



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL
AMBIENTE

**Por un Desarrollo
Agrario Integral
y Sostenible**

Trabajo de Tesis

Estimación de caudales favorables y desfavorables para la Ictiofauna y Macroinvertebrados en función de restricciones ambientales y de gestión en la subcuenca del Río Jigüina, ubicado en el municipio de Jinotega.

Autores:

Br. Xochilt Fabiola Medrano Núñez

Br. Elieth de los Angeles Aguirre Canales

Asesor:

MP. Álvaro Emilio Martínez Gadea

Managua, Nicaragua

Agosto, 2022



“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y
DEL AMBIENTE**

**Tesis para optar al título de Ingeniero en Recursos
Naturales Renovables**

Trabajo de Tesis

Estimación de caudales favorables y desfavorables para la Ictiofauna y Macroinvertebrados en función de restricciones ambientales y de gestión en la subcuenca del Río Jigüina, ubicado en el municipio de Jinotega.

Autores:

Br. Xochilt Fabiola Medrano Núñez

Br. Elieth de los Angeles Aguirre Canales

Asesor:

MP. Álvaro Emilio Martínez Gadea

Managua, Nicaragua

Agosto, 2022

El presente trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la decanatura de la Facultad de Recursos Naturales y del Medio Ambiente, como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

Miembros del Honorable Comité evaluador

Presidente

Secretario

Vocal

Managua, Nicaragua 2022

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
INDICE DE CONTENIDO	i
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
General	3
Específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Definiciones de Caudal Ecológico	4
3.2. Metodologías Utilizadas para la Estimación del Caudal Ecológico	5
3.2.1. Metodología Hidrológica	5
3.2.2. Metodologías de Valoración hidráulica	5
3.2.3. Metodología Hidrobiológica	6
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	10
4.1. Localización del área de estudio	10
4.2. Características Biofísicas de la Subcuenca del Rio Jigüina	11
4.2.1 Medio Abiótico	11
4.2.2. Medio Biótico	13
4.2.3. Flujo del Proceso Metodológico	14
4.3. Proceso de la investigación	15
4.3.1 Etapa de planeación	15
4.3.2 Etapa de campo	15
4.3.3 Etapa de procesamiento	16
4.4. Materiales utilizados:	17

4.5.	Desarrollo metodológico	18
4.5.1.	Aplicación de la metodología para la estimación de caudales favorables y desfavorables en función de restricciones ambientales y de gestión.	18
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
5.1	Morfometría de la subcuenca del río Jigüina	21
5.2.	Macroinvertebrados registrados	25
5.3.	Ictiofauna registrados	26
5.4.	Familias de ictiofauna y macroinvertebrados registrados en ambos periodos	26
5.5.	Caudales registrados	29
5.5.1.	Perfiles del río Jigüina durante las campañas que se hicieron en periodo seco y periodo lluvioso	30
5.6.	Comportamiento de la ictiofauna y macroinvertebrados ante las fluctuaciones del caudal para ambos periodos	31
5.7.	Índice de diversidad de Shannon Wiener	32
5.8.	Coefficiente de correlación de Pearson	35
VI.	CONCLUSIONES	40
VII.	RECOMENDACIONES	41
VIII.	LITERATURA CITADA	42
IX.	ANEXOS	44

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1.Cuadro 1. Familias de ictiofauna y macroinvertebrados registrados en ambos periodos.	26
2.Cuadro 2. Parámetros evaluados en la subcuenca del río Jigüina.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1.Figura 1. Mapa de ubicación de la subcuenca del río Jigüina	10
2.Figura 2.. Flujo del Proceso Metodológico.	14
3.Figura 3. Curva Hipsométrica del río Jigüina.	22
4.Figura 4. Mapa de uso actual del suelo de la subcuenca.	24
5.Figura 5. No. De familia de macroinvertebrados encontrados por campañas.	25
6.Figura 6. No. De familia de ictiofauna registrados por campañas.	26
7.Figura 7. Caudales registrados por campañas en ambos periodos.	29
8.Figura 8. Perfiles del río Jigüina durante las campañas que se hicieron en periodo seco y periodo lluvioso.	30
9.Figura 9. Comportamiento de los macroinvertebrados e ictiofauna ante los diferentes caudales registrados.	31
10.Figura 10. Índice de diversidad para macroinvertebrados e ictiofauna para ambos periodos.	32
11.Figura 11. Índice de diversidad para ictiofauna y macroinvertebrados para periodo lluvioso.	33
12.Figura 12. Índice de diversidad para macroinvertebrados e ictiofauna para periodo seco	34
13.Figura 13. Coeficiente de correlación de Pearson para macroinvertebrados y caudal.	35
14.Figura 14. Coeficiente de correlación de Pearson para ictiofauna y caudal.	36
15.Figura 15. Coeficiente de correlación de Pearson para macroinvertebrados e ictiofauna.	37

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS	PÁGINA
1.Anexo 1. Familias encontradas en el cauce del río durante el periodo seco y lluvioso.	44
2.Anexo 2. Mapa de elevación de la subcuenca río Jigüina	45
3.Anexo 3. Mapa de pendiente de la subcuenca río Jigüina.	45
4.Anexo 4.Formato de registro de aforo por flotador	46
5.Anexo 5. Colecta de información de los macroinvertebrados acuáticos.	47
6.Anexo 6. Formato para entrevista a pescadores.	48
7.Anexo 7. Pescadores entrevistados	49
8.Anexo 8. Gira de campo.	50

RESUMEN

Las diferentes actividades antrópicas y los cambios de clima han contribuido al deterioro de los recursos hídricos del país, lo que ha llevado a la pérdida y deterioro de los distintos ecosistemas, sin embargo, el país no cuenta con una ley o norma que regule el uso racional de los cuerpos de agua naturales, a fin de que conserven la vida acuática, es por ello que surge esta iniciativa, con el propósito de estimar caudales favorables y desfavorables para la ictiofauna y los macroinvertebrados en el río Jigüina. La metodología aplicada considera la variación de los indicadores del factor ambiental agua y las limitantes que esto implica para el buen funcionamiento de la fauna dulceacuática, a su vez los resultados obtenidos son insumos para considerar en la gestión de los recursos hídricos superficiales y la conservación de los ecosistemas acuáticos. Se estimaron los caudales a través de seis campañas durante un año en los periodos seco y lluvioso, y se correlaciono con el comportamiento de las comunidades de ictiofauna y macroinvertebrados acuáticos, adicionalmente se contrastaron los resultados de calidad de agua con lo establecido en las normativas para la vida acuática. Durante los muestreos se contabilizaron 12 familias de macroinvertebrados y 5 familias de ictiofauna. Los parámetros de calidad evaluados fueron: pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, alcalinidad, solidos suspendidos y fosforo, estos resultados fueron proporcional a la presencia de familias por periodos. En el periodo lluvioso se obtuvo un caudal que no sobrepaso los 9 m³/s y en el periodo seco disminuyo hasta los 4 m³/s, con lo que en proporción se disminuyó la diversidad hasta 1.09 para los macroinvertebrados y 1.01 para la ictiofauna, según el índice de diversidad de Shannon-Wiener. La correlación realizada entre ambos grupos y su relación con el caudal da como resultado un valor de $r \geq 0.81$ lo que expresa una alta correlación entre estas variables. Por tanto, el caudal favorable se produce en el periodo lluvioso y el desfavorable en el periodo seco.

Palabras claves: Caudal desfavorables-favorables, morfometría, macroinvertebrados, ictiofauna, Índice de Shannon-Wiener, restricción ambiental

ABSTRACT

The different anthropic activities and climate changes have contributed to the deterioration of the country's water resources, which has led to the loss and deterioration of the different ecosystems, however, the country does not have a law or regulation that regulates the rational use of natural water, in order to conserve aquatic life, that is why this initiative arises, with the purpose of estimating favorable and unfavorable flows for the ichthyofauna and macroinvertebrates in the Jigüina River. The methodology applied considers the variation of the indicators of the environmental factor water and the limitations that this implies for the proper functioning of the freshwater fauna, in turn the results obtained are inputs to consider in the management of surface water resources and the conservation of aquatic ecosystems. The flows were estimated through six campaigns during a year in the dry and rainy periods, and it was correlated with the behavior of the ichthyofauna and aquatic macroinvertebrate communities, in addition, the results of water quality were contrasted with the provisions of the regulations for aquatic life. During the sampling, 12 families of macroinvertebrates and 5 families of ichthyofauna were counted. The quality parameters evaluated were: pH, temperature, turbidity, phosphorus, dissolved oxygen; alkalinity, suspended solids and their results were proportional to the presence of families by periods. In the rainy period a flow rate was obtained that did not exceed 9 m³ / s and in the dry period decreased to 4 m³ / s, which in proportion decreased the diversity to 1.09 for macroinvertebrates and 1.01 for ichthyofauna, according to the Shannon-Wiener diversity index. The correlation made between both groups and their relationship with the flow results in a value of $r \geq 0.81$, which expresses a high correlation between these variables. Therefore, the favorable flow occurs in the rainy period and the unfavorable in the dry period.

Keywords: Unfavorable-favorable flow rate, morphometry, macroinvertebrates, ichthyofauna, Shannon-Wiener index, environmental restriction

I. INTRODUCCIÓN

Las fuentes hídricas superficiales en Nicaragua se encuentran a un acelerado proceso de degradación por la contaminación que es una constante en los actuales sistemas de producción urbanos y rurales, sumado a la demanda progresiva para sus diferentes usos y escasas precipitaciones debido a fenómenos como la variabilidad climática. Esta suma de factores incrementa el riesgo de disponibilidad actual y futura de agua de calidad, provocando cambios en la diversidad de los ecosistemas terrestres y acuáticos de las cuencas hidrográficas.

La gestión de los recursos hídricos superficiales en el país mandata a través de instrumentos legales (la ley 620 ,217, decreto 21-2017 y la NTON 05 027-05) al cumplimiento en materia de conservación, protección, uso racional y calidad que debe cumplir el agua en su estado natural y residual al depositarse sobre un cuerpo de agua, sin embargo, se carece de una normativa que establezca todos los parámetros necesarios que debe cumplir el agua dulce para garantizar la biodiversidad en sus ecosistemas. La permanencia de la vida acuática depende de ciertas condiciones ambientales con valores que pueden propiciar la vida o la ausencia de algunos organismos de flora y de fauna en estos ecosistemas.

En la región central se encuentra la subcuenca del río Jigüina y es uno de los cuerpos de agua nacionales de mayor interés y se ubica específicamente en el municipio de Jinotega, departamento de Jinotega; tiene una extensión de 182.71 km², de esta área una porción la ocupa la Reserva Natural Datanlí el Diablo. Los principales usos del suelo son: granos básicos, ganadería, hortalizas, caficultura y bosque, esta zona es considerada como una de las más productivas además de ser tributario del Lago de Apanás.

La socioeconomía de la subcuenca está sustentada mayormente en la agricultura de subsistencia y de comercialización al mercado local, para el caso de algunos rubros del agro, como las hortalizas. El desarrollo de estas actividades productivas ha generado problemáticas ambientales en las que sobresalen la deforestación, erosión y degradación del suelo y la contaminación de cuerpos de agua superficial.

La determinación de un caudal favorable o desfavorable referente en el país contribuirá a comprender algunas condicionantes de hábitat de las familias que componen la ictiofauna y las familias de macroinvertebrados que conforman parte del ecosistema acuático del río

Jigüina, esto permitirá obtener una aproximación de la cantidad y calidad de agua necesaria para conservar el hábitat de estos grupos de fauna.

Para obtener una aproximación de las condiciones ambientales que permiten o que pueden restringir el hábitat de estos grupos, es necesario tener valores de referencia que nos indiquen lo que es favorable y desfavorable en alguna medida para las familias de los grupos de la ictiofauna y macroinvertebrados. Para ello se aplicó la metodología en función de las restricciones ambientales y de gestión en el Río Jigüina, ubicado en el municipio de Jinotega.

A través de este estudio pretendemos generar resultados que sirvan como insumos de referencia para la toma de las decisiones relacionados al aprovechamiento y conservación del recurso hídrico y los ecosistemas que constituye.

II. OBJETIVOS

General

Estimar los caudales favorables y desfavorables para ictiofauna y macroinvertebrados en función de restricciones ambientales y de gestión en el Río Jigüina, ubicado en el municipio de Jinotega.

Específicos

Estimar los caudales por cada una de las campañas realizadas para los periodos seco y lluvioso.

Analizar la diversidad a nivel de familias de los grupos de ictiofauna y macroinvertebrados acuáticos ante las restricciones ambientales de caudal y calidad de agua del río Jigüina.

Determinar los caudales favorables y desfavorables para la sobrevivencia de macroinvertebrados e ictiofauna por periodo en función de restricciones ambientales por periodo.

III. MARCO DE REFERENCIA

El caudal ecológico favorable es relevante en lo relacionado a las concesiones de agua que se otorgan en un sistema hídrico para diferentes usos, pero es también una herramienta que ayuda en la planificación del recurso hídrico en una cuenca hidrográfica. Los caudales ecológicos o favorables se determinan para fijar un caudal de aprovechamiento y un caudal para mantener la vida acuática el cual se aplican metodologías para determinarlo. Mantener la integridad del ecosistema y asegurar los servicios ecosistémicos, son los dos objetivos que considerar para la determinación del caudal ecológico. (UNESCO, 2017).

3.1. Definiciones de Caudal Ecológico

A nivel nacional se considera como caudal favorable lo que se estipula en la Ley General de Aguas Nacionales (Ley No. 620) y que tiene como Reglamento General de Aguas (No. 44-2010), las regulaciones específicas sobre caudales mínimos y condiciones de calidad de agua requerida para mantener el equilibrio ecológico y sostener la biodiversidad de las cuencas, subcuencas y microcuencas o la de ríos, lagos, lagunas, esteros, manglares o acuíferos requeridos (Gaceta Diario Oficial, 2010).

Según (Jamett & Alexandra, 2006) el caudal favorable en el país de Chile hace referencia a la siguiente expresión caudal ecológico (Qeco), referida a un río o a cualquier otro cauce de agua corriente, es una expresión que puede definirse como el agua mínima necesaria para preservar los valores ecológicos del cauce, entendidos estos como: Un caudal puede considerarse ecológico, siempre que sea capaz de mantener el funcionamiento, la composición y la estructura de un ecosistema fluvial, igual que en condiciones naturales.

En Costa Rica el caudal ecológico o favorable se define como el caudal mínimo necesario en una fuente o curso fluvial, para la conservación de los ecosistemas fluviales, en atención a los usos de agua comprometidos, a los requerimientos físicos de la corriente fluvial, para mantener su estabilidad y cumplir sus funciones, tales como dilución de contaminantes, conducción de sólidos, recarga de acuíferos y mantenimiento de las características paisajistas del medio (Hidalgo, 2013).

3.2. Metodologías Utilizadas para la Estimación del Caudal Ecológico

A lo largo de todo el tiempo se han utilizado diferentes metodologías para definir el régimen de caudales ecológicos o favorables, pudiéndose clasificar los más representativos en grupos según la aproximación técnica desarrollada.

Las primeras experiencias con caudales ecológicos se detectan en la década de los años cuarenta al oeste de Estados Unidos, cuando se reconoció que la reducción de algunas especies acuáticas, en especial el salmón, era consecuencia de la disminución de los caudales en los ríos (Moore, 2004).

3.2.1. Metodología Hidrológica

Las metodologías con enfoque hidrológico constituyen las primeras metodologías propuestas para la estimación de caudales ecológicos y fueron desarrolladas principalmente en Estados Unidos durante los setenta y los ochenta. Nacieron con el objetivo principal de garantizar la conservación de especies de importancia económica y en los ríos de tipo permanente con variación hidrológica estacional escasa (Ricardo J, 2009).

3.2.2. Metodologías de Valoración hidráulica

Mediante estas metodologías se busca analizar la variación de diferentes parámetros hidráulicos en secciones transversales identificadas como críticas y limitantes de la capacidad biogénica del tramo fluvial. Estas metodologías tienen como objetivo principal establecer relaciones entre el caudal y alguna característica o parámetro del cauce. Por lo general los factores que se evalúan durante períodos de tiempo son los siguientes: perímetro mojado, velocidad y profundidad máxima (Ricardo J, 2009).

3.2.3. Metodología Hidrobiológica

El enfoque hidrobiológico es también conocido como Método de Simulación del Hábitat, se fundamentan en la relación entre el caudal y la hidráulica, pero que además analiza de forma detallada la cantidad e idoneidad de hábitat físico disponible para una biota objeto y para diferentes regímenes de flujo, además de vincular información hidrológica, hidráulica y biológica (Guevara Torres & Rodríguez Pérez, 2013).

Este enfoque tiene como propósito estudiar el comportamiento de una o más especies, en relación con las características del medio de un río en particular, para de esta manera, obtener datos que le ayuden a determinar el caudal ambiental de éste (Guevara Torres & Rodríguez Pérez, 2013).

a. Metodología IFIM (Instream Flow Incremental Methodology)

La Metodología de Incremento del Flujo de Corriente (IFIM), desarrolla un procedimiento de muestreo que nos permite evaluar las consecuencias ambientales de varias prácticas de uso del agua y el suelo, ya que estudia el comportamiento de una o más especies apícolas, en relación con las características del medio de un río en particular, de esta manera obtener datos que le ayuden a determinar el caudal ambiental del río en estudio. Se basa en la descripción del medio físico y obtención de variables hidráulicas como es la velocidad y profundidad, y el hábitat como el sustrato y cobertura (Díez, 2000).

Esta metodología incorpora el modelo de simulación de hábitat fluvial Physical Habitat Simulation System (PHABSIM), está cuantificada en la cantidad de hábitat disponible para las especies objetivos durante distintas fluctuaciones caudales combinando datos hidráulicos, biológicos e hidrológicos. Conociéndose las condiciones que proveen hábitats que favorecen a dicha especie en estudio (Mosquera Córdoba & Gómez Córtez, 2010).

b. Índice Lotic-Invertebrate Index for Flow Evaluation (LIFE)

El índice llamado Lotic-Invertebrate Index for Flow Evaluation (LIFE), consiste en dar un valor numérico a cada taxón dependiendo del microhábitat que selecciona, según categorías de velocidad del agua. Además, el índice le otorga un valor mayor a los organismos que son dependientes de flujos rápidos y turbulentos, ya que, ante disminuciones del caudal, los hábitats que se ven perjudicados en primera instancia son los rápidos y las cataratas.

El índice puede ser utilizado para proporcionar una línea base de las preferencias de velocidad de las órdenes y familias más comunes y abundantes del país. Estas características permitirían emplearlo para establecer caudales de referencia adecuados para proteger y mantener la integridad ecológica en aquellos ríos donde hay aprovechamiento del recurso hídrico. De igual manera se podrá utilizar para medir el impacto de la extracción de agua y para determinar las afectaciones por cambios en la morfología de un río (Extence, Balbi, & Chadd, 1999).

c. Metodología para la propuesta de caudales ecológicos en función de restricciones ambientales y de gestión.

Este método plantea tres fases detalladas a continuación:

Fase No 1. Manipulación experimental de caudales bajo la presa:

Esta fase se basa en la recolección de toda la información ecológica, relativa al hábitat y comunidades acuáticas para las estaciones seca y lluviosa, sumado a las mediciones de los caudales para el cuerpo de agua en estudio. Esto también se complementa con mediciones de variables como: temperatura (°C), pH, conductividad eléctrica (S/cm) y sólidos disueltos totales (mg/L), oxígeno disuelto, alcalinidad total.

La recolección de información ecológica y específicamente de macroinvertebrados e ictiofauna se levanta insitu, empleando diferentes métodos y herramientas ya conocidas para tal fin, posteriormente los organismos encontrados son clasificados y su diversidad es

estimada mediante el planteamiento de estadísticos considerados para determinar la diversidad (Santos, y otros, 2015).

Fase No 2. Criterios ecológicos e hidrológicos para el régimen ecológico de caudales:

Aquí se evalúan los criterios, respecto a la magnitud de los caudales que condicionan el régimen ecológico sustentado en la presencia y ausencia de los organismos acuáticos (macroinvertebrados e ictiofauna) durante las variaciones de caudales para ambas estaciones en las que miden los caudales.

Se consideran los parámetros fisicoquímicos, como criterios ecológicos de referencia y deben ser comparados con lo establecido en normativas locales, nacionales o regionales para verificar si el agua cumple con los requisitos de calidad para ser un hábitat de las especies de vida acuática (Santos, y otros, 2015).

Los índices relativos a macroinvertebrados bentónicos e ictiofauna se comparan entre sí, considerando caudales similares utilizando diferentes pruebas estadísticas.

Para conocer la variabilidad de los caudales y su influencia en el régimen ecológico se consideran algunos indicadores que condicionan el hábitat de algunas comunidades de ictiofauna y macroinvertebrados (Santos, y otros, 2015).

Fase No 3. Modelación hidrológica del régimen de caudal:

Los análisis fueron realizados en R (R Core Team 2015), considerándose significativos con P inferior al 5%. Se realizó una prueba estadística Mann-Kendall para verificar la existencia de tendencias en las series de estudio. La identificación del modelo más apropiado se basó en el comportamiento de las funciones de correlación total y correlación parcial (Santos, y otros, 2015).

El último paso fue modelar el régimen ecológico de caudales (una serie de 20 años), con un paso diario, a partir de los mejores modelos obtenidos en el paso anterior. Sobre dichos modelos, se impusieron las restricciones o criterios ecológicos e hidrológicos explicados anteriormente (Santos, y otros, 2015).

En esta etapa se considera un sistema operativo para el análisis de datos y elaboración de gráficos, con pruebas estadísticas para la verificación de tendencias en las series estudiadas y mediante un modelo autorregresivo se analizan los correlogramas de cada serie temporal.

Por último, se basa en modelar el régimen ecológico de los caudales para posteriormente imponerse restricciones o criterios ecológicos e hidrológicos.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización del área de estudio

Jinotega se localiza en la región Central-Norte del país, contando con una extensión territorial de 9,222.4 km². El clima se caracteriza por precipitaciones que se incrementan de oeste a este siendo la parte más seca el sector sur oeste del departamento. El 67.4% del territorio del departamento es de vocación forestal debido principalmente a lo accidentado del relieve, dispone de áreas donde se pueden cultivar bosques, incluyendo cultivos perennes como cacao, café, y palma africana. El 25.3% está conformada por terrenos con vocación agropecuaria propios para la producción de cultivos anuales, semiperennes, pastos y hortalizas (INIDE-MAGFOR, 2013).

El estudio se realizó en la subcuenca del río Jigüina, ubicada en el municipio de Jinotega, departamento de Jinotega, entre las coordenadas: 13°4'59'' latitud Norte y 85°58'59'' longitud Oeste, con 164.1 km de distancia a Managua, cubre una extensión territorial de 182.71 km², su altitud media es de 1,322msnm, esta cuenta con una temperatura promedio de 25 °C y una precipitación media anual de 1,200mm. Realizándose para el periodo 2019-2020 (Ver figura 1).

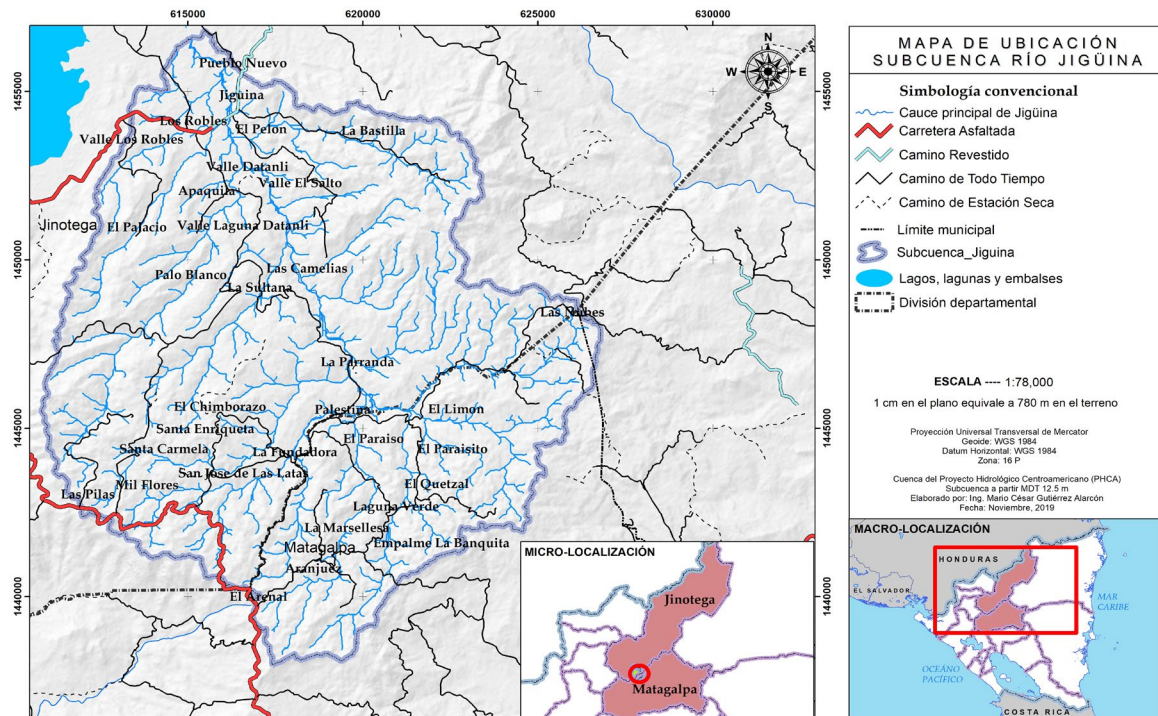


Figura 1. Mapa de ubicación de la subcuenca del río Jigüina

4.2. Características Biofísicas de la Subcuenca del Río Jigüina

Esta subcuenca del río Jigüina contiene gran parte del área de la reserva natural Datanlí el Diablo, provisionando una serie de bienes y servicios ambientales a las comunidades. Los principales usos que se dan al suelo de la subcuenca son: granos básicos, ganadería, hortalizas, caficultura y bosque. Esta subcuenca es considerada como una de las más productivas de agua de la región central y es una de las principales tributarias del lago de Apanás.

Esta subcuenca es un componente importante de la cuenca del lago de Apanás. No solo es el afluente más importante para el funcionamiento del embalse, tanto desde la perspectiva de caudales como sedimentos, el río Jigüina también es utilizado para el trasvase de agua potable de la microcuenca Aranjuez para la ciudad de Matagalpa. Así, es una subcuenca importante por los aprovechamientos hidroeléctricos que ella permite por medio del sistema Apanás (Galeano & Rivera, 2008).

4.2.1 Medio Abiótico

a. Geología

La geología de la subcuenca está dominada por rocas volcánicas del terciario, con una litología de lavas basálticas y andesita-basálticas, tobas y brechas dacitas e ignimbritas. En general, estas litologías forman suelos fértiles, con niveles de nutrientes de medios altos, y saturación de bases altas (Galeano & Rivera, 2008).

La altitud de la subcuenca varía entre 950m de la desembocadura del río Jigüina en el lago de Apanás hasta 1,525m en el cerro Bravo, que está localizado en la divisoria con la cuenca del río Molino Norte. La mayoría de la divisoria en el parte sur, este y oeste, se encuentran con alturas entre 1,400m y hasta 1,600m (Galeano & Rivera, 2008).

Pendiente

La topografía y forma del terreno presenta pendientes dominantes entre 15% y 30% (fuertemente ondulada), distribuidas en la parte alta, las cuales representan el 29.62% del área total. Los terrenos con pendiente escarpada a muy escarpada representan el 35.54% y se distribuyen en la parte media y alta.

En cambio, los terrenos con pendientes plana a ondulada constituyen el 34.83% del área total y se distribuyen en la parte baja, media y alta (Galeano & Rivera, 2008).

Suelos

Los suelos pertenecen a los órdenes Molisoles y Alfisoles que se ubica en las unidades geológicas Coyol Superior y Coyol inferior. Debido a niveles altos de minerales primarios en la materia de suelo, un clima que da muy poca lixiviación, la fertilidad básica de los suelos es alta, sobre todo en materiales como basálticas y andesíticas. En general, los suelos profundos tienen un horizonte A de franco a franco arcilloso, con altos niveles de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, K-disponible y pH, con un horizonte B de franco arcilloso pesado a arcilla (Galeano & Rivera, 2008).

b. Clima

Precipitación

La precipitación en la parte más baja es de 950msnm, la precipitación media anual corresponde a 1,200 mm, con meses lluviosos entre mayo y noviembre, y se presenta una canícula benigna (10-15 días) en el mes de julio. En los meses de diciembre a marzo se presentan precipitaciones de aproximadamente 35mm por mes. En cambio, en la parte más alta de la precipitación media anual corresponde a 1,800mm, con meses lluviosos entre mayo y noviembre, y casi sin canícula. En los meses más lluviosos (junio y septiembre) ocurren precipitaciones de más de 250mm por mes. Hay un promedio de unos 50mm de lluvia en cada mes durante meses diciembre a marzo (Galeano & Rivera, 2008).

Temperatura

Las temperaturas varían debido a las distintas altitudes que tiene. En las partes bajas, a 1000 msnm, la temperatura promedio del aire es de 20° C, en cambio en las partes altas, a 1600 msnm, la temperatura promedio es de unos 12.5° C. Hay pequeñas diferencias de temperatura del orden de los 2°C entre los meses más calurosos y los meses más fríos. Entre abril y mayo ocurren las temperaturas más altas, coincidiendo con el final del período seco y el inicio del período lluvioso. Las temperaturas más bajas ocurren entre diciembre y febrero (MARENA, 2002).

c. Hidrología

El río Jigüina es un afluente del lago de Apanás, que a su vez forma parte de la cuenca del río San Juan, descargando finalmente en el mar Caribe.

La subcuenca del río Jigüina forma parte del lado Oeste de la Reserva Natural Datanlí-El Diablo. En este nacen 9 corrientes de agua que desembocan en el río Jigüina. Son corrientes permanentes, pero de pequeño caudal. Las más caudalosas son el río Sajonia-La Esmeralda, con caudales de 293 litros/segundo (estación seca) y 720 litros/segundo (estación lluviosa) (MARENA, 2002).

4.2.2. Medio Biótico

a. Biodiversidad

En esta subcuenca existe una alta riqueza en especies de acuerdo con los dos tipos de zonas de vida existentes en el lugar. En la parte más alta de la subcuenca, comprende de un bosque muy húmedo o nebliselva y en la parte media y baja corresponde al bosque húmedo subtropical (Galeano & Rivera, 2008).

Según (MARENA, 2002) Los grupos con mayor diversidad de especies son los árboles y aves. Las condiciones naturales de este como su alta diversidad arbórea, humedad y pisos climáticos ofrecen muchos hábitats para insectos y arácnidos. Un segundo grupo de alta diversidad son las orquídeas.

El sitio representa un ecosistema de bosque nuboso, estudiar estas áreas es de vital importancia pues el cambio climático está teniendo incidencia en su diversidad, al estar reemplazando sus comunidades por especies de zonas bajas. Además, al ser un lugar donde existe cultivo de café intensivamente, las áreas de bosque natural se ven fragmentadas en parches de distintos tamaños, siendo el valor ecológico de estos parches distintos debido a su tamaño y repercutiendo en su dinámica.

b. Socioeconomía

La subcuenca Jigüina cuenta con una población de 100 familias, donde cada productor cuenta con un área promedio de 5 ha. El uso actual de los suelos está dominado por café (28.8% de sombra y 6.9% al sol); la cobertura de bosques representa el 17.6% y la mayor cobertura la

representan los pastizales con 40.9% y los cultivos anuales el 5.8% que comprenden granos básicos con predominio de hortalizas (Galeano & Rivera, 2008).

4.2.3. Flujo del Proceso Metodológico

El presente estudio se completó en tres etapas de trabajo: a) Planeación, b) Recolección de datos en campo, c) Procesamiento de datos. Estas etapas se detallan a continuación:

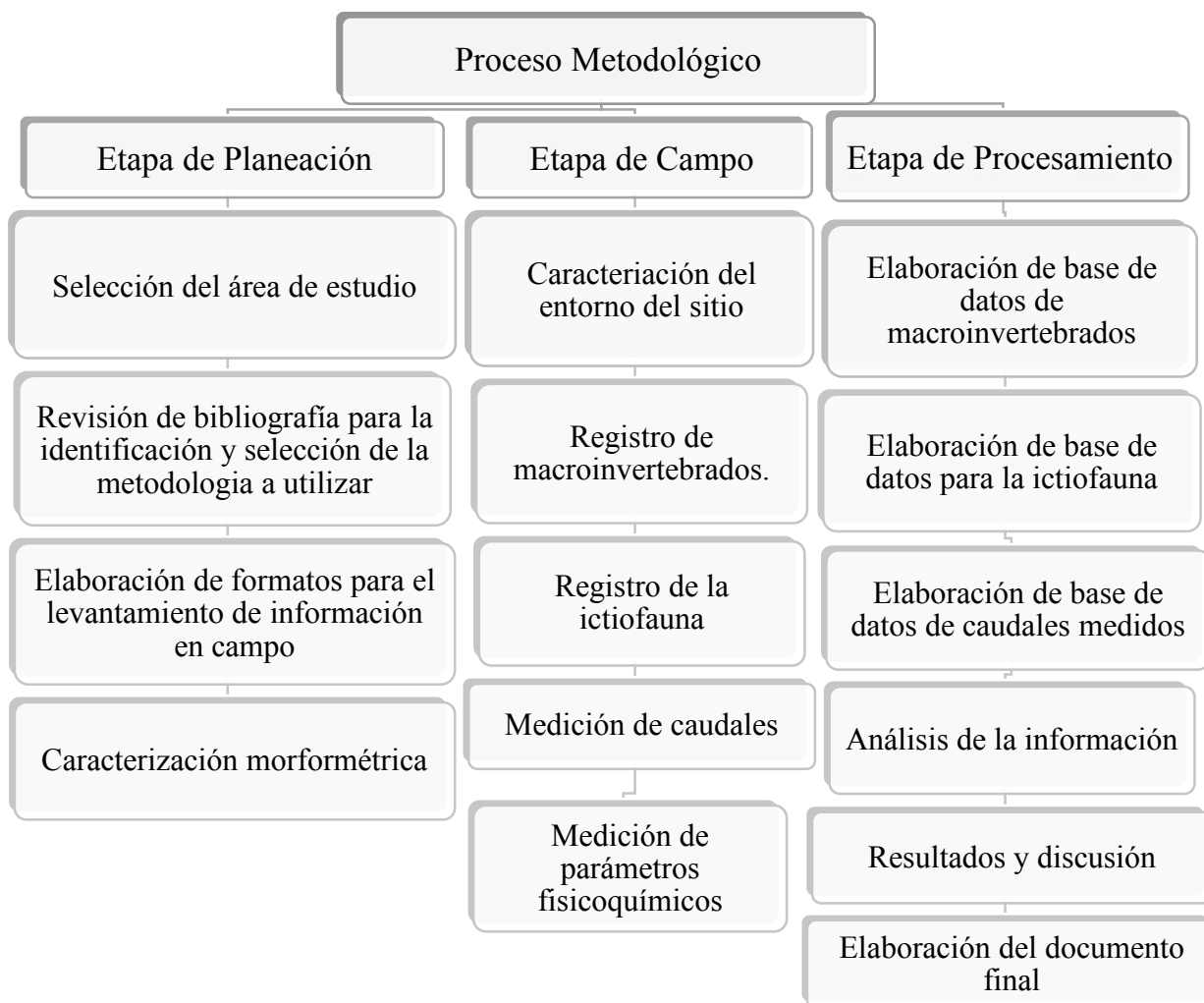


Figura 2.. Flujo del Proceso Metodológico.

4.3. Proceso de la investigación

Esta investigación se desarrolló en tres etapas que contemplaron diferentes actividades detalladas a continuación:

4.3.1 Etapa de planeación

Se basó en la recopilación de información secundaria por medio de sesiones de trabajo, coordinación y organización de protocolo. A continuación, se detallan las actividades realizadas durante esta etapa:

- El estudio se realizó en la parte baja de la subcuenca del Río Jigüina, ya, que en esta parte ya se incorporan los tributarios del río.
- Se hicieron revisiones bibliográficas para la identificación de metodologías aplicadas a la investigación que fue parte del estudio.
- Se elaboraron formatos de levantamiento de información en campo: ficha para el monitoreo de macroinvertebrados, formato para entrevistas a pescadores, formato de aforo (Ver anexos 4, 5 y 6).
- Se realizó la caracterización morfométrica de la subcuenca del río Jigüina de acorde a los parámetros propuestos en el Texto Básico de Hidrología, elaborado por (Gámez, 2009).

4.3.2 Etapa de campo

Esta etapa consistió en el levantamiento de información primaria, aplicando métodos mencionados a continuación:

- Con revisión de información secundaria y la realización de puntos de control se logró caracterizar el área de estudio.
- Se realizaron visitas a la parte baja de la subcuenca en las que se realizó muestreo de los macroinvertebrados en aguas lénticas y lólicas, siguiendo el procedimiento metodológico planteado en el “Manual de Monitoreo de Macroinvertebrados” elaborado por (Carrera & Fierro, 2011).
- Se realizaron entrevistas a pescadores de las comunidades aledañas al río para complementar la información obtenida de la diversidad de ictiofauna que habitan en el

sitio, para clasificar taxonómicamente estas especies se realizó con la información planteada en la guía “Peces Nicaragüense de agua dulce” descrito por (Villa, 1982)

- En paralelo se levantaron datos de aforos líquidos de acorde a lo establecido en la Guía de Prácticas Hidrológicas de la (Organización Meteorologica Mundial, 2011). Dichos muestreos se realizaron con molinete en periodo lluvioso y periodo seco.
- Para realizar las mediciones de los parámetros físicos-químicos se utilizó el Medidor Extech Multiparámetro 5 modelo EC 500, que incluyen conductividad, TDS, salinidad, pH y temperatura usando un electrodo.

4.3.3 Etapa de procesamiento

Esta etapa se llevó a cabo el procesamiento de información recopilada en el campo y su respectivo análisis e interpretación, contemplando las siguientes actividades:

- Se elaboró una base de datos utilizando Excel, realizando la clasificación taxonómica de los macroinvertebrados muestreados en el sitio. Dejándolo a nivel de órdenes y familia por individuos.
- Se realizó una base de datos en Excel, clasificando taxonómicamente las especies de ictiofauna encontradas. Dejándolo a nivel de órdenes y familia por individuos.
- Se estructuró una base de datos en Excel, para los caudales medidos y posteriormente se interpretaron sus resultados.
- Se elaboraron mapas del área de estudio tales como: ubicación, red hídrica, pendiente y uso actual, través de la herramienta de ArcGIS.
- Se aplicó la metodología para estimar caudales ecológicos en función de restricciones ambientales y de gestión.
- A partir de las bases de datos se utilizó el software PAST, para la generación de los diferentes resultados.
- Para el análisis de correlación entre las variables ictiofauna, macroinvertebrados y caudal se aplicó la prueba estadística de Pearson.

4.4. Materiales utilizados:

En el proceso de levantamiento de información en campo se emplearon diferentes equipos y materiales para los cuales fue necesario utilizar distintas herramientas y en base a su funcionalidad se describen a continuación:

Cinta métrica	Se utilizó para medir el ancho del área transversal del río.
GPS	Se registraron las coordenadas en el punto de muestreo.
Pascones y bandejas	Fueron empleados para la recolección y disposición de los macroinvertebrados encontrados.
Formatos de campo	En estos formatos se documentó toda la información registrada en campo
Guías Manuales ilustrativos para la identificación	Identificación de la ictiofauna y macroinvertebrados a nivel de familias
Tabla de campo y lapicero	Sirvió para afirmarnos al momento de anotar la información registrada en campo.
Cámara fotográfica	Tomas de fotos registradas por fecha e individuos
Sensor Extech Multiparámetro Modelo EC 500	Se utilizó para medir los parámetros fisicoquímicos del río.
Pinzas y Lupa	Se utilizaron para la manipulación y una mejor observación e identificación de los individuos encontrados.
Cuerda	Medición de la sección transversal
Cintas	Delimitación de los tramos
Molinete	Medición de caudales

4.5.Desarrollo metodológico

4.5.1. Aplicación de la metodología para la estimación de caudales favorables y desfavorables en función de restricciones ambientales y de gestión.

Para la aplicación de esta metodología, se determinó el régimen de caudales a partir de la cuantificación de la alteración hidrológica producida por los cambios en los periodos seco y lluvioso, y lo que esto implica para las comunidades de la ictiofauna y macroinvertebrados bentónicos, en la subcuenca del río Jigüina, municipio de Jinotega.

Para la estimación de los caudales favorables y desfavorables se desarrollaron los siguientes pasos:

- A) Medición de caudales por cada una de las campañas para los periodos seco y lluvioso.
- B) Conocer el comportamiento de las comunidades de ictiofauna y macroinvertebrados acuáticos ante la variación de caudales por cada campaña para ambos periodos.
- C) Análisis de las comunidades de ictiofauna y macroinvertebrados acuáticos ante la variación de la calidad del agua para ambos periodos.

Medición de los caudales en la parte baja de la subcuenca del río Jigüina

Se realizaron seis campañas para la medición de caudales en la parte baja de la subcuenca; tres campañas durante el periodo seco y tres durante el periodo lluvioso. A través de estas mediciones de caudales, se logró obtener las fluctuaciones por periodo.

Medición de parámetros físico químico del agua

Adicionalmente se logró referenciar los niveles de los parámetros fisicoquímicos del agua elementales para garantizar la vida acuática. Esta evaluación de calidad se realizó para ambos periodos y las variables muestreadas fueron: temperatura (°C), pH, conductividad eléctrica (S/cm) y sólidos disueltos totales (mg/L), oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, turbidez, alcalinidad total.

Muestreo de macroinvertebrados

Durante las seis campañas de muestro para los periodos seco y lluvioso, los macroinvertebrados bentónicos fueron recolectados a partir de la remoción de sedimento, entre algas y bajo rocas. El muestreo se realizaba durante horas de la mañana y en diferentes puntos del tramo de río seleccionado, esto se hizo utilizando pascones de malla fina, una vez recolectado lo deseado, se depositaba en una bandeja para su identificación utilizando lupa y manuales ilustrados.

Muestreo de ictiofauna

La obtención de la información referente a la ictiofauna del río Jigüina, se levantó en conjunto con los pescadores asociados de la comunidad de Jigüina y la comunidad de Datanlí, ambas comunidades se ubican próximas al río, sumado a la participación en actividades de pesca directa, también se les aplico una entrevista a los pescadores más representativos y comercializadores de los peces. A través de la entrevista se les consulto lo siguiente: frecuencia de pesca, instrumentos que utilizan para esta actividad (anzuelos, chinchorros, trasmallos, otros), horarios de la actividad, finalidad de la actividad, abundancia ponderada por especie por periodos (seco y lluvioso), peso y tamaño estimado de los peces, en caso de comercializarlo precio por libra.

Estimación de la Diversidad

El comportamiento de las comunidades de ictiofauna y de macroinvertebrados frente a las fluctuaciones de caudales para ambos periodos fue evaluada mediante los índices: diversidad de Shannon-Wiener, densidad de los organismos, abundancia relativa y riqueza taxonómica.

Criterios ecológicos e hidrológicos para la determinación del caudal favorable y desfavorable del río

Se establecieron diversos criterios para establecer un régimen ecológico de caudales. Estos criterios se aplicaron para establecer límites con respecto a:

Calidad de agua

Para los parámetros físicoquímicos del agua, macroinvertebrados bentónicos e ictiofauna. Se evaluó si cumplían o no con la normativa de calidad del agua en cada caso (NTON 05 007-98 Clasificación de los recursos hídricos), complementándose la información con el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, N° 33903 de Costa Rica y el Manual de Tratamiento de Estanques de la FAO; en caso de no cumplir, se considera el valor de caudales como “caudal desfavorable”.

Relación de los caudales con la ictiofauna y los macroinvertebrados

Respecto a los índices relativos a invertebrados bentónicos e ictiofauna, se aplicó la prueba de Pearson ya que se considera una prueba no paramétrica, para determinar (el valor de R) si existe una relación lineal entre el caudal y familias de macroinvertebrados e ictiofauna a nivel intervalar y reducir el margen del azar. El resultado de esta aplicación nos permitió ver el nivel de correlación existente entre el caudal y ambas variables, lo que nos permitirá un mejor juicio sobre la determinación del caudal favorable y desfavorable basado en la dependencia encontrada en estas variables por cada campaña dentro de cada periodo.

La correlación más alta encontrada (Valor mayor de R) entre los muestreos de macroinvertebrados e ictiofauna realizados en caudales similares (en periodo seco y lluvioso, independientemente) fue considerado como el valor del índice biológico más elevado y se ocupó como referencia de caudal “favorable”, Puesto que no existen registros a medio o largo plazo sobre estas variables, que puedan conformar una base de datos de referencia en régimen natural, por ello el valor del índice más alto (R+) fue la única referencia obtenida en la subcuenca del río Jigüina.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Morfometría de la subcuenca del río Jigüina

Las propiedades morfométricas de la subcuenca del río Jigüina, (tamaño, forma, pendiente) tienen influencia directa en la respuesta de la cuenca ante las precipitaciones, ya que estos modifican el comportamiento en volumen y velocidad de las escorrentías que condicionan los caudales del río. En momentos de precipitación las aguas del río se tornan turbias debido a la cantidad de sedimentado transportado por las escorrentías desde la parte media y alta de la subcuenca; este factor también favorece el ascenso de los peces desde el Lago de Apánas.

Los parámetros morfológicos interpretan las características físicas de una cuenca hidrográfica; se utilizan para analizar los parámetros de forma, de relieve y de la red hídrica, detallándose a continuación:

La subcuenca del río Jigüina cubre un área de 182.71 km², con un perímetro de 76.57 km y un ancho promedio de 9.64 km. se considera una cuenca grande, esto significa que favorece la escorrentía superficial aumentando los escurrimientos máximos. Mientras que el factor forma es de 1 esto indica que la subcuenca es casi redonda a oval redonda de buen drenaje y rápido escurrimiento conformando picos de caudales en su punto de salida. La subcuenca del río Jigüina tiene una pendiente media de 30.45% se encuentra dentro del rango de pendiente entre los 25-50% que indica un tipo de terreno escarpado. Por lo tanto, a mayor pendiente ayuda a la escorrentía superficial y aumenta la cantidad de agua en las vertientes. La pendiente del cauce de la subcuenca del río Jigüina es de 4.72% esto significa que es de laderas cortas y moderadamente inclinado (Gámez, 2009).

La misma muestra que la subcuenca del río Jigüina se encuentra en una fase de equilibrio o madurez. Su polígono de frecuencias determino su altitud media de 1,322 msnm, resultando con altitudes más frecuentes de 1,303 msnm y una altitud de frecuencia media de 1,318. 87 msnm (Ver figura 3).

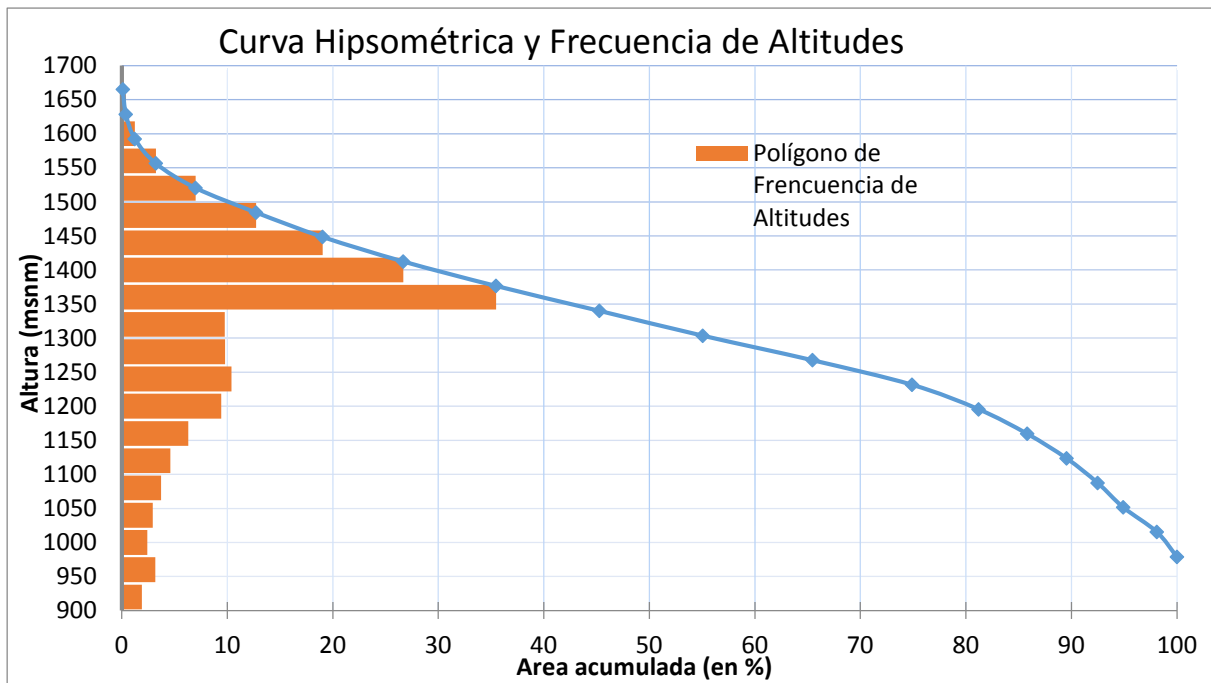


Figura 3. Curva Hipsométrica del río Jigüina.

Las altitudes de esta cuenca originan pendiente fuertes y muy fuerte, esta característica del relieve podría originar escurrimientos de mayores proporciones y velocidades lo que incrementa la vulnerabilidad natural del medio, a su vez esta condición incrementa por relación directa el riesgo de inundaciones (picos de caudales), sobre todo en la salida de la cuenca, con tiempos de concentración cortos, provocando que el río descienda rápidamente. Estas características la clasifican como cuenca fluvial.

La subcuenca del río Jigüina posee un diseño dendrítico esto indica que la pendiente inicial del área era más bien plana y compuesta de materiales uniformes; y se han identificado un total de 69 cursos fluviales, de los cuales 37 son del orden 1, 19 del orden 2, 2 del orden 3, y finalmente 1 indicando que pertenece al orden 4.

a. Uso actual del suelo

El uso actual del suelo influye directamente sobre la disponibilidad y calidad de agua disponible en la subcuenca, provocando alteraciones en el balance hídrico y los ecosistemas que dependen directa e indirectamente de este vital recurso.

En la subcuenca se identificaron diferentes usos del suelo a través de la elaboración del mapa de uso actual; esto se complementó con la verificación en campo y la estimación de sus respectivas áreas dentro de la subcuenca.

Los cultivos permanentes ocupan el 39.51 % del área total de la subcuenca, entre ellos podemos mencionar el cultivo del café y frutales. En la estimación de la demanda no se consideraron estos cultivos debido a que los productores no acostumbran a regarlos en periodo seco.

El bosque latifoliado denso, ocupa el segundo lugar porcentual de uso del área de la subcuenca con el 21.27 % y en las áreas sin vegetación ocupan el menor espacio porcentual con el 0.0017%. Estos resultados nos expresan que las actividades productivas de las comunidades están estrechamente ligadas al uso del suelo y principalmente para cultivos permanentes, bosque latifoliado y áreas de pasturas (ver figura 4).

Uso actual del suelo de la subcuenca río Jigüina

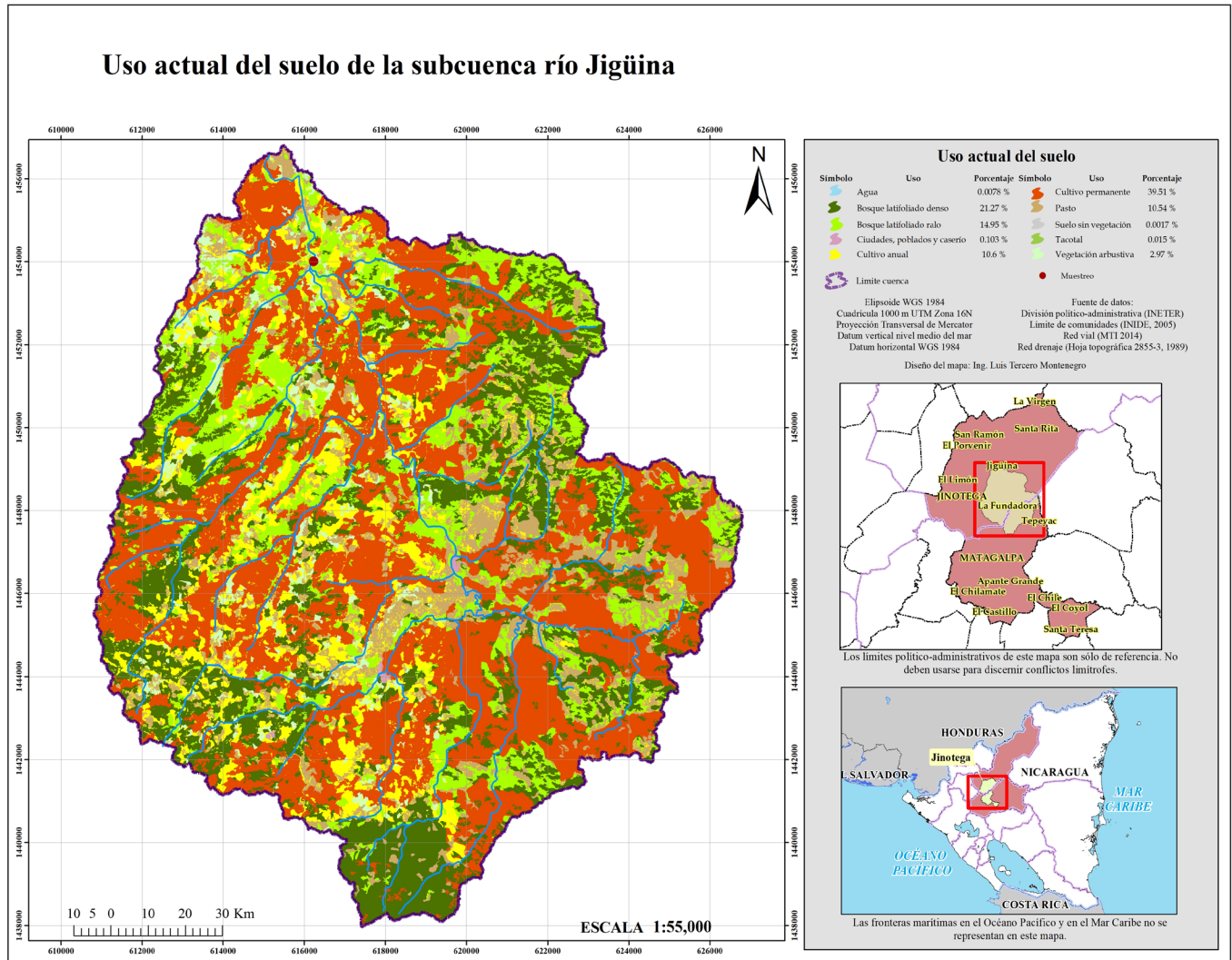


Figura 4. Mapa de uso actual del suelo de la subcuenca.

5.2. Macroinvertebrados registrados

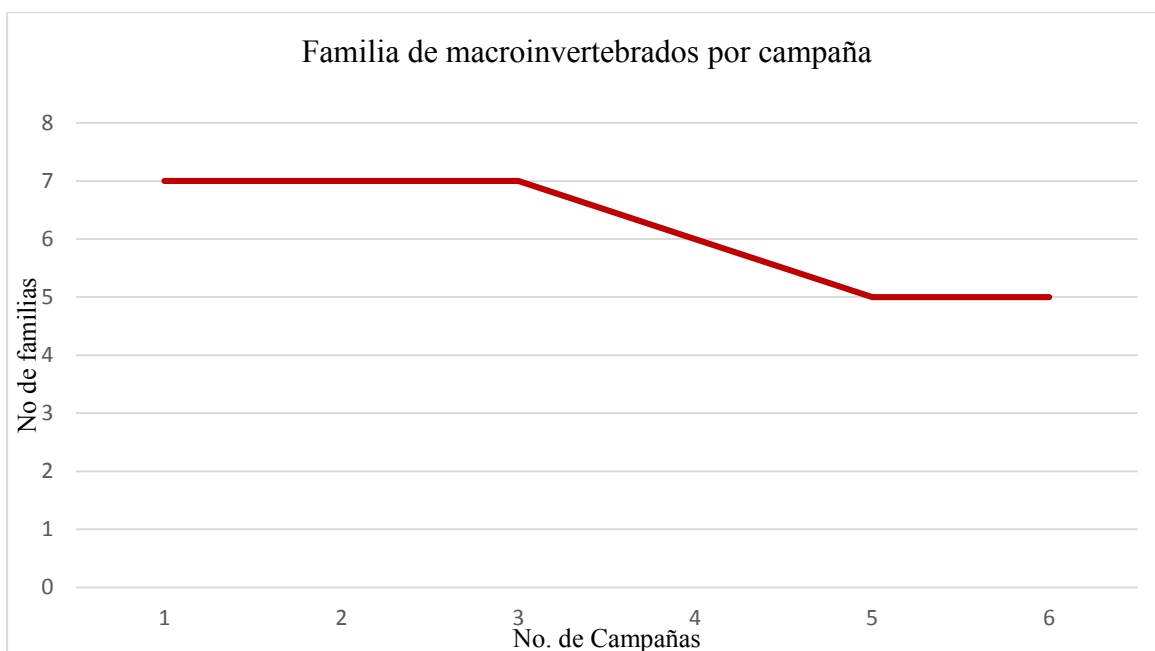


Figura 5. No. De familia de macroinvertebrados encontrados por campañas.

En los muestreos realizados por cada una de las seis campañas se registraron hasta un máximo de siete familias en el periodo lluvioso, en el que realizaron tres muestreos (1,2,3), resultando las familias *Leptophlebiidae* e *Hydromatridae*, como la más frecuentes. En los muestreos realizados (4,5,6) en el periodo seco se contabilizaron hasta seis familias descendiendo su número a medida que avanza el periodo seco, resultando como más frecuentes las familias antes mencionadas.

En los muestreos realizados se registraron un total de 353 individuos, agrupados en las diferentes familias identificadas, resultando su mayor numero en el periodo lluvioso (231) y el resto en el periodo seco.

En el grafico podemos evidenciar que el mayor número de familias se encuentra en el periodo lluvioso (campañas 1,2,3) y desciende en número a medida que avanzamos en el periodo seco. Estos cambios posiblemente se deban a variaciones ambientales: como el caudal, la calidad del agua y estados biológicos de los individuos por cada familia.

5.3. Ictiofauna registrados

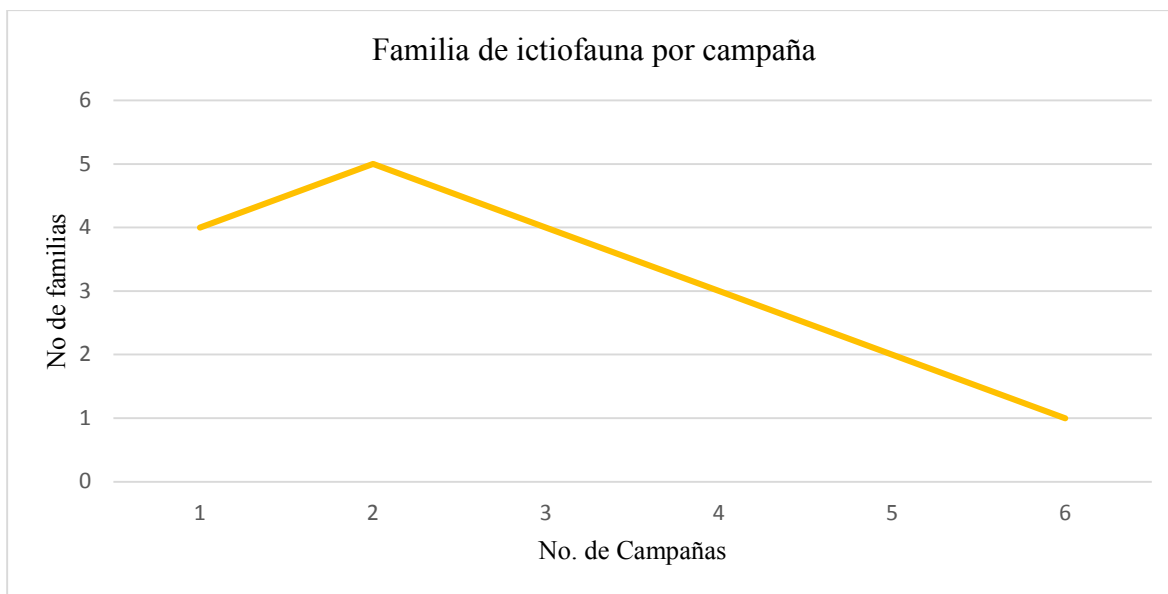


Figura 6. No. De familia de ictiofauna registrados por campañas.

El muestreo de la ictiofauna se realizó en paralelo al registro de macroinvertebrados y se consideró oportuno realizarlo con los pescadores de la zona, seleccionados de tal manera que nos pudieran brindar la información graficada.

Los pescadores nos expresaron que hay variaciones (familias) al momento de realizar esta actividad en ambos periodos, lo que atribuyen a las variaciones de caudal, es decir, según ellos en el periodo lluvioso es donde se registra mayor abundancia de individuos por especies de cada familia, esto debido al aumento del caudal del río, ya que ascienden desde el Lago de Apanas a hasta la parte más alta de la subcuenca. Durante este periodo pescan por tres meses, sin embargo, aseguran que hay mayor abundancia y riqueza para el mes de junio.

Para el periodo seco, sucede lo contrario, ya que la ictiofauna desciende hacia el Lago de Apanas en proporcionalidad con la disminución del caudal del Río Jigüina ya que las familias encontradas requieren de caudales que solamente el periodo lluvioso les provisiona.

5.4. Familias de ictiofauna y macroinvertebrados registrados en ambos periodos

Cuadro 1. Familias de ictiofauna y macroinvertebrados registrados en ambos periodos.

Campaña	Familia ictiofauna	Familia macroinvertebrados	P. seco	P. lluvioso
I	<i>Cichlidae</i>	<i>Belostomatidae</i>		
	<i>Ariidae</i>	<i>Ranidae</i>		
	<i>Anguillidae</i>	<i>Tubificidae</i>		
	<i>Embiotocidae</i>	<i>Ampollanidae</i>		
		<i>Leptolhebiidae</i>		
		<i>Hydrometridae</i>		
		<i>Elmidae</i>		
II	<i>Cichlidae</i>	<i>Pseudothelpusidae</i>		
	<i>Clupeidae</i>	<i>Leptolhebiidae</i>		
	<i>Ariidae</i>	<i>Tubificidae</i>		
	<i>Anguillidae</i>	<i>Lutrochidae</i>		
	<i>Embiotocidae</i>	<i>Hydrometridae</i>		
		<i>Belostomatidae</i>		
	<i>Oligoneuriidae</i>			
III	<i>Cichlidae</i>	<i>Elmidae</i>		X
	<i>Clupeidae</i>	<i>Thiaridae</i>		
	<i>Embiotocidae</i>	<i>Hydrometridae</i>		
	<i>Anguillidae</i>	<i>Tubificidae</i>		
		<i>Lutrochidae</i>		
		<i>Leptolhebiidae</i>		
		<i>Psephenidae</i>		
IV	<i>Clupeidae</i>	<i>Corydalidae</i>		
	<i>Embiotocidae</i>	<i>Leptolhebiidae</i>		
	<i>Anguillidae</i>	<i>Thiaridae</i>		
		<i>Oligoneuriidae</i>		
		<i>Hydrometridae</i>		
	<i>Lutrochidae</i>			
V	<i>Clupeidae</i>	<i>Elmidae</i>	X	
	<i>Ariidae</i>	<i>Belostomatidae</i>		
		<i>Oligoneuriidae</i>		
		<i>Hirudinidae</i>		
		<i>Hydrometridae</i>		
	<i>Leptolhebiidae</i>			
VI	<i>Clupeidae</i>	<i>Leptolhebiidae</i>		
		<i>Baetidae</i>		
		<i>Oligoneuriidae</i>		
		<i>Thiaridae</i>		
		<i>Hydrometridae</i>		

Se identificaron 12 familias pertenecientes a ocho órdenes distribuidos de la siguiente manera: del orden *Hemiptera* en la que abarcaron dos familias, seguido de *Ephemeroptera* con tres familias, *Coleoptera* con dos familias, los órdenes, *Haplotaenidia*, *Pulmonata*, *Decapoda*, *Archynchobdellidae*, y *Mesogastropoda* con una familia cada uno.

Las familias con mayor abundancia de individuos fueron: *Hydrometridae* del orden *Hemiptera*, con 183, seguido de la familia *Leptolhebiidae* del orden *Ephemeroptera*, 83 individuos. Estos registros son válidos para ambos periodos.

La ictiofauna registrada para el punto de muestreo, se agrupó en cinco familias, *Cichlidae*, *Anguillidae*, *Ariidae*, *Clupidae* y *Embiotocidae*; las familias encontradas pertenecen a los órdenes *Perciformes*, *Anguilliformes*, *Siluriformes*, *Clupeiformes*, *Cichliformes* y pueden ser encontradas en profundidades que oscilan entre los 0.5 a 2 metros, por tanto, su diversidad varía en dependencia de los periodos en la que se encuentra el caudal.

5.5. Caudales registrados

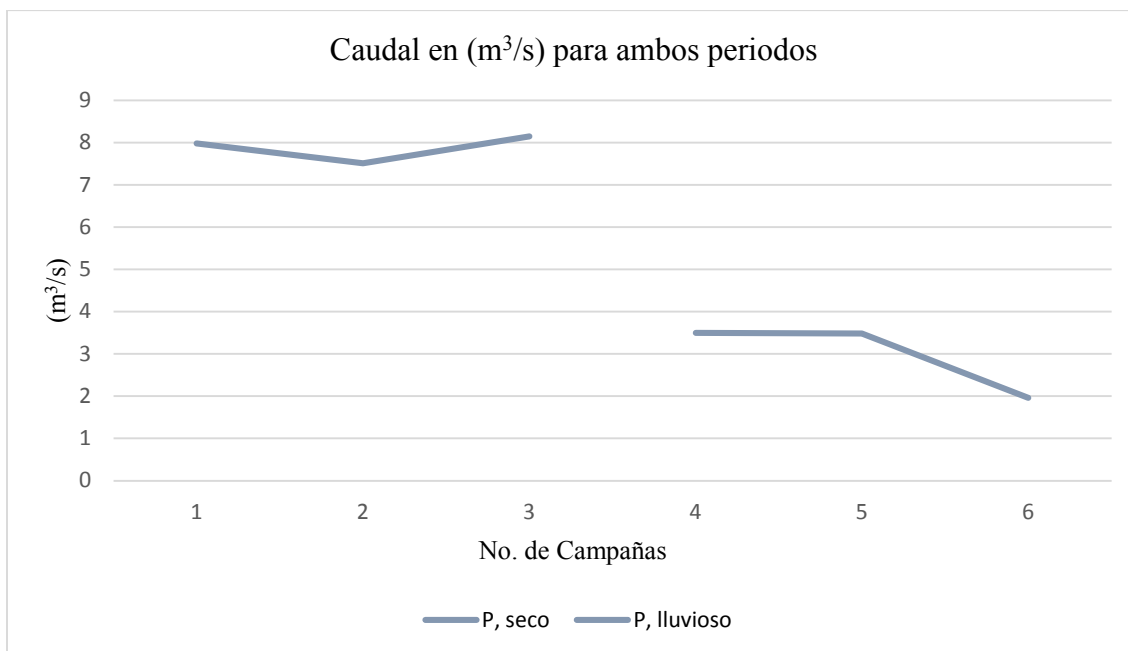


Figura 7. Caudales registrados por campañas en ambos periodos.

Las mediciones de caudal se realizaron en la parte baja de la subcuenca ya que este punto se consideró como un sitio próximo a la descarga, además es representativo porque ya conduce el agua tributada de todos sus efluentes.

En la gráfica podemos observar que para el periodo lluvioso (campañas 1,2,3), hubo un incremento de caudal que no sobrepasan los 9 m³/s, esto es debido a los aportes de las precipitaciones. Para el periodo seco (campañas 4, 5,6), disminuye el caudal que no sobrepasa los 4 m³/s, esto es resultado por el descenso en las aportaciones de las precipitaciones, el incremento de la evaporación, infiltración, además de los diferentes usos que los comunitarios cercanos demandan del río, principalmente para la agricultura, caficultura, ganadería.

5.5.1. Perfiles del río Jigüina durante las campañas que se hicieron en periodo seco y periodo lluvioso

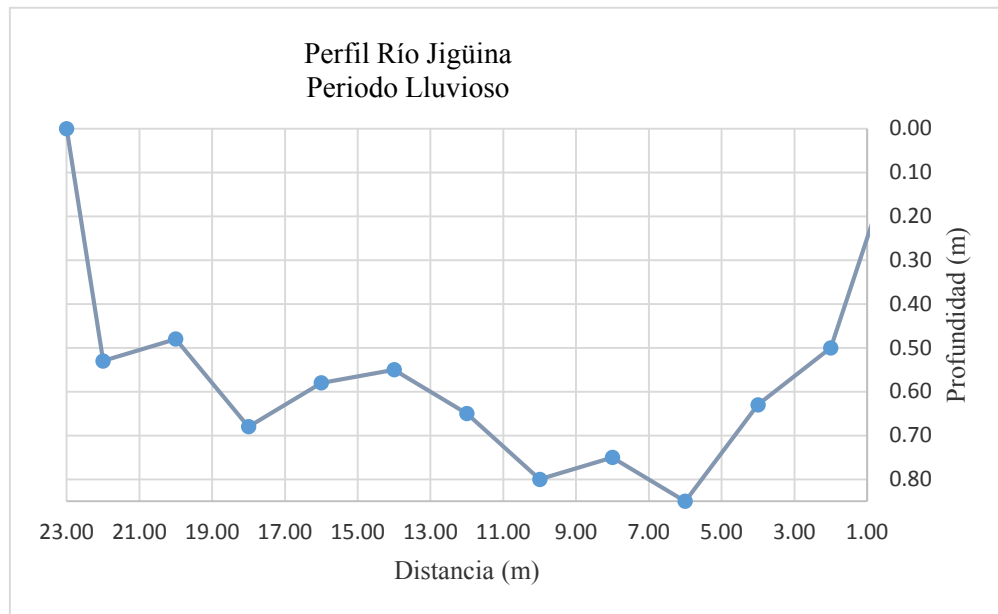
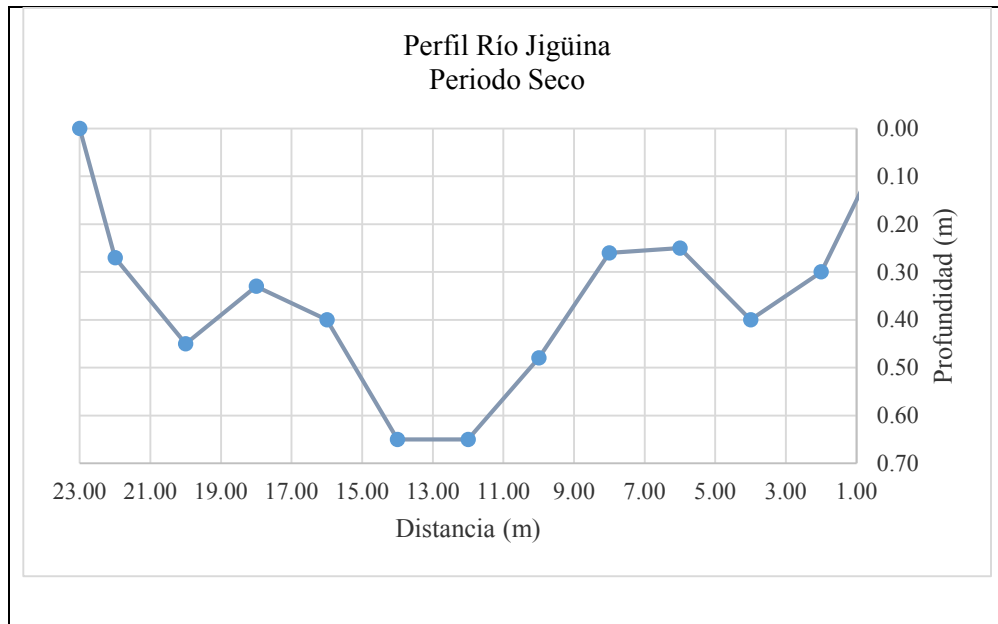


Figura 8. Perfiles del río Jigüina durante las campañas que se hicieron en periodo seco y periodo lluvioso.

Según la forma de los perfiles del fondo del río, se puede apreciar que las mayores profundidades las genera el periodo lluvioso y se debe al mayor volumen y velocidad del agua que pasa por la sección transversal del río, esto lo profundiza más, además de la fuerza de fricción que remueve materiales del fondo como: arenas, algas, rocas y resto de material orgánico y esto crea condiciones favorables que propicia condiciones para una mayor presencia de vida acuática. En el periodo seco las condiciones favorables de hábitat se reducen gradualmente, esto se refleja en la diversidad estimada para ambos periodos.

5.6. Comportamiento de la ictiofauna y macroinvertebrados ante las fluctuaciones del caudal para ambos periodos

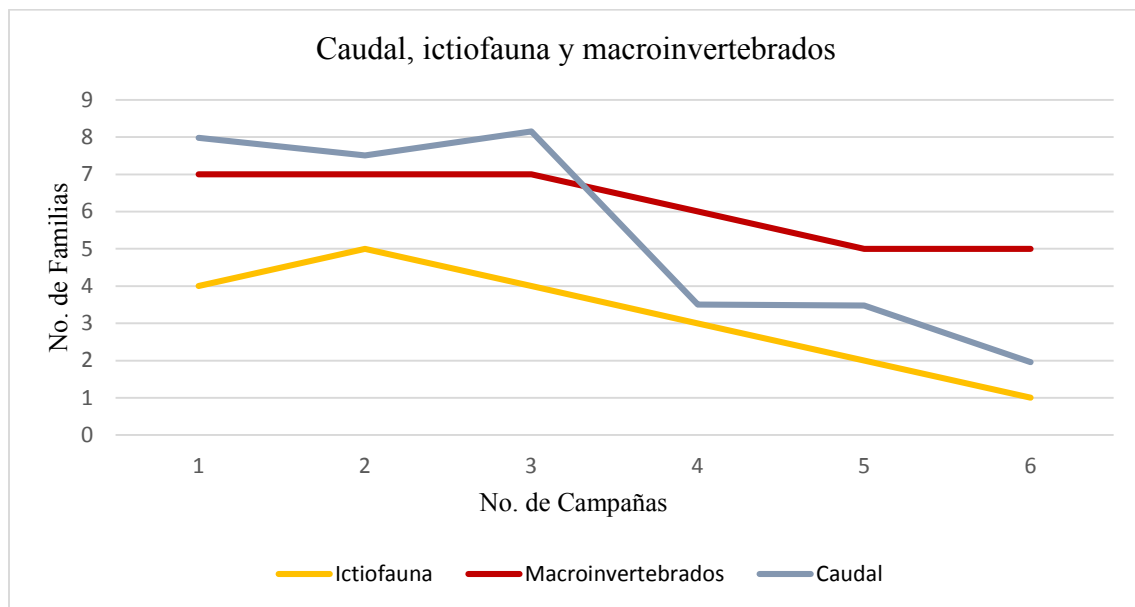


Figura 9. Comportamiento de los macroinvertebrados e ictiofauna ante los diferentes caudales registrados.

Los registros de caudales fluctúan para ambos periodos y esto se debe meramente a la reducción de las precipitaciones para el periodo seco, siendo el más desfavorable para la vida acuática ya que ambos grupos (ictiofauna y macroinvertebrados) tienen sus requerimientos en volumen, profundidad y calidad del agua.

En la gráfica se observa que los mayores caudales se registran en el periodo lluvioso (tres campañas), con lo que incrementa la abundancia de familias de macroinvertebrados e ictiofauna y a medida que el caudal desciende, también descienden el número de familias. Este comportamiento de la vida acuática refleja una proporcionalidad directa al caudal.

De los dos grupos de fauna acuática en mención el que presenta mayor proporcionalidad a las variaciones de caudal es la ictiofauna, ya que a medida que el caudal del río disminuye, también se reduce el número de sus familias en este hábitat, sin embargo, los macroinvertebrados logran mantener mayor número de sus familias.

5.7. Índice de diversidad de Shannon Wiener

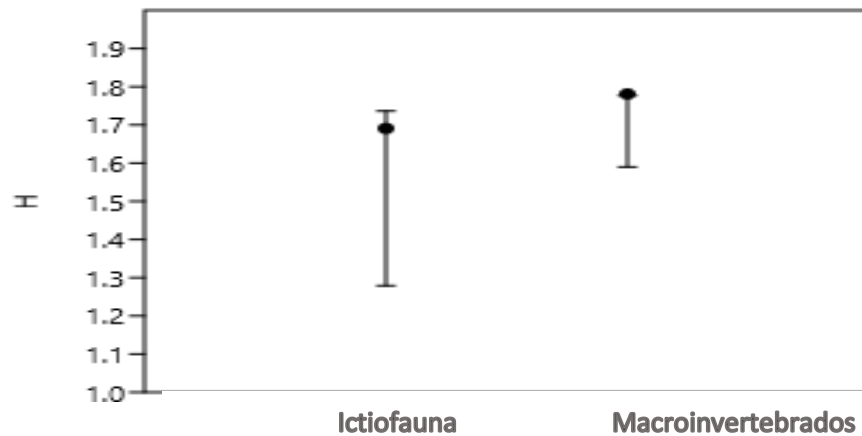


Figura 10. Índice de diversidad para macroinvertebrados e ictiofauna para ambos periodos.

Según los resultados obtenidos aplicando el índice de Shannon-Wiener encontramos que el grupo de los macroinvertebrados posee mayor índice de diversidad en relación con el grupo de la ictiofauna, sin embargo, las diferencias entre ambos grupos no distan mucho entre sí.

Los macroinvertebrados presentan un índice de diversidad de 1.8 y el grupo de la ictiofauna resultado con un índice de diversidad de 1.7. Estos resultados se obtuvieron a través del análisis de los datos colectados para ambos periodos (seco y lluvioso). Según el significado del índice de Shannon indica que existe una baja diversidad biológica en este ecosistema acuático.

La diversidad del ecosistema depende de varios factores ambientales y del nivel de alteración que presente la cadena trófica de cada medio, para ese caso la abundancia de la ictiofauna estará en función de la abundancia de los macroinvertebrados ya que muchas familias de los diferentes órdenes sirven como alimento a las diferentes especies de la ictiofauna.

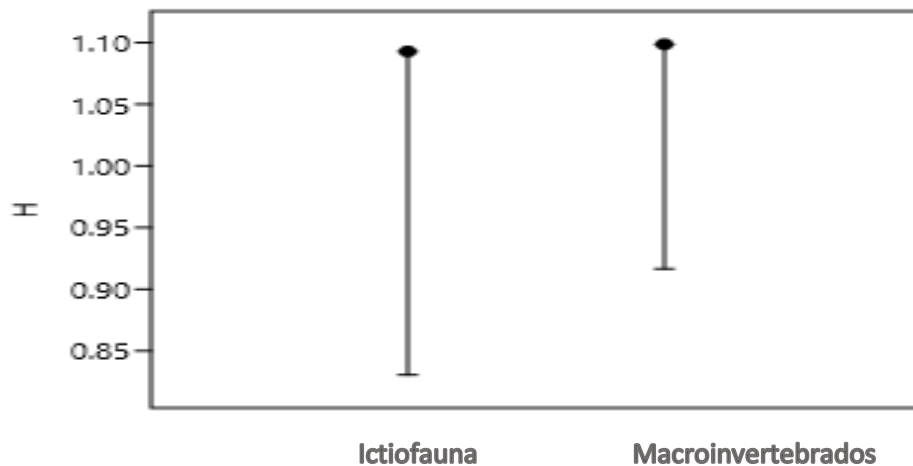


Figura 11. Índice de diversidad para ictiofauna y macroinvertebrados para periodo lluvioso.

La diversidad para ambos grupos en el periodo lluvioso se comportó de la siguiente manera: macroinvertebrados 1.099 y de ictiofauna 1.093, en este periodo el número de familias de macroinvertebrados fue mayor en relación con el grupo de la ictiofauna, pero no distan tanto entre sí, esto puede estar relacionado a las crecidas que experimenta el río provocando un efecto de arrastre de fondo como consecuencia del incremento en el volumen y velocidad de los caudales, ante ello los organismos bentónicos tienen mayor probabilidad de mantenerse en su hábitat (debajo de arenas, rocas, algas, troncos y otros), esta condición favorece la presencia e incrementa de la abundancia de la ictiofauna, ya que aprovechan el caudal y la disposición de alimentos.

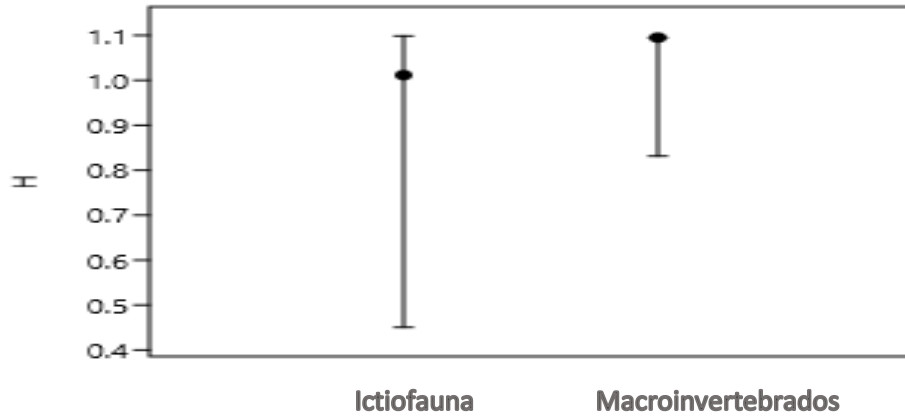


Figura 12. Índice de diversidad para macroinvertebrados e ictiofauna para periodo seco.

En este periodo los resultados de diversidad se comportaron de la siguiente manera: macroinvertebrados 1.09 y el grupo de la ictiofauna con una valoración de 1.01. Las diferencias de diversidad entre grupos por periodos (seco y lluvioso) no son muy diferentes ya que oscilan en el rango de 1 a 1.5, no obstante, el periodo lluvioso presento mayor diversidad que este periodo.

En cuanto al número de familias ambos grupos mostraron cierta diferencia, ya que en este periodo se puede encontrar una sola familia de la ictiofauna y en el caso de los macroinvertebrados se encontraron hasta cinco familias en cada muestreo. Estos cambios en cuando a la diversidad por grupo en este periodo se debe a restricciones (caudal, alimento, contaminación, presión antrópica) que desfavorecen el hábitat de la fauna acuática.

5.8. Coeficiente de correlación de Pearson

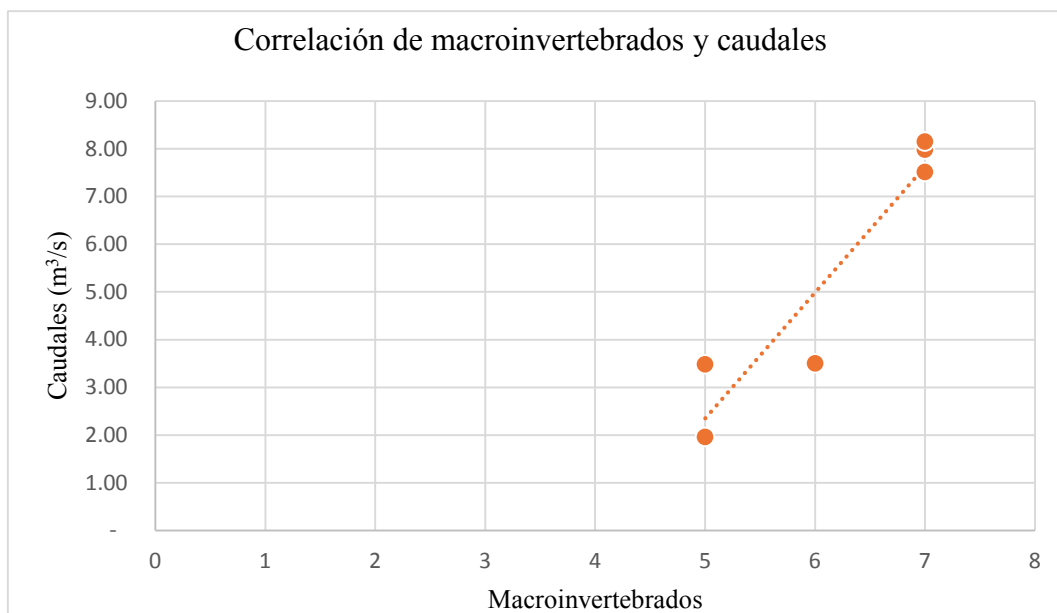


Figura 13. Coeficiente de correlación de Pearson para macroinvertebrados y caudal.

En el análisis de correlación de caudal con el grupo de macroinvertebrados reveló que ($r = 0.8926$), existe una correlación altamente positiva o significativa entre ambas variables y que a medida que el caudal incrementa, también aumentan el número de familias de macroinvertebrados, podemos observar que para el periodo seco se pueden registrar caudales que no sobrepasan a $4 \text{ m}^3/\text{s}$ y se pudieron encontrar hasta cinco familias, en el caso del periodo lluvioso, el caudal puede ser de hasta los $8.15 \text{ m}^3/\text{s}$, aumentando también la presencia de macroinvertebrados encontrándose hasta siete familias. De ello podemos asumir que el caudal del río es directamente proporcional a la presencia de familias de macroinvertebrados.

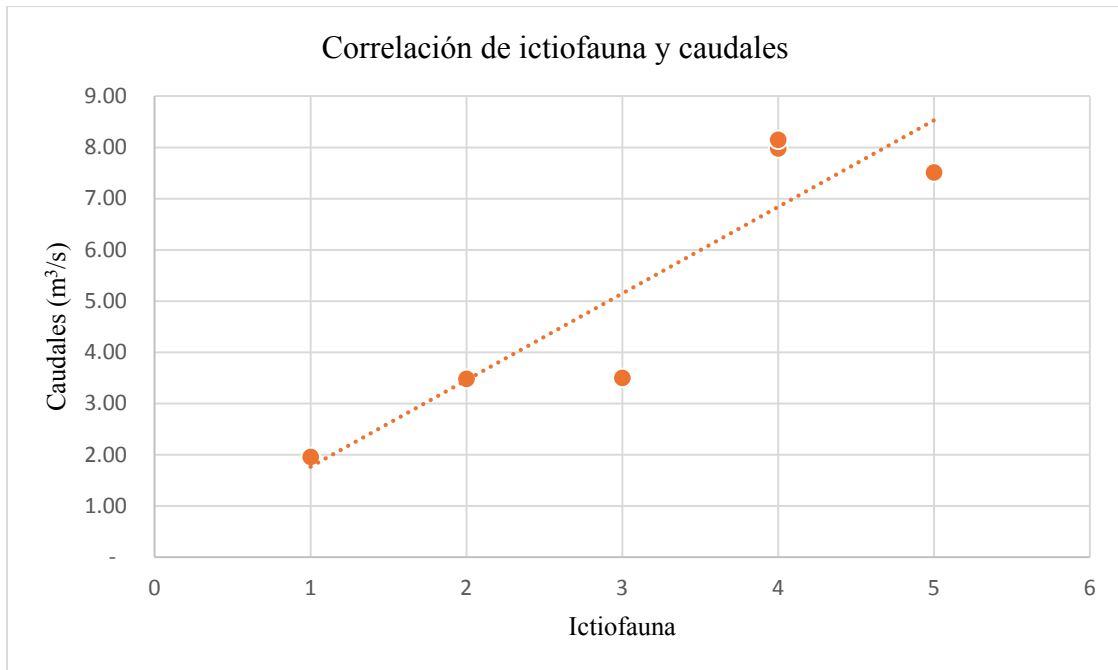


Figura 14. Coeficiente de correlación de Pearson para ictiofauna y caudal.

En el análisis de correlación de caudal con el grupo de ictiofauna reveló que $r=0.8196$, esto indica que es altamente significativa entre ambas variables, de manera que cuando se incrementa el caudal aumenta el número de familias de la ictiofauna.

En la gráfica podemos observar que hay aumento del número de familias a medida que se incrementa el caudal y esto sucede en el periodo lluvioso. De manera que a medida que el periodo seco registra descensos en el caudal sucede una reducción del número de familias de este grupo.

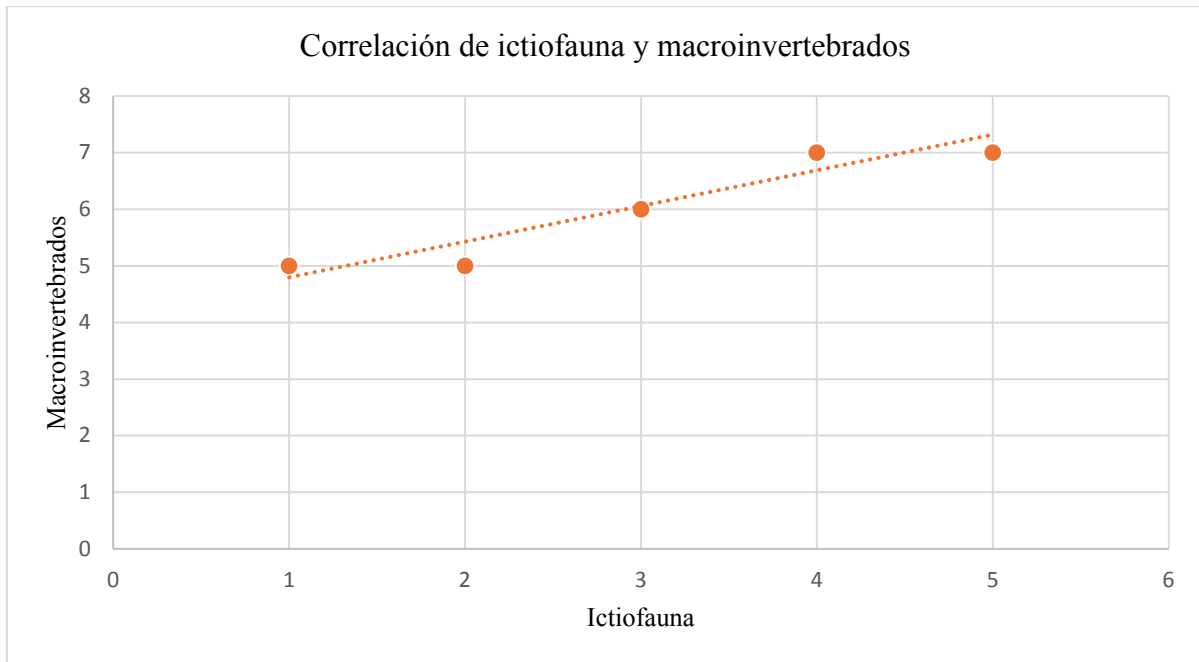


Figura 15. Coeficiente de correlación de Pearson para macroinvertebrados e ictiofauna.

Los resultados de correlación de estas variables muestran que ($r = 0.8917$), existe una alta correlación, sin embargo, se registraron en general una mayor cantidad de familias de macroinvertebrados en comparación a las familias de ictiofauna y se evidenció mayor número de familias para ambos grupos durante el periodo lluvioso, disminuyendo en el periodo seco.

A medida que se incrementan las familias de macroinvertebrados, sube el número de familias de la ictiofauna, ya que los grupos son interdependientes, pues muchas familias de los macroinvertebrados sirven como alimento de las especies de las familias del grupo de ictiofauna encontrados.

Cuadro 2. Parámetros evaluados en la subcuenca del río Jigüina.

Parámetros Evaluados	Datos obtenidos		Parámetros de referencia
	Periodo seco	Periodo lluvioso	
			NTON No 05 007-98
pH	6.5	8.1	Mín. 6.5 y máx. 8.5
Conductividad Eléctrica	145 $\mu\text{S}/\text{cm}^1$	88.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$	SR²
Oxígeno Disuelto	5.2 mg/l	6.8 mg/l	> 5.0 mg/l
			Reglamento No. 33903 de Costa Rica
Sólidos Suspendidos	2700 mg/l	13.8mg/l	10 a 25
Turbidez	82.7 UNT ³	13.4 UNT	25 a <100
			Según FAO
Alcalinidad	30 mg/l	80 mg/l	75 a 175 mg/l
Temperatura	28.9°C	22.6°C	18 °C a 30 °C
Fosforo	2.0 mg/l	0.03 mg/l	SR

La condición de cada parámetro evaluado condiciona directamente el hábitat de las diferentes especies de la ictiofauna y de los macroinvertebrados, para ello se evaluaron ocho parámetros y se contrastaron con los valores óptimos de referencia establecidos en: NTON No. 05 007-98, referida a la Clasificación de los Recursos Hídricos, Reglamento No. 33903, para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica y el Manual de Tratamiento de Estanques de la FAO,2021.

En los resultados de pH y temperatura evaluados para el periodo seco observamos que a medida que la temperatura asciende el pH disminuye (las moléculas tienden a separarse) y sucede lo contrario para los resultados obtenidos para el periodo lluvioso. (las moléculas se contraen) Es posible que el incremento de la temperatura esté ligado a factores como: al periodo seco, reducción del caudal y a la agregación de materia orgánica proveniente del beneficiado húmedo del café, ya que es una actividad propia de la temporada de cosecha, también para este momento ocurre un descenso en el oxígeno disuelto ya que se incrementa la demanda bioquímica por parte de los microorganismos descomponedores de la materia

¹ MicroSiemens /cm

² Sin referencia

³ Unidades nefelométricas de turbidez

orgánica. Sin embargo, los resultados para los parámetros en mención se encuentran dentro de los rangos establecidos, no obstante, son más favorables para los grupos de fauna en el periodo lluvioso.

El valor obtenido de turbidez nos muestra un incremento para el periodo seco y se debe principalmente al depósito de aguas residuales del beneficiado del café y el periodo lluvioso presenta menos turbidez, pese a las crecidas repentinas del río. Esto significa que los sólidos suspendidos por las crecidas son más pesados (arenas, arcillas, rocas, residuos) y precipitan más rápidamente que los sólidos provenientes de material orgánico (aguas mieles y pulpa de café) en presencia de un menor caudal y con mayores espacios lenticos. En el caso de los sólidos suspendidos para el periodo seco supera lo establecido en la norma de referencia y la turbidez, aunque es alta, se encuentra dentro de lo establecido. De lo antes expuesto podemos asegurar que los valores encontrados son más favorables en el periodo lluvioso.

Los parámetros evaluados son considerados como elementales para garantizar el hábitat de ambos grupos de la fauna acuática y los valores obtenidos en su mayoría favorecen más la permanencia de vida en el periodo lluvioso. Es importante resaltar que la carga de contaminantes que recibe este cuerpo de agua tiene diferentes tipologías, siendo las actividades agropecuarias las de mayor relevancia. Así mismo lo asegura (Castillo, 2008), y dice que las comunidades aledañas al Río Jigüina tienen como principal actividad la caficultura, ocupando hasta un 36.33% del total del territorio de esta subcuenca.

La generación y deposición de las aguas residuales domésticas es otra problemática que se suma a las ya existentes y que modifican la calidad de las aguas del río y con mayor impacto en el periodo seco, que es cuando hay disminución del caudal, lo que afecta la integridad de sus ecosistemas.

El deterioro del ecosistema acuático desencadena en baja diversidad, esto afecta la socioeconomía local, ya que muchas familias aledañas sobreviven consumiendo y comercializando estos peces.

VI. CONCLUSIONES

Se midieron los caudales a lo largo de un año, realizando tres campañas en el periodo seco resultando en un caudal por debajo de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ y en las tres campañas realizadas en el periodo lluvioso, se registraron caudales en un rango que oscilo entre los $4 \text{ m}^3/\text{s}$ y $9 \text{ m}^3/\text{s}$. Estos volúmenes de agua provisionan las condiciones favorables para el hábitat de las familias de ictiofauna y macroinvertebrados.

El grupo de los macroinvertebrados fue el que registró el mayor número de familias y esto fue para el periodo lluvioso, descendiendo en el periodo seco. Estos cambios se deben a variaciones ambientales, que a su vez se vuelven condicionantes que favorecen o restringen la vida acuática. La ictiofauna registrada se agrupó en cinco familias que habitan en profundidades que no sobrepasen los 2 m. Este grupo presenta una mayor proporcionalidad directa con los mayores caudales que fueron registrados en periodo lluvioso. La diversidad obtenida para ambos grupos no dista mucho entre sí, sin embargo, la ictiofauna también estará en función de la abundancia de los macroinvertebrados debido a que forman parte de su cadena trófica, y lo corrobora la correlación entre ambos grupos.

Se consideraron ocho parámetros fisicoquímicos como esenciales para la vida acuática entre ellos: la temperatura, pH, turbidez, oxígeno disuelto, alcalinidad, solidos suspendidos, conductividad eléctrica y fósforo. De los valores obtenidos solamente los sólidos suspendidos supera lo establecido en la norma para el periodo seco y es coincidente con la temporada de cosecha del café que aporta contaminación por aguas mieles. La mayoría de los valores obtenidos de cada parámetro están en los rangos establecidos por las normativas de referencia, por tanto, los caudales favorables para la ictiofauna y macroinvertebrados en el Río Jigüina se dan en el periodo lluvioso y los caudales desfavorables ocurren en el periodo seco.

VII. RECOMENDACIONES

Es necesario contemplar dentro de la legislación y normatividad del país, el incluir criterios y metodologías de evaluación del régimen de caudales favorables y desfavorables que se adapten a los ecosistemas de nuestra región.

Utilizar el resultado de estos estudios para la toma de decisiones al momento de elaborar normativas nacionales y ordenanzas municipales.

Realizar muestreos de flora y fauna acuática más frecuentes y con una mayor duración

Hacer estudios a largo plazo en tramos de ríos de referencia no alterados, para poder comprender y comparar mejor la dinámica de los macroinvertebrados e ictiofauna.

VIII. LITERATURA CITADA

- Carrera, C., & Fierro, K. (2011). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Quito.
- Castillo, D. (2008). Efecto del vertido directo de las aguas mieles en la calidad físico-química del agua de la subcuenca del Río Jigüina, Jinotega . Estelí, Nicaragua.
- Diario Oficial La Gaceta. (2007, Septiembre 17). *Reglamento N° 33903-MINAE-S "Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales Costa Rica"*.
- Díez, J. M. (2000). Estimación de caudal ecológico. España.
- Extence, C., Balbi, D., & Chadd, R. (1999). River flow indexing using British benthic macroinvertebrates: A framework for setting hydroecological objectives. *15(6)*, 543-574.
- FAO. (2021). Tratamiento de los estanques por encalado.
- Gaceta Diario Oficial. (2000, Febrero 11). *NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE NTON 05 007-98"Norma para la clasificación de los recursos hídricos"*.
- Gaceta Diario Oficial. (2010, Agosto 10). *Reglamento de la ley 620 "LEY GENERAL DE LAS AGUAS NACIONALES"*.
- Galeano, C. J., & Rivera, J. J. (2008). *Evaluación de erosión actual a escala de parcela y subcuenca para tres agroecosistemas con café, río Jiguina-Jinotega*. Managua.
- Gámez, W. (2009). *Texto Básico de Hidrología*. Managua.
- Guevara Torres, E. T., & Rodríguez Pérez, C. E. (2013). *Caudales ambientales, necesidad de su reconocimiento y lineamientos básicos para su regulación en Costa Rica*. Costa Rica.
- Hidalgo, F. (2013). *Caudales Ambientales, necesidad de su reconocimiento lineamiento básico para su regulación en Costa Rica*.
- INIDE-MAGFOR. (2013). Información Estadística Del Sector Agropecuario, Estructura Agraria Municipal, Uso Potencial Del Suelo, Uso Del Agua En La Agricultura Por Municipio. Nicaragua. Retrieved from [http://www.renida.net.ni/renida/magfor/NE51N583\(7\).pdf](http://www.renida.net.ni/renida/magfor/NE51N583(7).pdf)
- Jamett, D., & Alexandra, F. R. (2006). *Metodos para la determinacion de caudal ecológico, panorama en Chile y Brazil*. Chile.

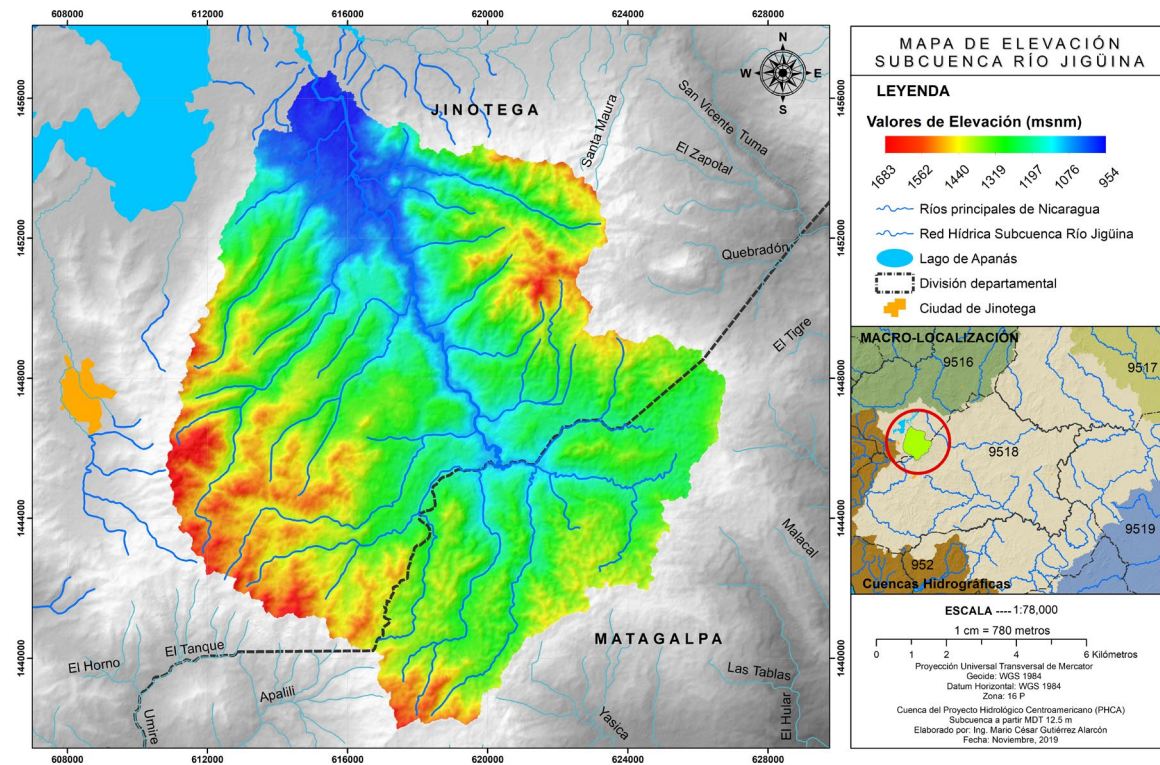
- MARENA. (2002). *Plan de Manejo Reserva Natural Cerro Datanlí-El Diablo*.
- Moore, M. (2004). *Perceptions and interpretations of Enviromental flows and implications for future water resource management: A Survey Study*.
- Mosquera Córdoba, E. D., & Gómez Córtez, D. A. (2010). *ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARAMÉTRICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE EL SOFTWARE PHABSIM*. Bogotá, Colombia.
- Organización Meteorologica Mundial. (2011). *Guia de Practicas Hidrologicas* (Sexta ed., Vol. I).
- Ricardo J, C. Y. (2009). *Caudal Ambiental: Conceptos, Experiencias y Desafios*. Universidad del Valle.
- Santos, H., Soares, L., Martínez, F., Callisto, M., Tupinambás, T., Castro, D., . . . Alves, C. (2015). *Metodología para la propuesta de caudales ecológicos en función de restricciones ambientales y de gestión: Ecological flow methodology based on environmental and management restrictions*. 7(2), 17-21.
- UNESCO. (2017). *Caja de herramientas para la determinación de caudal ambiental*.
- Villa, J. (1982). *Peces Nicaragüenses de agua dulce*. Managua.

IX. ANEXOS

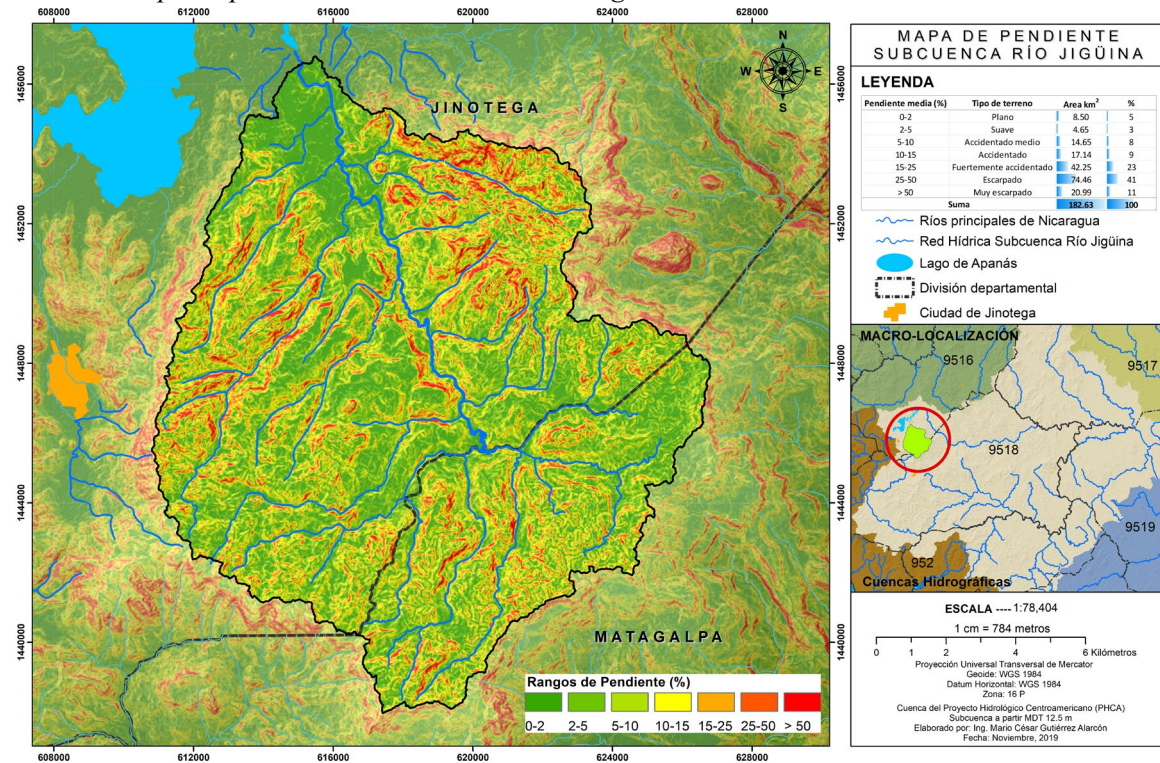
Anexo 1. Familias encontradas en el cauce del río durante el periodo seco y lluvioso.

No.	Familias	Periodo seco	Periodo lluvioso	Clasificación según su hábitat	
				P. Seco	P. Lluvioso
1	<i>Leptolhebiidae</i>	Entre los helechos	En remansos de río, en las orillas, bajo las piedras	Bentos	Bentos
2	<i>Hydrometridae</i>	Sobre la superficie del agua	Sobre la superficie del agua	Neuston	Neuston
3	<i>Belostomatidae</i>	Charcas y corrientes	Entre la arena	Bentos	Bentos
4	<i>Corydalidae</i>	No se encontraron	Entre la arena	No se encontraron	Bentos
5	<i>Elmidae</i>	No se encontraron	Entre la arena	No se encontraron	Bentos
6	<i>Hirudinidae</i>	Debajo las rocas	Debajo las rocas	Bentos	Bentos
7	<i>Oligoneuriidae</i>	Entre helechos y rocas	Entre helechos y rocas	Bentos	Bentos
8	<i>Psephenidae</i>	No se encontraron	Entre la arena	Bentos	Bentos
9	<i>Pseudothelpusidae</i>	No se encontraron	Entre la arena	Bentos	Bentos
10	<i>Thiaridae</i>	Entre la arena	Entre la arena y rocas	Bentos	Bentos
11	<i>Tubificidae</i>	Debajo de las rocas	Debajo de las rocas	Bentos	Bentos
12	<i>Ampollanidae</i>	No se encontraron	Entre la arena	No se encontraron	Bentos

Anexo 2. Mapa de elevación de la subcuenca río Jigüina



Anexo 3. Mapa de pendiente de la subcuenca río Jigüina.



FORMATO

REGISTRO DE AFORO POR MOLINETE

Fecha:
 Hora: Aforadores
 Nombre río: Coordenadas:
 Distancia AB:

Ancho (A):
 Altura promedio (A):
 Área (A):

Ancho (B):
 Altura promedio (B):
 Área (B):

Número de Repeticiones	Tiempo Empleado en Recorrer Distancia entre A y B
1	
2	
3	
Tiempo promedio (seg)	
Velocidad (m/s)	
Área de la Sección (m²)	
Caudal (m³/s)	
Observaciones:	

$$Q = V \times A$$

Anexo 8. Pescadores entrevistados

No.	Nombre	Oficio	Comunidad
1	Javier Antonio Ríos Picado	Pescador	
2	Martha Picado	Ama de casa /Pescador	Jigüina
3	María Zeas	Ama de casa/ Pescador	
4	Jimmy José González	Pescador	

Anexo 9. Gira de campo.









