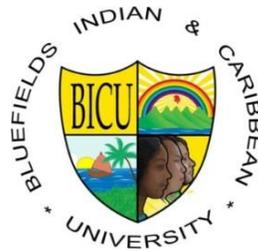


**BLUEFIELDS INDIAN AND CARIBBEAN UNIVERSITY
BICU**



**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE
FARENA**

**ESCUELA DE BIOLOGÍA
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA MARINA**

Monografía para optar al título de Licenciada en Biología Marina

Análisis de las comunidades de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua en tres microcuencas en el Territorio Indígena Rama Kriol

Autora:

Br. Keren Oshin Matus Román

Tutor:

MSc. Néstor González Alemán

Bluefields, RACCS, Nicaragua

Enero 2020

“La Educación es la Mejor opción para el Desarrollo de los Pueblos”

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	vii
ABSTRACTS.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
➤ ANTECEDENTES	2
➤ JUSTIFICACIÓN	5
➤ PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
II. OBJETIVOS	7
2.1 Objetivo general	7
2.2 Objetivos específicos.....	7
III. MARCO TEÓRICO	8
III.1. Generalidades de macroinvertebrados acuáticos.....	8
3.2 Biología de los Macroinvertebrados	10
3.2.1 <i>Habita y locomoción</i>	10
3.2.2 <i>Alimentación</i>	10
3.2.3 <i>Respiración</i>	11
3.2.4 <i>Importancia y función Ecológica</i>	11
3.2.5 <i>Bio-indicadores y salud ambiental</i>	12
3.2.6 <i>Nicho e importancia ecológica</i>	16
3.3 Parámetros Físicoquímicos	17
3.3.1 La temperatura.....	17
3.3.2 El pH (potencial de Hidrógeno)	17
3.3.3 La conductividad.....	17
3.3.4 Turbidez.....	18
3.3.5 Totales de solidos suspendidos (SST).....	18
3.4 Descripción del Territorio Rama Kriol- Reserva Indio Maíz.....	18
3.4.1 Extensión	19
3.4.2 Los ríos y sus cuencas.....	20
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	22
4.1 Fase de Campo.....	22
4.1.1 <i>Localización de estudio</i>	22

4.1.2	<i>Tipo de estudio</i>	22
4.1.3	<i>Población</i>	22
4.1.4	<i>Muestra</i>	22
4.1.5	<i>Tipo de Muestra y Muestreo</i>	23
4.2	<i>Técnicas de Recolección de Datos.</i>	23
4.2.1	<i>Selección del sitio</i>	23
4.2.2	<i>Establecimiento del sitio de monitoreo</i>	24
4.2.3	<i>Parámetros Fisicoquímicos</i>	25
4.3	<i>Fase de laboratorio</i>	26
4.4	<i>Índice IBMWP-CR</i>	26
4.5	<i>Análisis estadístico</i>	27
V.	RESULTADOS Y DISCUSION	28
5.1.	Abundancia absoluta e identificación taxonómica de las comunidades de macroinvertebrados	28
5.2.	Abundancia relativa	31
5.3.	Calidad de agua de las microcuencas a través del IBMWP-CR	33
5.4.	Índice de Biodiversidad de Shannon y Equitatividad	36
VI.	CONCLUSIONES	42
VII.	RECOMENDACIONES	44
VIII.	REFERENCIAS	46
IX.	ANEXOS	51
9.1.	Base de datos	51
9.2.	Operacionalización de Variables	56
9.3.	Imágenes satelitales de la ubicación de los sitios de muestreos.	57
9.4.	Formatos de Campo	59
9.5.	Fotografías de campo	62
9.5.1.	Microcuenca Chacalín	62
9.5.2.	Microcuenca Limonero	63
9.5.3.	Caño Moga	64
9.5.4.	Fotografías de Laboratorio	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Niveles de organización de los bioindicadores de acuerdo con las perturbaciones	
Figura 2. Niveles de organización de los bioindicadores de acuerdo con las perturbaciones (Prat et al., 2006).	13
Figura 3. Puntos de muestreos definidos por tramos según hábitat presentes para Macroinvertebrados (modificado de Hughes y Peck, 2008). Los círculos azules muestran los puntos de muestro por transeptos y las líneas rojas, verdes y amarillo la ubicación de cada transepto.....	25
Figura 4. Estado de salud de las microcuencas Caño Chacalín, Limonero y Moga basado en el índice IBMWP-CR y la distribución de las familias de macroinvertebrados.	33
Figura 5. Índice de Biodiversidad de Shannon. Letras distintas (a-d) indican diferencia estadística al 95% de confiabilidad con la prueba de Chi-cuadrado.	36
Figura 6. Índice de Equitatividad. Letras distintas (a-b) se leen como diferencia estadística al 95% de confiabilidad con la prueba de Chi-cuadrado.	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de calidad de agua según BMWP-CR.	27
Tabla 2. Clasificación taxonómica de las comunidades de macroinvertebrados en las microcuencas: Chacalín (CH), Limonero (LM) y Moga (CM). No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.	29
Tabla 3. Tabla de correlación de Pearson entre las variables de Familia, Microcuenca, trama y orden con respecto al Índice BMWP.	41
Tabla 4. Correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas, con respecto al Índice BMWP.	42
Tabla 5. Base de datos de macroinvertebrados	52
Tabla 6. Operacionalización y descripción de las variables	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Deforestación en la reserva de Biosfera del Sureste de Nicaragua.	21
Ilustración 2 Microcuenca Chacalín. Descripción del sitio (a), Recolección de macroinvertebrados (b), Descripción de las condiciones de la ribera (c y d)	62
Ilustración 3 Microcuenca Chacalín. Muestran las características del sitio en estudio dentro de la ribera como a sus bordes.	62
Ilustración 4 Muestran las condiciones y características de los habitats de las comunidades de macroinvertebrados dentro de la microcuenca.	63
Ilustración 5 Microcuenca Limonero. Recolección de macroinvertebrados con la red de pantalla (a y b), Condiciones del transecto y sus características (c), medición de los transectos (d).....	63
Ilustración 6 Descripción grafica de los puntos de muestreos de la ribera.	64
Ilustración 7 Condiciones de la rivera en los puntos de muestreo (a, b, c y d) y características físicas de la microcuenca.	64
Ilustración 8 Identificación de Macroinvertebrados equipos de laboratorio (d) y clasificación e identificación de macroinvertebrados.....	65
Ilustración 9 Identificación de macroinvertebrados (a), materiales de laboratorio para la identificación (b y c), macroinvertebrados identificados y clasificados hasta nivel de familia (h).	66

Agradecimiento

Primeramente, a Dios por darme las fuerzas para culminar esta etapa importante en mi vida, en segundo agradecer a la naturaleza por permitirnos conocer lo más alto y los más profundo de su creación maravillosa, a la vida misma por enseñarnos a levantarnos y seguir adelante cuando están las adversidades.

Quisiera agradecer a seres tan especiales que me han apoyado durante este proceso profesional así también como personalmente, a mis padres Jorge Matus y María Román por todo su apoyo incondicional durante todos estos años, sé que no ha sido fácil pero siempre me han apoyado en todos mis desafíos aún estado lejos de ellos, a Joel Betts durante este proceso de investigación que ha colaborado de una manera muy especial, también agradecer a mi novio (MAF) por todas sus motivaciones y regaños para terminar este proceso, a mis compañeros por permitirnos vivir momentos bonitos y feos, llenos de experiencias y recuerdos, a cada uno de mis docentes que me forjaron como profesional mil gracias, en especial a los profesores Álvaro, Juan Montoya, Asdrúbal, Melvin, gracias por sus motivaciones y consejos que nunca faltaron. A mi tutor por su colaboración.

Dedicatoria

Este trabajo ha sido todo un reto, lleno de obstáculos y mucho esfuerzo para lograrlo, por lo tanto, quisiera dedicarlo a mis padres este éxito también es de ellos, la comunidad científica, dedicarlo a todos mis colegas que un día empezamos y ahora somos el resultado del esfuerzo y dedicación durante cinco largos años de formación profesional, hoy se sienten cortos.

RESUMEN

Los macroinvertebrados son organismos que por su intolerancia a las perturbaciones en el ambiente pueden determinar la salud de los ecosistemas acuáticos a través de su diversidad y distribución de las familias presentes en sus hábitats. En este estudio se analizaron las condiciones actuales de la calidad del agua en las microcuencas Chacalín, Limonero y Moga, del Territorio Indígena Rama-Kriol (GTR-K) por medio de la presencia y distribución de macroinvertebrados como bio-indicadores de estas, ya que actualmente se desconoce cuáles son las condiciones de sus principales afluentes dentro del territorio; con el uso del protocolo del Programa de Evaluación y Monitoreo de Ecosistema de la EPA de los Estados Unidos se establecieron 11 transeptos por cada sitio de los cuales la muestra fue recolectada de los transeptos 1-3, 5-7, 9-11, las muestras se recolectaron con una red de mano en cada hábitat de los puntos establecidos, posteriormente se analizaron en el laboratorio del Centro de Investigación Acuática BICU utilizando las guías taxonómicas de Springer et al. (2010), Domínguez y Fernández (2009), Roldán (1988) para la clasificación e identificación de los organismos, con estos datos se determinó el IBMWP. Los resultados muestran que las microcuencas Chacalín y Moga tienen una calidad de agua regular con una contaminación poco alterada, mientras que la microcuenca Limonero a través del índice se determinó que la salud ecológica del agua está contaminada. Esto sugiere que las condiciones de dichos sitios han sido muy poco intervenidas y que existen las condiciones óptimas para el establecimiento de las familias de macroinvertebrados.

Palabras Claves: Aguas de consumo, estado ecológico, salud ecológica, calidad ambiental, IBMWP-CR, entomología.

ABSTRACTS

Macroinvertebrates are organisms that, due to their intolerance to disturbances in the environment, can serve as indicators of the health of aquatic ecosystems through sampling of the diversity and distribution of families present in a habitat. In this study, the current water quality conditions in the Chacalin, Limonero and Moga watersheds of the Rama-Kriol Indigenous Territory (GTR-K) were analyzed through sampling the presence and distribution of macroinvertebrates as bio-indicators. The ecological condition of these watersheds was previously unknown. With the use of the USEPA Ecosystem Evaluation and Monitoring Program protocol, 11 transects were established for each site from which the sample was collected from transects 1-3, 5-7, 9-11, Samples were collected with a kick net in each habitat of the established points, subsequently analyzed in the BICU Aquatic Research laboratory using the taxonomic guides of Springer et al. (2010), Domínguez and Fernández (2009), Roldan (1988) for the classification and identification of organisms, with this data the IBMWP was determined. The index results showed that the Chacalin and Moga watersheds have a regular water quality with some degradation, while the Limonero watershed is much more degraded. This suggests that the prior sites have seen little human impact and that, therefore, there are optimal conditions for the establishment of macroinvertebrate families.

Keywords: Drinking water, ecological status, ecological health, environmental quality, IBMEP-CR, GTR-K.,

I. INTRODUCCIÓN

Los bioindicadores son especies o grupos taxonómicos capaces de reflejar el estado de conservación, diversidad, endemismo y el grado de intervención o perturbación en los ecosistemas naturales debido a su grado de tolerancia a las variaciones a su ecosistema óptimo para su desarrollo lo que determinara la presencia de estos organismos (Roldán, 2016). Es un hecho que la composición de las comunidades de macroinvertebrados refleja la calidad de los ecosistemas acuáticos (Roldán, 2016). El uso de macroinvertebrados acuáticos constituye hoy en día una herramienta ideal para la caracterización biológica e integral de la calidad de agua, siendo necesario para un adecuado control y conservación de un ecosistema (Jaramillo Lodoño, 2004).

Existen diferentes tipos de indicadores biológicos de ecosistemas fluviales, como microorganismos, macrófitas y peces. Sin embargo, uno de los grupos más ampliamente utilizados y establecido por la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE, DMA) como un tipo de bio-indicadores a utilizar son los macroinvertebrados acuáticos. Esto se debe a varias razones: 1) su elevada diversidad; 2) son relativamente fáciles de muestrear, 3) los diferentes taxones presentan requerimientos ecológicos diferentes; 4) los protocolos de muestreo y elaboración de índices están bien estandarizados; y 5) poseen un tiempo de vida relativamente largo, que permite integrar los efectos de la contaminación en el tiempo (Ladrera, 2012). Algunas de estas condiciones pueden ser relativas, pero a pesar de ello los macroinvertebrados son preferidos en muchos países para ser utilizados como bio-indicadores de la calidad del agua (Prat, Ríos, Acosta, & Rieradevall, 2006).

En la Costa Caribe de Nicaragua, incluyendo el Territorio Indígena Rama Kriol se desconoce la salud ecológica de sus principales ecosistemas acuáticos, por lo que surgió el interés de realizar este estudio para analizar el estado de salud del agua en las microcuencas Chacalín, Limonero y Moga a través de la presencia, distribución y composición de las comunidades de macroinvertebrados durante la época seca del año 2018, tomando en cuenta que la manera de vivir tradicional de la etnia Rama y Kriol ha mantenido un equilibrio entre las necesidades humanas y el ecosistema por lo que se deduce que en estas zonas exista una diversidad de organismos presentes.

➤ ANTECEDENTES

El estudio de los organismos acuáticos ha experimentado un gran auge en los últimos años, ya que pueden usarse para evaluar la biodiversidad, el ecosistema o la calidad de las aguas (Javier Oscoz, Duran, Tomas, & Pardos, 2008).

En el 2013 se concluyó un estudio donde se determinó la diversidad biológica de macroinvertebrados acuáticos asociada al estado de la vegetación en los márgenes de las microcuencas (Walpa tara, el Pool, Esconfran y Lunku Creek), específicamente: en las partes altas, medias y bajas de cada una de ellas (Soza & Ebank, 2013). La metodología empleada para la recolección de muestras fue directa con la ayuda de tamices, mayas de cedazo y pinzas. Para la identificación se utilizó las guías taxonómicas del BMWP^{CR/Col} (Biological Monitoring Working Party – Modificado para Costa Rica y Colombia) y las guías del CIRA-UNAN (Centro de Investigaciones de Recursos Acuáticos).

El número total de individuos fue de 1577, de los cuales 913 para la estación seca y 664 para la lluviosa, reunidos en 18 órdenes, 17 órdenes identificados en la estación seca y 13 en la estación lluviosa, predominando los órdenes Efemeróptero con 401 individuos capturados en la estación seca y 165 en la estación lluviosa, en el Orden Odonata se capturaron 106 y 92, respectivamente.

En la investigación Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua del trópico húmedo de las microcuencas de los alrededores de Bluefields, Nicaragua, se capturaron 48 familias, de los cuales 44 fueron encontradas en la época seca y 35 en la época lluviosa. En lo que refiere a la calidad de agua se determinaron 3 grupos; uno que reúne indicadores de buena calidad de agua, otro para organismos indicadores de media calidad y, por último, organismos indicadores de mala calidad. La calidad de las aguas de los sitios estudiados para la época seca se encontraron aguas desde muy limpias hasta muy contaminadas en algunos sitios, y para la época lluviosa se encontró aguas ligeramente contaminadas hasta muy contaminadas (González-Alemán, Mateo-Sánchez, & Mairena-Valdivia, 2012).

Del 2008 hasta la época seca del 2012 se ha monitoreado el comportamiento de los macroinvertebrados en las 4 microcuencas situadas en los alrededores de la ciudad de Bluefields. Hasta la fecha se han realizado un total de 36 muestreos dentro de las 4 microcuencas la cual

comprende 8 sitios de estudio, realizando 20 muestreos en la estación seca (marzo a abril del 2008 al 2012) y 16 en la estación lluviosa (julio a agosto del 2008 al 2011). Durante el estudio se capturó un total de 3,683 individuos correspondientes a 73 familias y 21 órdenes, dentro de las cuales sobresalen las familias *Leptophlebiidae*, *Baetidae* y *Hydropsychidae* con 421, 299 y 282 individuos capturados respectivamente. Los órdenes con mayor número de individuos capturados fueron *Ephemeroptera*, *Trichoptera* y *Odonata* con 752, 556 y 477 individuos.

Las microcuencas Lunku creek, Esconfran, la zona I y II de Walpatara y la zona I del Pool presentan aguas ligeramente contaminadas para ambas estaciones. La zona III de Walpatara pasa de aguas moderadamente contaminadas en la estación seca, a aguas muy contaminadas en la estación lluviosa. Finalmente, la zona II y III del Pool presenta aguas muy contaminadas en la estación seca y aguas moderadamente contaminadas en la estación lluviosa según el índice BMWP'CR "Biological Monitoring Working Party" adaptado para Costa Rica (González-Aleman et al., 2012).

En Chile durante el año 2012 se trabajó con macroinvertebrados bentónicos en el río Limarí como indicadores biológicos complementados con parámetros físicos, químicos e hidromorfológicos, en 20 localidades de muestreo, en las cuales se midieron 27 variables ambientales y la fauna bentónica fue recolectada cuantitativamente utilizando una red Surber (Universitat de Barcelona, 2012).

En otros estudios realizado en Bogotá, Colombia se estimó la variación en la densidad de deriva de macroinvertebrados acuáticos y su aporte de materia orgánica en términos de biomasa de diferentes estados inmaduros e imagos, en un tramo de una quebrada tropical de montaña ubicada en los cerros orientales y durante eventos de altas y bajas precipitaciones. Se colectó un total de 96 taxones de los cuales el más abundante fue *Simulium* con 194 individuos (abundancia total). La densidad de deriva al igual que el aporte de biomasa de los macroinvertebrados acuáticos, fue mayor durante el período de bajas precipitaciones. Los dípteros (quironómidos) y los ácaros presentaron la mayor densidad de Deriva mientras que los tricópteros (*Triplectides*) aportaron las mayores biomásas a la deriva. En la escala temporal de un día, no se presentaron diferencias en la densidad y la biomasa en la deriva entre el día y la noche (Acuáticos & Acuáticos, 2007).

En 2007, se realizó un estudio hidrobiológico en el río Cali, Valle del Cauca, Colombia. Se ubicaron ocho estaciones, tres en la parte alta en los corregimientos de Felidia y Pichindé, dos en la parte media en el área de influencia del Jardín Botánico de Cali, en las instalaciones de la Empresa de Energía del Pacífico (EPSA) y la bocatoma del acueducto de San Antonio, y tres en la parte baja en la zona urbana del municipio de Cali. Con los macroinvertebrados colectados se calculó el índice biótico BMWP., reflejando que el estado del río en la estación más alta no presenta indicios de contaminación (Clase I), sin embargo, la calidad del agua disminuye aguas abajo presentando una calidad crítica en las estaciones ubicadas en la zona urbana (clases IV y V). Con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos se calculó el Índice de Calidad de Agua (ICA), mostrando en la parte alta aguas de buena calidad, y en las partes media y baja calidad regular (La et al., 2008).

Se ha realizado un estudio de las cabeceras de los ríos Bergantes, Mijares y Palancia, situados al Este de la Península Ibérica. Para ello se han muestreado los primeros 2,5 km desde el nacimiento, es decir, desde la fuente más elevada aguas arriba. Fueron establecidas diez estaciones de muestreo realizándose dos campañas: primavera-verano y otoño-invierno. Todas las estaciones de un mismo río se muestrearon el mismo día para poder obtener así un seguimiento más continuo de los datos. Los principales objetivos que se han llevado a cabo en el presente trabajo son: conocer las comunidades de macroinvertebrados acuáticos que habitan en estas cabeceras; aplicar el índice biótico IBMWP (Ò *Iberian Biomonitoring Working Party*Ó) para determinar el grado de contaminación de las aguas; conocer las principales características fisicoquímicas del agua, estudiando la correlación existente entre el índice biótico aplicado y los parámetros fisicoquímicos analizados; interpretar, mediante análisis estadístico, la distribución geográfica de los taxones en relación con los factores fisicoquímicos y ambientales, así como la ordenación de las estaciones de muestreo en función de las especies y de los factores ambientales y fisicoquímicos más relevantes; aplicar el índice QBR (Ò *Qualitat del Bosc de Ribera*Ó) para evaluar la calidad de estos ecosistemas de ribera y aplicar El índice ECOSTRIMED (Ò *ECOLOGical Status RIVER MEDiterranean*Ó) para determinar el estado ecológico de los ríos (Lozano-quilis, Pujante, & Words, 2006).

➤ JUSTIFICACIÓN

El Territorio Indígena Rama-Kriol, es un territorio con muchos afluentes que son de importancia ecológica, social y hasta cultural, ya que los asentamientos de pueblos indígenas y afrodescendiente viven cerca de estos ecosistemas para su desarrollo, como es el caso del recurso agua que depende para su usos agrícolas y una alta dependencia en la pesca de subsistencia, y por supuesto para consumo mismo, sin embargo, se desconoce el estado actual de la calidad del agua dentro del territorio y sus zonas aledañas, por toda la problemática ambiental principalmente la deforestación, destacando que las condiciones ambientales de las microcuencas en la parte alta influyen de manera positiva o negativamente en las partes baja de las cuencas, debido a que existe una vulnerabilidad que incrementa a la reducción de las condiciones ambientales en el reabastecimiento de los recursos hídricos para el consumo humano, la diversidad de especies, y la conservación de los ecosistemas.

Por tal motivo la realización de este estudio contribuirá a crear una herramienta que permita obtener nuevos conocimientos en cuanto a la diversidad, distribución y riqueza de las comunidades de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua ya que es necesario conocer cuáles son las condiciones actuales dentro de los principales afluentes del territorio Indígena Rama-Kriol, para el cual tener un mejor aprovechamiento y uso de estos cuerpos de agua para los comunitarios y público en general tomando en cuenta que estos son utilizados para consumo, la pesca y sistemas agrícolas.

➤ PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Territorio Indígena Rama-Kriol es de naturaleza rural, y la vasta mayoría de residentes dependen de actividades de subsistencia incluyendo la agricultura, la pesca, principalmente cerca de la costa, así como también tierra adentro en ríos y corrientes estacionales, la caza y la recolección. La agricultura es la actividad primaria, los recursos naturales juegan un rol crucial para la subsistencia. Adicionalmente, las comunidades indígenas dentro del área han identificado la caza y la pesca como actividades particulares que están inextricablemente ligadas a las identidades culturales Rama y Kriol que forman parte de su modo de vida tradicional en el territorio.

Las actividades de los colonos mestizos, llamados invasores ilegales, del territorio practican la agricultura y más intensamente la ganadería en una manera insostenible ejerciendo presión ecológica en los recursos naturales, principalmente en la disminución de áreas forestal cerca de los principales ríos de la zona y sus alrededores. Esto está alterando la biodiversidad de organismos acuáticos, estos incluyen las comunidades de macroinvertebrados que indican la salud ecológica de dichos ecosistemas. No obstante, otras actividades antrópicas como la pesca con veneno, vías urbanizadas o asentamientos poblacionales, la contaminación de residuos sólidos en las riberas, y alteraciones físicas de los cuerpos de agua provocan la disminución de estos organismos, desplazando las familias de macroinvertebrados que requieren de mucha exigencia en sus hábitats sobreviviendo únicamente aquellas que son tolerantes a la contaminación.

¿La utilización de las comunidades de macroinvertebrados funciona como un indicado para determinar la calidad del agua en microcuencas del Territorio Indígena Rama-Kriol?

II.OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Analizar las condiciones actuales de la calidad del agua en las microcuencas Chacalín, Limonero, Moga, del Territorio Indígena Rama-Kriol por medio de la presencia y distribución de macroinvertebrados como bio-indicadores de la calidad del agua.

2.2 Objetivos específicos

- Estimar la abundancia relativa, diversidad y equitatividad de las familias de macroinvertebrados encontrados en las microcuencas Chacalín, Limonero y Moga del Territorio Indígena Rama-Kriol.
- Analizar la calidad del agua de acuerdo con el índice IBMWP-CR a través de la presencia y distribución de macroinvertebrados en las microcuencas Chacalín, Limonero y Moga del Territorio Indígena Rama-Kriol.
- Correlacionar los resultados del índice IBMWP-CR con los parámetros fisicoquímicos en las microcuencas Chacalín, Limonero y Moga del Territorio Indígena Rama-Kriol

III. MARCO TEÓRICO

III.1. Generalidades de macroinvertebrados acuáticos

Se denominan macroinvertebrados acuáticos aquellos invertebrados con un tamaño superior a 500 μm , entre los que se incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos, entre los que se encuentran los cangrejos. Sin embargo, el grupo de invertebrados acuáticos más ampliamente distribuido en las aguas dulces es el de los insectos. En la mayoría de éstos, los estados inmaduros (huevos y larvas) son acuáticos, mientras que los adultos suelen ser terrestres. De acuerdo con la publicación de Ladrera, 2012 entre los insectos con alguna fase de su vida acuática destacan, por su abundancia y distribución, los siguientes órdenes:

- **Efemerópteros:** Las larvas de este orden son exclusivamente acuáticas y pueden vivir hasta 2 años, mientras que la vida del adulto es muy efímera, de donde se deriva su nombre, llegando a vivir pocas horas o incluso minutos. Su respiración se realiza por branquias abdominales relativamente bien desarrolladas y en su mayor parte son detritívoros (se alimentan de materia orgánica muerta) y herbívoros. A pesar de que presentan diferencias en cuanto a su tolerancia a bajas concentraciones de oxígeno, un gran número de familias de este orden son buenos indicadores de la calidad del ecosistema y poseen generalmente gran sensibilidad a condiciones ácidas.
- **Plecópteros:** Constituyen un orden con larvas exclusivamente acuáticas. El adulto presenta un vuelo torpe y suele pasar gran parte del tiempo entre las rocas, por lo que a los adultos de este grupo se les conoce con el nombre de “moscas de las piedras”. Se trata de especies que viven en el fondo de cauces de aguas frías, bien oxigenadas y libres de contaminación, por lo que son ampliamente utilizados como bioindicadores de la calidad del ecosistema acuático. Esta sensibilidad a las bajas concentraciones de oxígeno parece derivarse de la ausencia de grandes branquias, de manera que éstas pueden estar constituidas por finos filamentos en la base de las patas o incluso en el cuello. De acuerdo con su régimen alimenticio pueden ser fragmentadores de materia orgánica gruesa o depredadores.
- **Odonatos:** Los odonatos engloban a los conocidos como libélulas y caballitos del diablo. Los adultos no se ven obligados a vivir en las inmediaciones del agua, pero las larvas son

acuáticas sin excepción. Las larvas de todas las especies de odonatos son zoófagas, atacan a diferentes animales con los que comparten territorio, como oligoquetos, efemerópteros o dípteros e incluso pueden llegar a atacar a renacuajos y alevines de peces. Con este fin depredador, el labro está transformado en un órgano prensil o máscara dentada que es desplegado bruscamente y lanzado hacia adelante para capturar las presas, que quedan atrapadas en los ganchos móviles de las piezas bucales. Pueden vivir en una amplia variedad de hábitats, pero son más frecuentes en las zonas con poca velocidad de corriente de los cursos fluviales, como remansos o en pequeñas lagunas.

- **Hemípteros:** Son un grupo de insectos caracterizados por poseer un aparato bucal chupador, dentro del cual alrededor del 10% de las especies son acuáticas. Una gran parte de familias viven sobre la superficie del agua, como los conocidos zapateros, y la mayoría son depredadores, que a menudo inoculan compuestos tóxicos en sus presas a través de sus estiletos maxilares. Presentan numerosas adaptaciones frente a la depredación, fundamentalmente de peces, como el hecho de vivir en la superficie del agua, el comportamiento gregario o la capacidad de saltar varios centímetros de algunas especies.
- **Coleópteros:** Constituyen el mayor grupo de insectos y, quizá, el más evolucionado. Únicamente el 15% de las especies aproximadamente son acuáticas. Esta adaptación al medio acuático puede tener lugar en diferentes etapas del ciclo vital, de manera que en algunos grupos las larvas y adultos son acuáticos, mientras que en otros sólo una de las dos fases. Presentan un régimen alimenticio muy variado y la calidad de las aguas no suele ser un factor determinante en la distribución de muchas familias de este grupo.
- **Dípteros:** Este orden, también conocido como moscas verdaderas, es uno de los más ampliamente distribuidos y con mayor diversidad, en el que muchas especies presentan larvas acuáticas como los mosquitos y tábanos, entre otros. Algunas especies están adaptadas a vivir en zonas con elevadas corrientes y concentraciones de oxígeno, mientras que otras son especies oportunistas, adaptadas a vivir en ecosistemas con ciertas perturbaciones e incluso en condiciones extremas, por lo que hay especies con requerimientos muy diferentes en cuanto a la calidad del agua, lo cual es usado frecuentemente como indicador de esta.

- **Tricópteros:** Constituyen uno de los grupos de insectos más importantes de los ecosistemas acuáticos, con larvas exclusivamente acuáticas. Algunas especies fabrican estuches con materiales tan diversos como arena, grava o restos vegetales y en el interior de este desarrollan su ciclo larvario. Su modo de alimentación es muy variado, con especies herbívoras, detritívoras y depredadoras, y presentan en general cierta exigencia en cuanto a la calidad del agua.

La Directiva Marco del Agua (DMA) es una norma del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco de actuación comunitario en el ámbito de la política de aguas, esta directiva considera crucial, la importancia de los análisis biológicos, por lo cual demanda su utilización para valorar el estado ecológico de los sistemas fluviales. Establece que los indicadores biológicos han de ser los que determinen en última instancia el estado de una masa de agua, resaltando así la importancia del estudio de las comunidades acuáticas y su relación con la calidad de las aguas y donde los macroinvertebrados en general son de los grupos más recurrentes en este tipo de aproximación (Universitat de Barcelona, 2012).

3.2 Biología de los Macroinvertebrados

3.2.1 *Habita y locomoción*

Los animales de agua dulce se pueden clasificar basándose en donde se encuentran en el cuerpo de agua y su manera de moverse. Algunos viven en la superficie del agua (neuston) mientras que otros permanecen suspendidos en la columna del agua (plancton) o bien nadan activamente (necton). Estos grupos generalmente no habitan en aguas con corriente y pueden ser muy abundantes y diversos en lagos y lagunas. La mayoría de los animales dulceacuícolas viven sobre algún tipo de sustrato, ya sea en el fondo (bentos) o en los tallos de plantas acuáticas, madera, rocas, etc. (Hanson, Springer, & Ramirez, 2010).

3.2.2 *Alimentación*

Las estrategias de alimentación son los rasgos típicos que reflejan la adaptación de las especies a las condiciones ambientales (Tomanova, Goitia, & Helešic, 2006). Entre los grupos funcionales

alimenticios (Functional Feeding Groups), se han clasificado siete gremios tróficos: colectores, depredadores, filtradores, trituradoras, herbívoros, detritívoros y los parásitos (Merritt & Cummins, 1996; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014). Cada estrategia de alimentación son rasgos que reflejan la adaptación de las especies y que podría formar parte de una medida unificada en las comunidades que difieren en composición taxonómica (Jiménez, 2015).

Los herbívoros y carnívoros se alimentan de organismos vivos, mientras que los detritívoros se alimentan de materia orgánica en descomposición (detritus). Dentro de cada una de estas categorías se puede distinguir varios grupos funcionales, basados en su comportamiento alimenticio. Es importante anotar que el comportamiento alimenticio puede cambiar a través del ciclo de vida del animal y que algunos animales ingieren diversos tipos de alimento (son omnívoros) (Hanson et al., 2010).

3.2.3 *Respiración*

Los ambientes acuáticos tienen menos oxígeno que los ambientes terrestres y la difusión de oxígeno por el agua es mucho más lenta que en el aire. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua disminuye conforme aumenta la temperatura y disminuye la corriente. En agua fría pueden haber 15ppm (partes por millón) de oxígeno mientras que en el aire es 200 000ppm. Por ello, los macroinvertebrados tienen una diversidad de adaptaciones para obtener oxígeno del agua en los ambientes acuáticos. En los insectos el sistema respiratorio consiste en una serie de aberturas (espiráculos) en el cuerpo, donde el aire entra directamente en un sistema de tubos (traqueolos) que se ramifican por todo el cuerpo (Hanson et al., 2010).

3.2.4 *Importancia y función Ecológica*

Los macroinvertebrados dulceacuícolas juegan papeles importantes dentro de básicamente todos los procesos ecológicos de los sistemas acuáticos. Energéticamente, las cadenas alimentarias acuáticas se basan en material autóctono producido por las algas o bien material alóctono que entra al sistema acuático desde afuera. Los macroinvertebrados son un enlace importante para poder

mover esta energía a diversos niveles tróficos de las cadenas alimentarias acuáticas (Hanson et al., 2010).

Controlan la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos. Ellos consumen gran cantidad de algas y otros microorganismos asociados con el perifiton en ríos o bien con el plancton en lagos. Muchas veces, este consumo aumenta la productividad primaria, ya que se elimina tejido poco productivo y se mineralizan los nutrientes (Hanson et al., 2010).

Por otro lado, dado que la duración de la fase acuática de los macroinvertebrados es relativamente duradera (González, Gradín, García, & Lanero, 2006), y que la composición faunística de la comunidad del macro bentos cambia en respuesta a los cambios ambientales, ya sean naturales (temperatura, altitud, etc.) o antrópicos (contaminación, estrés hídrico, etc.), debido a los requerimientos específicos de cada una de las especies, estos se utilizan con frecuencia como indicadores de la calidad ecológica de los medios acuáticos (Sánchez, 2011).

3.2.5 Bio-indicadores y salud ambiental

En general, todo organismo es un indicador de las condiciones del medio en el cual se desarrolla, ya que cualquier forma su existencia en un espacio y momento determinados responde a su necesidad de adaptarse a los distintos factores ambientales. Sin embargo, en un sentido crítico un indicador es aquel cuya presencia y abundancia señala algún proceso o estado del sistema en el cual habita o cuando este se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat, de este modo las variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos en un cuerpo de agua pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de perturbación (Jaramillo Lodoño, 2004).

Los macroinvertebrados son utilizados en los biomonitoreo de la calidad de un ecosistema acuático como los ríos, lagos, lagunas, embalses etc., gracias a su capacidad sensitiva a los cambios externos que afectan la composición de las poblaciones de los mismos (Roldán, 2003). De acuerdo a (Oscóz, 2009), son considerados indicadores biológicos de la calidad ecológica de los sistemas acuáticos,

debido a su sensibilidad a los distintos cambios que puede sufrir el medio. Los indicadores de aguas contaminadas son los pertenecientes a los grupos de: anélidos, coleópteros y ciertos dípteros. Los Efemerópteros, Tricópteros y Plecópteros son indicadores de aguas limpias (Smarth, 2017).

Este es un esquema (figura 1) en donde se refleja la relación entre el nivel de organización, los cambios producidos en los organismos y la utilidad de los bio-marcadores o bio-indicadores (Prat et al., 2006).



Figura 1. Niveles de organización de los bioindicadores de acuerdo con las perturbaciones (Prat et al., 2006).

Tabla 1. Bioindicadores clasificados en grupos (tolerancia) (Giacometti & Bersosa, 2019).

Índice BMWP			
Orden	Familia	Valor	Grupo
Coleóptera	Psephenidae	10	Grupo I Indicador de Aguas Limpias
Coleóptera	Ptylodactilidae	10	
Díptera	Blepharoceridae	10	
Ephemeroptera	Leptophlebiae	10	
Ephemeroptera	Oligoneuriidae	10	
Odonata	Gomphidae	10	
Plecóptera	Perlidae	10	
Trichoptera	Helicopsychidae	10	
Amphipoda	Hyaellidae	8	
Díptera	Simulidae	8	
Ephemeroptera	Baetidae	8	
Neuroptera	Corydalidae	8	
Trichoptera	Hydrobiosidae	8	
Trichoptera	Hydroptilidae	8	
Trichoptera	Leptoceridae	8	
Trichoptera	Xiphocentronidae	8	
Coleoptera	Scyrtidae	7	

Índice BMWP			
Orden	Familia	Valor	Grupo
Ephemeroptera	Leptohyphidae	7	<p style="text-align: center;">Grupo II</p> <p style="text-align: center;">Indicador de Aguas de mediana contaminación</p>
Trichoptera	lossomatidae	7	
Coleoptera	Elmidae	6	
Coleoptera	Lutrochidae	6	
Coleoptera	Staphilinidae	6	
Odonata	Libellulidae	6	
Hemiptera	Gelastocoridae	5	
Trichoptera	Hydropsychidae	5	
Tricladidae	Planaridae	5	
Diptera	eratopogonidae	4	
Diptera	Empididae	4	
Diptera	Psychodidae	4	
Diptera	Stratiomyidae	4	
Diptera	Tabanidae	4	
Diptera	Tipulidae	4	
Hemiptera	Naucoridae	4	
Hemiptera	Veliidae	4	
Lepidoptera	Pyralidae	4	
Bassomatophora	Planorbidae	3	

Índice BMWP			
Orden	Familia	Valor	Grupo
Bassomatophora	Lymnaeidae	3	Grupo III Indicador de Aguas Contaminadas
Coleoptera	Hydrophilidae	3	
Diptera	Chironomidae	2	
Diptera	Muscidae	2	
Haplotaxidae	N.D 3.	1	

3.2.6 Nicho e importancia ecológica

Los grupos de macroinvertebrados que habitan en agua dulce muestran una gran variedad de adaptaciones, incluyendo importantes diferencias en sus ciclos de vida. Algunos grupos pasan todo, o casi todo, su ciclo de vida en el agua. Ejemplos incluyen chinches (Hemiptera), la mayoría de los escarabajos (Coleoptera; aunque la pupa es generalmente terrestre), crustáceos, moluscos, sanguijuelas y planarias. Por otro lado, los órdenes de insectos Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Megaloptera, Trichóptera, Lepidoptera y Diptera tienen adultos terrestres.

En muy pocos grupos, como Dryopidae (Coleoptera) y Nematomorpha, solo los adultos son acuáticos. El tiempo de desarrollo es altamente variable, dependiendo de la especie y de factores ambientales, como la temperatura del agua y la disponibilidad de alimento, y puede variar desde pocas semanas hasta varios años. En los ambientes tropicales, los ciclos de vida son por lo general “multivoltinos”, lo que quiere decir que se dan varias generaciones al año, las cuales se traslapan (Hanson et al., 2010).

Aquí usualmente no hay una estacionalidad muy marcada en la emergencia de los adultos, como se da en zonas templadas, donde prevalecen los ciclos “univoltinos” o “semivoltinos”, con una o dos generaciones al año. A pesar de ello, existen ejemplos de poblaciones de insectos acuáticos en Costa Rica con ciclo de vida semivoltinos, como *Euthyplocia hecuba* (Ephemeroptera) (Sweeney,

Jackson, & Funk, 1995) y univoltinos, como *Cora marina* (Odonata) (Pritchard, 1996). Finalmente, algunos grupos realizan migraciones a lo largo de los ríos, e incluso entre los ambientes de agua dulce y de mar. Por ejemplo, algunas especies de crustáceos decápodos necesitan del ambiente marino para el desarrollo del estadio larval y migran nuevamente hacia los ríos como juveniles (Hanson et al., 2010).

3.3 Parámetros Físicoquímicos

3.3.1 La temperatura

Influye mucho sobre el hábitat de los organismos acuáticos. Los valores alterados o muy bajos de temperatura pueden ser letales para muchas especies acuáticas incluyendo a los macroinvertebrados (Brittain, 1990; Heathcote, 2009) menciona que la temperatura es un factor que controla el crecimiento de las ninfas de efémeras. También influye sobre el comportamiento de otros parámetros como el pH, oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica (Smarth, 2017).

3.3.2 El pH (potencial de Hidrógeno)

Las aguas con pH neutro o ligeramente, presentan una mayor riqueza de especies, en contraste con aquellas aguas con niveles de pH ácidos, en donde la diversidad específica es muy pequeña debido a los efectos tóxicos de las altas concentraciones de hidrogeniones (Smarth, 2017).

3.3.3 La conductividad

Del agua mide su capacidad para transportar una corriente eléctrica, la conductividad del agua depende de la concentración de sustancias disueltas ionizadas en ella y de la temperatura (Vernon, 1985). También proporciona información acerca de la productividad primaria y de la descomposición de la materia orgánica, (Roldán, 1988). El mapa de conductividad base estimada para los ríos de España oscilan entre 0-1.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Smarth, 2017).

3.3.4 Turbidez

La turbidez es la cantidad de nubosidad en el agua. Esto puede variar desde un río lleno de lodo y cieno donde sería imposible ver a través del agua (alta turbidez), hasta un agua de manantial que parece estar completamente clara (baja turbidez). La turbidez puede ser causada por: limo, arena y barro, bacterias y otros gérmenes, precipitado químico (Mohammed, 2015). Según la Organización Mundial para la Salud (OMS), la turbidez del agua para consumo humano no debe ser más, en ningún caso, de 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU.

3.3.5 Totales de sólidos suspendidos (SST)

Incluyen al plancton, minerales de arcilla, arena, limo, coloides agregados, materia orgánica e inorgánica finamente dividida y otros microorganismos en el agua. Pueden provenir de varias fuentes y se dividen de acuerdo con la composición, ya sea orgánica o inorgánica; pueden originarse en fuentes alóctonas o autóctonas, de levantamiento de tierra o en suspensión, los SST regulan dos de las mayores rutas de transporte: la de materiales disueltos en la zona pelágica y la sedimentación de partículas, y la ruta en la zona bentónica. Adicionalmente, son indicadores ambientales para determinar cambios geomorfológicos, contaminación y acciones del cambio climático. Los sedimentos en suspensión transportan cargas de nutrientes, restos de pesticidas, metales pesados y otros elementos. En la cubeta de agua disminuyen la cantidad de luz que penetra, afectan la fotosíntesis y la temperatura del agua; anomalías que están altamente relacionadas con el cambio climático (Beltrán-Vargas & Churio, 2012).

3.4 Descripción del Territorio Rama Kriol- Reserva Indio Maíz

El Territorio Rama y Kriol se encuentra en el sureste de Nicaragua, y comprende la línea costera caribeña, la llanura costera y los bosques tropicales en un área que se ubica por el norte entre la Laguna de Bluefields y la cuenca del Río Kukra, y en el sur hasta la cuenca del Río Indio. Además, abarca una parte de la zona costera y plataforma continental del mar Caribe y un número de cayos pequeños. Políticamente el territorio está incluido en la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS), en los Municipios de Bluefields, Rama, y Nueva Guinea, y en el Departamento de Río

San Juan, en los municipios de San Juan de Nicaragua y El Castillo (GTR-K, 2007; Salamanca, 2015).

Los límites del Territorio Rama-Kriole son el resultado de consideraciones culturales-históricas, ecológicas, y políticas. En términos ecológicos, los linderos del Territorio Rama se corresponden en su mayoría con límites naturales y físicos caños o ríos, así como líneas divisorias de aguas entre las cuencas principales del sudeste de Nicaragua. La práctica de abarcar cuencas enteras en unidades político-administrativas brinda ventajas para el manejo de aguas y otros recursos naturales (GTR-K, 2007).

El Territorio actual incluye solo la parte baja de la cuenca del Río Punta Gorda, muy extensa, la misma que ha sido objeto de la colonización extensiva en las cabeceras del río. En las zonas donde no resulta conveniente utilizar divisorias entre cuencas para establecer el límite territorial, se ha utilizado los cursos de ríos o quebradas, por ejemplo, el Caño Musilaina por la orilla occidental de la Laguna de Bluefields, y los cursos del Caño Chiquito y el Río Punta Gorda en la zona central del territorio (Salamanca, 2015)

3.4.1 Extensión

El componente terrestre del Territorio Rama y Kriol tiene una extensión de 484,256 hectáreas o 4,842.56 kilómetros cuadrados; el componente marítimo del Territorio abarca 441.308 hectáreas o 4,413.08 kilómetros cuadrados (GTR-K, 2007).

El paisaje de Nicaragua sudoriental es un mosaico variado compuesto por bosque tropical de tierra baja, pantanos de manglares y palma *Raphia spp.*, estuarios, lagunas costeras y ecosistemas de playa. Junto con el adyacente ambiente caribeño y sus capas de pastos marinos y cayos costeros, la región es una de las más ricas y ecológicamente más intactas de toda América Central. Las aguas costeras de la región constituyen el hábitat de una diversidad de vida marina, y son una ruta migratoria importante para la tortuga verde en el paso entre sus nidales de las playas del Tortuguero en el sur y los Cayos Miskitos en el norte. Para las especies tales como el jaguar, el tapir, la lapa verde, y el águila arpía, que regionalmente han desaparecido de muchos de sus primeros hábitats en América Central, los bosques del sudeste de Nicaragua representan una de las mejores

esperanzas para su supervivencia en el istmo centroamericano. Por esta razón el gobierno nicaragüense ha designado a toda la región como Reserva Biosfera del Sudeste de Nicaragua, y el área ha sido identificada como de alta prioridad mundial para la conservación de la biodiversidad por el proyecto del Corredor Biológico Mesoamericano (GTR-K, 2007; INETER, 2015).

3.4.2 Los ríos y sus cuencas

Las colinas de lomas y la planicie costera del Territorio Rama y Kriol son drenadas por numerosos ríos y riachuelos que fluyen hacia el este hasta desembocar en el Caribe, como, por ejemplo, Wiring Cay Creek, Río Punta Gorda, Río Maíz y el Río Indio. Otros ríos como el Kukra, Torsuani y Dokuno desembocan en la Laguna de Bluefields, la más grande de las que se hallan en el Territorio. Los ríos y caños de su Territorio son elementos claves en la vida cotidiana de los Rama. Los ríos son fuente importante de alimentos (peces, hicatis, camarones de río), y sus orillas fértiles son los sitios preferidos para la agricultura familiar y la caza. Los ríos y caños, junto con el mar, son las rutas de transporte más importantes para los Rama (GTR-K, 2007).

Cuenta con un ecosistema de bosque siempreverde aluvial moderadamente drenado, bosque siempreverde pantanoso, bosque siempreverde de galería, manglares limosos y Lagunas costero aluvial de agua salobre. Es un refugio de diversas especies, de especies vegetales ornamentales, helechos potenciales, orquídeas, bromelias, heliconias. La vegetación de la Reserva es característica de ecosistemas de bosque húmedo tropical, humedales continentales, manglares, esteros y marismas, en esta área, el paisaje está dominado por bosque altos en muy buen estado de conservación ubicados en terrenos desde ligeramente escarpados hasta muy escarpados (INETER, 2015; Naturales, 2019).

La zona de estudio se caracteriza por presentar un clima tropical húmedo de selva con temperaturas que oscilan entre 24 °C y 30 °C. Se le considera una zona húmeda basada en la clasificación de zonas de vida de Holdridge, con precipitaciones anuales de 2,000 a 4,000 mm distribuidas de 9 a 10 meses, siendo el mes más lluvioso el de mayo. La región es baja y pantanosa, a lo largo de la costa no excediendo los 30 msnm (Flores-Pacheco, Murillo, Oporta, Flores-Pacheco, & Alemán, 2016).

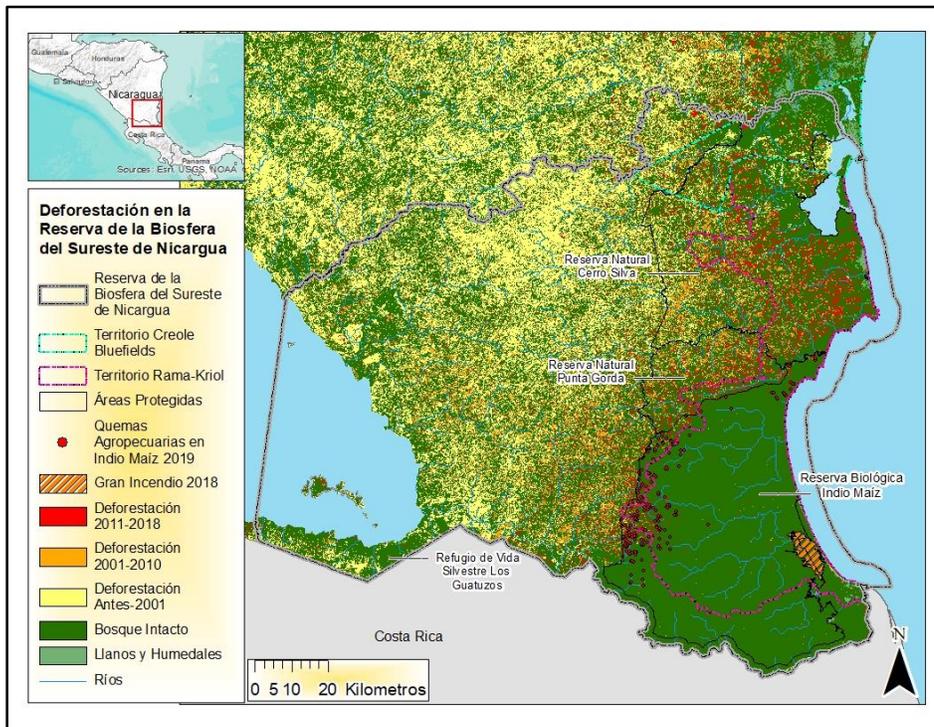


Ilustración 1. Deforestación en la reserva de Biosfera del Sureste de Nicaragua.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Fase de Campo

4.1.1 Localización de estudio

El área de estudio fue en el Territorio Indígena Rama-Kriol en sus principales afluentes Kukra River (Chacalín y Limonero) y Rio Maíz (Moga) (Fig. 2).

La microcuenca Chacalín está ubicada en las coordenadas geográficas N 11,79634-W 84,11238 dentro de la parte alta de la cuenca Kukra River (número 63) y la Reserva Natural Cerro silva del Territorio Indígena Rama Kriol, en conjunto con la microcuenca Limonero la cual está ubicada en las coordenadas N 11,80070-W 84,10738. La microcuenca Moga se encuentra ubicado en la cuenca Rio Maíz (número 67) en las coordenadas N 11,28114-W 84,00561; esta a su vez está ubicada en la parte norte de la Reserva Biológica Indio Maíz.

4.1.2 Tipo de estudio

La presente investigación es de carácter descriptivo con enfoque cuantitativo y de corte transversal, con un periodo de ejecución de desarrollo de marzo del 2018 a septiembre del 2019.

4.1.3 Población

Comunidad de macroinvertebrados presentes en las microcuencas Chacalín, Limonero y Moga del Territorio Indígena Rama-Kriol.

4.1.4 Muestra

La muestra es todos aquellos macroinvertebrados recolectados durante la fase de muestreos en cada uno de los transeptos definidos por microcuenca.

UBICACIÓN DEL ESTUDIO

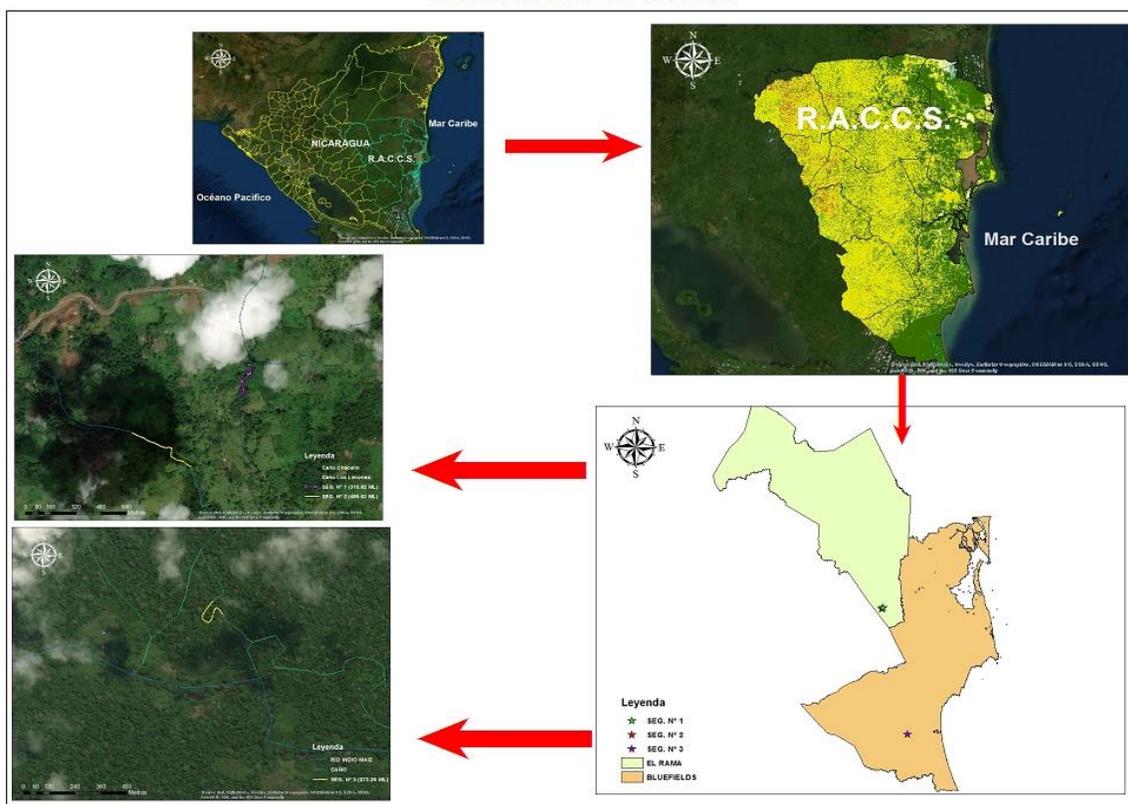


Figura 2. Ubicación Geográfica de las microcuencas Chacalín, Limonero y Moga, las líneas rosada y amarilla que están sobre la ribera es la parte donde se establecieron los transeptos y se recogieron las muestras.

4.1.5 Tipo de Muestra y Muestreo

El tipo de muestra por la naturaleza de la investigación es de carácter estratificado ya que se definieron tres transeptos por cada sitio (alto, medio y bajo).

4.2 Técnicas de Recolección de Datos.

4.2.1 Selección del sitio

Dentro de los límites del Territorio Rama-Kriol y las Reservas Naturales Cerro Silva y Reserva Biológica Indio Maíz del sureste de Nicaragua, se planteó muestrear las corrientes de cabecera de microcuencas, macroinvertebrados y parámetros del hábitat del arroyo. Según Montgomery &

Buffington (1997) se seleccionaron arroyos de dos a diez metros de ancho y en la clase de gradiente de lecho plano o ribera de la piscina.

Se anticiparon los flujos en esta categoría usando un mapa topográfico para estimar el gradiente y el tamaño de la cuenca hidrográfica, luego se verifico en el campo a través de la medición. La selección del sitio se determinó en el campo. El punto de partida para la selección del sitio fue de al menos 1,000 metros aguas arriba de la confluencia con el río más grande, y aguas arriba del primer hábitat de rápidos en cada arroyo. Los sitios se seleccionaron como un número aleatorio de pasos entre 100 y 1,000 aguas arriba del punto de inicio de la selección del sitio, se tomaron muestras de un alcance por flujo. Los arroyos muestreados estarán dentro en las cuencas hidrográficas del Río Kukra (Caño Chacalín y Limonero) y Río Maíz (Caño Moga). Esta selección de sitios tiene un rango de cubiertas forestales e impactos de deforestación (Fig. 3).

4.2.2 Establecimiento del sitio de monitoreo

Se establecimiento tres sitios adoptando el protocolo utilizado por el Programa de Evaluación y Monitoreo del Ecosistema de la EPA de los Estados Unidos, modificado para el presente estudio de biodiversidad y calidad de aguas de acuerdo con (Hughes & Peck, 2008). La longitud de cada microcuenca dependió del área de muestro, que al menos debe ser de 150 metros (mts). Para calcular el ancho mojado promedio se realizan ocho mediciones a una distancia de 10 mts, y el resultado se multiplico por 40 veces, en aguas abajo del alcance de la muestra (Hughes & Peck, 2008). Para todos los parámetros del hábitat se tomaron muestras en cada uno de los transeptos y para el muestreo de macroinvertebrados se tomaron únicamente muestras de los transeptos del 1-3, 5-7,9-11. (alto, medio y bajo).

Para la muestra de macroinvertebrados se utilizó una red de mano consiste aproximadamente de un metro cuadrado, con una luz de malla de 500 μm , la red esta sujeta a dos soportes de madera (Samanez, Rimarachin, Palma, & Ortega, 2014). El área total muestreada para cada microcuenca fue de 15 mts². En cada microcuenca se establecieron tres transeptos y en cada uno de ellos se obtuvieron cinco submuestras en los diferentes hábitats encontrados en cada uno de ellos, con una duración de 5-7 minutos en cada hábitat, haciendo la sumatoria de 30 minutos por cada transepto

y una hora aproximadamente para recolectar los organismos que fueron colectados frascos de muestras de 120 ml con alcohol al 70%.

4.2.3 Parámetros Fisicoquímicos

Se tomaron medidas fisicoquímicas tales como la temperatura del agua ($^{\circ}$ C), la conductividad (μ S/m) y el pH utilizando el medidor de pH / EC / TDS portátil a prueba de agua de Hannah Instruments (High Range) (Modelo HI991301).

En los transectos también se tomaron muestras de turbidez usando el tubo de transparencia / turbidez de 120 cm de Forestry Supplies medido en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) modelo 77096. Cuando el disco en la parte inferior del tubo se despeja y el tubo se llena con agua hasta la parte superior, la NTU se registra como <5 NTU (Mohammed, 2015).

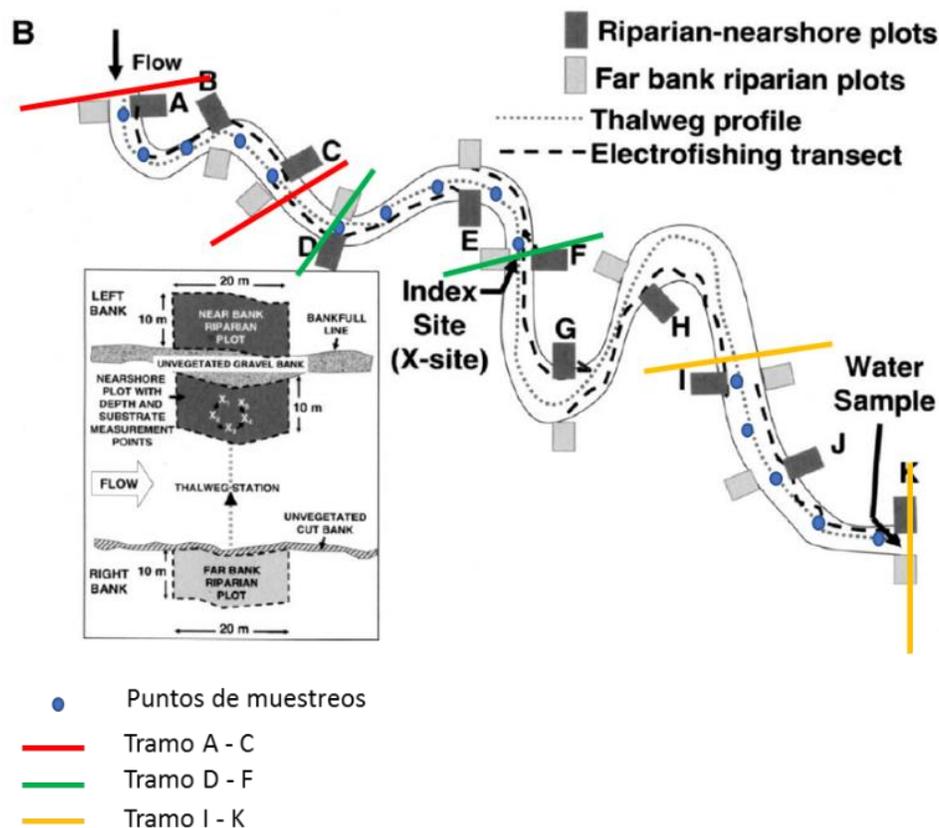


Figura 2. Puntos de muestreo definidos por tramos según hábitat presentes para Macroinvertebrados (modificado de Hughes y Peck, 2008). Los círculos azules muestran los puntos de muestro por transectos y las líneas rojas, verdes y amarillo la ubicación de cada transecto.

La profundidad de la corriente se tomó en cinco puntos equidistantes por transepto, y la profundidad del talud también se midió utilizando un metro de barra. La descarga se calcula multiplicando esta velocidad por las medidas correspondientes de ancho y profundidad mojados. La relación de aguas rápida a piscinas se estimó para cada alcance (Terra, Hughes, & Araújo, 2016).

El sustrato de la corriente se estimó usando un recuento de guijarros estándar como lo definen (Kaufmann, Faustini, Larsen, & Shirazi, 2008) Se tomarán cinco muestras equidistantes en cada uno de los 3 transeptos en cada alcance (15 muestras por alcance), comenzando una séptima parte del transepto.

4.3 Fase de laboratorio

El trabajo de laboratorio consistió en la identificación y conteo de los taxones (orden, familia y género) y número de individuos. Para ello se observaron las características morfológicas externas con la ayuda de una lupa binocular estereoscópica, siguiendo las guías de identificación realizadas por los investigadores expertos en este campo: Springer (2010), Dominguez & Fernández (2009), Roldán (1988) para su identificación que permiten la identificación de los macroinvertebrados acuáticos, los datos se resumieron por alcance utilizando el Biological Monitoring Working Party (BMWP-CR).

4.4 Índice IBMWP-CR

El índice IBMWP/CR (Biological Monitoring Working Party) es la herramienta más extendida entre la comunidad científica y gestora para la evaluación de la calidad del agua y el estado ecológico de los ecosistemas tras la identificación de los macroinvertebrados (Springer, 2010). Según esta misma autora es un índice modificado para Costa Rica que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a las distintas familias de macroinvertebrados encontradas, según su grado de sensibilidad a la contaminación. El puntaje se asigna una sola vez por familia, independientemente de la cantidad de individuos o géneros encontrados. La suma de los puntajes de todas las familias encontradas en el sitio de estudio brinda el valor final del índice. Este valor permite determinar la calidad del agua según las categorías listadas en la tabla 2.

Tabla 2. Niveles de calidad de agua según BMWP-CR.

BMWP-CR	Nivel de Calidad	Color	
>120	Aguas de calidad excelente		Morado
101-120	Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible		Azul
61-100	Aguas de calidad regular, contaminación moderada		Verde
36-60	Aguas de calidad mala, contaminadas		Amarillo
16-35	Aguas de calidad mala, muy contaminadas		Naranja
<15	Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminada		Rojo

Fuente: Springer, 2010

4.5 Análisis estadístico

La diversidad fue calculada mediante el índice de Shannon (H') con logaritmos neperianos (Magurran, 1989). Además, el índice de Equitatividad asociado a la diversidad de Shannon, mediante la expresión: $E=H'/\ln S$ (Magurran, 1989). Para la abundancia relativa se calculó el porcentaje de individuos de cada familia en relación con el total que conforman la comunidad.

Donde:

E= índice de equitatividad

H'= índice de Shannon

ln = Logaritmo neperiano

S = Desviación Estándar

Abundancia Relativa: $n/N*100$

Donde:

n: muestra

N: Población total

100: porcentaje (%)

Se realizaron comparaciones de los tipos de hábitats presentes en la zona de estudio. La significancia estadística para dichos índices, se evaluó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Sokal & Rohlf, 1981). Con la prueba de Chi cuadrado (X^2), para los cual se comprobó la distribución libre (no paramétrica) de los datos en el programa estadístico SPSS versión 25 (IBM® Statistical SPSS®, 2016), a posteriori se realizó comparaciones de Fisher (significación asintótica) que permitieron observar cuales grupos presentan diferencias significativas entre ellos.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Abundancia absoluta e identificación taxonómica de las comunidades de macroinvertebrados

De acuerdo con la identificación y clasificación de macroinvertebrados en el Laboratorio del Centro de Investigaciones Acuáticas de BICU (CIAB-BICU) se obtuvieron los siguientes datos: durante el periodo de estudio se registraron un total de 899 individuos, pertenecientes a 11 órdenes y 27 familias (Tabla 2).

Tabla 3. Clasificación taxonómica de las comunidades de macroinvertebrados en las microcuencas: Chacalín (CH), Limonero (LM) y Moga (CM).

Orden	Suborden	Familia	Género	Frecuencia			
				CH	LM	CM	Total
Coleóptera		Ptilodactylidae	NI	9	0	4	13
		Elmidae	NI	2	0	6	8
		Psephenidae	NI	0	2	9	11
		Dysticidae	NI	0	4	0	4
		Dryopidae	NI	17	0	0	17
Odonata	Zygoptera	Platysticidae	<i>Palemnema</i>	31	1	33	65
		Coenagrionidae	<i>NI</i>	18	9	7	34
			<i>Acanthagrion</i>	0	0	1	1
		Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	0	1	3	4
	Megapodagrionidae	<i>Heteragrion</i>	0	0	2	2	
	Anisoptera	Libellulidae	<i>Libellulinae</i>	3	5	5	13
		Gomphidae	NI	2	1	13	16
Trichoptera		Ecnomidae	<i>Austrotinodes</i>	4	0	0	4
		Hydropsychidae	<i>Calosopsyche</i>	0	0	12	12
			<i>Leptonema</i>	234	81	114	429
		Philopotamidae	NI	0	0	10	10
		Hydrobiosidae	NI	1	0	0	1

Orden	Suborden	Familia	Género	Frecuencia			
				CH	LM	CM	Total
		Xiphocentronidae	NI	0	0	1	1
Ephemeroptera		Leptohiphidae	NI	9	0	1	10
		Leptophlebiidae	<i>Ulmeritoides</i>	6	0	0	6
		Baetidae	<i>Baetodes</i>	31	29	7	67
			<i>Farrodes sp</i>	2	0	6	8
Hemiptera		Veliidae	NI	0	1	0	1
	Heteroptera	Naucoridae	NI	6	2	6	14
Díptera		Simulidae	NI	5	0	0	5
		Tipulidae	NI	0	0	3	3
Mollusca		Thiaridae	NI	5	1	0	6
Crustáceo		Palaemonidae	NI	0	0	36	36
Megaloptera		Corydalidae	NI	2	13	13	28
Plecoptera		Perlidae	NI	33	23	8	64
Organismos únicamente identificados a nivel de orden							
Collembola		NI	NI	0	0	3	3
Hemiptera		NI	NI	0	0	1	1
Diptera		NI	NI	0	0	1	1
Diptera		Larva de mosca	NI	0	0	1	1
Total, Identificados				420	173	306	899

NI: No se identifico

En la microcuenca Chacalín perteneciente a la Cuenca Kukra River, se registraron 420 individuos dentro de los tres tramos (alto, medio y bajo), pertenecientes a 10 órdenes, 18 familias y 7 géneros identificados del total de familias que se registraron para este sitio.

El orden más abundante con 12.85% para esta microcuenca es Odonata con las familias Platysticidae del género *Palemnema*, Coenagrionidae, Libellulidae del género *Libellulinae*, y Gomphidae el cual reunieron un total de 54 individuos. Le sigue del orden Ephemeroptera con 11.42% con las familias Leptophebiidae del género *Ulmeritoides*, Baetidae del género *Baetodes*,

Leptohyphidae con 26 individuos; no obstante, del orden Trichoptera de la familia Hydropsychidae del género *Leptonema* se presentó con el mayor número de individuos con un total por sitio de 234 equivalente al 55.71%.

En cambio, para la microcuenca Limonero, se registraron 173 individuos pertenecientes en 8 órdenes, 3 sub órdenes, 14 familias, encontrándose 4 géneros para el total de las familias clasificadas. El orden más representativo fue Odonata con 5 familias que representan 9.82%: Platysticidae del género *Palemnema*, Coenagrionidae, Libellulidae del género *Libellulinae*, Gomphidae incluyendo la familia, incluyendo en este sitio, Calopterygidae del género *Hetaerina*, haciendo una sumatoria entre estas familias de 36 individuos entre ellas. Mientras que el orden Trichoptera de la familia Hydropsychidae del género *Leptonema* registro 81 individuos identificados entre los tres tramos siendo el 46.83% de la población.

En el caño Moga, de la cuenca de Rio Maíz se identificaron 10 órdenes, 3 sub órdenes, 19 familias y 9 géneros con 306 individuos entre los tres tramos (alto, medio y bajo). Los órdenes más abundantes son Odonata con 20.91% pertenecientes a las familias Platysticidae del género *Palemnema*, Coenagrionidae incluyendo en este el género *Acantagrion*, Libellulidae del género *Libellulinae*, Megapodagrionidae del género *Heteragrion* y Gomphidae sumando un total de individuos de 64. Para el orden Trichóptera con 41.17% se encontraron las familias Hydropsychidae del género *Leptonema* sumando la mayor cantidad de individuos con 114 y *Calopsyche* con 12.

Para el total de los 27 taxones por los tres sitios la clase Insecta fue la más representativa compuestas por los órdenes: Odonata, Ephemeroptera, Trichóptera, Coleoptera, y Plecóptera. Los órdenes con mayor representatividad fueron Odonata y Ephemeroptera con 4 y 3 familias, respectivamente. El resto de los órdenes estuvieron representados por entre 1 y 3 familias. Para la microcuenca Chacalín se reportó la familia Hydrobiosidae del orden Trichóptera, mientras que para el Limonero la familia Veliidae del orden Hemíptera, y en la microcuenca Moga el orden Crustáceo con la familia Palaemonidae.

5.2. Abundancia relativa

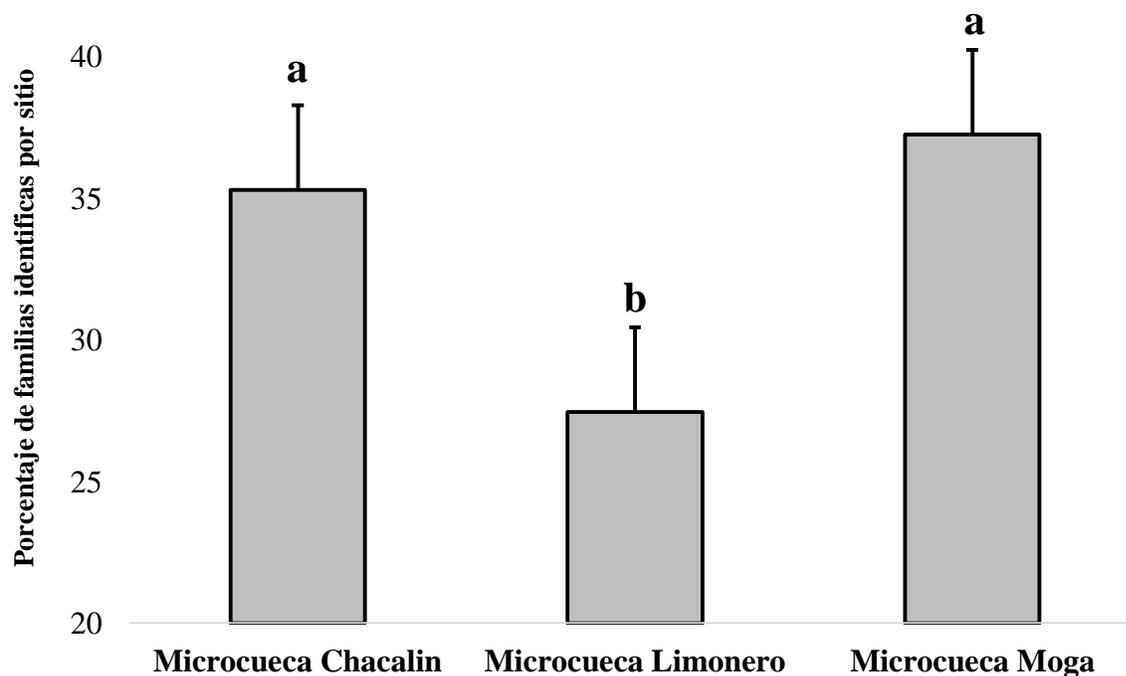


Figura 4. Distribución relativa (%) de cada sitio en relación con las condiciones ambientales (conservación, contaminación, actividades antrópicas y eventos extremos). Letras distintas (a-b) denotan diferencia estadísticamente significativa al 95% de confiabilidad.

Las microcuencas Chacalín (35.29%) y Moga (37.25%) no presentan diferencia estadística entre ellos ($X^2:32.05$; $gl:2$; $P:0.005$) ya que ambos sitios presentan condiciones ecológicas y de conservación similar entre ellas. No así la microcuenca Limonero (27.45%) que si es distinta a las dos primeras ($X^2:21.08$; $gl:2$; $P:0.002$) pues este sitio está altamente intervenido y degradado por actividades antrópicas que bajan la calidad del agua y las condiciones para el establecimiento de hábitats para macroinvertebrados. Sin embargo, estos datos no concuerdan con los resultados expuestos en la tabla 4 de este estudio, se presume que esto se debe a la pérdida de gran cantidad de especímenes capturados en este sitio. Esta pérdida se debió a la manipulación inadecuado (ayudante de campo), material vegetal y animal dentro de la muestra que se descompuso dañando el contenido del envase, exceso de tiempo almacenado sin cambio del líquido para su conservación.

De acuerdo (Hanson et al., 2010) la distribución de las comunidades de macroinvertebrados está directamente relacionado con la conservación del sitio ya que consta que existen una diversidad de amenazas para los macroinvertebrados acuáticos, las más importantes están relacionadas con la contaminación del cuerpo de agua, la pérdida y alteración de hábitat y la introducción de especies exóticas. Por lo que quiere decir que los hábitats de mayor estabilidad y en mejor estado de salud ambiental son los que mayor cantidad y diversidad de familias, géneros y especies de este tipo albergan, por ello son utilizados para medir la calidad del agua.

5.3. Calidad de agua de las microcuencas a través del IBMWP-CR

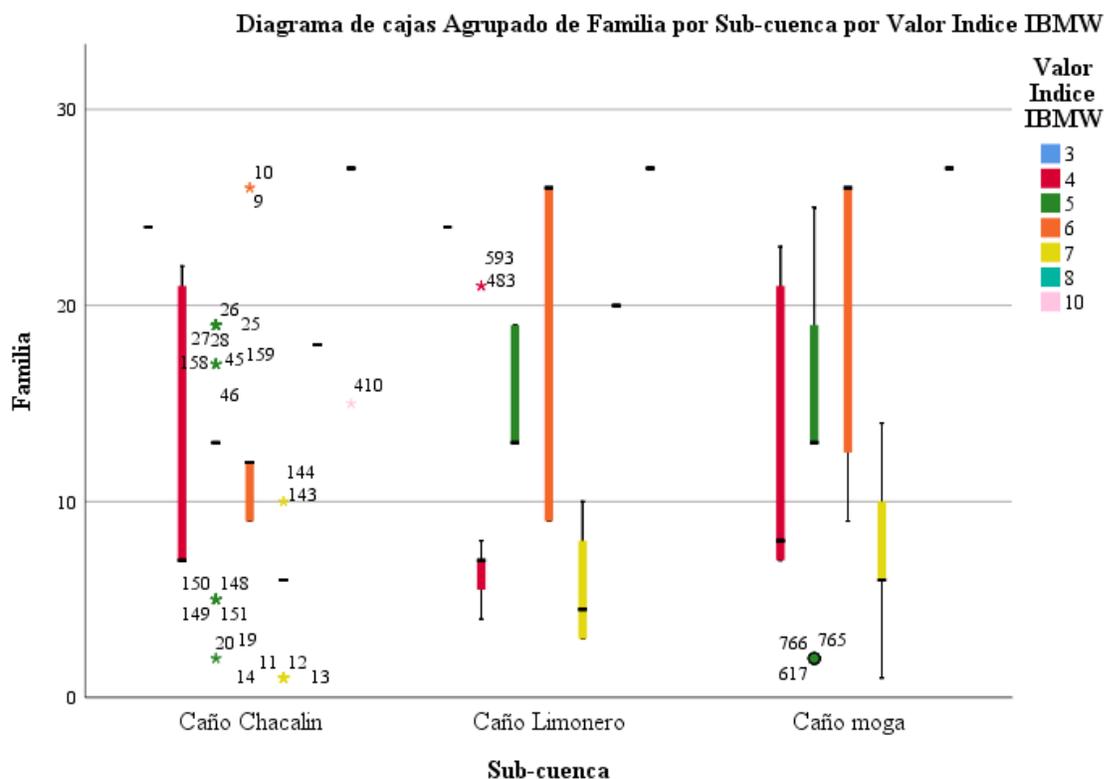


Figura 3. Estado de salud de las microcuencas Caño Chacalín, Limonero y Moga basado en el índice IBMWP-CR y la distribución de las familias de macroinvertebrados.

Los resultados del índice IBMWP-CR para la microcuenca Chacalín, muestran en la ribera un valor máximo de 87 y mínimo de 75, con promedio de 79.33. De acuerdo con los valores del índice IBMWP-CR estos resultados indican que la microcuenca Chacalín presenta un curso de agua y estado ecológico con aguas de calidad buena según (González-Alemán, Sánchez-Mateo, & Mairena-Valdivia, 2013), con leves signos de contaminación o alteración. Esto se debe que aun en el sitio existen condiciones factibles para la conservación de comunidades de macroinvertebrados en los ecosistemas acuáticos y sus hábitats.

Mientras que para el índice IBMWP-CR de la microcuenca Limonero, muestran en el río un valor máximo de 61 y mínimo de 27, con promedio de 42. De acuerdo con los valores del índice IBMWP-CR estos resultados indican que la microcuenca el Limonero presenta un curso de agua y estado ecológico de calidad mala o contaminadas, según Springer (2010). Sin embargo, hay que

destacar que las muestras de este sitio el 60% estaban desintegradas, y muchos organismos mutilados, por lo tanto, se hizo difícil la identificación y clasificación de todos los organismos, este factor puede influir en los resultados IBMWP para analizar la salud de este ecosistema y su biodiversidad en las comunidades de macroinvertebrados.

Los resultados para el sitio Moga muestran en éste, un valor máximo de 98 y mínimo de 39, con promedio de 78. De acuerdo con los valores del índice IBMWP-CR estos resultados nos indican que la microcuenca presenta un curso de agua y estado ecológico muy bueno, con leves signos de contaminación o alteración.

Se presentó con dominio para los sitios la familia Hydropsychidae seguido por Plastystictidae, Baetidae, Perlidae, y Palaemonidae, todos estos organismos son indicadores de aguas poco contaminadas a muy limpias por su intolerancia a los niveles bajos de oxígeno disuelto y a las altas concentraciones de nutrientes según Mosquera et al., (2008). Otros autores también confirman que los taxos identificados como por ejemplo el total de familias de Ephemeropteros, Plecópteros o Trichópteros se caracterizan por ser intolerantes a la contaminación por lo que su número global disminuye con el aumento de esta, aunque no todos los taxos responden de igual manera (Prat et al., 2006).

La salud ecológica y biológica de las microcuencas Chacalín y Limonero están expuestas en un rango de tiempo variable en relación con la intensidad de las actividades desarrolladas en su cercanía ser afectadas. Donde las prácticas realizadas que no son manejadas adecuadamente como lo hacen los pueblos indígenas que tienen una armonía con el medio ambiente, esto puede conllevar a perturbaciones que disminuyan la biodiversidad de organismos presentes, en este caso las comunidades de macroinvertebrados que vive en un tipo concreto de hábitat, como pueden ser pozas, rápidos, sombras, grandes bloques, raíces de árboles, plantas acuáticas, llanuras de inundación, piedras, madera, por ello, cualquier tipo de alteración que provoque una homogenización del cauce y la eliminación de muchos de estos hábitats provocará en último término una disminución de la diversidad de macroinvertebrados y el consiguiente empobrecimiento del ecosistema (Ladrera, 2012).

La deforestación y el posterior cambio en el uso de la tierra pueden causar una variedad de impactos diferentes a corriente de biota y hábitat, dependiendo de su extensión, tiempo, tipo de

uso de la tierra y condiciones naturales (Allan, 2004). En el territorio Rama-Kriol y las reservas del sudeste Nicaragua los impactos de la deforestación en los arroyos son distintos, sin embargo, hay pocos estudios del impacto de la deforestación y las actividades agropecuarias es el principal uso posterior de la tierra, que juegan un papel importante en la estructuración de los hábitats de los ecosistemas acuáticos.

5.4. Índice de Biodiversidad de Shannon y Equitatividad

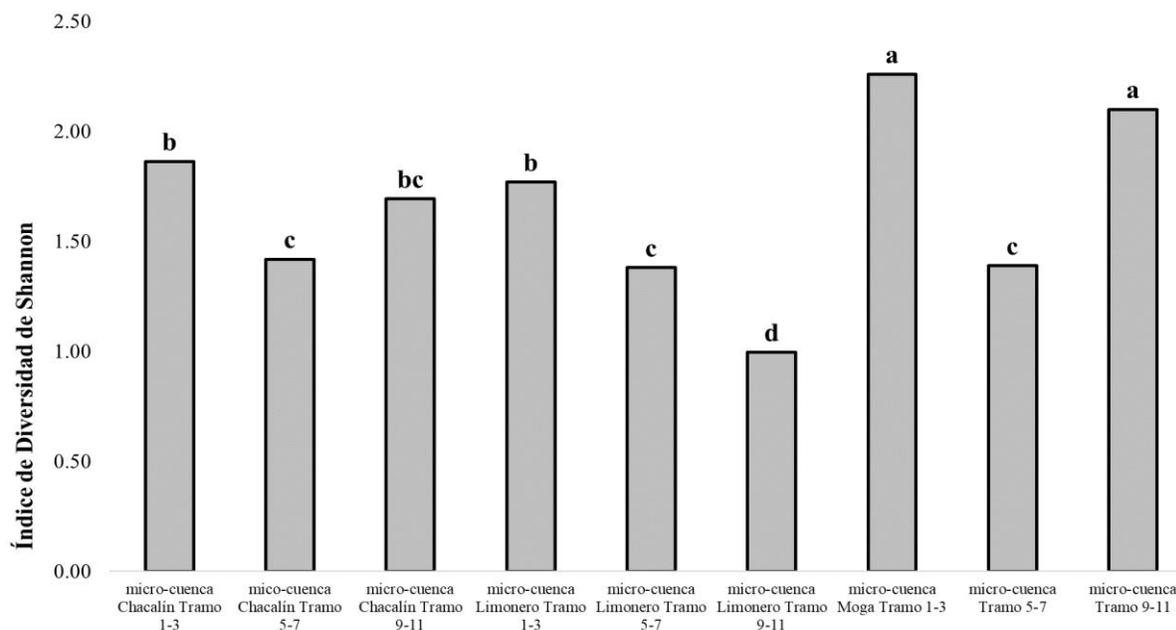


Figura 4. Índice de Biodiversidad de Shannon. Letras distintas (a-d) indican diferencia estadística al 95% de confiabilidad con la prueba de Chi-cuadrado.

Los tramos 1-3 (bajo) y del 9-11 (alto) del caño Moga registro un índice de biodiversidad según Shannon de 2.25 y 2.10 respectivamente, presentando diferencia estadística (X^2 : 25.33, gl: 8, P :0.001) respecto a los demás puntos de muestreo. Esto se debe o sugiere que las condiciones de los hábitats para este sitio que favorecen los requerimientos de algunas familias de macroinvertebrados de acuerdo con la salud del ecosistema como por ejemplo las familias del orden Odonata. este orden es considerado un agente útil en el monitoreo ambiental, debido principalmente a que muchas especies muestran respuestas específicas a alteraciones ambientales, diversas especies del orden Odonata son particularmente vulnerables a las perturbaciones antropogénicas, especialmente aquellas que afectan la vegetación riparia (Calderon & Rodriguez, 2016) sin embargo los individuos del orden Trichoptera constituye un importante componente de las comunidades bénticas y base de la cadena trófica de los ecosistemas acuáticos, según (Custodio & Chaname, 2016) quienes señalan que los Trichopteros son indicadores de aguas limpias y su abundancia aumenta con el aumento de la altitud.

Teniendo en cuenta que esta microcuenca ha sido muy poco intervenida por actividades antropogénicas es por eso que se encuentra con muy buenas condiciones por lo que aporta a la conservación biológica de este sitio.

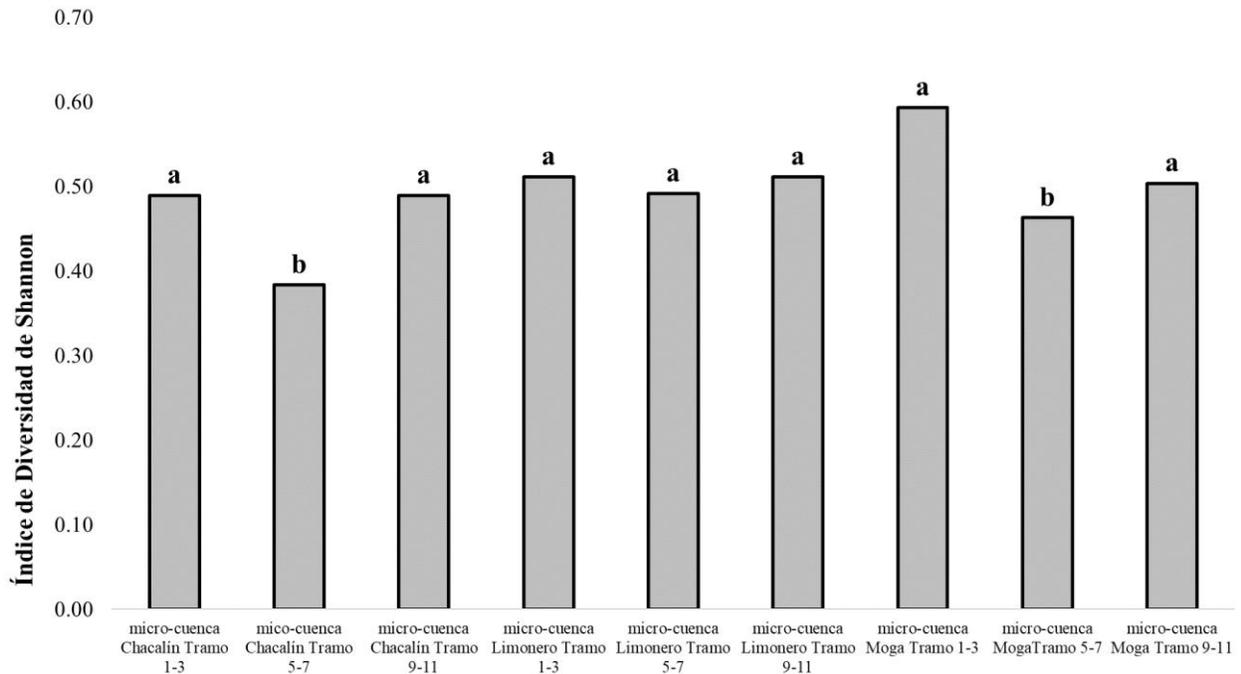


Figura 5. Índice de Equitatividad. Letras distintas (a-b) se leen como diferencia estadística al 95% de confiabilidad con la prueba de Chi-cuadrado.

Según el índice de Equitatividad se encontraron diferencia estadística en el tramo 5-7 (medio) de la microcuenca Chacalín y de la microcuenca Moga, esto podría referirse que poseen condiciones de calidad igualmente similares o que los hábitats de estas microcuencas cumplen con ciertos parámetros requeridos para las comunidades de macroinvertebrados lo cierto es que la estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados no sólo varían a causa de la afectación ejercida por los impactos de origen antrópico, sino que, además, también muestran amplias variaciones espaciales y temporales como consecuencia de la variabilidad natural que presentan las condiciones ambientales en los ecosistemas fluviales, según (Cabria, 2009; Reynoldson & Wright, 2000) para solventar el problema que genera la variabilidad espacial de las comunidades de macroinvertebrados es esencial realizar una clasificación adecuada de los ecosistemas fluviales. Mediante esta clasificación se obtienen agrupaciones, denominadas clases o tipologías, dentro de las cuales se puede asumir que las comunidades de macroinvertebrados muestran una estructura y composición similar.

Las comunidades de macroinvertebrados muestran amplias variaciones temporales en relación con los diversos factores ambientales que caracterizan una determinada cuenca o masa de agua. Dentro de estos cambios se pueden diferenciar dinámicas intra-anales (estacionales) e inter-anales. Las primeras suelen seguir patrones cíclicos y direccionales, los cuales son relativamente predecibles, ya que están principalmente determinados por la variación estacional que sigue el clima. Sin embargo, las segundas son menos predecibles debido a que suelen derivar de fenómenos generados a una escala mayor, los cuales no siguen un patrón cíclico tan definido. La variación temporal de las comunidades de macroinvertebrados puede interferir en el proceso de evaluación del estado ecológico de las masas de agua (Cabria, 2009).

Tabla 4. Tabla de correlación de Pearson entre las variables de Familia, Microcuenca, trama y orden con respecto al Índice BMWP.

	Correlaciones			
	Subcuenca	Tramo	Orden	Valor Índice IBMWP
Familia	0.038	-0.084*	0.932**	0.309**
Microcuenca		0.178**	0.061	0.011
Tramo			-0.063	-0.047
Orden				0.524**

*. La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral).

** . La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

Existe relación positiva intensa entre la variable familia y el IBMWP con un valor de correlación de (R^2 : 0.309, P-valor: 0.001), demostrando la relación y aplicabilidad de las comunidades de macroinvertebrados con el índice empleado. Sin embargo, la metodología de la segmentación de la microcuenca en tramos indica que es levemente inversa a la distribución de familias (R^2 : -0.084, P-valor: 0.05), esto se debe a que la probabilidad de seleccionar solo tres transectos de toda la ribera no es tan representativa como muestrear todos los transectos del sitio para las comunidades de macroinvertebrados.

Tabla 5. Correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas, con respecto al Índice BMWP. Letras distintas (a-b) se leen como diferencia estadística al 95% de confiabilidad basado en la prueba de Chi-cuadrado.

Parámetro Fisicoquímico	Chacalín	Limonero	Moga
pH	7.19 a	7.14 a	6.71 b
Conductividad	77 a	60 c	70 b
TSS	39 a	30 b	35 a
Temperatura (° C)	26 a	27.5 a	25.6 a
Turbidez	25 a	0 b	0 b
IBMWP	5.58 a	5.73 a	5.6 a

Existe una relación positiva entre el índice IBMWP con respecto a los parámetros de TSS con un valor 30 mg/l y Turbidez 0 UTM en la microcuenca Limonero, demostrando la dependencia de la comunidad de macroinvertebrados a condiciones fisicoquímicas óptimas, Mientras que para la micra cuenca Moga existe una relación estrechamente positiva entre el pH con un valor de 6.71 y la conductividad 70 con el índice en la correlación, lo que determina que los parámetros fisicoquímicos del agua están determinados por factores ambientales influyen de manera directa en la diversidad de las comunidades de los macroinvertebrados (Gil Gómez, 2014).

En algunos sitios donde la turbidez es alta y por consiguiente los sólidos presentan valores elevados, lo que podría deberse a la alta cobertura de vegetación acuática. Esto a su vez ocasiona mayores aportes y descomposición de materia orgánica; la turbulencia también provoca la resuspensión de sedimentos, lo cual incrementa la presencia de partículas en la columna de agua (Usme, 2011), este mismo autor dice que se ha demostrado que este parámetro está directamente relacionado con la dinámica de las corrientes en los cuerpos de agua.

VI. CONCLUSIONES

1. La abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados se presentó con mayor predominancia en la microcuenca Moga con un 37.25%, seguido de la microcuenca Chacalín con 35% y Limonero con 27.45%.
2. La familia más representativa fue Hydropsychidae de los Trichópteros en todos los sitios muestreados y seguida de la familia Baetidae del orden Ephemeroptera. En las microcuencas la diversidad su variante está comprendida de la siguiente forma: microcuenca Chacalín las familias Perlidae y Platysticidae; Limonero, Baetidae y Perlidae; caño Moga las familias Palaemonidae y Platysticidae.
3. Los resultados obtenidos en cuanto a la equitatividad están comprendidos entre las microcuencas chacalín y Moga en el transecto 5-7, lo que determina que los hábitats de estos sitios son similares entre sí para el establecimiento de las comunidades de macroinvertebrados.
4. Los valores del índice IBMW-CR más elevados se presentaron en los caños Chacalín (79.33 %) y Moga (78%) donde se destacó la presencia de las familias de los órdenes Odonata, Ephemeroptera, Trichóptera y Plecoptera, siendo estos bioindicadores de la buena calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos y sus hábitats.
5. De acuerdo con los valores del índice y los resultados de los sitios se establece que la calidad del agua adecuada de las microcuencas Chacalín y Moga presentan un estado ecológico de calidad buena, con una contaminación moderada, mientras que para la microcuenca Limonero se establece un estado ecológico de calidad mala siendo indicativo de contaminación.
6. La calidad del agua afecta directamente la diversidad y abundancia de macroinvertebrados en los sitios de estudio. Por este motivo, se presentó mayor cantidad de individuos y diversidad de familias en las microcuencas Chacalín y Moga en comparación con

Limonero de acuerdo con el índice de diversidad de Shannon, donde en la microcuenca Chacalín en el tramo bajo tuvo el punto más alto de diversidad (1.86) y Moga en el tramo alto (2.25), respectivamente.

7. La distribución espacial y la Equitatividad de las familias identificadas se ven afectadas directamente por las condiciones fisicoquímicas de los sitios, destacan: los parámetros de TSS, la Conductividad y el pH en las microcuencas Limonero y Moga que favorecen o limitan en diferentes grados y formas la composición y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados.

VII. RECOMENDACIONES

1. A estudiantes e investigadores de BICU u otra universidad se le recomienda tomar en cuenta ampliar la zona de muestreo tanto en longitud del transepto y amplitud de la franja para una muestra más representativa.
2. A los mismos, integrar los parámetros de medición oxígeno disuelto, para ver el comportamiento de distribución de las familias de macroinvertebrados.
3. A investigadores de FARENA u otra universidad a complementar la caracterización de los tipos y estado de conservación de los agroecosistemas adyacentes a las zonas de muestreo, con un análisis integral de muestras de bacteriológicos y fisicoquímicos del agua con respecto al índice IBMWP-CR.
4. Estos deberán Realizar los muestreos de macroinvertebrados en las distintas épocas climáticas del año garantizando la inclusión en la variabilidad de familias, condiciones e índice de IBMWP-CR según las condiciones locales de clima.
5. Instar a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y de conformidad con la ley 620, Ley General de Aguas Nacionales, a que velen más por la conservación, uso, aprovechamiento y calidad de los recursos hídricos de la Costa Caribe y por ende incluye el Territorio Indígena Rama Kriole.
6. A la Alcaldía Municipal de Bluefields y Empresa de Acueductos y Alcantarillado (ENACAL) recomendar a crear políticas públicas de cara a la conservación, protección y reducción de contaminación en los ecosistemas acuáticos a nivel municipal y regional.
7. Se sugiere al Gobierno Territorial Rama-Kriol (GTR-K) y a los Gobiernos Comunales Rama-Kriol que dentro de sus normativas y protocolos incluyan sus propios reglamentos de manejo de los recursos hídricos a través de este estudio, como parte del compromiso de garantizar y preservar el acceso de este recurso para futuras generaciones.

8. A los comunitarios instar a que no sigan ejerciendo presión ambiental a los ecosistemas en general y acuáticos, como la deforestación, la pesca con veneno y contaminación al agua de manera directa, para seguir preservando la diversidad de organismo presentes.

VIII. REFERENCIAS

- Allan, J. D. (2004). Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(257–284).
- Beltrán-Vargas, J. E., & Churio, J. O. R. (2012). Modelación Dinámica De Los Sólidos Suspendidos Totales En El Humedal Jaboque, Bogotá (Colombia). *Colombia Forestal*, 15(2), 191–205.
- Brittain, J. E. (1990). Life History Strategies in Ephemeroptera and Plecoptera. En *Mayflies and Stoneflies: Life Histories and Biology* (Vol. 44, pp. 1–12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2397-3_1
- Cabria, M. Á. (2009). Estudio de la variabilidad espaciotemporal de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los ecosistemas fluviales de Cantabria. Repercusiones para la aplicación de la directiva marco del agua.
- Calderon, C. C., & Rodriguez, M. C. (2016). Odonatos como bioindicadores de la calidad de agua en Surutato, Sinaloa. *Bol. Soc Mex* (n. s), 1–5.
- Custodio, M., & Chaname, F. (2016). Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú *Analysis*, 7(1), 33–44. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.01.04>
- Dominguez, E., & Fernández, H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, <https://doi.org/978-950-668-015-2>
- Flores-Pacheco, J. A., Murillo, Y., Oporta, R., Flores-Pacheco, C. J., & Alemán, Y. (2016). Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum*) y chiltoma (*Capsicum annuum*) con sustratos inertes. *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano*, 20(2305–5790), 73–81. <https://doi.org/2305-5790>
- Giacometti, J.C. (2019). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín Técnico, Serie Zoológica*, 6(2).
- González, M. A. G., Gradín, F. C., García, M. J. S., & Lanero, R. V. (2006). Macroinvertebrados de las aguas dulces de Galicia. Hércules de Ediciones.

- Gil J. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables fisicoquímicas y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores del agua en la cuenca del Río Garagoa. Universidad de Manizales.
- González-Alemán, N., Sánchez-Mateo, S., & Mairena-Valdivia, Á. (2013). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua del trópico húmedo de las microcuencas de los alrededores de Bluefields, Nicaragua. *WANI*, 68, 53–63.
- Gobierno Territorial Rama-Kriol (GTR-K). (2007). Diagnóstico del Territorio Rama y Kriol Presentado por el Gobierno Territorial Rama y Kriol. Comisión Nacional de Demarcación y Titulación (CONADETI).
- Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A. (2010). Introducción a los grupos de Macroinvertebrados Acuáticos (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Heathcote, I. W. (2009). *Integrated watershed management: principles and practice*. John Wiley & Sons, Inc, NY, U.S.A. 414 pp. John Wiley & Sons.
- Hughes, R. M., & Peck, D. V. (2008). Acquiring data for large aquatic resource surveys: the art of compromise among science, logistics, and reality. *Journal of the North American Benthological Society*, 27(4), 837–859.
- IBM® Statistical SPSS®. (2016). IBM® SPSS® 23.0. Recuperado de <http://www.spss.com/>
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). (2015). *Los Ecosistemas de Nicaragua y su Estrategia*.
- Jaramillo, J. C. (2004). Importancia de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. *Cultura Científica*, (2), 92–98.
- Jiménez Sandoval, J. A. (2015). *Morfología funcional y hábitat de macroinvertebrados acuáticos en lagunas del Parque Nacional Natural Chingaza* (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias).
- Kaufmann, P. R., Faustini, J. M., Larsen, D. P., & Shirazi, M. A. (2008). A roughness-corrected index of relative bed stability for regional stream surveys. *Geomorphology*, 99(1–4), 150–170. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.10.007>
- Ladrera, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de información ambiental*, (39), 24-29.
- Lozano-Quilis, M. Á., Pujante, A., & Words, K. E. Y. (2006). Estudio del estado ecológico de las cabeceras de los ríos Bergantes, Mijares y Palancia (Castellón, España). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Biol.)*, 101, 57-70.

- Magurran, A. E. (1989). Diversidad ecológica y su medición (No. 574.5 M32Y).
- Merritt, R. W., & Cummins, K. W. (1996). An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall Hunt. Kendall Hunt.
- Mohammed, S. S. (2015). Effect of pH on the Turbidity Removal of Wastewater. OALib, 02(12), 1–9. <https://doi.org/10.4236/oalib.1102283>
- Montgomery, D. R., & Buffington, J. M. (1997). Channel-reach morphology in mountain drainage basins. Bulletin of the Geological Society of America, 109(5), 596–611. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109)
- Mosquera, D., Palacio, L., Soto, A. (2008). Bioindicación de la calidad del agua del río Cali, Valle del Cauca, Colombia; usando macroinvertebrados acuáticos. Revista de la asociación colombiana de ciencias biológicas, 1(20).
- Ministerio de los Recursos Naturales y Medio Ambiente (MARENA). (2019). Rutas Turísticas en Áreas Protegidas de Nicaragua. MARENA.
- Oscoz, J. (2009). Guía de campo macroinvertebrados de la Cuenca del Ebro. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Gobierno de España. Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Oscoz, Javier, Duran, C., Tomas, P., & Pardos, M. (2008). Notas sobre la presencia de algunos Macroinvertebrados acuáticos en el Valle Dearán (Lérida). Lucas Mallada, 13, 179–191.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2006). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. <https://doi.org/10.3390/w1010003>
- Pritchard, G. (1996). The life history of a tropical dragonfly: Cora marina (Odonata: Polythoridae) in Guanacaste, Costa Rica. Journal of tropical Ecology, 12(4), 573–581.
- Ramírez, A., & Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2014). Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: A critical analysis and review of existing literature. Revista de Biología Tropical, 62(April), 155–167. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15785>
- Reynoldson, T. B., & Wright, J. F. (2000). The reference condition: problems and solutions: Freshwater Biological Association (FBA).
- Rodríguez-Barrios, J., Ospina-Torres, R., Gutiérrez, J. D., & Ovalle, H. (2007). Densidad y Biomasa de Macroinvertebrados Tropical de Montaña (Bogotá, Colombia), 29(2), 397–412.

- Roldán, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Fondo FEN, Medellín.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Salamanca, D. (2015). Los efectos del canal sobre los pueblos indígenas Rama-Kriol y recomendaciones a HKND y al gobierno de Nicaragua. WANI.
- Samanez, I., Rimarachin, V., Palma, C., & Ortega, H. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. Centro de Documentación Ambiental.
- Sánchez, J. (2011). Características biológicas y ecológicas de los macroinvertebrados en un sector del hiporitrón en el río Tormes (España Central). *Zoológica Baetica*, 22, 51–67. [https://doi.org/ISSN: 1130-4251](https://doi.org/ISSN:1130-4251) (2011).
- Smarth, R. (2017). Análisis de las Comunidades de Macroinvertebrados en pasos para peces de la Cuenca del Duero. Aplicación en una escala de artesas y en un río artificial. Palencia-España.
- Sokal, R., & Rohlf, F. J. (1981). *Biometry*. Francisco, California, 259 p.
- Soza, A., & Ebank, E. (2013). Bioindicadores de la calidad de agua de las microcuencas (walpata, el pool, lunku creek y esconfran), en la ciudad de Bluefields durante la época seca y lluviosa del 2011. Bluefields Indian & Caribbean University (BICU).
- Springer, M. (2010). Biomonitoring acuático. *Escuela de Biología & Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR)*, 58, 53–59.
- Sweeney, B. W., Jackson, J. K., & Funk, D. H. (1995). Semivoltinism, seasonal emergence, and adult size variation in a tropical stream mayfly (*Euthyplocia hecuba*). *Journal of the North American Benthological Society*, 14(1), 131–146.
- Terra, B. d., Hughes, R. M., & Araújo, F. G. (2016). Fish assemblages in Atlantic Forest streams: the relative influence of local and catchment environments on taxonomic and functional species. *Ecology of Freshwater Fish*, 25(4), 527–544. <https://doi.org/10.1111/eff.12231>

- Tomanova, S., Goitia, E., & Helešic, J. (2006). Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hydrobiologia*, 556(1), 251–264.
- Universitat de Barcelona. (2012). Agua. Análisis Interdisciplinario y Gestión Sostenible. Universitat de Barcelona.
- Usme, J. R. (2011). Relación entre la composición y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas y químicas en el humedal Jaboque Bogotá-Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Vernon, L. (1985). *Water Chemistry*. John Wiley and Sons 298-301.

IX. ANEXOS

9.1. Base de datos

Tabla 6. Base de datos de macroinvertebrados

Rangos			
<i>Subcuenca</i>			N
Caño Chacalín	Tramo	Ptilodactylidae	9
		Elmidae	2
		Dryopidae	17
		Platysticidae	31
		Coenagrionidae	18
		Libellulidae	3
		Gomphidae	2
		Ecnomidae	4
		Hydropsychidae	234
		Hydrobiosidae	1
		Leptohyphidae	9
		Leptophlebiidae	6
		Baetidae	33
		Naucoridae	6
		Simulidae	5
		Thiaridae	5
		Corydalidae	2
	Perlidae	33	
	Total	420	
	Orden	Ptilodactylidae	9
		Elmidae	2
		Dryopidae	17
		Platysticidae	31
		Coenagrionidae	18
		Libellulidae	3
		Gomphidae	2
		Ecnomidae	4
Hydropsychidae		234	
Hydrobiosidae		1	
Leptohyphidae	9		
Leptophlebiidae	6		
Baetidae	33		
Naucoridae	6		
Simulidae	5		

Rangos					
<i>Subcuenca</i>		N			
		Thiaridae	5		
		Corydalidae	2		
		Perlidae	33		
	Valor Índice IBMW	Ptilodactylidae	9		
		Elmidae	2		
		Dryopidae	17		
		Platysticidae	31		
		Coenagrionidae	18		
		Libellulidae	3		
		Gomphidae	2		
		Ecnomidae	4		
		Hydropsychidae	234		
		Hydrobiosidae	1		
		Leptohyphidae	9		
		Leptophlebiidae	6		
		Baetidae	33		
		Naucoridae	6		
		Simulidae	5		
		Thiaridae	5		
		Corydalidae	2		
		Perlidae	33		
		Total	420		
		Caño Limonero	Tramo	Platysticidae	1
				Coenagrionidae	9
Libellulidae	5				
Gomphidae	1				
Hydropsychidae	81				
Baetidae	29				
Naucoridae	2				
Thiaridae	1				
Corydalidae	13				
Perlidae	23				
Total	173				
Orden	Psephenidae			2	
	Dysticidae		4		
	Calopterygidae		1		
	Veliidae		1		
	Platysticidae		1		
	Coenagrionidae		9		

Rangos			
<i>Subcuenca</i>		N	
		Libellulidae	5
		Gomphidae	1
		Hydropsychidae	81
		Baetidae	29
		Naucoridae	2
		Thiaridae	1
		Corydalidae	13
		Perlidae	23
		Total	173
		Psephenidae	2
		Dysticidae	4
		Calopterygidae	1
		Veliidae	1
		Valor Índice IBMW	Platysticidae
	Coenagrionidae		9
	Libellulidae		5
	Gomphidae		1
	Hydropsychidae		81
	Baetidae		29
	Naucoridae		2
	Thiaridae		1
	Corydalidae		13
	Perlidae		23
	Total		173
	Psephenidae		2
	Dysticidae	4	
Calopterygidae	1		
Veliidae	1		
Caño moga	Tramo	Ptilodactylidae	4
		Elmidae	6
		Platysticidae	33
		Coenagrionidae	8
		Libellulidae	5
		Gomphidae	13
		Hydropsychidae	126
		Leptohyphidae	1
		Baetidae	13
		Naucoridae	6
		Corydalidae	13

Rangos			
<i>Subcuenca</i>		N	
		Perlidae	8
		Total	300
		Psephenidae	9
		Calopterygidae	3
		Megapodagrionidae	2
		Philopotamidae	10
		Xiphocentronidae	1
		Tipulidae	3
		Palaemonidae	36
	Orden	Ptilodactylidae	4
		Elmidae	6
		Platysticidae	33
		Coenagrionidae	8
		Libellulidae	5
		Gomphidae	13
		Hydropsychidae	126
		Leptohyphidae	1
		Baetidae	13
		Naucoridae	6
		Corydalidae	13
		Perlidae	8
		Total	300
		Psephenidae	9
		Calopterygidae	3
		Megapodagrionidae	2
		Philopotamidae	10
		Xiphocentronidae	1
		Tipulidae	3
	Palaemonidae	36	
	Valor Índice IBMW	Ptilodactylidae	4
		Elmidae	6
		Platysticidae	33
		Coenagrionidae	8
Libellulidae		5	
Gomphidae		13	
Hydropsychidae		126	
Leptohyphidae		1	
Baetidae		13	
Naucoridae	6		

Rangos			
<i>Subcuenca</i>		N	
		Corydalidae	13
		Perlidae	8
		Total	300
		Psephenidae	9
		Calopterygidae	3
		Megapodagrionidae	2
		Philopotamidae	10
		Xiphocentronidae	1
		Tipulidae	3
		Palaemonidae	36

9.2. Operacionalización de Variables

Tabla 7. Operacionalización y descripción de las variables

Variable	Método	Frecuencia	Unidades
Microcuenca	Caracterización para cada sistema visitado. Ver Anexos	Única por sistema visitado	-----
Diversidad	Diversidad de Shannon	La cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (<i>abundancia</i>)	H'
Riqueza	Índice de Chao	cantidad de especies presentes en el área de estudio (<i>riqueza de especies</i>)	\hat{J}
Taxón	Identificación en base a claves taxonómicas	Identificación y clasificación en el laboratorio	-----
Equitatividad	Índice de Equitatividad	El grado en el que las diferentes especies son similares en cuanto a su abundancia	E
Calidad de agua	IBMWP-CR	Sumatoria de los puntajes de los valores del índice de Springer	-----

9.3. Imágenes satelitales de la ubicación de los sitios de muestreos.

9.3.1. Caño Chacalín y Limonero- Kukra River



9.3.2. Caño Moga- Rio Maíz



9.5. Fotografías de campo

9.5.1. Microcuenca Chacalín



Ilustración 2 Microcuenca Chacalín. Descripción del sitio (a), Recolección de macroinvertebrados (b), Descripción de las condiciones de la ribera (c y d)



Ilustración 3 Microcuenca Chacalín. Muestran las características del sitio en estudio dentro de la ribera como a sus bordes.

9.5.2. Microcuenca Limonero



Ilustración 5 Microcuenca Limonero. Recolección de macroinvertebrados con la red de pantalla (a y b), Condiciones del transecto y sus características (c), medición de los transectos (d).



Ilustración 4 Muestran las condiciones y características de los habitats de las comunidades de macroinvertebrados dentro de la microcuenca.

9.5.3. Caño Moga



Ilustración 7 Condiciones de la rivera en los puntos de muestreo (a, b, c y d) y características físicas de la microcuenca.



Ilustración 6 Descripción grafica de los puntos de muestreos de la ribera.

9.5.4. Fotografías de Laboratorio



Ilustración 8 Identificación de Macroinvertebrados equipos de laboratorio (d) y clasificación e identificación de macroinvertebrados.



Ilustración 9 Identificación de macroinvertebrados (a), materiales de laboratorio para la identificación (b y c), macroinvertebrados identificados y clasificados hasta nivel de familia (h).