gestión de la microcuenca río Bijagua

Fomentar la participación de grupos sociales responsables que busquen favorecer en la comunidad el conocimiento y la sensibilidad sobre de la importancia y el valor de la conservación de los ambientes naturales de la microcuenca del río Bijagua, ayudando al mismo tiempo a promover un desarrollo socioeconómico del pueblo, que mejore la calidad de vida de todos, mediante el impulso de alternativas amigables con el ambiente.

Visión de la Comisión de Gestión de la microcuenca río Bijagua

Servir como modelo de gestión para la región, reflejando la importancia de la participación ciudadana y el apoyo institucional, para la conservación y la recuperación de la microcuenca del río Bijagua, contribuyendo al mejoramiento de los servicios ambientales y al bienestar de la comunidad.

Objetivo General

Promover la protección, conservación y recuperación del recurso hídrico, logrando una coordinación efectiva entre la comunidad y otros entes participantes, que posibilite la gestión y manejo de los recursos naturales de la microcuenca del río Bijagua.

Objetivos Específicos

- Fomentar la participación de los pobladores de la comunidad de Bijagua en los procesos de gestión socioambientales y productivas, para el mejoramiento de la calidad de vida.
- Incentivar la capacidad de gestión de los grupos comunales comprometidos en el manejo y conservación del recurso hídrico en la comunidad de Bijagua.
- Alentar a los pequeños productores agropecuarios para la utilización de metodologías que les permitan el uso y gestión sostenible de los recursos.

4.1.4.1 Gestión de Áreas de protección

El enfoque de esta área de gestión sería promover el manejo, conservación y la recuperación de las áreas de protección circundantes a la microcuenca que, según el artículo 33 de la Ley Forestal de Costa Rica, estarían conformadas en nuestro caso por un radio de 100 m alrededor de las nacientes permanentes y franjas de 15 m a ambos lados del río Bijagua y sus quebradas contribuyentes (SCIJ, 2021). Coordinando con instituciones públicas se pueden programar distintas actividades que permitan a la comunidad reducir el impacto del establecimiento tan cercano, a algunos de los cursos de agua, por parte de varias edificaciones.

Actividades que podrían ser desarrolladas por la Comisión de Gestión

- Desarrollo de talleres de información y capacitación sobre la importancia y los beneficios de proteger y conservar los recursos hídricos de la comunidad de Bijagua.

- Implementar proyectos de educación ambiental dirigidos a los estudiantes de las escuelas y colegio de Bijagua, así como a grupos comunales organizados.
- Instruir a la comunidad de Bijagua, así como a los sectores productivos del pueblo, en el manejo sostenible de la microcuenca.
- Controlar y reducir los principales contaminantes de las fuentes superficiales de agua, especialmente desechos sólidos y aguas residuales domésticas, que podrían estar contribuyendo al deterioro de la calidad del agua en algunos sectores de la microcuenca.
- Sembrar especies forestales nativas creando áreas de amortiguamiento en las franjas de protección del río y las quebradas en los sitios que aún no han sido invadidos, contribuyendo a la inmovilización de sedimentos y reducción de la escorrentía superficial.
- Capacitación a los pequeños y medianos productores del distrito sobre el uso de compuestos orgánicos y prácticas alternativas, para el control biológico de plagas y fertilización de cultivos.
- Establecer programas de monitoreo de calidad del agua que involucre a los jóvenes y niños del sector, para generar capacidad de la comunidad en regular y proteger su recurso hídrico.

4.1.4.2 Gestión de Reforestación

El fin de esta área de gestión es el aumento de la cobertura vegetal y la recuperación de bosques de galería que en muchas de las riberas se perdieron por el impacto del huracán Otto en 2016. Se pretende la transformación y regeneración gradual de áreas de pastizales y suelos desnudos en franjas de bosque que contribuyan a la regulación ambiental y la protección del recurso hídrico, reflejándose en la biodiversidad de la de macroinvertebrados de la microcuenca y con ello en la calidad del agua de esta.

Actividades a desarrollar por la Comisión de Gestión

- Desarrollar, juntamente con el MINAE, una lista de especies nativas de la zona para ser utilizadas en los proyectos de reforestación de las riberas de la microcuenca del río Bijagua.
- Establecer viveros forestales comunales que faciliten y fortalezcan la gestión de los recursos forestales, favoreciendo el desarrollo y la adquisición de los individuos de las diferentes especies que serán utilizados y distribuidos para la reforestación de las riberas de los cauces de agua.
- Incentivar e incorporar a la comunidad de Bijagua en el desarrollo y manejo de las franjas vegetales en las riberas del río y las quebradas de la microcuenca.
- Capacitar a los grupos comunales sobre técnicas de protección y conservación de los recursos naturales de la zona.
- Iniciar la construcción de senderos ecológicos que faciliten el acceso y conocimiento de la microcuenca del río Bijagua, con el fin de conservar y mejorar las condiciones naturales y la biodiversidad del sitio.
- Desarrollar un plan de ecoturismo educativo, en las zonas media y baja de la microcuenca, fomentando la creación de áreas recreativas para la comunidad y el turismo ecológico enfocado en la conservación del recurso hídrico de la zona, contribuyendo a la vez, a la generación de ingresos para la comunidad.
- Establecer programas de investigación y aprendizaje que involucren a diferentes sectores educativos, estableciendo proyectos y metodologías para la conservación de los ecosistemas asociados a la microcuenca del río Bijagua.
- Crear campañas informativas que insten a investigadores, profesores, estudiantes y a la comunidad en general, a implementar o formar parte de los proyectos, que promuevan la protección, recuperación y generen información importante de la microcuenca. Los temas por tratar para educación ambiental pueden enfocarse en:
 - Desarrollo e implementación de viveros,
 - Reforestación y reducción del consumo de materiales no biodegradables,
 - Bioindicadores de la calidad del agua,

- Sistemas de biorremediación, entre otros relacionados.

4.1.4.3 Gestión de Sistemas Agropecuarios

Se propone como fin implementar la aplicación de prácticas amigables con el ambiente a los desarrollos del agro y pecuarios de la zona de Bijagua, especialmente en la parte alta y media de la microcuenca, para preservar el recurso hídrico desde sus fuentes.

Actividades por desarrollar por la Comisión de Gestión

- Desarrollar, en conjunto con la Municipalidad de Upala, Asociación de Desarrollo Bijagua, ASADA Bijagua, instituciones educativas del distrito, instituciones de educación superior que deseen colaborar, dueños de fincas productoras, comercio local y comunidad en general, capacitaciones que posibiliten e instruyan en la aplicación de metodologías productivas, que puedan resultar más efectivos y menos nocivas para el ambiente.
- Las capacitaciones deben estar a cargo de profesionales especializados en producción limpia, e idealmente, deberían abarcarse temas tales como:
 - Agricultura sostenible
 - Conservación de suelos
 - Protección de fuentes de agua
 - Técnicas adecuadas de siembra
 - Elección de cultivos nativos
 - Rotación de cultivos
 - ¿Cómo cultivar incrementando la fertilidad del suelo?
 - Uso adecuado de plaguicidas y fertilizantes orgánicos
 - Salud Animal
 - Uso adecuado de medicamentos para el ganado
 - Prevención de enfermedades en animales de granja
 - Producción orgánica de leche

- Manejo adecuado de desechos pecuarios
- Incorporación de especies arbóreas nativas distribuidas a lo largo de las pasturas existentes.
- Instrucción a los dueños de propiedades en las cercanías de la microcuenca, en el uso de barreras vivas conformadas por especies arbóreas y arbustivas, con el fin de prevenir procesos erosivos y desplazamiento de sustancias contaminantes.
- Diseñar circuitos de turismo rural comunitario que ayuden al fortalecimiento de la producción sostenible en la microcuenca del río Bijagua.

4.1.5 Plan de Biomonitorio

Adicionalmente, se plantea el desarrollo de un plan de biomonitorio que, como lo menciona Springer (2010), esté basado en muestreos periódicos, de sugerencia inicial cada seis meses, con el fin de controlar la calidad de las aguas superficiales de la microcuenca río Bijagua.

Objetivo

Implementar un plan de monitoreo periódico para determinar la clasificación de la calidad de las aguas superficiales de la microcuenca del río Bijagua y promover acciones enfocadas a obtener una reducción progresiva de los niveles de contaminación de las mismas.

Meta

Contar con información más uniforme y de forma periódica, aplicando análisis biológicos y fisicoquímicos, que permitan su comparabilidad.

Parámetros fisicoquímicos y biológicos

Para la determinación biológica de la calidad de las aguas superficiales de la microcuenca, se prevé que, según lo que establece el Capítulo V del Reglamento para la Evaluación y clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, del Decreto N° 33903-MINAE-S, (La Gaceta, 2007), se realizará utilizando a los macroinvertebrados bentónicos como indicadores. Además, se medirá la presencia de coliformes fecales mediante el método de los ceros de Poisson o el número más probable (NMP) por cada 100ml de muestra.

En la determinación de los parámetros fisicoquímicos se tomarán en consideración aquellos señalados en el Artículo 4° y 5° del Capítulo II del mismo reglamento citado en el párrafo anterior, los cuales son porcentaje de saturación de oxígeno (%SO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y nitrógeno amoniacal (N-Amoniacal). Además, se sugiere como complementarios, medir fosfatos totales y los compuestos organofosforados y organoclorados.

La finalidad de estas mediciones es lograr evidenciar el factor que está generando un mayor estrés en el medio, y con ello poder plantear medidas de contingencia que aminoren el impacto de cada problemática comprobada. Para la coordinación, desarrollo e implementación de este plan de monitoreo se requiere el establecimiento de un Comité de Trabajo.

Coordinación

La Coordinación del Comité de Trabajo y de la implementación del Plan de biomonitoreo estará a cargo de la Comisión para la Gestión de la Microcuenca del río Bijagua.

Comité de Trabajo

Este comité estará conformado por las partes, distritales y cantonales, involucradas en el control y monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua presentes en Bijagua, dentro de las que podemos contar:

- MINAE,
- ASADA Bijagua,

- Asociación de Desarrollo Comunal,
- Municipalidad de Upala,
- así como otros actores claves que se identifiquen durante la marcha.

El Comité de Trabajo estará encargado de:

- Elaborar el Programa de Monitoreo de la Calidad del agua de la Microcuenca del río Bijagua, y mantenerlo actualizado.
- Implementar la puesta en marcha del Programa de Monitoreo.
- Formular las recomendaciones técnicas requeridas, dependiendo de los resultados obtenidos mediante los monitoreos implementados.

Posibles acciones para implementar

- Inventariar las descargas de aguas residuales que se desfogan en el cauce del río Bijagua y en las quebradas contribuyentes. Esto permitirá evidenciar los aportes puntuales e identificar las prioridades de intervención según sea el caso.
- Verificar la existencia de tanques sépticos en las viviendas ya establecidas y velar porque las nuevas construcciones cumplan con este requisito.
- Establecer un sistema tratamiento de aguas residuales domésticas que capte las aguas de las viviendas que no cuenten con tanques sépticos.
- Desarrollar estrategias conjuntas a mediano y largo plazo para implementar un sistema de alcantarillado sanitario en la parte central del distrito de Bijagua.
- Concientizar a la comunidad y dueños de fincas para que favorezcan la prevención y control de la contaminación de los cuerpos de agua superficial, contribuyendo en la conformación de programas de educación ambiental y agroambiental.

5 CONCLUSIONES

- La mayor riqueza y abundancia de macroinvertebrados se registró en la parte baja de la microcuenca, debido probablemente a que las condiciones ecológicas del sitio han ayudado a la recuperación del ecosistema acuático y generado una mayor disponibilidad de microhábitats para colonizar.
- El índice BMWP'CR suministró la obtención de información relativamente rápida y acertada sobre el estado del ecosistema de la microcuenca del río Bijagua y los factores que lo están perturbando, y dada su facilidad de aplicación a los resultados de un muestreo, puede ser utilizado para un programa de monitoreos periódicos de la calidad del agua en la microcuenca, debido a su interpretación clara y sencilla.
- Los caseríos de la comunidad de Bijagua están ejerciendo efectos negativos en la calidad del agua y con ello a la salud del ecosistema acuático de la microcuenca del río Bijagua. Es evidente que la calidad del agua tuvo alteraciones importantes debido al uso de suelo, evidenciando que el daño a los ecosistemas acuáticos de esta microcuenca tiene un efecto antrópico, por cercanía con las viviendas, siendo los caseríos cercanos el factor principal que influencia la vulnerabilidad del recurso.
- Las zonas de pastizales no están afectando negativamente la calidad del agua en los puntos muestreados de la microcuenca, mientras que las zonas boscosas ejercen efectos positivos al generar mayor cantidad de recursos alimenticios por los aportes de la vegetación de ribera.
- Esta investigación sirve para ratificar la importancia de la vegetación ribericina para lograr el establecimiento de las comunidades de macroinvertebrados en los ecosistemas acuáticos.

- Para poder asegurar la sostenibilidad de las aguas superficiales, es necesario incrementar el desarrollo de investigaciones de este tipo, que promuevan opciones viables y convenientes a la condición de la comunidad de Bijagua, y además, aplicables a otras comunidades, pudiendo constituirse en una importante herramienta para el monitoreo hacia una necesaria transformación positiva.
- De los intereses y posibilidades de las personas asociadas a la dinámica de la microcuenca río Bijagua van a depender los niveles de intervención que puedan implementarse en los diferentes sectores del cauce, así como las consideraciones de manejo que puedan darse sobre el mismo.
- Es vital hacer partícipe a la ciudadanía, y a los actores locales, de los proyectos y actividades que se establezcan para la recuperación de los sectores de la microcuenca que están presentando contaminación. El empoderamiento por parte de ellos de estas iniciativas puede constituirse en una garantía para lograr la sostenibilidad de la restauración de la microcuenca del río Bijagua.
- Considero que todos estos procesos investigativos deberían de respaldarse además de labores educativas en el ámbito ambiental y también el sanitario, que faciliten a las comunidades fortalecerse y apropiarse de los conocimientos desarrollados en las investigaciones.
- Este estudio permite contar con una base de información de la biodiversidad acuática de macroinvertebrados en Bijagua, que permitirá fundamentar próximos estudios en toda la región que posibiliten una ampliación de la protección y monitoreo de las cuencas del cantón de Upala.

- Es importante que este tipo de proyectos se incluyan dentro de los planes de gestión ambiental municipal como una iniciativa que busque la restauración ecológica fluvial, y es necesario darle un abordaje más periódico de seguimiento y monitoreo que permitan detectar los posibles cambios de una forma oportuna y poder así implementar las acciones correspondientes.

- Es necesario difundir y exponer estos resultados tanto al pueblo de Bijagua como a las comunidades aledañas y a los actores involucrados, para poder gestionar la puesta en práctica de las estrategias y planes de acciones, buscando el mejoramiento de la microcuenca.

6 RECOMENDACIONES

- Impulsar la realización de más diagnósticos de calidad de agua, tomando en cuenta otros sitios de la microcuenca que proporcionen conocimiento técnico y operativo para el funcionamiento de la ASADA, con el fin de facilitar información que pueda utilizarse para la creación de proyectos que satisfagan la creciente demanda y prevean el crecimiento urbano de la comunidad.
- Se recomienda implementar un programa de monitoreo periódico de la microcuenca del río Bijagua, que incluso podría extenderse a la cuenca del río Zapote, donde se aplique esta metodología, que pueda permitir tanto a la ASADA como al gobierno Municipal de Upala, comparar estaciones de monitoreo y tomar decisiones adecuadas que puedan ayudar a la protección de los cursos de agua de la región.
- Promover la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como herramienta para evaluar la calidad del agua, debido a su simplicidad por el nivel taxonómico requerido (orden-familia), ahorro de tiempo y mejor utilización de los recursos económicos disponibles para la gestión de los recursos hídricos, intentando además incorporar en estos estudios a las instituciones de educación superior de la región.
- Dar continuidad a esta investigación, implementando biomonitoreos estacionales a la microcuenca del río Bijagua, tomando en cuenta sus particularidades climáticas a lo largo del año y los patrones de precipitación, para así, conocer la variación de la calidad del agua y la presencia y distribución de los macroinvertebrados acuáticos.
- Incorporar a las investigaciones posteriores, que se efectúen en la microcuenca, estudios fisicoquímicos, orgánicos y biológicos con mayores repeticiones, que aporten más información para que pueda ser comparada con los parámetros y lineamientos ya definidos en el Reglamento Número 33903 MINAE-S.

- Favorecer la regeneración natural e incrementar las zonas riparias con especies nativas que provean mayor estabilidad y protección del suelo y agua, y permitan una fuente de adicional de ingresos a los propietarios y a la comunidad en general, al incrementar los espacios sociales y turísticos del distrito de Bijagua.
- Es necesario hacer un recorrido por el río Bijagua y sus diferentes contribuyentes, para lograr la identificación y mapeo de los puntos donde existan descargas que podrían estar aportando cargas contaminantes en la microcuenca. Una vez lograda esta identificación, coordinar acciones prioritarias que neutralicen o al menos minimicen los efectos adversos al ecosistema acuático.
- Observar y acatar lo que establece la ley forestal de nuestro país en el artículo 33, que declara área de protección una franja de 15 metros en la zona rural a ambos lados de las riberas de ríos, quebradas o arroyos, en terreno plano; y 50 metros en terreno quebrado.
- La participación de la comunidad en las acciones para la conservación de la microcuenca es muy importante, dado que son ellos los que deben tener claro el impacto que sus acciones tienen sobre la calidad de las aguas y tomar medidas para disminuir los efectos negativos. Por lo anterior se recomienda a la ASADA Bijagua socializar a la comunidad los resultados generados en este y eventuales informes posteriores.
- Es necesario que el gobierno municipal, la ASADA y asociación de Desarrollo de Bijagua, y otros grupos comunales, coordinen acciones para promover el apoyo, la gestión e implementación de las propuestas para el manejo sostenible de la microcuenca del río Bijagua.

7 BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, S.; Pérez, L. (2007). Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras. (Tesis de Grado). Zamorano. 69p. Obtenido desde: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/524/1/IAD-2007-T001.pdf>
- ARCGIS. (2021). Índice de Hojas Cartográficas 1:50000 Costa Rica: Hoja Miravalles. Obtenido desde: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=8ab80fcc12104e1ba1028202a0a8774f>
- Arce, O., Herbas, R., Rivero, F., & Gonzales, A. (2006). Indicadores biológicos de calidad del agua. Obtenido desde: https://www.academia.edu/30048592/INDICADORES_BIOLOGICOS_DE_CALIDAD_DEL_AGUA
- Astorga, A. y Arias, M. E. (2003). Mapa de geoaptitud hidrogeológica de Costa Rica: Implicaciones respecto a la gestión ambiental del desarrollo. Revista Geológica de América Central, 29, 95-101. Obtenido desde: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/7778/7433>
- Auquilla, R. (2005). Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la Subcuenca del Río Jabonal, Costa Rica (Tesis de Maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Betrano. (2016). Estado de la Nación. Armonía con la Naturaleza. Obtenido de www.estadonacion.or.cr/22/
- Brenes, A. (2002). Comité Regional de Recursos Hidráulicos/Comité Nacional de Meteorología e Hidrología. Punto Focal RIRH. Costa Rica. MINAE. 95p.
- Briñez, A., Karol, J., Guarnizo, G., Juliana, C., y Arias, V. S. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolim. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 175-182. Obtenido desde: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2012000200006
- Brutti, L.; Beltrán, M. y Salamone, I. (2018). Biorremediación de los Recursos Naturales. Inta, Ediciones. Ministerio de Agroindustria de la nación. Argentina. 521p. Obtenido desde: https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_biorremediacion_de_los_recursos_naturales_1.pdf
- Buenadicha, C.; Cañigual, A. y De León, I. (2017). Retos y posibilidades de la economía colaborativa en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo, BID. 64p. Obtenido desde: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Retos-y-posibilidades-de-la-econom%C3%ADa-colaborativa-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>

- CADETI, C. A. (2004). Programa de Acción Nacional de lucha contra la degradación de tierras/CADETI - 2 ed. Obtenido desde: <http://biologia.ucr.ac.cr/profesores/Garcia%20Jaime/SUELO/PROGRAMA%20LUCHA%20CONTRA%20DEGRADACION%20DE%20TIERRAS-RESUMEN%20EJECUTIVO.pdf>
- 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. Universitat de Barcelona. 70p. Obtenido desde: <https://core.ac.uk/download/pdf/16207073.pdf>
- Castro, G. (2000). La crisis ambiental y las tareas de la historia en América Latina. Papeles de población, 6(24), 37-60. Obtenido desde: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252000000200003&lng=es&tlng=es.
- Castro, S. (2004). Del Conflicto a la cogestión del agua en la microcuenca del Río Nimboyores, Guanacaste, Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. 206p. Obtenidos desde: <http://repositorio.conicit.go.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/341/TEISIS%20Castro%20Chacon%20Sonia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cedeño, A. y Quinteros, E. (2016). Determinación de la calidad del agua mediante la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la subcuenca del río Carrizal. (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador.
- CEDEX. (s.f.). La escasez de Agua a Nivel Mundial. Hispagua: Sistema Español de Información sobre el agua. Obtenido desde <http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/especiales/escasez/index.html>
- Cortés, J. (s.f.). El Agua en el Mundo: Cooperación y Conflicto. Observatori Solidaritat, Fundació Solidaritat. Universidad de Barcelona. Obtenido desde: <http://www.solidaritat.ub.edu/observatori/esp/itinerarios/agua/agua.htm>
- Coto, Daniel. (1998). Estados inmaduros de insectos de los órdenes Coleoptera, Diptera y Lepidoptera: manual de reconocimiento. CATIE, Turrialba. Costa Rica. 153p.
- Da Silva, J. G. (20 de 01 de 2017). Foro Global para la Alimentación y Agricultura. Berlín.
- Delgado, O y Córdoba, G. (2012). Informe comunidades fronterizas: Upala. Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. Dirección de vivienda y Asentamientos humanos.45p. Obtenido desde: https://www.mivah.go.cr/Documentos/investigaciones_diagnosticos/diagnosticos_planes_intervencion/2012/UPALA_ALAJUELA/MODELO_PLAN_INTERVENCION_UPALA_FRONTERA.pdf

- Flowers, R.W.; De La Rosa, C. (2010). Ephemeroptera. *Revista Biología Tropical*, Vol. 58, (Suppl. 4): 63-93. Obtenido desde: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=0034-774420100008
- Gil, J. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa (Tesis de Maestría). Universidad de Manizales, Colombia.
- Google. (s.f.). [Mapa de Bijagua, Costa Rica en Google maps]. Obtenido desde: <https://www.google.es/maps/place/Provincia+de+Alajuela,+Bijagua/@10.7289076,-85.057924,2812m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8f7551b21d8311b5:0x672cb68aacde9e44!8m2!3d10.7312909!4d-85.0584152>
- Guerrero, N. (2016). Evaluación del uso de suelo y su influencia actual en la calidad del agua de la microcuenca “El Sapanal” cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, Ecuador. (Tesis en Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas). Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- Gutiérrez-Fonseca, P. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleoptera en El Salvador. Universidad de El Salvador- OEA. 64p. Obtenido desde: <https://www.semanticscholar.org/paper/Gu%C3%ADa-ilustrada-para-el-estudio-ecol%C3%B3gico-y-de-los-Guti%C3%A9rrez-Fonseca/6393b42df443632ef3f95e37735419a5d858b7b9>
- Gutiérrez-Fonseca, P. (2010). Plecoptera. *Revista Biología Tropical*, Vol. 58, (Suppl. 4): 139-148. Obtenido desde: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=0034-774420100008
- Hanson, P.; Springer, M.; Ramírez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista Biología Tropical*, Vol. 58, (Suppl. 4): 3-37. Obtenido desde: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=0034-774420100008
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista P. (2014). Metodología de la Investigación. 6ta Edición, Mc Graw Hill. 634p. Obtenido desde: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Historias Earth. (2012). Insectos pueden ayudar a comunidades a monitorear calidad del agua. Universidad Earth. Obtenido desde: <https://www.earth.ac.cr/es/feature/insectos-pueden-ayudar-a-comunidades-a-monitorear-calidad-del-agua/>
- Huamán, D. (2011). Fuentes de información: Curso: Módulo 1. Fuentes de información. Organización Panamericana de la Salud. 43p. Obtenido desde: http://bvspcr.paho.org/videosdigitales/matedu/cam2011/Fuentes_informacion.pdf?ua=1

- Jiménez, F. (2008). Introducción al manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Documento del curso Manejo y gestión integral de cuencas hidrográficas I, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 35 p. Obtenido desde: http://r1.ufrrj.br/lmbh/pdf/Outras%20publicacoes/cursos_de_manejo_de_bacias_2008.pdf
- Kuzdas *et al.* (2012). Evaluación de Sostenibilidad del Sistema Hídrico Regional y el Manejo de Agua en las Sub-Cuencas Potrero, Caimital, y Nosara Alta. Comisión para el Manejo de las Sub-Cuencas Potrero-Caimital. Costa Rica. 29p. Obtenido desde: https://www.researchgate.net/profile/Raffaele_Vignola/publication/269392368_La_gobernanza_sostenible_de_agua_en_Guanacaste_Los_escenarios_futuros_y_las_estrategias/links/57f4193108ae8da3ce5381f0/La-gobernanza-sostenible-de-agua-en-Guanacaste-Los-escenarios-futuros-y-las-estrategias.pdf
- La Gaceta. (2007). Decreto N° 33903-MINAE-S septiembre del 2007. La Gaceta electrónica, N°178. Imprenta nacional. La Uruca. San José. Costa Rica. 18p. Obtenido desde: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/de-33903reglamento_evaluacion_clasificacion_cuerpos_de_agua_0.pdf
- Mafla, M. (2005). Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en ríos de Tamaño Mediano, Talamanca, Costa Rica. CATIE. 88p.
- Maranto, M; González, M. (2015). Fuentes de Información. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Sistema de Universidad Virtual. Obtenido desde: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/16700/LECT132.pdf>
- Martínez, N. (2010). Macroinvertebrados acuáticos como sistema de evaluación de contaminación del balneario Hurtado, río Guatapurí, Valledupar cesar. Bucaramanga Santander. Obtenido desde: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13864/2018nicolasmartinezalvarozequeira.pdf?sequence=1>
- Martínez, Y. & Villalejo, V. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 39(1), 58-72. Obtenido desde: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000100005
- Mauad, M. (2013). Comparación y aplicabilidad de índices bióticos para evaluar calidad de aguas en ambientes lóticos del Parque Nacional Nahuel Huapi. (Tesis Doctorado). Universidad Nacional de La Plata. 164p. Obtenido desde: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34837/Documento_completo_.pdf?sequence=5&isAllowed=y#:~:text=Los%20%C3%8Dndices%20Bi%C3%B3ticos%20se%20basan,para%20evaluar%20la%20calidad%20ambiental

- Mejívar, R. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Diptera en El Salvador. Universidad de El Salvador-OEA. 51p. Obtenido desde: <https://www.semanticscholar.org/paper/Gu%C3%ADa-ilustrada-para-el-estudio-ecol%C3%B3gico-y-de-los-Rosa-Antonio/1c01cb37257372ca8a43a8c85f870e0f24c74e5d>
- Merritt, R.W.; Cummins, K.W. y Berg, M.B. (2008). An introduction to the aquatic insects of North America. Dubuque, Kendall/Hunt Publishing Company. 1214p. Obtenido desde: <http://coweeta.uga.edu/publications/221.pdf>
- Miranda, U.; Acosta, Z. (2008). Fuentes de Información para la Recolección de Información Cuantitativa y Cualitativa. 20p. Obtenido desde: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/06/885032/texto-no-2-fuentes-de-informacion.pdf>
- Mora, J. (2018). Uso de macroinvertebrados como método de evaluación de la calidad de agua del río Sálma (Atacames – Ecuador). (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 57p. Obtenido desde: <https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/1639/1/MORA%20RODR%C3%8DGUEZ%20%20JOSELYN%20MICHELLE.pdf>
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T - Manuales y Tesis SEA, 1, 84. Obtenido desde: <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Mosquera, Z. y Mosquera, M. (Enero-Junio, 2017). Diversidad de la entomofauna acuática y Calidad de agua en quebradas del río San Juan, Chocó – Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 149-161. Obtenido desde: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n1/v20n1a17.pdf>
- Muñoz, S., Naranjo, C., Garcés, G., D., G., Musle, Y., y Rodríguez, L. (2003). Evaluación de la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. Revista Chapingo, 9(2), 147-153. Obtenido desde: <https://www.redalyc.org/pdf/629/62913142007.pdf>
- Museo Nacional de Costa Rica. (2018). Hoja Miravalles. Orígenes: Base de datos de Monumentos arqueológicos. Obtenido desde: <http://origenes.museocostarica.go.cr/busquedaMapaDemo.aspx>
- Navarro, J. (23 de junio de 2008). *Cambio Climático.org*. Obtenido de <http://www.cambioclimatico.org/content/recursos-hidricos>
- Navarro, K; Monge, Y. (2021). 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. 160p. Obtenido desde: https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/18896/Tesis%20Licenciatura_Manejo%20de%20Recursos%20Naturales_Yanory%20Monge%20y%20Kassandra%20Navarro.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Navegación GPS. (2021). GPS Route Finder. Google play apps.
- Pacheco, B. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Hemiptera en El Salvador. Universidad de El Salvador- OEA. 50p. Obtenido desde: [http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9093/1/GUIA%20HEMIPTERA%20ACUATICOS%20EL%20SALVADOR%20\(4.1MB\).pdf](http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9093/1/GUIA%20HEMIPTERA%20ACUATICOS%20EL%20SALVADOR%20(4.1MB).pdf)
- Pavón, Y., & Rocha, J. (2015). Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando indicadores biológicos en la subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo, en el año hidrológico 2010-201. (Tesis de Ingeniera en Recursos Naturales Renovables). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Peralta, L., Deloya, C., & Moreno, P. (2007). Insectos acuáticos asociados a lagos interdunarios de la región central del Estado de Veracruz, México. *Neotropical Entomology*, (June), 342–355. Obtenido desde: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:InsectosAcuaticosAsociadosalosLagosInterdunariosde laRegionCentraldelEstadodeVeracruz,Mexico1>
- Ramírez, A. (2010). Coleoptera. *Revista Biología Tropical*, Vol. 58, (Supl. 4): 97-136. Obtenido desde: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=0034-774420100008
- Reyes, E. (2012). Uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua en la cuenca del lago Atitlán, Guatemala (Tesis de maestría). Universidad de Costa Rica.
- Roldán, G. (1996). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Colombia. 217p.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Medellín: Universidad de Medellín. Obtenido desde: https://books.google.co.cr/books?id=ZEjgIKZTF2UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Sabino, C. (1994). Como hacer una tesis. Panamericana, Bogotá. 240p. Obtenido desde: http://www.catedranaranja.com.ar/taller5/notas_T5/Como_hacer_una%20tesis-Sabino.pdf
- SCIJ. (2021). Ley Forestal. Sistema Costarricense de Información Jurídica. Procuraduría General de la República. Obtenido desde: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=41661
- SNIT. (2021). Hoja Miravalles. Sistema Nacional de Información Territorial. Obtenido desde: <https://www.snitcr.go.cr/Visor/index>

- Solanes, M. y González-Villareal, F. (1999). The Dublin Principles for Water as Reflected in a Comparative Assessment of Institutional and Legal Arrangements for Integrated Water Resources Management. Serie de documentos del CTA de la Global Water Partnership. Número 3. Estocolmo, Suecia. 48 p. Obtenido desde: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/03-the-dublin-principles-for-water-as-reflected-in-a-comparative-assessment-of-institutional-and-legal-arrangements-for-iwrm-1999.pdf>
- Springer, M. (2006). Trichoptera. Revista Biología Tropical, Vol. 54, (Suppl. 1): 273-286. Obtenido desde: <https://tropicalstudies.org/rbt/attachments/suppls/sup54-1%20EACR%20IV/Springer%20M%20-%20Clave%20taxonomica%20Trichoptera.pdf>
- Springer, M. (2010). Trichoptera. Revista Biología Tropical, Vol. 58, (Suppl. 4): 151-198. Obtenido desde: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=0034-774420100008
- Stein, L. G. (1982). Las Fuentes Secundarias. Escuela de Trabajo Social. Universidad de Costa Rica. Obtenido desde <http://www.ts.ucr.ac.cr/binarios/docente/pd-000169.pdf>
- Tamayo y Tamayo, M. (2007). El proceso de la investigación científica. (4ª). México: Editores LIMUSA.
- The Global Risk Report. (2016). World Economic Forum, 13-14p. Obtenido desde: <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2016>
- UNESCO. (2019). Agua para todos, Agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Obtenido desde: <https://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>
- UNESCO. (2021). El agua, fuente de empleo y crecimiento económico, según nuevo informe de las Naciones Unidas. Obtenido desde: <https://es.unesco.org/news/agua-fuente-empleo-y-crecimiento-economico-segun-nuevo-informe-naciones-unidas>
- WWAP. (2016). Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos 2016: Agua y Empleo. París, UNESCO. Obtenido desde: <https://www.quard.org/water-crisis/external-publications/2016-un-world-water-development-report-water-and-jobs-unesco.org/images/0024/002439/243938e.pdf>
- Valverde, R. (2013). Disponibilidad, distribución, calidad y perspectivas del agua en Costa Rica. Revista De Ciencias Ambientales, 45(1), 5-12. Obtenido desde: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/7291>
- Veas, N. (2011). Gestión del agua para consumo humano en la microcuenca del río Purires, Costa Rica. (Tesis Magister Scientiae en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.

Vega, J. (2004). Evaluación de la calidad de agua del Río Yeguaré mediante el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos. (Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente). Zamorano. Honduras.

8 ANEXOS

Anexo 1: ACTA DEL PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN**ACTA (CHARTER) DEL PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN (PFG)**

Nombre y apellidos: Rebeca Alejandra Gómez Gómez

Lugar de residencia: Canalete, Upala, Alajuela.

Institución: Universidad Técnica Nacional (UTN)

Cargo / puesto: Docente

Información principal y autorización del PFG	
Fecha: 22 de julio de 2021	Nombre del proyecto: Evaluación de la calidad biológica del agua superficial utilizando Macroinvertebrados acuáticos para la Gestión de la microcuenca del Río Bijagua, Upala, Costa Rica.
Fecha de inicio del proyecto: Agosto/ 2021	Fecha tentativa de finalización: 15 noviembre 2021
Tipo de PFG: Tesina	
Objetivos del proyecto: Objetivo General Evaluar la calidad del agua de la microcuenca del Río Bijagua (Upala) mediante el estudio de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos como línea base para el uso y manejo integrado por parte de la ASADA de la zona. Objetivos Específicos 1. Evaluar la riqueza, abundancia y composición de géneros y familias de macroinvertebrados acuáticos en distintos puntos de muestreo de la microcuenca del Río Bijagua (Upala).	

2. Determinar los usos de la tierra y las posibles fuentes de contaminación de la calidad del agua superficial de la microcuenca del Río Bijagua.
3. Desarrollar un plan estratégico para el mantenimiento, mejoramiento y la conservación de la calidad del agua superficial.

Descripción del producto:

A través de esta investigación se pretende generar un insumo que conlleve a la ASADA y la comunidad a promover acciones para la conservación de sus fuentes de agua ubicadas en una zona rural de recarga acuífera, esto mediante el análisis del estado actual de la calidad del agua del río Bijagua utilizando macroinvertebrados acuáticos.

Necesidad del proyecto:

Consideramos que, el monitoreo de la microcuenca del río Bijagua, a través de los macroinvertebrados acuáticos, puede generar información válida para conocer el grado de contaminación o conservación presente en el sitio. Se propone el biomonitoreo debido a su bajo costo y accesibilidad, permitiendo repetirse con cierta regularidad, generando una base de datos que le provee información regular y constante, tanto a la ASADA como a la comunidad en general sobre los cambios, disponibilidad y comportamiento del recurso hídrico. Además, se generará un precedente para el desarrollo de programas de protección, conservación, y manejo de las tomas de agua actuales del sistema de acueductos de la ASADA Bijagua, así como de las posibilidades futuras en otros sitios de extracción.



Justificación de impacto del proyecto:

Los métodos biológicos, especialmente el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos de calidad de agua, cada vez se convierten en una alternativa para monitorear el estado ecológico de los ríos y de esta forma determinar los impactos a largo plazo de los procesos de contaminación. Esta es una de las mejores alternativas debido a su sencillo manejo y a que los costos son inferiores a los métodos físicos y químicos. Los macroinvertebrados corresponden a organismos que se pueden observar a simple vista sin ayuda de un lente óptico. Su comportamiento ante la contaminación cuenta con amplia investigación, lo que da la posibilidad de generar conclusiones certeras sobre el estado de alteración del ecosistema acuático.

El río Bijagua se ubica dentro de una zona de recarga acuífera y para el distrito de Bijagua, los tributarios de este río constituyen una gran riqueza y potencial hídrico, siendo de gran importancia para el consumo humano, riego de cultivos, aguar el ganado, incluso para el turismo. Por todo esto, se hace necesario realizar una evaluación biológica y espacial del agua de la microcuenca del Río Bijagua. Los resultados permitirán elaborar un diagnóstico sobre el entorno ambiental y la calidad del agua, que podrá ser utilizado por la ASADA Bijagua y todos los actores que intervienen en la gestión integral de la microcuenca, lo que ayudará a la toma de decisiones para realizar acciones concretas referidas a la conservación, protección y manejo del recurso hídrico, así como también, hacer un uso adecuado del agua por parte de todos los usuarios de la microcuenca.

Restricciones:

Posibles crecidas del río y sus contribuyentes debido a que el muestreo se realizará durante la época lluviosa y en unos de los meses de alta precipitación en la zona norte.

Inconvenientes con los propietarios por el ingreso a propiedades.	
Entregables: <ul style="list-style-type: none">• Documento Final PFG.• Esquematización de un plan estratégico para el mantenimiento, mejoramiento y la conservación de la calidad del agua superficial del río Bijagua.	
Identificación de grupos de interés: Cliente directo: ASADA Bijagua. Cliente(s) indirecto(s): Comunidades beneficiarias de la ASADA, propietarios de sitios aledaños al curso del río Bijagua.	
Aprobado por (Tutor): Msc. Francisco Quesada Alvarado	Firma: 
Estudiante: Rebeca Alejandra Gómez Gómez	Firma: 

Anexo 2: Cronograma

Cuadro 8. Cronograma de las actividades desarrolladas para la realización de la investigación y documento escrito del Proyecto Final de Graduación (PFG). 2021

Fecha	Actividad
<p align="center">Julio-Agosto 2021</p>	<p>Coordinación con profesor tutor sobre el tema propuesto y los objetivos a desarrollar.</p> <p>Enlace con la ASADA sobre los puntos a muestrear.</p> <p>Visita a las diferentes zonas de muestro para determinar los sitios y los métodos y técnicas aplicables en cada caso.</p>
<p align="center">Agosto 2021</p>	<p>Muestreo de macroinvertebrados en cada uno de los sitios determinados previamente.</p>
<p align="center">Setiembre 2021</p>	<p>Identificación de los especímenes muestreados en los diferentes sitios.</p> <p>Aplicación del índice BMWP-CR.</p> <p>Análisis de los datos e información recopilada</p>
<p align="center">Setiembre-Octubre 2021</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Primer avance del documento escrito. • Segundo avance del documento escrito. • Tercer avance del documento escrito. • Generación de Estrategias para la fortalecer la gestión del recurso hídrico en la microcuenca del río Bijagua.
<p align="center">Noviembre 2021</p>	<p>Entrega documento final</p>
<p align="center">Febrero 2022 en adelante</p>	<p>Coordinar con la ASADA Bijagua para la transmisión de datos y resultados a la ASADA</p>

Anexo 3: Imágenes satelitales del primer punto de muestreo



Figura 12. Imágenes satelitales del primer punto de muestreo ubicado en la parte alta de la microcuenca río Bijagua (Sitio 1). Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021.

Anexo 4: Fotografías muestreo en el Sitio 1.



Figura 13. Muestreo y toma de datos en el Sitio 1. Parte alta de la microcuenca río Bijagua, 28 de Agosto 2021.

Anexo 5: Imágenes satelitales del segundo punto de muestreo.



Figura 14. Imágenes satelitales del segundo punto de muestreo ubicado en la parte media de la microcuenca río Bijagua (Sitio 2). Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021.

Anexo 6: Fotografías muestreo en el Sitio 2.



Figura 15. Muestreo y toma de datos en el Sitio 2. Parte media de la microcuenca río Bijagua, 28 de Agosto 2021.

Anexo 7: Imágenes satelitales del tercer punto de muestreo.



Figura 16. Imágenes satelitales del tercer punto de muestreo ubicado en la parte alta quebrada “Horqueta de la Quesera”, contribuyente de la microcuenca río Bijagua (Sitio 3). Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021.

Anexo 8: Fotografías muestreo en el Sitio 3.



Figura 17. Muestreo y toma de datos en el Sitio 3. Parte alta quebrada “Horqueta de la Quesera”, 28 de Agosto 2021.

Anexo 9: Imágenes satelitales del cuarto punto de muestreo.



Figura 18. Imágenes satelitales del cuarto punto de muestreo ubicado en la parte alta quebrada “Horqueta de Leda”, contribuyente de la microcuenca río Bijagua (Sitio 4). Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021.

Anexo 10: Fotografías muestreo en el Sitio 4.



Figura 19. Muestreo y toma de datos en el Sitio 4. Parte alta quebrada “Horqueta de Leda”, 28 de Agosto 2021.

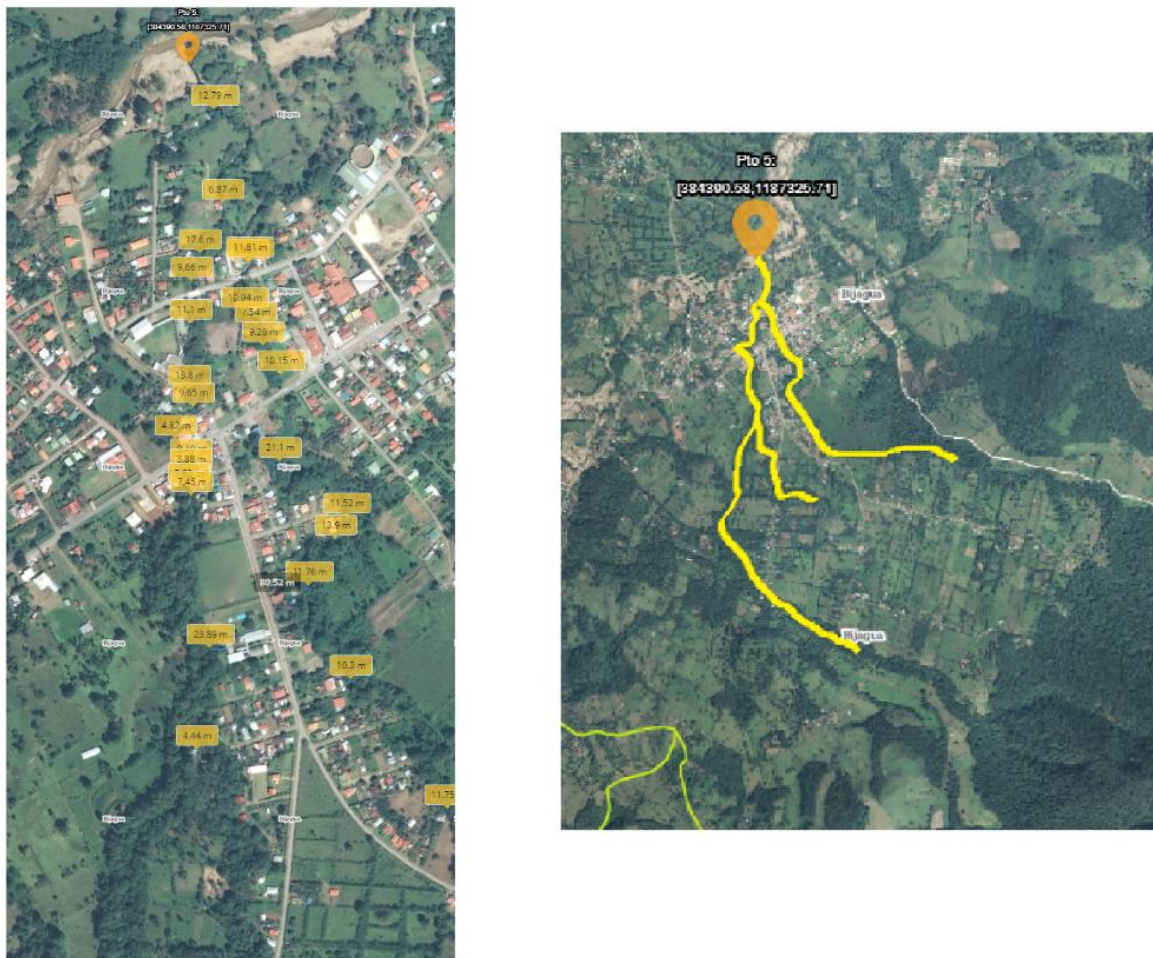
Anexo 11: Imágenes satelitales del quinto punto de muestreo.

Figura 20. Imágenes satelitales del quinto punto de muestreo ubicado en la parte baja quebrada, desfogando en la parte media del río Bijagua (Sitio 5). Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021.

Anexo 12: Fotografías muestreo en el Sitio 5.

Figura 21. Muestreo y toma de datos en el Sitio 5. Parte baja quebrada, desfogando en la parte media del río Bijagua, 28 de Agosto 2021.

Anexo 13: Imágenes satelitales del sexto punto de muestreo.



Figura 22. Imágenes satelitales del sexto punto de muestreo ubicado en la parte baja de la microcuenca río Bijagua (Sitio 6). Elaborado a partir de: Hoja Miravalles, SNIT, 2021.

Anexo 14: Fotografías muestreo en el Sitio 6.



Figura 23. Muestreo y toma de datos en el Sitio 6. Parte baja de la microcuenca río Bijagua, 28 de Agosto 2021.