

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental



TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHOTANO MEDIANTE

MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y PARÁMETROS

FISICOQUÍMICOS EN LOS DISTRITOS DE LAJAS Y COCHABAMBA

PRESENTADO POR

BACHILLER:

JOSÉ NEYSER IDROGO URIARTE

ASESOR:

ING. M. Sc. MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL

CAJAMARCA – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
“NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CONSTANCIA DE ANTIPLAGIO URKUND DE TESIS SUSTENTADA

El que suscribe, **Ing. M. Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal**, en calidad de asesor de la tesis **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHOTANO MEDIANTE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN LOS DISTRITOS DE LAJAS Y COCHABAMBA”**.

CERTIFICA

Se ha realizado la revisión antiplagio **URKUND** del informe de la tesis sustentada, titulada **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHOTANO MEDIANTE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN LOS DISTRITOS DE LAJAS Y COCHABAMBA”** presentado por el bachiller **JOSÉ NEYSER IDROGO URIARTE**, identificado con **DNI N° 71560516** y habiendo sometido el documento de informe final al software antiplagio autorizado, obteniendo un porcentaje de 4% (Significante).

Se expide el presente documento, de acuerdo a Ley, para los fines que el interesado crea conveniente

Cajamarca, 21 de diciembre del 2023

Atentamente,

ING. M. Sc. **MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL**
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica

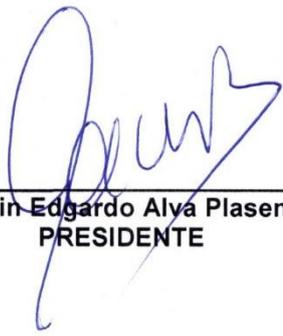


ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los veinticinco días del mes de setiembre del año dos mil veintitrés, se reunieron en el ambiente **2C - 202** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 353-2021-FCA-UNC**, de fecha **22 de noviembre del 2021**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHOTANO MEDIANTE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y PARÁMETROS FISIQUÍMICOS EN LOS DISTRITOS DE LAJAS Y COCHABAMBA**", realizada por el Bachiller **JOSÉ NEYSER IDROGO URIARTE** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las diez horas y cero minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las once horas y treinta minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.



Dr. Edin Edgardo Alya Plasencia
PRESIDENTE



Ing. Mg. Sc. Jhon Anthony Vergara Copacandori
SECRETARIO



Ing. M. Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal
VOCAL

COPYRIGHT © 2024 by

JOSÉ NEYSER IDROGO URIARTE

Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A Dios quien inspiro mi espíritu para la realización de este estudio, por darme salud y bendición para alcanzar mis metas como persona y como profesional, por darme la sabiduría para enfrentar y superar las dificultades que se presentan constantemente en los escalones de mi vida.

A mi madre Elizabeth Beatriz Uriarte Mosquera, mi padre Noe Idrogo Cieza, mis hermanas Luz Anabel, Lesly Yubeli por brindarme su apoyo emocional, económico e incondicional a lo largo de mi trayectoria, porque han sido el sustento para poder culminar mi carrera profesional, sin ustedes nunca hubiera podido hacer este trabajo de investigación.

¡Gracias por confiar en mí!

AGRADECIMIENTO

De manera especial agradezco a la familia que tengo y compartir gratos y malos momentos, por mantenernos siempre unidos y superar cada obstáculo que se presenta en el transcurso de nuestras vidas. Por permitir la culminación de este trabajo de investigación y hacer realidad el objetivo trazado.

Mi más sincero agradecimiento a mi asesor ING. M.Sc. MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL, por su confianza, apoyo desinteresado que brinda a la investigación, por sus consejos acertados, su comprensión y tiempo valioso brindado en la realización de esta investigación.

A todos mis amigos, compañeros y aquellos que en algún momento prestaron su ayuda para la realización de esta investigación, quienes recuerdo siempre con gratitud y aprecio.

ÍNDICE

ÍTEM	Página
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I.....	14
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO II.....	16
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Antecedentes de la investigación.....	16
2.1.1 A nivel internacional.....	16
2.1.2 A nivel nacional.....	17
2.1.3 A nivel regional.....	20
2.2 Bases teóricas.....	24
2.2.1 Gestión de los recursos hídricos.....	24
2.2.2 Calidad de agua.....	25
2.2.3 Capacidad de autodepuración de los ríos.....	26
2.2.4 Parámetros fisicoquímicos.....	27
2.2.5 Macroinvertebrados bentónicos.....	30
2.2.6 Taxa de macroinvertebrados acuáticos.....	31
2.2.7 Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua.....	35
2.2.8 Hábitats de los macroinvertebrados bentónicos.....	36
2.2.9 Enfoque biótico del nivel de respuesta o tolerancia de los bioindicadores.....	36
2.2.10 Índices bióticos.....	37
2.3 Definición de términos básicos.....	40
2.3.1 Calidad biológica del agua.....	40

2.3.2	Macroinvertebrados acuáticos	40
2.3.3	Ecosistemas lóticos	40
2.3.4	Ecosistemas lénticos	41
2.3.5	Bentos	41
2.3.6	Bioindicador:	41
2.3.7	Calidad fisicoquímica del agua.....	42
CAPÍTULO III		43
MATERIALES Y MÉTODOS.....		43
3.1	Ubicación de la investigación	43
3.1.1	Hidrografía del río Chotano	45
3.2	Materiales y equipos	45
3.3	Metodología.....	46
3.3.1	Selección de las estaciones de muestreo	47
3.3.2	Medición de parámetros de campo	51
3.3.3	Toma de muestras para laboratorio.....	52
3.3.4	Muestreo de macroinvertebrados	53
3.3.5	Identificación de macroinvertebrados.....	54
3.3.6	Procesamiento de datos análisis estadístico.....	55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		56
4.1	Índices Bióticos.....	56
4.1.1	Índice Biótico de Familias (IBF)	58
4.1.2	Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT).....	60
4.1.3	Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col)	62
4.2	Parámetros Fisicoquímicos	65
4.2.1	Conductividad eléctrica (CE).....	65
4.2.2	Caudal (m ³ /seg).....	68
4.2.3	Temperatura (T).....	71

4.2.4	Potencial de hidrógeno (pH)	73
4.2.5	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	75
4.2.6	Oxígeno disuelto (OD).....	78
4.2.7	Fosfato (PO ₄ ³⁻)	80
4.2.8	Nitritos y nitratos	83
4.2.9	Dureza total.....	86
4.3	Resultados del análisis estadístico	88
4.3.1	Análisis de varianza (ANOVA) para las poblaciones de macroinvertebrados	88
CAPÍTULO V		91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		91
5.1	Conclusiones.....	91
5.2	Recomendaciones	92
CAPITULO VI.....		93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		93
CAPÍTULO VII.....		107
ANEXOS		107
ANEXO 1. Panel fotográfico.....		107
ANEXO 2. Familias de macroinvertebrados colectados		112
ANEXO 3. Informes de ensayos del Laboratorio Regional del Agua.....		118
ANEXO 4. Macroinvertebrados recolectados en la época húmeda y seca		120
ANEXO 5. Tablas para la asignación de puntajes en los índices bióticos		122
ANEXO 6: Guía para la identificación de macroinvertebrados		124
ANEXO 7: Claves de identificación taxonómica		112

TABLAS

Tabla	Página
1 Escalas para el Índice Biótico de Familias (IBF)	38
2 Escalas para el Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera	39
3 Escalas para el Índice BMWP/Col	40
4 Programación de monitoreo.....	48
5 Puntos de monitoreo en el río Chotano tramo Lajas – Cochabamba	47
6 Parámetros y metodología utilizada en el laboratorio	53
7 Macroinvertebrados recolectados en la época húmeda	56
8 Macroinvertebrados recolectados en la época seca	57
9 Resultados del Índice Biótico de Familias (IBF) en las dos épocas de monitoreo....	58
10 Resultados del Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) en las dos épocas de monitoreo	61
11 Resultados del Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) en las dos épocas de monitoreo	63
12 Análisis de varianza (ANOVA) para las poblaciones de macroinvertebrados.....	88
13 Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%	89
14 Macroinvertebrados recolectados en la época húmeda por punto de monitoreo y repeticiones	120
15 Macroinvertebrados recolectados en la época seca por punto de monitoreo y repeticiones	121
16 Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el Índice BMWP/Col (Roldán 2012).....	122
17 Valores de Tolerancia ajustados para la aplicación del IBF (Hilsenhoff 1988).....	123
18 Principales órdenes y familias para la identificación de macroinvertebrados bentónicos.....	124
19 Claves de identificación (Fernández et al 2012).....	112

FIGURAS

Figura		Página
1	Ubicación del río Chotano en el tramo Lajas – Cochabamba	44
2	Puntos de monitoreo en el río Chotano tramo Lajas – Cochabamba.....	48
3	Familias y número de individuos registrados en época húmeda	57
4	Familias y número de individuos registrados en época seca	58
5	Conductividad eléctrica de los puntos evaluados en las épocas seca y húmeda	66
6	Recta de regresión para los macroinvertebrados en función de la conductividad eléctrica	67
7	Caudal de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda.....	69
8	Recta de regresión para los macroinvertebrados en función del Caudal	70
9	Temperatura de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda.....	72
10	Recta de regresión para los macroinvertebrados en función de la temperatura	73
11	pH de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda	74
12	Recta de regresión para los macroinvertebrados en función del pH	75
13	DBO ₅ de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda	76
14	Recta de regresión para los macroinvertebrados en función del DBO ₅	77
15	Oxígeno disuelto de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda.....	79
16	Recta de regresión para los macroinvertebrados en función del oxígeno disuelto	80
17	Fosfato de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda	81
18	Recta de regresión para los macroinvertebrados en función de los fosfatos	82
19	Nitratos de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda	84
20	Nitritos de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda	84
21	Recta de regresión para los macroinvertebrados en función de los nitratos.....	85
22	Dureza total de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda.....	87
23	Recta de regresión para los macroinvertebrados en función a la dureza total.....	88
24	Monitoreo del punto P6 para la recolección de macroinvertebrados	107
25	Monitoreo del punto P5 para la recolección de macroinvertebrados	107
26	Monitoreo del punto P1 para la recolección de macroinvertebrados	108
27	Recolección de macroinvertebrados en el punto de monitoreo P8.....	108
28	Monitoreo del punto P7 para la recolección de macroinvertebrados	109
29	Toma de muestras para el análisis fisicoquímico en el punto de monitoreo P7 ..	109

30	Toma de muestras para el análisis fisicoquímico en el punto de monitoreo P4..	110
31	Medición del caudal en el punto de monitoreo P1	110
32	Medición de profundidades del río para determinar el caudal	111
33	Medición del ancho del río para determinar el caudal.....	111
34	Familia Chironomidae (larva)	112
35	Familia Tipulidae (larva)	112
36	Familia Ceratopogonidae (larva)	113
37	Familia Hydropsychidae (larva)	113
38	Familia Hydrobiosidae (larva).....	113
39	Familia Leptophlebiidae (larva)	114
40	Familia Baetidae (larva)	114
41	Familia Leptohyphidae (larva)	114
42	Familia Veliidae (adulto).....	115
43	Familia Naucoridae (adulto)	115
44	Familia Lumbricidae (adulto).....	115
45	Familia Physidae (adulto)	116
46	Familia Elmidae (adulto)	116
47	Familia Corydalidae (larva).....	116
48	Familia Perlidae (larva)	117
49	Familia Planariidae (adulto)	117
50	Familia Aeshnidae (larva)	117
51	Resultados de parámetros fisicoquímicos de la época húmeda.....	118
52	Resultados de parámetros fisicoquímicos de la época seca.....	119

RESUMEN

Se evaluó la calidad del agua del río Chotano en el tramo Lajas – Cochabamba mediante la caracterización biológica y fisicoquímica, durante los meses de febrero del 2020 y octubre del 2020; se determinó la calidad del agua mediante los índices bióticos: Índice Biótico de la Familia (IBF), Ephemeroptera Plecoptera y Trichoptera (EPT) y el BMWP/Col, para los cuales se utilizó los valores de ponderación establecidos para cada índice biótico; se obtuvo como resultado la identificación de 1048 macroinvertebrados pertenecientes a 10 órdenes y 17 familias distribuidos en 8 puntos de monitoreo; el índice IBF obtuvo un puntaje promedio de 5,20 estableciendo que se tiene una calidad de agua “mala” con contaminación orgánica presente, el índice EPT obtuvo un puntaje promedio de 1,9 estableciendo la calidad de agua “muy pobre” severamente impactado y el índice BMWP/Col obtuvo un puntaje promedio de 27,5 estableciendo una calidad de agua “crítica” muy contaminadas; así mismo se evaluaron los parámetros fisicoquímicos como: conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrogeno (pH), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), oxígeno disuelto (OD), fosfatos (PO₄³⁻), temperatura (T°), nitratos/nitritos, dureza total y caudal, los cuales se encuentran dentro de los estándares estipulados en el D.S.N°004-2017.MINAM, ECA para agua, categoría 4 (conservación del ambiente acuático); para la subcategoría E2 ríos (costa y sierra), a excepción de la DBO₅ y los fosfatos, que excedieron los estándares establecidos en la normativa peruana en los puntos de monitoreo P1 (13,5 mgO₂/L), P2 (11 mgO₂/L) y P3 (15,8 mgO₂/L) de la época seca para la DBO₅; y en los puntos de monitoreo P1 (0,085 y 0.065 mg/L) de la época seca y húmeda y P3 (0.133 mg/L) de la época seca para los fosfatos.

Palabras claves: Índice biótico, macroinvertebrados bentónicos, contaminación orgánica y calidad del agua.

ABSTRACT

The water quality of the Chotano river in the Lajas - Cochabamba section was evaluated through biological and physicochemical characterization, during the months of February 2020 and October 2020; The water quality was determined through the biotic indices: Family Biotic Index (IBF), Ephemeroptera Plecoptera and Trichoptera (EPT) and the BMWP/Col, for which the weighting values established for each biotic index were used; As a result, the identification of 1048 macroinvertebrates belonging to 10 orders and 17 families distributed in 8 monitoring points was obtained; the IBF index obtained an average score of 5.20 establishing that there is a "bad" water quality with organic contamination present, the EPT index obtained an average score of 1.9 establishing the water quality as "very poor" severely impacted and the BMWP/Col index obtained an average score of 27.5, establishing a highly polluted "critical" water quality; Likewise, the physicochemical parameters such as: electrical conductivity (EC), hydrogen potential (pH), biochemical oxygen demand (BOD₅), dissolved oxygen (DO), phosphates (PO₄³⁻), temperature (T°), nitrates/ nitrites, total hardness and flow, which are within the standards stipulated in D.S.N°004-2017.MINAM, ECA for water, category 4 (conservation of the aquatic environment); for subcategory E2 rivers (coast and mountains), with the exception of BOD₅ and phosphates, which exceeded the standards established in Peruvian regulations at monitoring points P1 (13.5 mgO₂/L), P2 (11 mgO₂/L) and P3 (15.8 mgO₂/L) of the dry season for BOD₅; and at the monitoring points P1 (0.085 and 0.065 mg/L) of the dry and wet season and P3 (0.133 mg/L) of the dry season for phosphates.

Keywords: Biotic index, benthic macroinvertebrates, organic pollution and water quality.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Cerca del 75% de la superficie del planeta está cubierta por agua, un elemento esencial y significativo para todo ser vivo. No obstante, menos del 1% de este recurso es apto para el consumo o uso humano. Este pequeño porcentaje está en peligro debido a las actividades humanas que contaminan los cuerpos de agua, mediante procesos industriales y la minería que reduce la cantidad disponible. Además, existe, en numerosos países del mundo, una gestión deficiente de este recurso que genera desequilibrios entre la oferta y la demanda hídrica. Este problema se amplía debido al acceso desigual y al aumento de la demografía lo que ha generado un incremento de la demanda del recurso hídrico y al mismo tiempo los niveles de impacto a las cuencas hidrográficas (Monforte y Cantú, 2009).

El Perú es un país altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, uno de los principales impactos se manifiesta en la escasez del agua. Esto sumado al problema de la calidad del agua que enfrenta nuestro país determinan la necesidad de que se plantee una serie de retos para mejorar la calidad de agua, al ser este un recurso de primera necesidad para los seres vivos e indispensable en la configuración de los ecosistemas; de no tomarse decisiones claves al respecto, seguiremos con serias amenazas en la salud pública, la seguridad alimentaria, la pérdida de ecosistemas y la sostenibilidad del desarrollo económico (Aquino 2017).

El ecosistema acuático es el resultado de la interacción de los organismos que allí viven con la calidad fisicoquímica del agua, la atmósfera y el medio terrestre que lo rodea. El agua, el compuesto más abundante sobre la tierra, posee unas características físicas y

químicas que la hacen fundamental y única para el desarrollo de la vida tal como se conoce en este planeta. Por tanto, cualquier alteración repercute en la estructura de las comunidades que la habitan. El agua tiene, además, la capacidad de transporte rápido de todo tipo de sustancias incomparable con cualquier otra sustancia sobre la tierra (Roldán, 2012). Los métodos comunes de análisis de agua están casi siempre basados en parámetros fisicoquímicos, pero la gran variabilidad e incremento de los productos contaminantes y su constante vertimiento sobre las cuencas exigen que se use nuevas metodologías. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua han demostrado su total eficacia en la detección de puntos de alteración y el cartografiado de la calidad del agua (Tercedor 1996).

Las principales causas de la contaminación de las aguas del río Chotano en el tramo Lajas – Cochabamba son: la utilización de fertilizantes sintéticos, vertimiento de aguas residuales (domiciliarias y camal municipal), regulación de caudales para uso agrícola y otras actividades antrópicas (lavado de vehículos, arrojado de residuos sólidos); generando un grado de contaminación en la calidad del agua; que vienen siendo utilizadas para el riego de cultivos, la ganadería y otras actividades. Además, las ciudades de Lajas y Cochabamba no cuentan con una planta de tratamiento de sus aguas residuales. De acuerdo con la problemática, surge la necesidad de realizar el presente trabajo de investigación; que permitirá conocer la calidad del agua que será de ayuda para plantear alternativas de solución y mitigar los impactos.

El objetivo general de la investigación fue evaluar la calidad del agua del río Chotano mediante macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en el tramo comprendido entre los distritos de Lajas – Cochabamba.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 A nivel internacional

Según Patiño (2015), realizó monitoreos en la quebrada La Vieja – Colombia en época de lluvias, obteniendo como resultado a las familias Simuliidae, Psephenidae y Calamoceratidae indicadores de aguas oligotróficas es decir aguas claras pero bajas en nutrientes. En el tramo de estudio obtiene calidad de agua buena, para el tramo de la zona urbana la calidad baja esto se deduce ya que el número de individuos identificados fue mínimo y los encontrados tienen adaptaciones a cuerpos de agua con contaminación, a diferencia de los puntos en la zona de reserva los cuales se encontraron en su mayoría Trichopteros los cuales requieren de aguas oxigenadas y limpias.

Según Forero (2017), en su investigación en el río Frio – Colombia, registró una diversidad de familias Simuliidae y Chironominae, debido a su alto nivel de tolerancia son buenos competidores en ambientes contaminados. Las especies con rangos más estrechos de tolerancia y que se encontraron en la parte menos transformada son los mejores organismos bioindicadores. El índice general de calidad de agua mostró que los primeros sitios presentan una buena calidad y el sitio 5 es el más contaminado, de este modo se concluye que es el más vulnerable en cuanto al estado de calidad. El índice biológico evaluó cambios a pequeñas escalas que no se observan con el índice fisicoquímico.

Según Jiménez (2018), en su investigación en el río Patulú – Ecuador, logró identificar 8 órdenes distribuidos en 57 familias con un total de 5295 individuos de macroinvertebrados

bentónicos distribuidos en cinco puntos de monitoreo; según el índice ETP en los puntos P1 (77,15%), P2 (75,62%) y P3 (78,25%), presentan un agua de calidad muy buena y en los puntos P4 (65,09%) y P5 (62,46%), un agua de buena calidad. El índice ABI, reportó un agua de mala calidad en todos los puntos de monitoreo.

Según Cedeño y Quinteros (2016). En su investigación en el río Carrizal – Ecuador, logró identificar 1741 individuos pertenecientes a 33 familias de 6 órdenes de la clase insecta, en las seis estaciones de muestreo. La entomofauna acuática encontrada estuvo representada por órdenes como Ephemeroptera, Coleoptera, Hemiptera, Odonata, Trichoptera, Diptera. El análisis de correlación de Pearson mostró que de los 3 parámetros físicos evaluados (pH, oxígeno disuelto y temperatura), solo el oxígeno disuelto y la temperatura correlacionaron con el índice biológico BMWP.

Según Marín (2018), en su investigación en el río Amanalco – México, logró identificar 33 familias de macroinvertebrados entre las más abundantes Tipulidae, Lestidae, Gammaridae e Hydrophilidae. El índice BMWP entre las que destacan Perlidae con 9 y Aeshnidae, Leptoceridae e Hydrobiosidae, todas con calificación de 8; mismas que son un indicador de aguas de buena calidad. También se encontraron las familias Chironomidae con calificación de 2 y Syrphidae y organismos del orden Lumbriculida, ambas con calificación de 1, que se encuentran comúnmente contaminadas o de mala calidad.

2.1.2 A nivel nacional

Según Poblete (2013), realizó su investigación en el río Chuyungal – La Libertad, logró identificar 6 clases, 12 órdenes y 28 familias (incluye una familia no determinada). Según el BMWP, la calidad del agua, varió entre aceptable y pésima, durante los meses de junio y

noviembre del 2012. En base en las variaciones del índice BMWP analizadas y por los valores bajos obtenidos para aguas naturales en ciertas estaciones, se concluye que las aguas se encuentran alteradas en su estado natural. Los parámetros fisicoquímicos que superaron el máximo valor permisible establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua del MINAM (2008) fueron: pH, nitrógeno amoniacal, nitritos y fluoruros; y entre los metales pesados: cobre, níquel, plata, zinc y manganeso.

Según Chávez (2016), en la investigación en la cuenca del río Moche – La Libertad, identificó 11 órdenes y 26 familias, de las cuales las más abundantes fueron: Simuliidae, Chironomidae, Tricorythidae y Lymnaeidae. Los parámetros fisicoquímicos cumplen con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua (DS N°002 – 2008 - MINAM), a excepción del fosfato no cumple con la normatividad en los puntos de muestreo 1 y 5 con los valores de 1,9 y 1,7 mg/L respectivamente y el pH con 5,6 en la estación de muestreo 7 evaluados entre los meses de febrero y julio 2015. Según el Índice BMWP la calidad biológica de los puntos de muestreo fluctúa entre aguas dudosas y críticas, mostrando variaciones de la calidad debida a las actividades mineras en la cuenca alta.

Según Quispe (2015), en su investigación en las quebradas Gamitana y Valencia – Madre de Dios, identificó 125 individuos de macroinvertebrados de los cuales se determinaron: 3 phylum, 4 clases, 11 órdenes, 19 familias y 26 especies. Según los índices de diversidad la quebrada Gamitana presento mayor diversidad, riqueza y abundancia de peces y macroinvertebrados. De acuerdo al Índice BMWP la calidad del agua en la quebrada Gamitana y Valencia es de ligeramente contaminadas en estado de calidad aceptable. El Índice (EPT) la quebrada Gamitana presento calidad de agua buena y la quebrada Valencia presentó calidad de agua en estado regular. Según los parámetros fisicoquímicos

analizados dichos resultados se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos por el decreto supremo N° 002-2008 MINAM.

Según Pezo (2018), en su investigación en el río Cumbaza – San Martín, logró identificar 21 familias de macroinvertebrados, pertenecientes a 2 clases y 10 órdenes taxonómicas, lo que permitió determinar el índice de diversidad biológica (BMWP) que condujo a la calificación de las tres estaciones estudiadas, en el mes de mayo las estaciones I (San Roque de Cumbaza) y II (San Pedro de Cumbaza) con calidad aceptable, mientras que la estación III (Bocatoma de captación) con calidad dudosa; en el mes de octubre las estaciones II (San Pedro de Cumbaza) y III (San Roque de Cumbaza) con calidad aceptable, mientras que la estación I (San Roque de Cumbaza) con calidad dudosa.

Según Minchola (2021), en su investigación en el río Negro – Huánuco, determinó para el índice BMWP/Col la calidad de agua varía de “aceptable” (aguas ligeramente contaminadas) a “muy crítica” (Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica). La correlación que existe entre el Índice WQI_{NSF} y el índice BMWP/Col es directa y alta, es decir se mueven a una misma dirección, si un índice aumenta el otro también en las tres fechas muestreadas.

Según Lisboa (2016), en su investigación en el río Chira – Piura, logró identificar 19 familias, 12 órdenes y 6 clases, se determinó para el Índice nPeBMWP los valores promedios de 53 en el Sector Huaypará; 52,75 en La Peña; 41,25 en el puente Viejo Sullana y 46,25 en el puente Sojo calificando la calidad de agua como “regular” con aguas contaminadas con sistema alterado en los cuatro puntos de muestreo en el río Chira, asimismo, en el puente Viejo Sullana se obtuvo en el mes de noviembre un valor de 35 que

indica una calidad del agua mala y presenta aguas muy contaminadas con un sistema alterado.

Según Rengifo y Franco (2020), en su investigación en la quebrada Shitariyacu – San Martín, logró determinar la calidad de agua con macroinvertebrados utilizando los Índices BMWP y EPT, el cuerpo de agua debe ser adaptado y modificado según sus características, tipología y el lecho o cauce fluvial, ya que permite una evaluación rápida acertada y eficaz, esto basado en ponderaciones de sensibilidad a los rangos de tolerancia ambiental de los macroinvertebrados bentónicos; la calidad de dicho cuerpo hídrico es mala, esto debido a la alta turbiedad, color y presencia de microorganismos de origen fecal por consecuencia de las actividades antropogénicas desarrolladas a las orillas de esta quebrada.

2.1.3 A nivel regional

Según Azabache (2018), en su investigación en el río Grande, Mashcón y Porcón; determinó la calidad ecológica de las aguas, fue determinada por la calidad ambiental a través de los parámetros fisicoquímicos, y por la calidad biológica a través de los índices bióticos y de diversidad; la primera de acuerdo a los Estándares de Calidad (ECA) del MINAM, y la segunda de acuerdo al índice multimétrico IMEERA, con el que se valoró de buena a excelente calidad para el río Grande, de regular calidad para el río Mashcón, y de regular a pésima calidad para el río Porcón, calificando la calidad ecológica de las aguas dentro de la categoría A3 (que pueden ser utilizadas para agricultura y pecuaria), según los Estándares ECA del MINAM. Los nichos ecológicos reportados en orden de dominancia fueron: los Colectores-recolectores, representados por efemerópteros, dípteros, tricópteros

y plec6pteros; los depredadores, trepadores, fijadores, trituradores, raspadores y filtradores, presentes con menor relevancia.

Seg6n Hoyos (2019), realiz6 una investigaci6n en el r6o M6yoc Grande, Miguel Iglesias – Cajamarca; obteniendo como resultados para par6metros fisicoqu6micos; ox6geno disuelto, temperatura y pH se encontraron dentro de los Est6ndares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (DS, N°004-2017-MINAM). El ox6geno disuelto se encontr6 entre los valores de 6,27 y 8,49 suficiente para mantener y conservar la vida acu6tica; a excepci6n de los nitritos/ nitratos, conductividad el6ctrica y dureza total est6n por debajo de los est6ndares establecidos. Se colectaron 1408 macroinvertebrados pertenecientes a 116rdenes y 18 familias, determinando la calidad del agua, en el 6ndice EPT una calidad pobre en los 6 puntos de monitoreo, el 6ndice BMWP/col abarca una calidad del agua dudosa en los (P1 y P4) y calidad cr6tica en los puntos (P2, P3, P5, P6). Asimismo, el 6ndice ABI una calidad moderada en los (P1 y P4) y una calidad mala en los (P2, P3, P5 y P6), finalmente en el 6ndice IBF presenta una calidad pobre.

Mu6noz (2016), obtuvo resultado para los periodos de estiaje y avenidas en el r6o Grande de Celend6n – Cajamarca; determinando que algunos par6metros fisicoqu6micos del agua del r6o estudiado no cumplieron con los Est6ndares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categor6a 3, establecidas en el Decreto Supremo N° 015–2015–MINAM, excepto en los par6metros de conductividad el6ctrica y temperatura considerados en este estudio, respecto a la evaluaci6n biol6gica se obtuvo como resultado la identificaci6n de 9713 individuos de macroinvertebrados bent6nicos pertenecientes a 9 clases, 146rdenes y 37 familias, las mismas que si son indicadores biol6gicos de la calidad del agua.

Según Castañeda (2021), en su investigación en el río Grande, Cortegana – Celendín, identificó 959 individuos pertenecientes a 11 órdenes y 25 familias de macroinvertebrados bentónicos; según el índice EPT obtuvo un puntaje de 4,2 clasificando a una calidad “pobre”, el índice BMWP/Col obtuvo un puntaje de 59,3 clasificando a una calidad “dudosa” y el Índice Biótico Andino ABI obtuvo un puntaje de 50 clasificando a una calidad “moderada”. los parámetros fisicoquímicos; pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, nitritos/nitratos, en los cinco puntos de muestreo cumplieron con el D.S N° 004.2017-MINAM, a excepción del pH, en los puntos P4 y P5 con valores 8,51 y 8,52 no cumple con los ECAs nacionales destinados para agua de riego y bebida de animales, presentaron condiciones de aguas alcalinas.

Según Jáuregui (2019), en su investigación en el río Sendamal – Celendín, identificó 6 clases, 13 órdenes, 34 familias; el índice EPT, nos muestran que se califica al río Sendamal con una calidad de agua moderadamente impactada; según el índice BMWP/col, la condición del agua en los puntos P1,P5,P6,P8 se califica como de aceptable calidad y los puntos P2,P3,P4,P7,P9 califica como dudosa calidad; Según los resultados del índice ABI, en sus puntos P1,P4,P5,P6,P8 presento una buena calidad de agua, mientras que los puntos P2,P3,P7,P9 presento una clasificación de calidad moderada. Para el parámetro pH, se determinó que en la época húmeda en los puntos de monitoreo de valores obtenidos en P1, P2, P3 – Sucre; P4, P5, P6- Sorochuco P8-Huasmín en la época húmeda; P5, P6 – Sorochuco época seca; excedieron los límites establecidos en la norma nacional, en el caso de Nitratos y Nitritos, para Nitritos es menor al límite de cuantificación del método del laboratorio, en el caso de los Nitratos si cumplió con los estándares de calidad ambiental, en el caso de dureza no hay un Estándar de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3, establecidos en el decreto supremo N°-004-2017-MINAM.

Según Linares (2018), en su investigación en el río Perlamayo y Tacamache, Chugur – Cajamarca, determinó para el índice biótico EPT, en ambas épocas de muestreo en las siete estaciones, la calidad ecológica de los ríos Perlamayo y Tacamache es POBRE, donde los resultados promedio obtenidos en las sub cuencas son menor a 6, debido a que este tipo de especies son altamente sensibles en aguas muy contaminadas comprobado con los resultados obtenidos. El índice BMWP/Col, obtuvo un puntaje promedio de 38 para los 7 puntos de monitoreo durante la época de lluvia y época seca, en la sub cuenca de los ríos Perlamayo y Tacamache, que corresponde a una clase III, una calidad dudosa, significando Aguas moderadamente contaminadas. El índice ABI, obtuvo un puntaje promedio de 38, en los siete puntos de muestreo, para la época de lluvia y época seca, correspondiendo a una clase 3, y un nivel de calidad moderado para las aguas de los ríos Perlamayo y Tacamache.

Según Mauricio (2018), en su investigación en el río Huayobamba San Marcos – Cajamarca, logró identificar insectos acuáticos del Orden Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Ephemeroptera, Megaloptera, Odonata, Plecoptera y Trichoptera, en época seca y húmeda que se encuentran relacionados en forma directa con la calidad de agua, los índices ASPT y BMWP, en las zonas alta y media, en época seca y húmeda, presentan agua de calidad “dudosa”. En tanto, en la zona baja, en época seca el agua presenta calidad “muy crítica” y en época húmeda calidad “crítica”. La temperatura y la humedad influyen en la distribución estacional de insectos acuáticos, pues se evidenció que las familias de insectos acuáticos en época húmeda y en época seca difieren en diversidad.

Según Herrera (2019), en su investigación en la quebrada Miraflores, identificó 378 individuos de macroinvertebrados bentónicos en las cinco estaciones de muestreo,

distribuidos en 4 clases, 10 órdenes, 25 familias. En la clasificación de los rangos de calidad según el Índice Biótico nPeBMWP todas las estaciones se encuentran en un estándar verde, que significa calidad biológica aceptable y con signos de estrés; en general, la calidad biológica del agua de la quebrada Miraflores está en un rango aceptable para todas las estaciones de muestreo.

Según Ayala y Grover (2020), en su investigación en el río San Lucas, Cajamarca, registró un total de 408 macroinvertebrados acuáticos, que consta de 4 clases, 1 subclase, 6 órdenes y 13 familias. Según los resultados obtenidos del Índice Biótico Andino (ABI), podría decirse que muestran en su mayoría, una calidad “pésima”, sobre todo, en las partes media y baja durante ambos meses. Por otra parte, de acuerdo al Índice BMWP/Col. se tiene que los cuerpos de agua analizados, presentan en su mayoría, una calidad “muy crítica”, sobre todo, en las partes media y baja durante ambos meses. Con lo que se rechaza la hipótesis, ya que la calidad que se encontró, presenta peores condiciones. Finalmente, la correlación entre los índices bióticos (BMWP/Col. y ABI) y los parámetros fisicoquímicos, es positiva y estadísticamente significativa, tanto para el OD, pH y nitrato con valores que están entre 0.40 y 0.96. De este modo, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Gestión de los recursos hídricos

El manejo adecuado de los recursos hídricos debe comprender la evaluación del efecto de los usos de la tierra en la calidad del agua y debe tener en cuenta: la modificación de la cubierta vegetal, las actividades mineras, la aplicación de fertilizantes, herbicidas, plaguicidas u otros productos químicos, la densidad ganadera y la aplicación de estiércol,

la construcción, mantenimiento y uso de carreteras, actividades recreativas, el desarrollo residencial, urbano o rural, la eliminación de excrementos, el saneamiento, los vertederos y la eliminación de residuos y otras actividades humanas potencialmente contaminantes, como las industrias y las zonas militares (OMS, 2006).

Es un proceso que promueve el desarrollo y gestión del agua, la tierra y los recursos asociados, para maximizar el resultante bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales. A nivel de cuencas hidrográficas o lacustres y de acuíferos, gestión de los recursos hídricos puede definirse como un proceso que permite la gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos asociados dentro de los límites de una cuenca para optimizar y compartir equitativamente el resultante bienestar socioeconómico sin comprometer la salud de ecosistemas vitales a largo plazo (GWP, 2009).

2.2.2 Calidad de agua

No basta sólo con conocer cuál es la cantidad de agua que tenemos disponible en nuestra zona para comenzar a planificar su uso. También debemos conocer la calidad de la fuente de agua. Esto cobra fundamental importancia según el destino que se le dará a cada fuente. Al momento de estar haciendo la evaluación de las fuentes de agua, debemos conocer también sus cualidades para saber si tiene limitantes de acuerdo con el uso planificado. Esto cobra mayor importancia cuando el agua será utilizada para consumo humano, ya que, ante alguna característica no deseable, deberemos planificar la incorporación de tecnologías que nos permitan asegurar la inocuidad de la misma. El estudio de la calidad de agua se lleva a cabo en laboratorio a partir de muestras extraídas de la fuente, de las

cuales se determinan sus características físicas, químicas y biológicas (bacteriológicas) (INTA, 2011).

2.2.3 Capacidad de autodepuración de los ríos

Para referirse al tema de remoción o descomposición de la materia orgánica en ríos, es imprescindible hablar de la capacidad de autodepuración de los ríos y se describe como un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tiene lugar en los ríos de modo natural que cumplen la función de la degradación de la materia orgánica presente de manera natural o la incorporada a un cauce, ya sea por los escurrimientos o la degradación antropogénicas de forma deliberada. Esto lo realizan principalmente bacterias aerobias, que consumen materia orgánica en presencia mayormente de oxígeno disuelto, además, las plantas acuáticas asimilan algunos componentes en forma de nutrientes y están presentes otros procesos como el fotoquímico y la dilución. La autodepuración es un proceso controlado por el oxígeno por lo que la capacidad autodepuradora de un río se mide por el balance de oxígeno disuelto (Mocoroa, 2013).

Según Gil (2005), menciona que los ríos tienen una capacidad limitada de absorber y eliminar la contaminación de los vertidos que reciben; esto es debido a la utilización de la materia orgánica del vertido por las bacterias presentes en el río, de modo que en su actividad mineralizan la materia putrescible de los vertidos, y a su vez las bacterias son fagocitadas por los protozoos y éstos a su vez por organismos superiores. Cuando la capacidad de un río de eliminar la contaminación vertida sobre él, la autodepuración, es rebasada, el río comienza a presentar signos de contaminación, como son turbidez, malos olores. El índice general de contaminación utilizado para seguir el proceso de autodepuración de un río es la concentración de oxígeno disuelto, que disminuirá

bruscamente en el punto del vertido, para después de alcanzar un mínimo gradualmente, tender hacia la concentración correspondiente a la saturación.

La autodepuración de las aguas es un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, de modo natural y que provocan la destrucción de materia orgánica. Las bacterias aerobias, consumen materia orgánica con ayuda del oxígeno disuelto en el agua. Además, hay que añadir las plantas acuáticas, que asimilan algunos componentes en forma de nutrientes, así como mediante otros procesos fotoquímicos. (Structuralia, 2017).

2.2.4 Parámetros fisicoquímicos

a. Conductividad eléctrica

Las sales disueltas en agua se descomponen en iones cargados positivamente y negativamente. La conductividad se define como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos. Los iones más positivos son sodio (Na^+), calcio (Ca^{+2}), potasio (K^+) y magnesio (Mg^{+2}). Los iones más negativos son cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{-2}), carbonato y bicarbonato. Los nitratos y fosfatos no contribuyen de forma apreciable a la conductividad, aunque son muy importantes biológicamente (Boards 2015).

Las soluciones de los compuestos orgánicos por lo general son buenos conductores y las moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas poco o nada contribuyen con flujo de corriente (Chapman, 1996).

b. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH como variable fundamental en la calidad del recurso, indica la acidez o alcalinidad del agua, aquellas menos mineralizadas serán pH ácidos. El pH tiene marcada influencia

tanto en procesos biológicos como en procesos químicos. Para cada tipo de organismos existe un intervalo de pH óptimo para su desarrollo, pequeñas variaciones los afectarán y pueden resultar letales. Generalmente aguas en tratamiento sus valores oscilan entre 6,5 y 9,0 (Quintero, 2009).

c. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La descarga de materia orgánica contaminante en un cuerpo de agua crea una acción de purificación natural a través del proceso de oxidación bioquímica. La oxidación bioquímica es un proceso microbiológico que utiliza las sustancias contaminantes como una fuente de carbón, mientras consume el oxígeno disuelto en el agua para la respiración. La autodepuración de los ríos depende de muchas condiciones, incluida la temperatura y la naturaleza de la materia orgánica (Orjuela, 2013).

d. Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto es importante para evaluar la calidad del agua superficial y para el control del proceso de tratamiento de desechos. El oxígeno disuelto es uno de los factores más asociados a la vida acuática, al incidir en casi todos los procesos químicos y biológicos; las condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno) favorecen la diversidad de especies deseables como los peces (que en general pueden subsistir a concentraciones de oxígeno disuelto superiores a 4 mg/L (IDEAM, 2012).

La medida de oxígeno disuelto puede usarse como indicador del grado de contaminación orgánica, de la tasa de degradación de sustancias orgánicas e inorgánicas susceptibles de ser oxidadas y de la capacidad de autodepuración de corrientes superficiales. Las descargas de vertimientos con alto contenido de materia orgánica y nutriente, conducen al descenso

de la concentración de oxígeno, por el incremento de la demanda para su degradación. En los casos en que la reducción de los niveles de oxígeno es severa se llega a condiciones anaerobias (déficits de oxígeno disuelto superiores a 40%), especialmente en las zonas más profundas del cauce (IDEAM, 2012).

e. Fosfatos

Las especies de fósforo más comunes en aguas naturales incluyen compuestos inorgánicos y orgánicos disueltos o suspendidos. Las especies inorgánicas incluyen ortofosfatos, polímeros lineales o polifosfatos y polímeros cíclicos o metafosfatos. Los compuestos orgánicos comprenden ésteres, fosfonatos, ácidos nucleicos, fosfolípidos, azúcares, proteínas, ácido aminofosfórico, fosfoamidas y otros (Sánchez, 2001).

f. Nitratos

Los nitratos (NO_3^-) son producidos por fuentes naturales y antropogénicas, siendo estas últimas las causantes de concentración durante las últimas décadas. Los principales contaminantes de nitratos hacia ríos son las aguas residuales de industrias, aunque estas emisiones son puntuales y pueden ser controladas, las más preocupantes a nivel de escala y control son aquellas deposiciones de nitratos producidas por agricultura y ganadería intensiva. Estos compuestos se encuentran en cantidades muy altas para que sean absorbidos por las plantas, filtrándose en el suelo y posteriormente llevado por aguas subterráneas contaminando ríos y acuíferos; en conjunto con los excrementos de los animales que también tienen alta concentración de nitratos (Palomares, 2004).

g. Temperatura

Desempeña un rol fundamental en el funcionamiento de ecosistemas al regular o afectar otros factores abióticos (distintos componentes que determinan el espacio físico en el cual habitan los seres vivos) del ecosistema como son: la solubilidad de nutrientes, la solubilidad de gases, el estado físico de los nutrientes, el grado de toxicidad y propiedades fisicoquímicas del medio acuoso (pH, solubilidad de gases, densidad, el estado físico y la viscosidad del sustrato) (RUM, 2011).

2.2.5 Macroinvertebrados bentónicos

Son 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. Entre los insectos con alguna fase de su vida acuática destacan, por su abundancia y distribución, los siguientes órdenes: efemerópteros, plecópteros, odonatos, hemípteros, coleópteros, tricópteros y dípteros (Ladrera, 2012).

Tercedor (1996), define a los macroinvertebrados bentónicos como aquellos animales invertebrados, que, por su tamaño relativamente grande, son retenidos por redes de luz de malla de entre 250-300 μm . La mayoría de los mismos (alrededor del 80%) corresponden a grupos de artrópodos, y dentro de estos los insectos en sus formas larvarias son los más abundantes.

2.2.6 Taxa de macroinvertebrados acuáticos

a. Orden Ephemeroptera

Presentan un aparato bucal masticador, que se encuentra reducido a vestigios no esclerotizados en el adulto, ya que parte del aparato digestivo está modificado en un órgano aerostático lleno de aire, que mejora la flotabilidad durante el vuelo. Los adultos tienen cuatro (a veces dos) alas membranosas, las que durante el reposo se mantienen unidas y verticales sobre el tórax. Las alas posteriores, cuando están presentes, son siempre más pequeñas que las anteriores. Tanto en la ninfa como en el adulto, se encuentran dos o tres filamentos. Las ninfas son siempre acuáticas, normalmente con traqueobranquias abdominales, por lo regular en aguas corrientes lenticas, loticas, limpias y bien oxigenadas (Fernández y Domínguez, 2001).

- **Ecología**

Habitán en aguas limpias y bien oxigenadas, siendo sensibles a la presencia de carga orgánica residual en el agua (con la excepción de algunas pocas especies); por tanto, son consideradas buenas indicadores de calidad del agua (Zúñiga y Rojas, 1995).

b. Orden Trichoptera

Son indicadores de aguas limpias, cuyas características para Flores (2014), son: Hombros esclerotizados, uñas en la cola donde puede contener hojas y granos de arena pequeños, posee una cabeza más oscura a comparación del cuerpo que es enrollado, se debe indicar que existen 8 familias de Trichoptera y que en los ambientes acuáticos tanto quebradas como ríos; según Álvarez y Pérez (2007), juegan un papel importante en la cadena alimentaria, debido a su diversidad, además gracias a su grado de tolerancia son útiles como bioindicadores de la calidad del agua.

- **Ecología**

La mayoría de los Trichopteros viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas, debajo de piedras y material vegetal; algunas especies viven en aguas quietas y remansos de ríos y quebradas. En general, son buenos indicadores de aguas oligotróficas (Correa, 1981).

- **Distribución geográfica**

Los Trichopteros son cosmopolitas, pero para el neotrópico se han descrito familias, géneros y especies propios de esta región, Las principales familias son hydroptilidae, Hydropsychidae y Leptoceridae (Correa, 1981).

c. Orden Odonata

Son un grupo de insectos con adultos de coloración llamativa y ninfas opacas de cuerpo curioso. Entre los insectos, las libélulas son familiares para muchas personas y son fáciles de observar, quizás por ello tienen una variedad de nombres comunes (caballitos del diablo, gallegos, pipilachas, helicópteros, etc.) (Ramírez, 2010).

Las ninfas están provistas de un labium muy largo, extensible, usado para capturar las presas y que se dobla como una máscara sobre la cara cuando no está en uso. Respiran por medio de agallas traqueales que varían en forma y ubicación (Metcalf, 1966).

- **Ecología**

Los odonatos viven en pozos, pantanos, márgenes de lagos y corrientes lentas y poco profundas; por lo regular, rodeados de abundante vegetación acuática sumergida o emergente. Viven en aguas limpias o ligeramente eutrofizadas, Las principales familias son: libellulidae, gomphidae y Familia Aeshnidae (Correa, 1981).

d. Orden Plecoptera

Este pequeño orden de insectos acuáticos, de los cuales se han descrito en el mundo alrededor de 2000 especies, está considerado dentro de los grupos más primitivos de aspecto ortopteroide. Se distribuye en todos los continentes excepto la Antártida, y desde el nivel del mar hasta 5600 msnm en el Himalaya (Theischinger y Watson, 1991).

- **Ecología**

Las ninfas de los plecópteros viven en aguas rápidas, bien oxigenadas, debajo de piedras, troncos, ramas y hojas. En Antioquia se ha observado que son especialmente abundantes en riachuelos con fondo pedregoso, de corrientes rápidas y muy limpias situadas alrededor de los 2000 msnm son, por lo tanto, indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas (Roldán, 1996).

e. Orden Hemiptera

Son también llamados “chinchas de agua”, este orden comprende individuos que alcanzan una longitud desde 1 milímetro hasta más de 10 centímetros, presentan un desarrollo hemimetábolo, es decir, paulatino; una vez eclosiona el huevo sale un estado juvenil (ninfa), la cual se va desarrollando paulatinamente hasta convertirse en adulto o un desarrollo que presenta un estado larval que es diferente al adulto, poseen al igual que todos los insectos su cuerpo dividido en tres tagmas: cabeza, tórax y abdomen (De la Fuente, 1994)

- **Ecología**

Estas especies están bien adaptadas a la natación ya que alguna de sus pares de patas cuenta con paletas natatorias, necesitan el aire para respirar, que captan en ascensos

periódicos a la superficie del agua, otros atrapan una burbuja de aire entre los pelos hidrófugos del dorso de su abdomen; la burbuja alcanza hasta los espiráculos traqueales. Cuando los niveles de agua se reducen, el aumento de salinidad, junto con el incremento de la densidad poblacional, inducen la migración a otros cuerpos de agua (Ribes y Heiss, 2008)

f. Orden Lepidoptera

Se conocen la ocurrencia de al menos cinco familias de lepidópteros acuáticos; sin embargo, la familia que colonizó de manera importante el ambiente acuático es Crambidae. La mayoría de las especies de mariposas acuáticas son fitófagas, se alimentan de tallos, raíces y hojas de plantas acuáticas; otras raspan el perifiton (capa de algas microscópicas) que crece sobre las rocas y otros sustratos sumergidos, La mayoría de larvas acuáticas de Lepidoptera son hidropnéusticas (obtienen el oxígeno directamente del agua), y para ello muchas poseen agallas filamentosas sobre buena parte del cuerpo (Mey y Speidel, 2007).

g. Orden Coleoptera

Son insectos holometábolos, con un desarrollo en cuatro fases: huevo, larva, pupa y adulto. La incubación de los huevos puede tardar desde unos 5 hasta 15 días; o hasta 60 días en condiciones de laboratorio. Las larvas de los coleópteros pasan por entre 3 a 8 estadios poseen un par de alas fuertemente esclerotizadas, conocidas como élitros, que tapan y protegen el segundo par de alas, Estas últimas son membranosas y son utilizadas para volar. El cuerpo está dividido en tres secciones principales: cabeza, tórax y abdomen (White y Roughley, 2008).

h. Orden Diptera.

La característica más importante de las larvas de dípteros es la ausencia de patas torácicas (Roldán, 1996), pueden tener varios pares de patas falsas o espuripedios. Los dípteros acuáticos constituyen uno de los órdenes de insectos más complejos, más abundantes y más ampliamente distribuidos en todo el mundo. Su literatura a nivel mundial es tan abundante, que, para analizarla con cierto grado de detalle, habría que hacerlo por familias, y en ciertos casos por géneros (Fernández y Domínguez, 2001).

2.2.7 Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua

El concepto de organismo indicador se refiere al conjunto de especies seleccionadas, después de investigaciones científicas, por su sensibilidad o tolerancia a diferentes parámetros. Es conveniente aclarar que no se trata de un organismo concreto, el indicador biológico se asocia a la población de individuos de la especie indicadora en cuestión y al conjunto de especies que conforman una comunidad indicadora (Pérez et al, 2016).

Los macroinvertebrados son los organismos más ampliamente utilizados como bioindicadores de la calidad de agua en la actualidad por diversas circunstancias entre las que destacamos: tener una amplia distribución (geográfica y en diferentes tipos de ambientes), una gran riqueza de especies con gran diversidad de respuestas a los gradientes ambientales, ser en su mayoría sedentarios, lo que permite el análisis espacial de la contaminación, en otros casos, la posibilidad de utilizar su reacción de huida como indicador de contaminación en algunas especies, tienen ciclos de vida largo porque integra los efectos de la contaminación en el tiempo, poder ser muestreados de forma sencilla y barata, una taxonomía en general bien conocida a nivel de familia y género, la sensibilidad bien conocida de muchos taxa a diferentes tipos de contaminación (Bonada et al, 2006).

2.2.8 Hábitats de los macroinvertebrados bentónicos

Se refiere a las principales características de los lugares en los cuales habitan los distintos grupos de macroinvertebrados. Así, unos viven enterrados en el sustrato; otros sobre él, adheridos a los restos de vegetación, rocas y piedras; otros prefieren las orillas de ríos y lagos, donde viven adheridos a la vegetación ribereña: unos nadan sobre la superficie del agua, en tanto que otros se desempeñan muy bien como nadadores al igual que los peces; unos prefieren corrientes rápidas y otros, lentas y, por último, unos prefieren fondos lodosos; en cambio, otros, fondos arenosos o pedregosos (Roldán, 1988).

2.2.9 Enfoque biótico del nivel de respuesta o tolerancia de los bioindicadores.

Los Índices bióticos suelen ser específicos para un tipo de contaminación y/o región geográfica, y se basan en el concepto de organismo indicador. Permiten valorar el estado ecológico de un ecosistema acuático afectado por contaminación. Para ello a los grupos de una muestra se les asigna un valor numérico en función a su tolerancia a una contaminación, los más tolerantes reciben un valor numérico menor y los más sensibles un valor mayor, la suma de todos ellos nos dará la calidad del agua de ese ecosistema (Metcalf, 1989).

Existen varios tipos de índices bióticos relacionados a la calidad del agua, los índices bióticos son los mejores métodos para la evaluación de la calidad en un ambiente acuático llegando a utilizar los grupos taxonómicos y su grado de tolerancia a parte de la riqueza y abundancia (Correa, 2000).

2.2.10 Índices bióticos

Índice Biótico de Familias (IBF)

El IBF considera la diversidad de taxa, indicadores (familias) y la abundancia de cada una de ellas. Entre las ventajas de utilizarlo están su bajo costo, es fácil de entender, posee alta sensibilidad a la calidad de agua y además el resultado que entrega es confiable ya que por medio de un cálculo matemático (fórmula) se obtienen los datos necesarios para poder clasificar las características ambientales (QUANTITATIVA, 2004).

Según Hilsenhoff (1988), este método es aplicado para los bentos, se identifican los diferentes grupos taxonómicos hasta los niveles de familias, asignando el puntaje de tolerancia de acuerdo a los valores del Índice Biótico, se expresan en 7 clases de calidad ambiental, correspondiente a una escala de condición biológica. El valor de ponderación representa la tolerancia de cada grupo y varía entre 0 y 10; el valor de 0 es asignado a las familias más intolerantes a la contaminación orgánica y un valor de 10 a las familias más tolerantes.

$$\text{IBF} = (\sum \text{Ni} \times \text{Ti}) / \text{N}$$

Donde:

Ni = Número de individuos para cada taxón

Ti = Valor de ponderación asignado a cada taxón

N = Total de individuos en la muestra

Tabla 1*Escalas para el Índice Biótico de Familias (IBF)*

IBF	SIGNIFICADO	CALIDAD
0,00 – 3,75	Agua limpia. Contaminación orgánica baja probable	Excelente
3,76 – 4,25	Con leve contaminación orgánica	Muy buena
4,26 – 5	Con algo de contaminación orgánica	Buena
5,01 – 5,75	Contaminación orgánica presente	Mala
5,76 – 6,5	Alta contaminación orgánica	Muy mala
6,51 – 7,25	Fuerte contaminación orgánica	Pobre
7,26 – 10	Contaminación orgánica severa	Muy pobre

Fuente: (Hilsenhoff, 1988).

Índice Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT)

Se refiere a la presencia o ausencia de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en una comunidad biológica. En general, las especies de estos grupos de insectos son sensibles a las perturbaciones humanas; este índice expresa el número total de individuos de los órdenes Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera en proporción a la abundancia total encontrada (Alonso y Camargo, 2005).

Estos insectos son considerados mayormente como organismos de aguas limpias y su presencia generalmente está relacionada a aguas de buena calidad. Este índice considera el porcentaje en abundancia de tres órdenes (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), estos reflejan la calidad del agua por ser organismos intolerantes a efectos de perturbación; se identifica y contabiliza a las familias que pertenecen a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera asignándole una puntuación de 1 por cada familia identificada en los diferentes puntos de monitoreo (Metcalf, 1994).

Tabla 2

Escalas para el Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera

ETP	Significado	Calidad
>10	Sin impacto	Buena
6 – 10	Levemente impactado	Baja
2 – 5	Moderadamente impactado	Pobre
0 – 1	Severamente impactado	Muy pobre

Fuente: (Klemm et al, 1990).

Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col)

El BMWP es un índice de fácil utilización y de aplicabilidad, las familias de los macroinvertebrados acuáticos se ordenan en 10 grupos siguiendo un gradiente de menor a mayor tolerancia a la contaminación. A cada familia se le hace corresponder una puntuación que oscila entre 1 y 10, con este sistema de puntuación es posible comparar la situación relativa entre estaciones de muestreo (Tercedor, 1996).

El cálculo se realiza sumando las puntuaciones asignadas a las distintas familias encontradas en las muestras de macroinvertebrados que se ordenan en una lista elaborada el cual está determinado por la tolerancia a la contaminación de los taxones. Al respecto, el puntaje se encuentra comprendido en un rango de 1 a 10 la mayor o menor puntuación asignada a un taxón está en función de su mayor o menor sensibilidad a la contaminación; su fórmula es la siguiente: $BMWP = T1+T2+T3+T4\dots$, donde T es el nivel de tolerancia y el número corresponde a la familia, al final resultando una sumatoria de todas las familias indicando los niveles de calidad de agua. En la siguiente tabla se da a conocer la clasificación según el puntaje obtenido (Roldán, 2012).

Tabla 3*Escalas para el Índice BMWP/Col*

BMWP/ Col	SIGNIFICADO	CALIDAD
101 – 150	Aguas muy limpias a limpias	Buena
61 – 100	Aguas ligeramente contaminadas	Aceptable
36 – 60	Aguas moderadamente contaminadas	Dudosa
16 – 35	Aguas muy contaminadas	Crítica
< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Muy Crítica

Fuente: (Roldán, 2012).

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1 Calidad biológica del agua

Según Chapman (1996), la calidad del ambiente acuático es definida como la composición y bienestar de la biota en un cuerpo de agua. Al mismo tiempo, ésta engloba las concentraciones, expectativas y divisiones físicas de sustancias orgánicas e inorgánicas.

2.3.2 Macroinvertebrados acuáticos

Los Macroinvertebrados acuáticos son un grupo variado de organismos que no tienen espina dorsal y que son fáciles de ver sin la necesidad de un microscopio, además de ser una fuente de energía para los animales más grandes. Los macroinvertebrados acuáticos no pueden desplazarse grandes distancias para evitar la contaminación por lo que pueden simbolizar adecuadamente las características locales del río (Carrera y Fierro, 2001).

2.3.3 Ecosistemas lóticos

Son corrientes fluviales que se caracterizan por ser rápidas y estar en constante movimiento. Un ejemplo de estos ecosistemas son los ríos y los arroyos. En estas corrientes fluviales habitan una gran cantidad de microorganismos que trabajan como

productores y consumidores. Las corrientes fluviales y los microorganismos, vistos de manera macroscópica, conforman el ecosistema lótico (Cajal, 2017).

2.3.4 Ecosistemas lénticos

Son aquellos de aguas quietas o estancadas como lagos, lagunas, embalses. Los remansos de los ríos y quebradas se comportan en general como hábitats lénticos dependiendo de la geomorfología del cauce. Estos ecosistemas, por lo general, presentan abundante vegetación ribereña y sumergida, lo que ofrece un variado hábitat para gran número de organismos, siendo más frecuentes los hemípteros, odonatos y coleópteros que ciertos dípteros, moluscos y cangrejos. Los macroinvertebrados acuáticos pueden vivir en el fondo o nadar libremente, de ahí que reciban diferentes nombres de acuerdo con este tipo de adaptación (Roldán, 2008).

2.3.5 Bentos

Se refiere a todos aquellos organismos que viven en el fondo de ríos y lagos, adheridos a piedras, rocas, troncos restos de vegetación y sustratos similares, los principales ordenes representantes son Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera y Díptera. También pueden encontrarse algunos enterrados en el fondo a varios centímetros de profundidad, como la familia Ephemeroptera. Otros, como la familia Blephariceridae (Díptera), se adhieren fuertemente a rocas mediante un sistema de ventosas en el abdomen (Roldán, 2008).

2.3.6 Bioindicador

Según Álvarez y Pérez (2007), un bioindicador puede ser una especie o especies que en su presencia o ausencia indica variables físicas o químicas en los requerimientos que estas

poseen en cuanto a su límite de tolerancia, además Gonzales y Maestre (2014), indica que este puede ser descrito o medido de acuerdo al tipo de variable cualitativa o cuantitativa y está a lo largo del tiempo muestra tendencias en las características de la biodiversidad.

2.3.7 Calidad fisicoquímica del agua

La supervivencia del hombre como especie se debe en parte al aprovechamiento de los recursos naturales; sin embargo, la falta de planeación y el desconocimiento de las posibles consecuencias de un mal aprovechamiento trajeron consigo la contaminación del ambiente natural. El recurso hídrico (necesario para la vida) ha sido fuertemente afectado por sustancias cada vez más agresivas y difíciles de tratar debido a su naturaleza química de sustancias presentes en desperdicios que caen a las corrientes (Orozco et al, 2005).

Los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin contribuir información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos contribuyen esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Orozco *et al.*, 2005). El agua químicamente pura es un compuesto de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). A temperatura ambiente es un líquido incoloro, inodoro e insípido. Sin embargo, el agua que nos encontramos en la naturaleza y de la que tenemos que partir para los distintos usos, difiere mucho del agua pura (García, 2013).

CAPÍTULO III

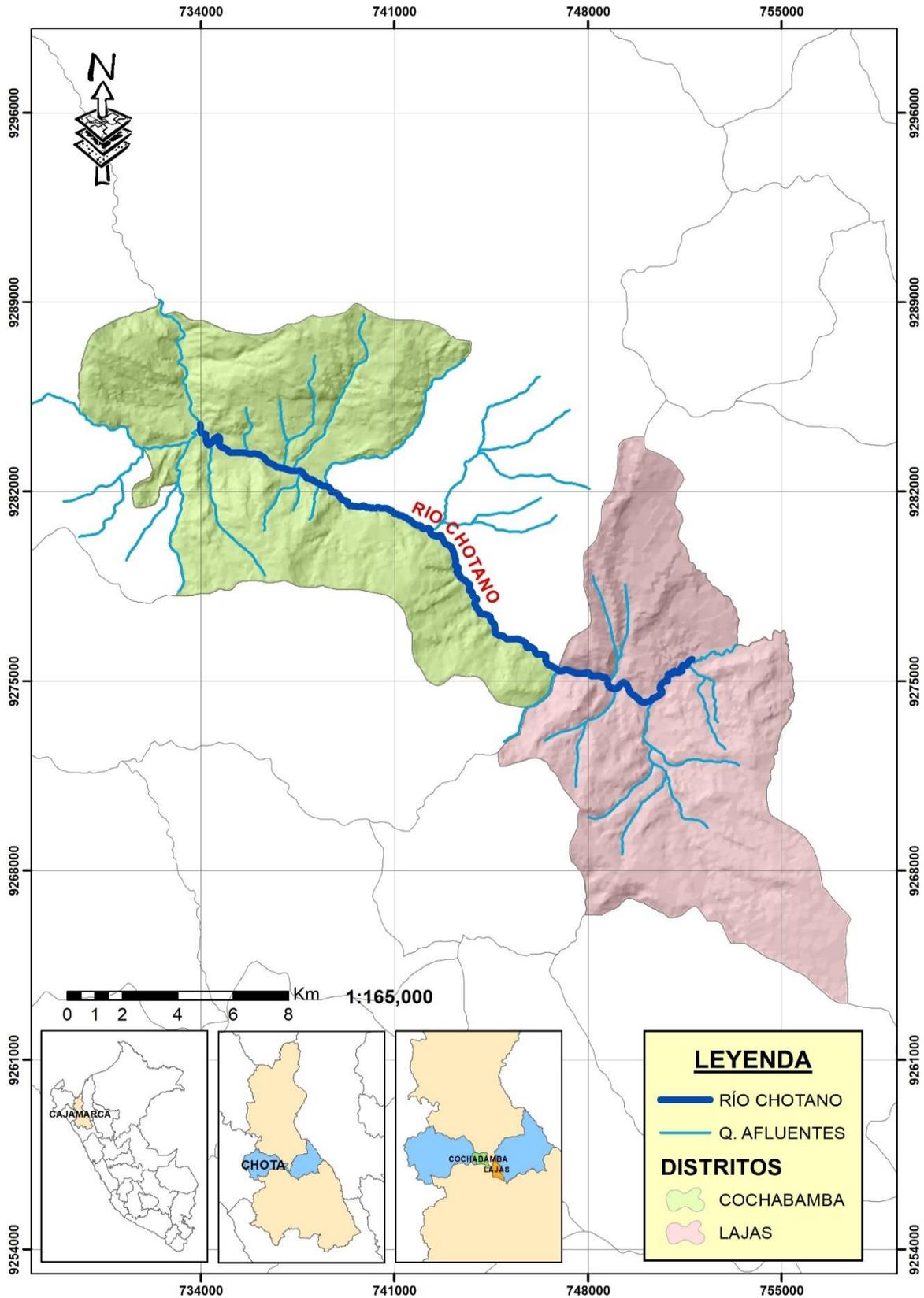
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en el río Chotano en el tramo comprendido entre los distritos de Lajas y Cochabamba en la provincia de Chota departamento de Cajamarca. El tramo estudiado estuvo comprendido entre las coordenadas 751491E y 9275571N con una altura de 2162 msnm como punto de inicio ubicado en el distrito de Lajas y con coordenadas 733975E y 9284349N con una altura de 1654 msnm como punto final ubicado en el distrito de Cochabamba, el tramo de estudiado comprende de 25,75 km.

Figura 1

Ubicación del río Chotano en el tramo Lajas – Cochabamba



3.1.1 Hidrografía del río Chotano

La hidrografía del río Chotano tiene su origen en una serie de pequeñas quebradas que nacen en los cerros Aparinaco y Loma Cuchu, las cuales, al unirse, toman el nombre del río Grande; recién a partir de la confluencia con la quebrada Yanayacu, toma el nombre de río Chotano, el que conserva hasta su unión con el río Huancabamba, para formar el río Chamaya, afluente del río Marañón. Uno de sus principales afluentes es el río Doñana el cual se une antes de llegar a la ciudad de Lajas.

3.2 Materiales y equipos

Materiales de campo y gabinete

Agua destilada

Alcohol 70%

Bandeja

Borrador

Caja de tecnopor

Cinta masking tape

Cinta métrica

Frascos con tapa y Etiquetas

Guías para la identificación de macroinvertebrados

Lápiz

Libreta de campo

Lupa 10x

Pinzas y pinceles

Pizeta

Plumón de tinta indeleble

Protección personal (guantes quirúrgicos, botas, mascarilla)

Recipientes de plástico

Red Surber

Equipos

Cámara fotográfica

Estéreo-microscopio Olympus

Navegador GPS marca Garmin, modelo: GPS map76CSx

3.3 Metodología

Para determinar la calidad del agua se utilizaron los Índices Bióticos: Ephemeroptera Plecoptera y Trichoptera (EPT), Índice BMWP/Col y el Índice Biótico de la Familia (IBF).

Para los Índices Bióticos (IBF, EPT y BMWP/Col) se realizó tres repeticiones en cada punto de monitoreo en la época húmeda y seca. Se evaluó los parámetros fisicoquímicos (Conductividad Eléctrica, pH, DBO₅, OD, Fosfatos, Nitratos/Nitritos, Temperatura y Dureza Total).

El monitoreo de la época húmeda se realizó en los meses de febrero a marzo del 2020 y la época seca en los meses de octubre a noviembre del 2020 para lo que se estableció 8 puntos de monitoreo.

Tabla 4:*Programación de monitoreo*

PARÁMETRO	INDICADOR	FRECUENCIA	TÉCNICA	REPETICIONES
Biológicos	EPT	Época húmeda y seca	Malla Surber	3 en cada punto de monitoreo
	BMWP		Malla Surber	
	IBF		Malla Surber	
Fisicoquímicos	Temperatura	Época húmeda y seca	Termómetro	1 en cada punto de monitoreo
	Conductividad Eléctrica		Conductímetro	
	pH		pH metro	
	Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)		Prueba de DBO a 5 días	
	Oxígeno disuelto		Oxímetro	
	Nitritos y nitratos		Espectrofotómetro	
	Fosfatos		Espectrofotómetro	
	Dureza		EDTA	
	Caudal		Flotador	

3.3.1 Selección de las estaciones de muestreo

Para identificar los puntos de monitoreo se realizó dos salidas previas de exploración, se utilizó el sistema de posicionamiento global (GPS) para fijar los puntos de muestreo en un sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM). Asimismo, se tuvo en cuenta aspectos fisiográficos, ríos afluentes, centros poblados, a fin de que las estaciones fueran representativas.

Se ubicaron los ocho puntos de monitoreo en los siguientes lugares: Achanchona, La Chorrera, Ajipampa, Hacienda Tillayu, Mamarruribamba Bajo, Santa Isolina Bajo, Tayampa y El Naranjo.

Tabla 5

Puntos de monitoreo en el río Chotano tramo Lajas – Cochabamba

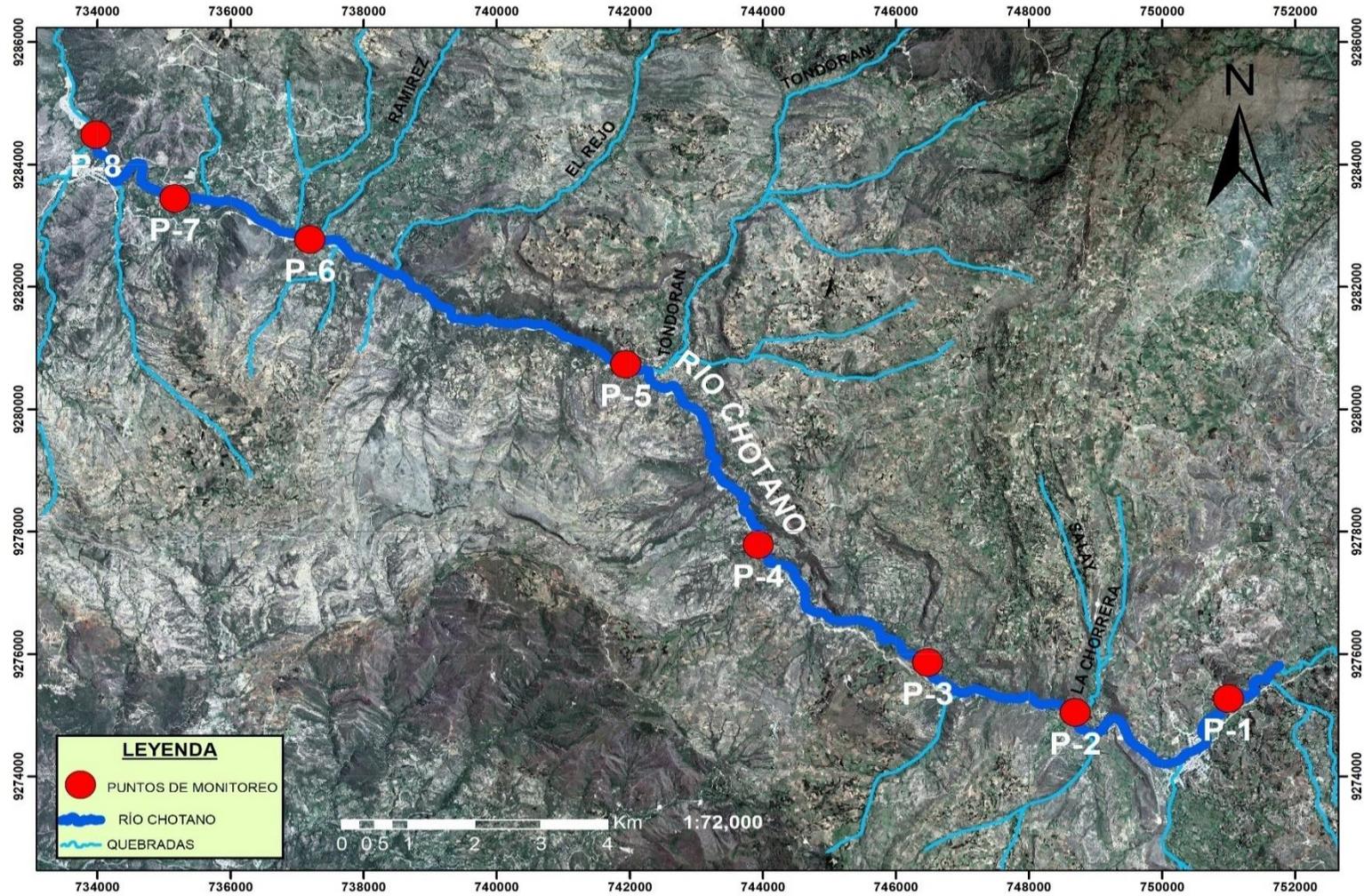
Río	Puntos de monitoreo	Lugar	Coordenadas (UTM)		Altitud (msnm)
			Norte	Este	
Río Chotano (Lajas – Cochabamba)	P - 1	Achanchona	751004	9275264	2154
	P - 2	La Chorrera	748702	9275039	2112
	P - 3	Ajipampa	746480	9275859	2049
	P - 4	Hacienda Tillayu	743933	9277781	1981
	P - 5	Mamarruribamba Bajo	741941	9280734	1935
	P - 6	Santa Isolina Bajo	737193	9282773	1738
	P - 7	Tayampa	735165	9283443	1701
	P - 8	El Naranjo	733975	9284488	1659

- a. **Achanchona (P - 1):** Es el primer punto de monitoreo el cual se ubicó antes de la ciudad de Lajas y después de la desembocadura de la Quebrada Achanchona que es un afluente de río Chotano.
- b. **La Chorrera (P - 2):** Es el segundo punto de monitoreo ubicado después de la ciudad de Lajas, además se encuentra después de la desembocadura de las Quebradas la Chorrera y Olmos; además se consideró dicho punto por presencia de vertimientos de aguas residuales domiciliarias y camal municipal.
- c. **Ajipampa (P - 3):** Es el tercer punto de monitoreo ubicado después de la unión de una Quebrada sin nombre con el río Chotano, en el Centro Poblado Ajipampa. Se considero este punto por las diferentes actividades antrópicas del mencionado centro poblado.
- d. **Hacienda Tillayu (P - 4):** Es el cuarto punto de monitoreo ubicado después de los centros poblados el Tayal y la Hacienda Tillayu Se considero este punto por las diferentes actividades antrópicas del mencionado centro poblado.

- e. **Mamarruribamba Bajo (P - 5):** Es el quinto punto de monitoreo ubicado después de la unión de la Quebrada Tondoran con el río Chotano, en el Centro Poblado Mamarruribamba Bajo.
- f. **Santa Isolina Bajo (P - 6):** Es el sexto punto de monitoreo ubicado después de la unión de la quebrada el Rejo y Ramírez con el río Chotano, en el centro poblado Santa Isolina Bajo.
- g. **Tayampa (P - 7):** Es el séptimo punto de monitoreo ubicado en la unión una Quebrada sin nombre con el río Chotano, de la ciudad de Cochabamba.
- h. **El Naranjo (P - 8):** Ultimo punto de monitoreo ubicado en la unión de la quebrada Machaypungo con el río Chotano, en el distrito de Cochabamba.

Figura 2

Puntos de monitoreo en el río Chotano tramo Lajas – Cochabamba



3.3.2 Medición de parámetros de campo

Temperatura

Se realizó in situ utilizando el protocolo para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (2016) y se introdujo el termómetro en el río manteniéndose hasta lograr un dato estable.

Caudal

La medición se realizó en los 8 puntos de monitoreo; tomando en cuenta la siguiente metodología: se midió una longitud de 20 metros y se realizó la medición del ancho de río (en ambos extremos del tramo de 20 metros) y se realizó la medición de la profundidad (tres veces en cada extremo y en diferentes puntos).

En el extremo superior se deja caer el flotador (pelota de plástico) y se registró el tiempo que demora en recorrer los 20 metros de longitud. Para tener mayor exactitud esta operación se repitió 5 veces y se calculó el promedio de tiempo del recorrido del flotador.

El caudal se calcula de la siguiente manera:

$$Q = V / T$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal m}^3/\text{s}$$

$$V = \text{Volumen en m}^3$$

$$T = \text{Tiempo en segundos}$$

Fuente: (ICC, 2017).

3.3.3 Toma de muestras para laboratorio

La toma de muestras se realizó en cada punto de monitoreo, utilizando el protocolo para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (2016), para la medición de los parámetros fisicoquímicos; potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), oxígeno disuelto (OD), fosfato (PO_4^{-3}), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y dureza (CaCO_3).

La medición de los parámetros fisicoquímicos se realizó en los ocho puntos de monitoreo, para ello se contó con los servicios del Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca ubicado en el Jr. Luis Alberto Sánchez S/N Urb. El Bosque, Cajamarca – Perú; la ANA (2016), indica que los análisis de la mayoría de estos parámetros no deben sobrepasar el tiempo estimado de 24 horas después de haber recolectado la muestra. Para la toma de muestras de agua se utilizaron frascos proporcionados por el laboratorio y debidamente rotulados; las consideraciones para la toma de muestras fueron:

- a. Se utilizó botas de jebe y guantes descartables para la recolección de muestras de agua.
- b. Se tomó las muestras en un punto medio de la corriente principal, donde la corriente fue homogénea, evitando aguas estancadas y poco profundas.
- c. Se usó un recipiente, retiramos la tapa y contratapa sin tocar la superficie interna del frasco y se enjuagó como mínimo dos veces cada recipiente.
- d. Se sumergió el recipiente en dirección opuesta a la corriente de agua.
- e. Se considero un espacio de 1% aproximadamente de la capacidad del recipiente para los parámetros que requirieron preservación y se procedió a etiquetar las muestras recolectadas.

f. Finalmente, para el traslado de las muestras al laboratorio se utilizó un cooler con refrigerante para asegurar la conservación de las muestras (ANA, 2016).

Tabla 6

Parámetros y metodología utilizada en el laboratorio

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODOS DE ENSAYO
Potencial de Hidrogeno (pH)	pH	SMEWWW-APHA.AWWA-WEF. Part 4500-H+. B. 23rd Ed. 2017. Ph Value: Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWWW-APHA.AWWA-WEF. Part 2510. B. 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWWW-APHA.AWWA-WEF. Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Fosfatos	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SMEWWW-APHA.AWWA-WEF. Part 2340. C, 23rd Ed. 2017: Hardness EDTA Titrimetric Method.
Nitritos y Nitratos	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Deterination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.

FUENTE: Laboratorio Regional del Agua 2020.

3.3.4 Muestreo de macroinvertebrados

Se siguió la metodología propuesta por Flores (2014), que consistió en:

- a. Se ubicó los ocho puntos de monitoreo en el trayecto del río, en lugares estratégicos (unión de los afluentes con el río Chotano y centros poblados).
- b. Se eligió tres hábitats por cada punto de monitoreo (corriente, rápido y poza); recogiendo tres muestras.

- c. Para la recolección de los macroinvertebrados, se colocó la red Surber hasta el fondo del río en sentido contrario a la corriente y se removió el material del fondo con ayuda de las manos durante 5 minutos hasta 5 cm de profundidad.
- d. Se retiró con cuidado la red Surber del río y se depositó las muestras en una bandeja blanca transparente.
- e. Se retiró todos los macroinvertebrados utilizando pinzas y pinceles para no lastimarlos y se depositó en frascos debidamente rotulados. Se preservó las muestras en alcohol al 70% para su posterior identificación en el laboratorio.
- f. Con ayuda de un Estéreo-microscopio se identificaron las muestras de macroinvertebrados recolectadas y se aplicó los índices (IBF, BMWP y EPT) según las guías de clasificación.

3.3.5 Identificación de macroinvertebrados

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y se procedió a observar en un estéreo-microscopio, la identificación de macroinvertebrados de la época húmeda se realizó del 10 al 13 de marzo; para la época seca se alquiló un estéreo-microscopio por razones de pandemia y se realizó del 28 al 30 de octubre; para identificar los macroinvertebrados de las dos épocas se contó con el apoyo de un biólogo. Además, para la identificación de las muestras se utilizó los siguientes libros: Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos, sistemática y biología (Fernández y Domínguez, 2009), Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua (Roldán, 2012) y Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia (Roldán, 1988). Ver Tabla 18: Principales órdenes y familias para la identificación de macroinvertebrados bentónicos (ANEXO 6).

3.3.6 Procesamiento de datos análisis estadístico

Se analizó los datos mediante los índices bióticos: Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (EPT), el Índice Biótico de Familias (IBF) y el índice BMWP/col. Se determinó la calidad del agua mediante los parámetros: potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T°), conductividad eléctrica (CE), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), oxígeno disuelto (OD), fosfatos (PO_4^{3-}), nitritos/nitratos, dureza total ($CaCO_3$) y caudal.

Se elaboró una base de datos con los resultados obtenidos en los 8 puntos de monitoreo de la época seca y húmeda, estos resultados se procesaron utilizando los programas de Excel y IBM SPSS Statistics con los que se determinó el análisis de varianza (ANOVA), prueba de Tukey y el método de regresión y correlación, lo que permitió identificar el grado de relación entre los parámetros fisicoquímicos y los macroinvertebrados bentónicos a través del coeficiente de Pearson (r), dicho coeficiente presenta valores que van del 1 al -1, cuanto más se aproxime independientemente del signo, la relación entre variables será más fuerte ya sea directamente o inversamente proporcional. Con los datos de la identificación y cuantificación de las diferentes familias de macroinvertebrados, en los ocho puntos de monitoreo, se calculó la calidad ambiental de los ecosistemas por medio de los Índices Bióticos (IBF, BMWP/Col y EPT); se realizó la evaluación a nivel de familias, según los requerimientos de cada índice.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Índices Bióticos

Se colectaron e identificaron 437 individuos en la época húmeda, en el punto de monitoreo P7 se obtuvo la cantidad máxima de macroinvertebrados con un total de 83 individuos y en el punto de monitoreo P5 se obtuvo la cantidad mínima de macroinvertebrados con un total de 28 individuos. La variación de resultados obtenidos en los diferentes puntos de monitoreo implica varios factores tales como la variación de caudal, alteración del agua en ciertos tramos del río lo cual influye en el hábitat de los macroinvertebrados dando como resultado el aumento o disminución de individuos.

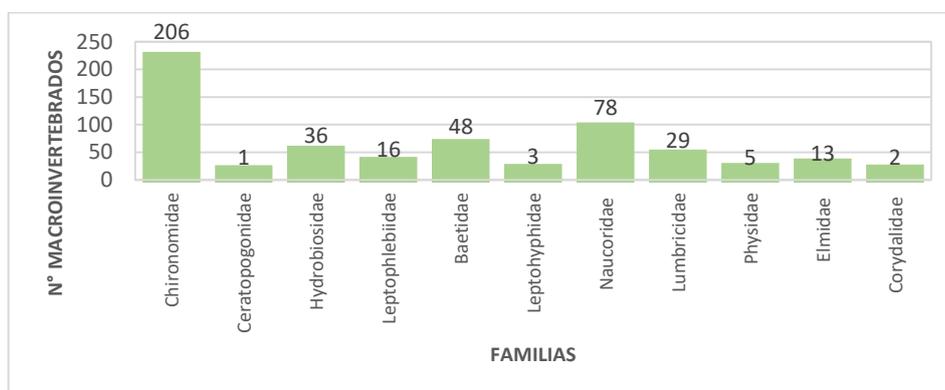
Tabla 7

Macroinvertebrados recolectados en la época húmeda

ÉPOCA HÚMEDA (FEBRERO 2020)										
ORDEN	FAMILIAS	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	TOTAL
Diptera	Chironomidae	34	32	12	20	5	33	52	18	206
	Ceratopogonidae								1	1
Trichoptera	Hydrobiosidae	10	13	8			4	1		36
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	1	7	1			3	4		16
	Baetidae	2			5		4	13	24	48
	Leptohyphidae					3				3
Hemiptera	Naucoridae			12	10	16	33	7		78
Lumbricina	Lumbricidae		5	15	1	5			3	29
Basommatophora	Physidae				5					5
Coleoptera	Elmidae				7			6		13
Megaloptera	Corydalidae					2				2
TOTAL		47	57	48	51	28	77	83	46	437

Figura 3

Familias y número de individuos registrados en época húmeda



Se colectaron e identificaron 611 individuos en la época seca, en el punto de monitoreo P2 se obtuvo la cantidad máxima de macroinvertebrados con un total de 127 individuos y en el punto de monitoreo P4 se obtuvo la cantidad mínima de macroinvertebrados con un total de 28 individuos. En esta época se obtuvo un mayor número de individuos por la disminución de caudal, lo que permite una mejor adaptación para los macroinvertebrados y no ser arrastrados por la corriente del río.

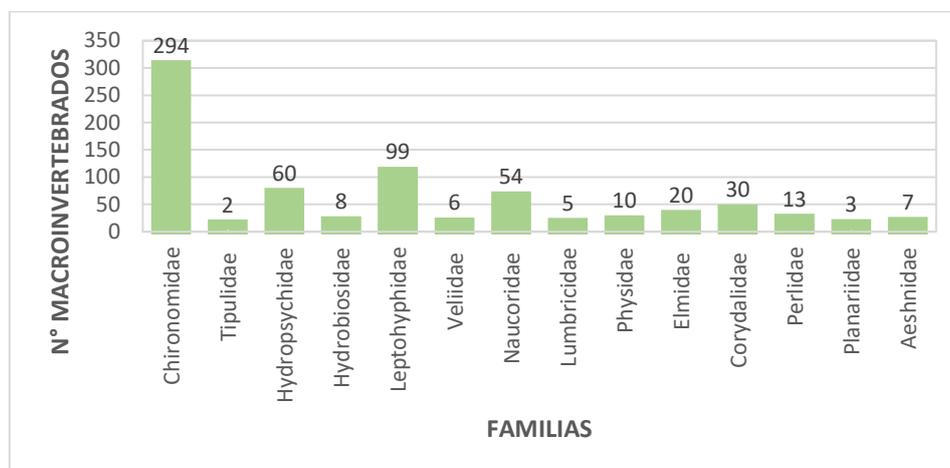
Tabla 8

Macroinvertebrados recolectados en la época seca

ÉPOCA SECA (OCTUBRE 2020)										
ORDEN	FAMILIAS	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	TOTAL
Diptera	Chironomidae	41	89	25	16	64	37	13	9	294
	Tipulidae					1	1			2
Trichoptera	Hydropsychidae	16	16	28						60
	Hydrobiosidae			8						8
Ephemeroptera	Leptohyphidae		11	15	2	16	27	23	5	99
Hemiptera	Veliidae						6			6
	Naucoridae			2	2	10	7	16	17	54
Lumbricina	Lumbricidae	2		1			2			5
Basommatophora	Physidae		5						5	10
Coleoptera	Elmidae								20	20
Megaloptera	Corydalidae	11	3	13	1	2				30
Plecoptera	Perlidae	3		3	7					13
Tricladida	Planariidae		3							3
Odonata	Aeshnidae							2	5	7
TOTAL		73	127	95	28	93	80	54	61	611

Figura 4

Familias y número de individuos registrados en época seca



4.1.1 Índice Biótico de Familias (IBF)

Los valores de tolerancia para cada familia en el IBF varían entre 0 a 10, donde se asignan el menor puntaje a las familias de macroinvertebrados menos tolerantes a la contaminación y mayor puntaje a las familias más tolerantes a la contaminación. La asignación de puntajes a cada familia de macroinvertebrados se realizó por cada punto de monitoreo en las dos épocas (húmeda y seca), obteniendo resultados en ambas épocas.

a. Resultados de la época seca y húmeda

Tabla 9

Resultados del Índice Biótico de Familias (IBF) en las dos épocas de monitoreo

Puntos de monitoreo	Puntuación Obtenida			
	E. Húmeda	Calidad E. Húmeda	E. Seca	Calidad E. Seca
P1	6,53	Pobre	5,81	Muy mala
P2	6,02	Muy mala	6,77	Pobre
P3	4,90	Buena	4,31	Buena
P4	5,43	Mala	4,79	Buena
P5	2,86	Excelente	6,08	Muy mala
P6	3,96	Muy buena	4,98	Buena
P7	6,48	Muy mala	3,35	Excelente
P8	6,91	Pobre	3,97	Muy buena
Promedio de la época seca y húmeda 5.20				Mala

En el monitoreo de la época húmeda, los resultados obtenidos son los siguientes: en los puntos de monitoreo P1 y P8 se obtuvo los puntajes de 6,53 y 6,91 respectivamente con una calidad de agua “pobre”, lo que indica una fuerte contaminación orgánica; en los puntos de monitoreo P2 y P7 se obtuvo los puntajes de 6,02 y 6,48 respectivamente con una calidad de agua “muy mala”, lo que indica una alta contaminación orgánica; en el punto de monitoreo P3 se obtuvo el puntaje de 4,90 con una calidad de agua “buena”, lo que indica con algo de contaminación orgánica; en el punto de monitoreo P4 se obtuvo el puntaje de 5,43 con una calidad de agua “mala”, lo que indica una contaminación orgánica presente; en el punto de monitoreo P5 se obtuvo el puntaje de 2,86 con una calidad de agua “excelente”, lo que indica la presencia de aguas limpias con contaminación orgánica baja probable; en el punto de monitoreo P6 se obtuvo el puntaje de 3,96 con una calidad de agua “muy buena”, lo que indica con leve contaminación orgánica.

En el monitoreo de la época seca, los resultados obtenidos son los siguientes; en los puntos de monitoreo P1 y P5 se obtuvo los puntajes de 5,81 y 6,08 respectivamente con una calidad de agua “muy mala” lo que indica una alta contaminación orgánica; en el punto de monitoreo P2 se obtuvo el puntaje de 6,77 con una calidad de agua “pobre” lo que indica una fuerte contaminación orgánica; en el punto de monitoreo P3, P4 y P6 se obtuvo los puntajes de 4,31, 4,79 y 4,98 respectivamente con una calidad de agua “buena”, lo que indica con algo de contaminación orgánica; en el punto de monitoreo P7 se obtuvo el puntaje de 3,97 con una calidad de agua “excelente” lo que indica la presencia de aguas limpias con contaminación orgánica baja probable; en el punto de monitoreo P8 se obtuvo el puntaje de 3,97 con una calidad de agua “muy buena”, lo que indica con leve contaminación orgánica. La presencia de contaminación orgánica en el agua está siendo afectada por los vertimientos de aguas residuales de las ciudades de Lajas y Cochabamba.

El IBF presentó rangos de calidad que van de muy mala a muy buena, en la que se encontró las familias Chironomidae, Lumbricidae, Baetidae, Physidae que son tolerantes a aguas contaminadas y las familias Hydrobiosidae, Perlidae, Corydalidae son sensibles a la contaminación del agua, Zarate (2015) en el río Huatatas – Ayacucho, obtuvo resultados para el índice IBF en un rango de 2,5 – 2,9; determinando una calidad ambiental excelente en el que encontró las familias Leptophlebiidae, Leptohiphidae y Glossosomatidae características de aguas limpias; esto significa que en el río estudiado no se encuentra perturbado por actividades realizadas por el hombre, por su parte Bullón (2016) aplicó el índice IBF en el río Perene – Junín, en el que determinó aguas de mala calidad, ya que se evidencio poca presencia de macroinvertebrados que se debería a la remoción de sustrato y aumento de velocidad de corriente originado por las represas presentes aguas arriba o a la posible exposición de contaminantes. En los resultados obtenidos en la investigación se determinó que el agua está siendo afectado por la contaminación orgánica, influenciada por el vertimiento de aguas residuales, fertilizantes y otras actividades antrópicas.

4.1.2 Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT)

En la época húmeda se encontró al orden Ephemeroptera con las familias Leptophlebiidae, Baetidae y Leptohiphidae y al orden Trichoptera con las familias Hydropsychidae y Hydrobiosidae; a los que se les asignó una puntuación según la presencia de las diferentes familias identificados en los ocho puntos de monitoreo de la época húmeda.

En la época seca se encontró al orden Ephemeroptera con la familia Leptohiphidae, al orden Plecoptera con la familia Perlidae y al orden Trichoptera con las familias Hydropsychidae y Hydrobiosidae; a los que se les asignó una puntuación según la presencia de las familias identificados en los ocho puntos de monitoreo de la época seca.

a. Resultados de la época seca y húmeda

Tabla 10

Resultados del Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) en las dos épocas de monitoreo

Puntos de monitoreo	Puntuación Obtenida			
	E. Húmeda	Calidad E. Húmeda	E. Seca	Calidad E. Seca
P1	3	Pobre	2	Pobre
P2	2	Pobre	2	Pobre
P3	2	Pobre	4	Pobre
P4	2	Pobre	2	Pobre
P5	0	Muy pobre	1	Muy pobre
P6	3	Pobre	1	Muy pobre
P7	3	Pobre	1	Muy pobre
P8	1	Muy pobre	1	Muy pobre
Promedio de la época seca y húmeda	1.9	Muy pobre		Muy pobre

En el monitoreo de la época húmeda, los resultados obtenidos son los siguientes: en los puntos de monitoreo P1, P2, P3, P4, P6 y P7 se obtuvo los puntajes de 3, 2, 2, 2, 3 y 3 respectivamente con una calidad de agua “pobre”, lo que indica moderadamente impactado; en los puntos de monitoreo P5 y P8 se obtuvo los puntajes de 0 y 1 respectivamente con una calidad de agua “muy pobre”, lo que indica severamente impactado.

En el monitoreo de la época seca, los resultados obtenidos son los siguientes: en los puntos de monitoreo P1, P2, P3 y P4, se obtuvo los puntajes de 2, 2, 4 y 2 respectivamente con una calidad de agua “pobre”, lo que indica moderadamente impactado; en los puntos de monitoreo P5, P6, P7 y P8 se obtuvo el puntaje de 1 en todos los puntos con una calidad de agua “muy pobre”, lo que indica severamente impactado.

La poca presencia de macroinvertebrados del orden Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera es un indicativo que las aguas están contaminadas ya que estos organismos son altamente sensibles en aguas contaminadas y se determinó la calidad de agua como “Muy Pobre” y “Pobre”, estos resultados tienen relación con los obtenidos por Bulnes (2019) en los ríos Chillón y Mala, obtuvo los resultados para el índice EPT; en la mayoría de estaciones se encontró condiciones bajas de calidad ecológica del agua, identificándose las categorías “Muy Pobre” y “Pobre”, excepto en la estación RC-06 donde se registró la categoría “Baja”, lo cual se debe al elevado número de organismos de la familia Baetidae (orden Ephemeroptera), los cuales son considerados como indicadores intermedios o algo sensibles de áreas con deterioro ambiental; por su parte Luciani (2021), en la quebrada Santa Carmen – Huánuco, obtuvo resultados en los que se puede apreciar la calidad del agua de “Regular” a “Buena”, la calidad del agua está influenciado por un incremento del oxígeno disuelto, beneficiando la prosperidad de familias como Ephemeroptera y Trichoptera, el oxígeno disuelto es una variable fundamental debido a que su concentración favorece a la vida acuática.

4.1.3 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col)

Se asignaron puntajes en los ocho puntos de monitoreo para la época húmeda y seca; asignando los valores que va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los macroinvertebrados, para luego realizar una sumatoria por cada punto de monitoreo.

En la época húmeda y seca se asignaron los puntajes de 2 a la familia Chironomidae los organismos con este puntaje son característicos de aguas muy contaminadas, puntaje 3 a las familias Physidae, Tipulidae y Ceratopogonidae los organismos con este puntaje son en su mayoría característicos de aguas contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de

aguas muy contaminadas, con puntaje 6 a las familias Elmidae y Corydalidae los organismos con este puntaje son en su mayoría, característicos de aguas poco contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas moderadamente contaminadas, con puntaje 7 a las familias Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Planariidae y Baetidae los organismos con este puntaje son característicos de aguas poco contaminadas, con el puntaje 8 la familia Veliidae los organismos con este puntaje son en su mayoría característicos de aguas limpias, aunque pueden presentarse algunos de aguas poco contaminadas, con el puntaje 9 las familias Hydrobiosidae y Leptophlebiidae los organismos con este puntaje son característicos de aguas limpias y puntaje 10 a la familia Perlidae, los organismos con este puntaje de bioindicación son propios de aguas muy limpias (Roldán 2012).

a. Resultados de la época seca y húmeda

Tabla 11:

Resultados del Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) en las dos épocas de monitoreo

Puntos de monitoreo	Puntuacion Obtenida			
	E. Humeda	Calidad E. Húmeda	E. Seca	Calidad E. Seca
P1	27	Crítica	25	Crítica
P2	20	Crítica	32	Crítica
P3	27	Crítica	48	Dudosa
P4	29	Crítica	32	Crítica
P5	15	Muy crítica	25	Crítica
P6	34	Crítica	27	Crítica
P7	34	Crítica	22	Crítica
P8	12	Muy crítica	31	Crítica
Promedio de la época seca y húmeda 27.5				Crítica

En el monitoreo de la época húmeda, los resultados obtenidos son los siguientes: en los puntos de monitoreo P1, P2, P3, P4, P6 y P7 se obtuvo los puntajes de 27, 20, 27, 29, 34 y 34 respectivamente con una calidad de agua “crítica”, lo que indica aguas muy contaminadas; en los puntos de monitoreo P5 y P8 se obtuvo los puntajes de 15 y 12 respectivamente con una calidad de agua “muy crítica”, lo que indica aguas fuertemente contaminadas. Estos resultados obtenidos se deben principalmente a la influencia del vertimiento de aguas residuales, utilización de fertilizantes sintéticos y otras actividades antrópicas; esto guarda cierta relación con lo reportado por Mora (2019), en la en el río Moche – La Libertad, obtuvo resultados para el índice BMWP y se identificó familias tolerantes a la contaminación como la Chironomidae, Planariidae y Lumbricidae variando la calidad de regular a pésima, afectada por los pasivos mineros dejados por la empresa Quiruvilca y el incremento de la minería informal, lo que evidencia la calidad de los cuerpos de agua.

En el monitoreo de la época seca, los resultados obtenidos son los siguientes: en los puntos de monitoreo P1, P2, P4, P5, P6, P7 y P8 se obtuvo los puntajes de 25, 32, 32, 25, 27, 22 y 31 respectivamente con una calidad de agua “crítica”, lo que indica aguas fuertemente contaminadas; en el punto de monitoreo P3 se obtuvo el puntaje de 48 con una calidad de agua “dudosa”, lo que indica aguas moderadamente contaminadas. La escasa presencia de macroinvertebrados de las familias como la Perlidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae que son indicadores de aguas limpias, nos permite identificar que las aguas están contaminadas por la ausencia de estas familias; Una realidad muy distinta se determinó en la microcuenca Mishquiyacu en la región San Martín, en la que no se identificó macroinvertebrados tolerantes a la contaminación como los Chironomidae o Physidae, logrando identificar una calidad de agua “aceptable”, durante tres meses (enero, marzo y

mayo) que se realizó el estudio, esto se debe a la poca perturbación antrópica del agua (Peña y Villacorta, 2014).

La aplicación del índice Biológico BMWP en el río Chotano fue estrictamente de valor comparativo entre sitios y no presentó estación de aguas completamente limpias; en el que se encontró estados crítica, muy crítica y dudosa, por su parte Romero y Tarrillo (2017), en la quebrada Chambag – Santa Cruz, Cajamarca; obtuvo resultados para el índice BMWP con una calidad “aceptable”, es decir aguas ligeramente contaminadas, “dudosa”, representando aguas moderadamente contaminadas y “crítica”, lo que significa aguas fuertemente contaminadas y “aceptable”; al comparar estos resultados con los obtenidos en la investigación guardan una cierta relación ya que se obtuvieron resultados de la calidad del agua como “crítica”, “dudosa” y “muy crítica”; al encontrar familias como la Chironomidae, Physidae, Tipulidae, que son organismos característicos de aguas contaminadas por desechos domésticos o industriales, que pueden agotar el oxígeno disuelto en el agua, necesaria para la descomposición de la materia orgánica, por lo que se concluye que las actividades humanas influyen en el estado ecológico del agua.

4.2 Parámetros Físicoquímicos

4.2.1 Conductividad eléctrica (CE)

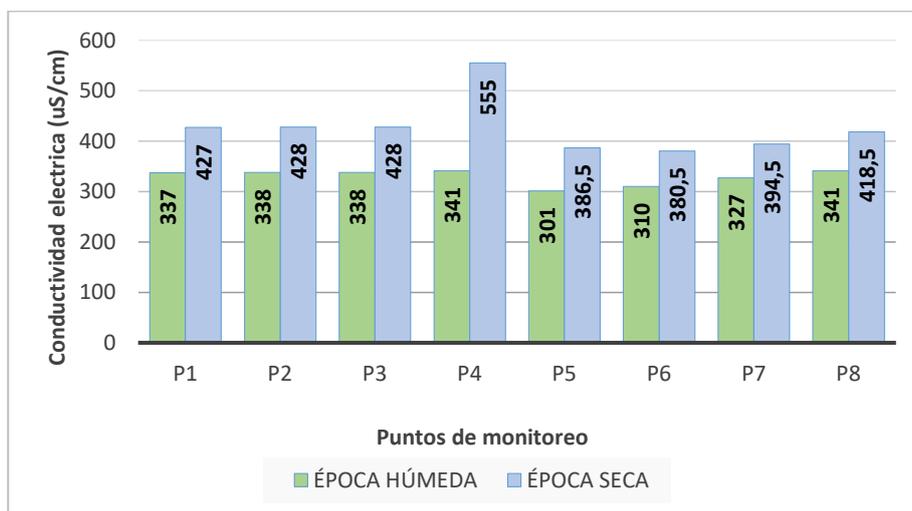
Los resultados de la conductividad eléctrica se muestran en la Figura 5, donde se obtuvieron los resultados para la época húmeda (febrero) en el punto de monitoreo P5 el valor mínimo con 301 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en los puntos de monitoreo P4 y P8 el valor máximo con 341 $\mu\text{S}/\text{cm}$; y los resultados de la época seca (octubre) en el punto de monitoreo P6 se registró el valor mínimo con 380,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el punto de monitoreo P4 el valor máximo con 555 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Todos los puntos de monitoreo se encuentran por debajo del rango establecido en los ECA

de acuerdo D.S N°004-2017 MINAM. Categoría 4 (conservación del ambiente acuático); donde se establece para la subcategoría E2 ríos (costa y sierra): 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductividad eléctrica en río Chotano se da principalmente por el vertimiento de aguas residuales domésticas y otras actividades que aportan materia orgánica a la corriente hídrica y por procesos naturales de disolución iónica, por su parte Sandoval (2019) el río Viru – La Libertad en los meses de enero a junio obtuvo los resultados de la conductividad eléctrica que oscilaron entre 76.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como valor mínimo en la estación E1 a 934 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como valor máximo en la estación E2, en los meses de febrero y marzo respectivamente; estos resultados registrados en el río Viru y comparados con los obtenidos en el río Chotano son aceptables para la vida acuática.

Figura 5

Conductividad eléctrica de los puntos evaluados en las épocas seca y húmeda



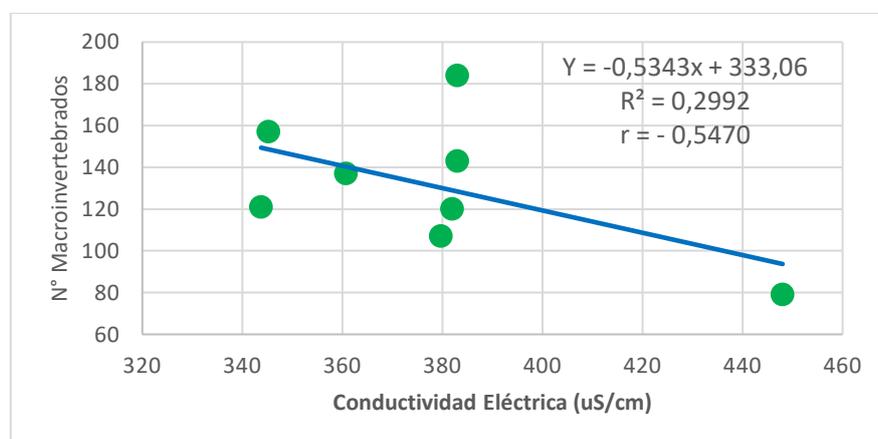
a. Regresión y correlación para el número de macroinvertebrados y la Conductividad Eléctrica (CE)

En la Figura 6, se observa que el coeficiente de correlación lineal ($r = -0,5470$) con tendencia hacia -1 indica que existe una correlación inversamente proporcional y fuerte entre variables; es decir, que a medida que la conductividad eléctrica disminuye el número de macroinvertebrados se incrementa. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,2992$), indica que la conductividad eléctrica influye en 29,92 % sobre los macroinvertebrados. La ecuación lineal obtenida de este análisis de regresión es: $\text{Macroinv.} = -0,5343x + 333,06$.

Bajo condiciones naturales, a medida que aumenta la conductividad disminuye la diversidad de macroinvertebrados. La variación de los parámetros fisicoquímicos del agua, como el pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, dureza del agua, salinidad y fosfatos son determinantes en la distribución y composición de la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos debido, principalmente, a su sensibilidad frente a ellos (Arocena *et al* 2008) por su parte Boards (2015) menciona que el incremento de la conductividad y, por lo tanto, de la salinidad del agua, tiene graves efectos sobre el ecosistema fluvial, llegando incluso a una fuerte reducción de la biodiversidad.

Figura 6

Recta de regresión para los macroinvertebrados en función de la conductividad eléctrica



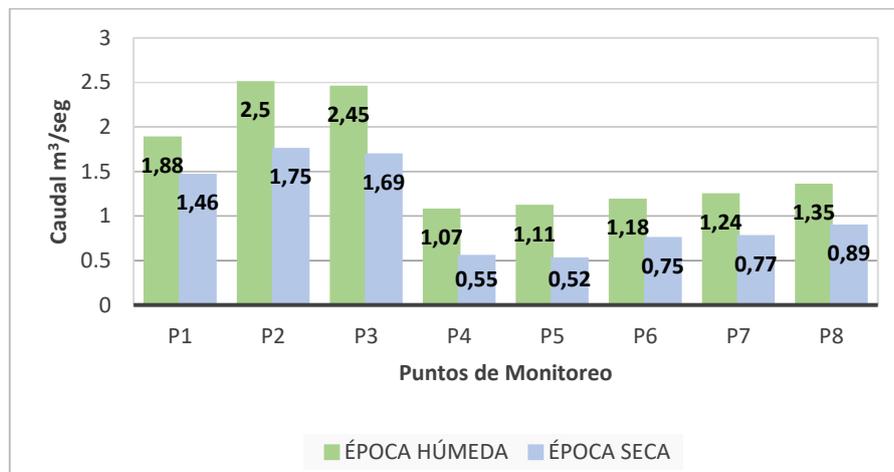
4.2.2 Caudal (m³/seg)

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 7, donde se observa que para la época húmeda se registró el caudal máximo en el punto de monitoreo P2 con 2,5 m³/seg y el valor mínimo en el punto de monitoreo P4 con 1,07 m³/seg; para la época seca se registró el caudal máximo en el punto de monitoreo P2 con 1,75 m³/seg y el caudal mínimo en el punto de monitoreo P5 con 0,52 m³/seg. La variación de caudales se da por varios factores, donde se observa que en los puntos de monitoreo P2 se tiene el caudal máximo para la época húmeda y seca esto se debe a que dichos puntos se encuentran después de la ciudad de Lajas en la que se observó la presencia de una quebrada que aumenta el caudal en dichos puntos; los caudales mínimos se encuentran en los puntos P4 y P5 la disminución de los caudales está siendo afectado por la desviación del agua a través de un túnel construido como parte del Proyecto Especial Olmos Tinajones que deriva una parte de las aguas del río Chotano hacia el río Chancay para el riego de cultivos del valle Chancay Lambayeque y funcionamiento de la central hidroeléctrica de Carhuaquero y en los puntos que P6, P7 y P8 se observa un ligero incremento del caudal del río por los diferentes Quebradas que alimentan al río Chotano. Este parámetro no aplica para esta categoría 4 (conservación del ambiente acuático), de los ECA de acuerdo D.S N°004-2017 MINAM, según Gil (2014), menciona que el caudal cumple un rol importante, ya que esto refleja en una mayor estabilidad en cuanto a condiciones de hábitat y de disponibilidad de alimento, para mantener una diversidad acuática más rica; es necesario que el caudal sea considerado un parámetro a evaluar dentro de la normativa peruana para la categoría 4 (conservación del ambiente acuático), porque es fundamental en la evaluación de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos.

Según Poblete (2013), en el río Chuyungual – La Libertad, encontró resultados para el caudal que fluctúan entre 7 – 120 m³/s en junio y 13 – 1800 m³/s en noviembre. Esto influye en las diferentes distribuciones de las familias de macroinvertebrados en las estaciones de muestreo, por su parte Álvarez (2009) argumenta que las variaciones de las condiciones hidráulicas en el medio fluvial afectan a la distribución de los macroinvertebrados de forma directa, seleccionando taxones con diferentes requerimientos hidráulicos, e indirecta, alterando otras características del hábitat físico que a su vez también influye en la distribución de los macroinvertebrados, como son la composición del sustrato o la distribución de los recursos tróficos.

Figura 7

Caudal de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda



a. Regresión y correlación para el número de macroinvertebrados y el Caudal (m³/seg)

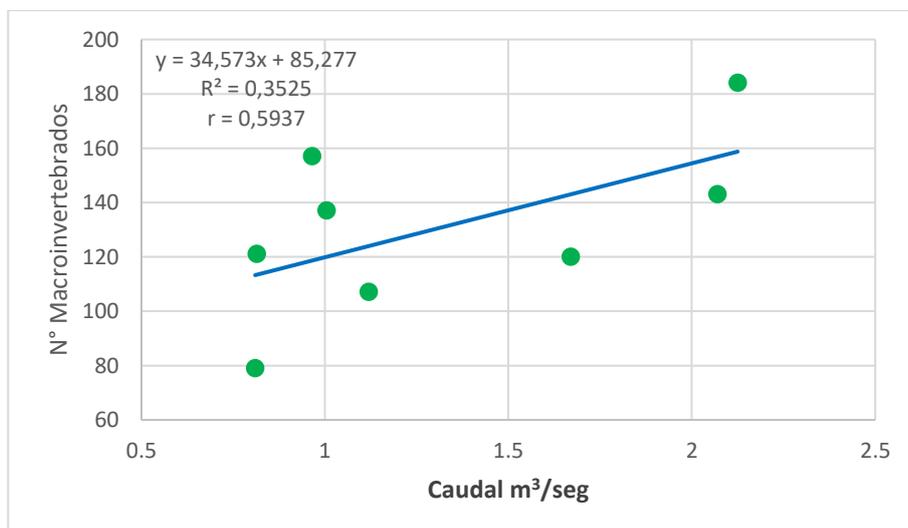
En la Figura 8, se observa que el coeficiente de correlación lineal ($r = 0,5937$) con tendencia hacia 1 indica que existe una correlación directamente proporcional y fuerte entre variables; es decir que a medida que el caudal aumenta el número de individuos de macroinvertebrados también aumenta. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,3525$),

indica que el caudal influye en 35,25 % sobre los macroinvertebrados. La ecuación lineal obtenida de este análisis de regresión es: $\text{Macroinv.} = 34,573x + 85,277$.

La variación del caudal provoca cambios en los ecosistemas acuáticos, en los resultados obtenidos se observa que a medida que el caudal baja los macroinvertebrados tienen una ligera disminución, las variaciones de caudal provocan cambios en la temperatura, disponibilidad del oxígeno disuelto, reducción del hábitat físico e incremento del pH lo que genera que algunas especies no toleren dichos cambios, Horrigan y Baird (2008), mencionan que la variación en el caudal es otro componente que cambia la distribución y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos. Así, ante disminución del caudal se da un aumento de organismos que toleran bajas concentraciones de oxígeno y altas temperaturas, con el aumento del caudal y generando aumento en las velocidades y del oxígeno disuelto, favorecen a aquellas especies que están adaptadas a altas velocidades y mayor fuerza de arrastre, estas variaciones de caudal en algunos casos generan la disminución de macroinvertebrados al no encontrarse especies que se adapten a la variación del caudal.

Figura 8

Recta de regresión para los macroinvertebrados en función del Caudal



4.2.3 Temperatura (T)

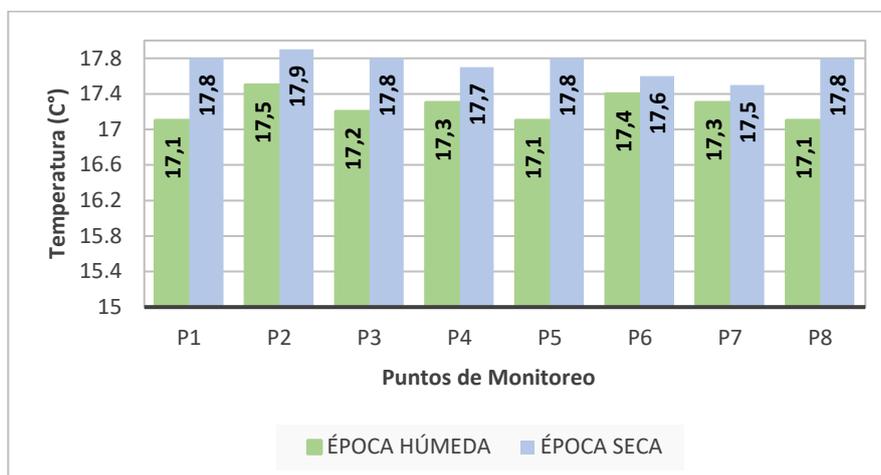
Es un parámetro relevante para determinar la calidad del agua y la presencia de macroinvertebrados. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 9, donde se observa que en la época seca la temperatura es relativamente superior a la época húmeda los resultados obtenidos van desde un rango de 17,1 °C hasta 17,9 °C. Todos los puntos de monitoreo se encuentran dentro de lo establecido en los ECA para agua de acuerdo D.S N°004-2017 MINAM. Categoría 4 (conservación del ambiente acuático); donde se establece para la subcategoría E2 ríos (costa y sierra), donde se indica que la variación de 3 °C respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. Los datos registrados de temperatura, se debe a la ubicación altitudinal de los puntos de monitoreo que va desde los 2154 msnm en la parte alta hasta los 1659 msnm en la parte baja. Las temperaturas arriba de los 25 °C aceleran la biodegradación, mientras que, a temperaturas más bajas la población de algas y el metabolismo de las bacterias disminuyen, por lo cual la eliminación de la DBO (demanda biológica de oxígeno) es más lenta (Martínez y Quitan s.f). Existen familias que muestran una gran variedad de tolerancias a las condiciones ambientales, tales como Baetidae y Leptohyphidae, las cuales toleran un amplio rango de temperatura y, hasta cierto punto, contaminación orgánica (Flowers y De la Rosa, 2010).

Según Sandoval (2019), en el río Virú – La Libertad, encontró los resultados para la temperatura que oscilo entre 22,6 °C y 26,6 °C. los cambios de temperatura en los ríos pueden estar afectadas por la filtración de las aguas subterráneas, altitud, así como también se debe a que durante el día se evidencia un cierto retraso en las oscilaciones de la temperatura del agua respecto de las del aire; Gutiérrez (2009), menciona que la temperatura influye en la disponibilidad del oxígeno disuelto, lo que explica la existencia

de familias que requieren altos niveles de oxígeno tales como las del orden Plecoptera, los cuales no fueron encontradas en la investigación realizada.

Figura 9

Temperatura de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda



a. Regresión y correlación para el número de Macroinvertebrados y la Temperatura

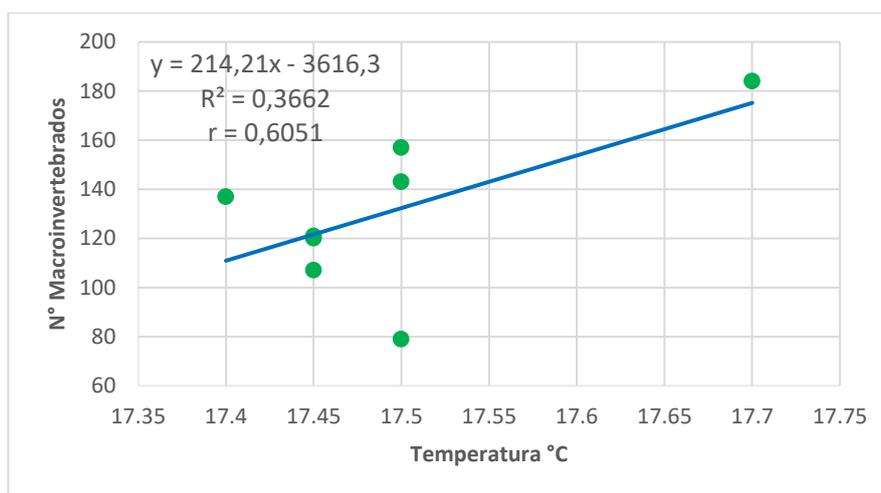
En la Figura 10, se observa que el coeficiente de correlación lineal ($r = 0,6051$) con tendencia hacia 1 indica que existe una correlación directamente proporcional y fuerte entre variables; es decir, la temperatura influye en la presencia de macroinvertebrados; por lo que se puede concluir que los datos registrados de temperatura favorecen en el desarrollo de la vida de los macroinvertebrados. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,3662$), indica que la temperatura influye en 36,62 % sobre los macroinvertebrados. La ecuación lineal obtenida de este análisis de regresión es: $\text{Macroinv.} = 214,21x - 3616,3$.

Según Correa (2012), la temperatura tiene una relación inversa con la concentración del oxígeno del agua. Es decir, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua depende de la temperatura; por lo tanto, el agua fría puede albergar más oxígeno que el agua caliente, esto indica que el agua fría tiene una mayor disponibilidad de oxígeno para

el desarrollo de la vida en los ecosistemas acuáticos favoreciendo también en la degradación de la materia orgánica.

Figura 10

Recta de regresión para los macroinvertebrados en función de la temperatura



4.2.4 Potencial de hidrógeno (pH)

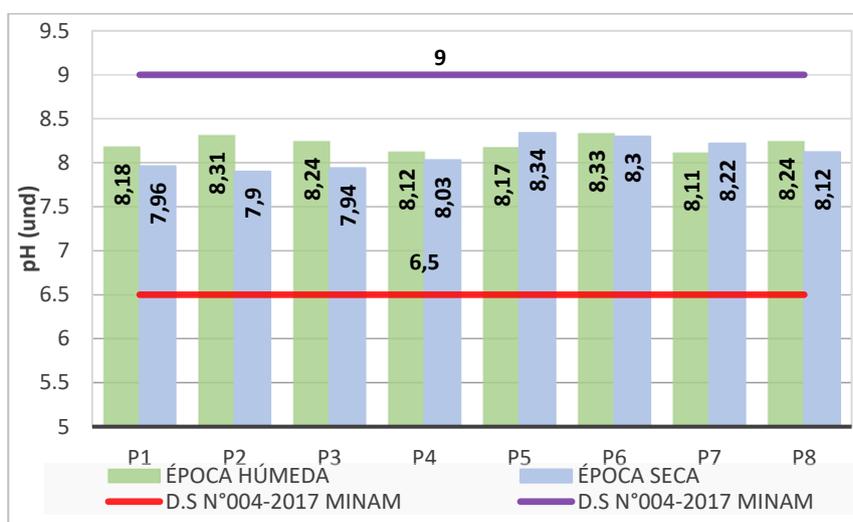
Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 11, donde se observa que el pH en las estaciones de monitoreo en la época húmeda y seca tiene una tendencia ligeramente alcalina; obteniéndose un pH que oscilo entre 7,9 en el punto de monitoreo P2 de la época seca y 8,34 en el punto de monitoreo P5 de la época seca. Todos los puntos de monitoreo se encuentran dentro del rango establecido en los ECA de acuerdo D.S N°004-2017 MINAM. Categoría 4 (conservación del ambiente acuático); donde se establece para la subcategoría E2 ríos (costa y sierra): el rango de 6,5 – 9 unidades de pH.

Los resultados obtenidos en el río Chotano tienen tendencia alcalina por la presencia carbonatos y bicarbonatos; por su parte Bullón (2016), en el río del Perené en la provincia de Chanchamayo, encontró los valores de pH que van desde 7,2 hasta 8,04 los cuales se

encuentran dentro del rango establecido para los estándares de calidad ambiental para agua en la categoría 4 (conservación del ambiente acuático), no obstante, estas variaciones se encuentran dentro de los rangos naturales para la vida acuática. Un pH muy ácido o muy alcalino puede indicar contaminación industrial (Prieto, 2004).

Figura 11

pH de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda



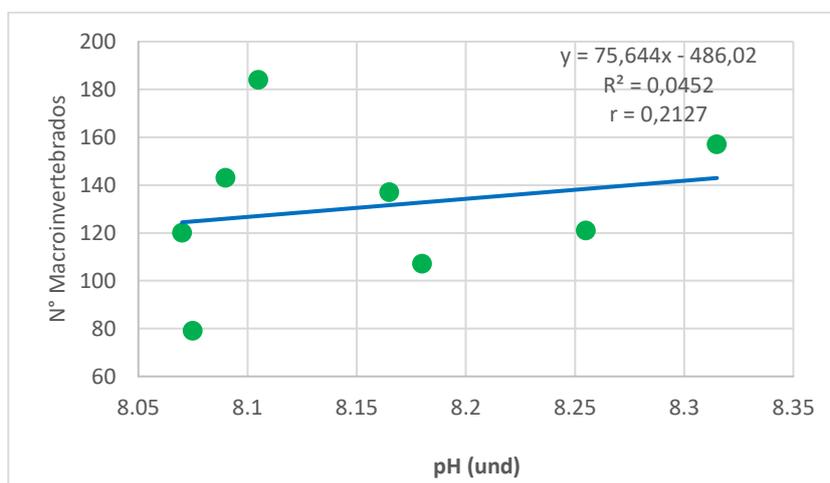
a. Regresión y correlación para el número de Macroinvertebrados y el pH

En la Figura 12, se observa que el coeficiente de correlación lineal ($r = 0,2127$) con tendencia hacia 1 indica que existe una correlación directamente proporcional y débil entre variables; es decir que a medida que el pH se mantiene dentro de los rangos establecidos favorece a la presencia de macroinvertebrados. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,0452$), indica que el pH influye en 4,52% sobre los macroinvertebrados. La ecuación lineal obtenida de este análisis de regresión es: $\text{Macroinv.} = 75,644x - 486,02$. Según Gil (2005), un bajo o alto pH puede alterar el balance de los químicos en el agua y movilizar a los contaminantes, afectando las condiciones de vida de los organismos acuáticos, que

pueden experimentar problemas haciendo que las poblaciones disminuyan, no obstante, los cambios de pH en el agua generan condiciones tóxicas en los ecosistemas acuáticos. El pH del agua es un indicador que determina la solubilidad y la biodisponibilidad de sustancias químicas como nutrientes y metales pesados. Kullberg (2003), señala que existe una relación directa de disminución de riqueza de especies a medida que el agua se acidifique más, evaluando la respuesta de los macroinvertebrados a rangos entre 4-8 unidades de pH.

Figura 12

Recta de regresión para los macroinvertebrados en función del pH



4.2.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

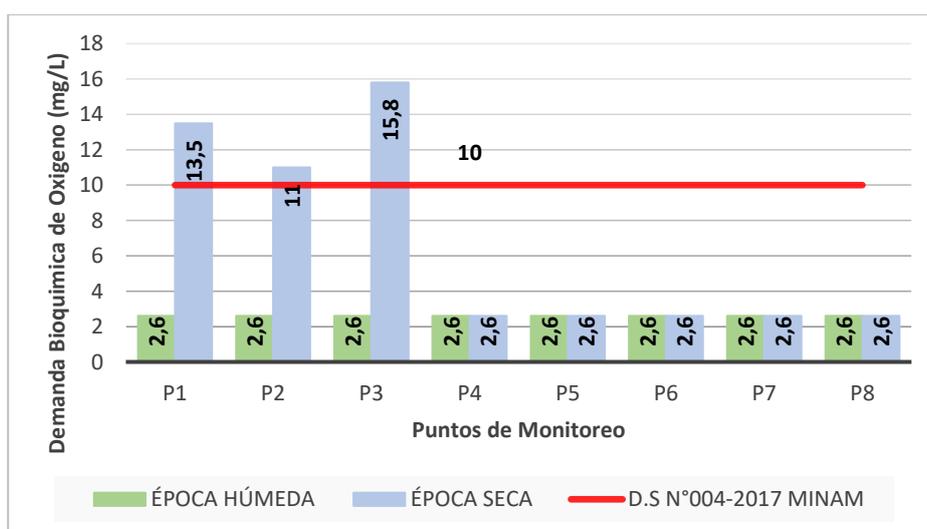
Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 13, donde se observa que la Demanda Bioquímica de Oxígeno en todos los puntos de monitoreo de la época húmeda se registró valores por debajo del Límite de Cuantificación del Método (LCM) (2,6 mgO₂/L); en la época seca se registró valores por encima del Límite de Cuantificación del Método (LCM) en los puntos de monitoreo P1 (13,5 mgO₂/L), P2 (11 mgO₂/L) y P3 (15,8 mgO₂/L) de la época seca y no cumplen con lo establecido en los ECA de acuerdo D.S N°004-2017 MINAM. Categoría 4 (conservación del ambiente acuático); donde se establece para la subcategoría E2 ríos (costa y sierra): 10 mgO₂/L. La proliferación de bacterias que agotan

el oxígeno tiene como consecuencia que algunas especies de macroinvertebrados y otros seres vivos ya no pueden vivir en estas aguas por la falta de oxígeno (Viale, 2008).

En la época húmeda la DBO₅ se encuentra por debajo del rango establecido en la normativa peruana, esto quiere decir que existe una eficiente disponibilidad de oxígeno disuelto; en la época seca se registró algunos puntos de monitoreo que exceden lo establecido en la normativa peruana, por lo que existe una demanda de oxígeno disuelto, esto producto de las descargas de aguas residuales y de la regulación de caudal para la agricultura, estos resultados tienen relación con lo registrado por Romero y Tarrillo (2017), en la quebrada Chambag, Santa Cruz, Cajamarca, obtuvo resultados para la DBO₅ por debajo del Límite de Cuantificación del Método (LCM) (2,6 mgO₂/L) en todos sus puntos de monitoreo lo que implica que se tiene aguas con una buena disponibilidad de oxígeno disuelto.

Figura 13

DBO₅ de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda



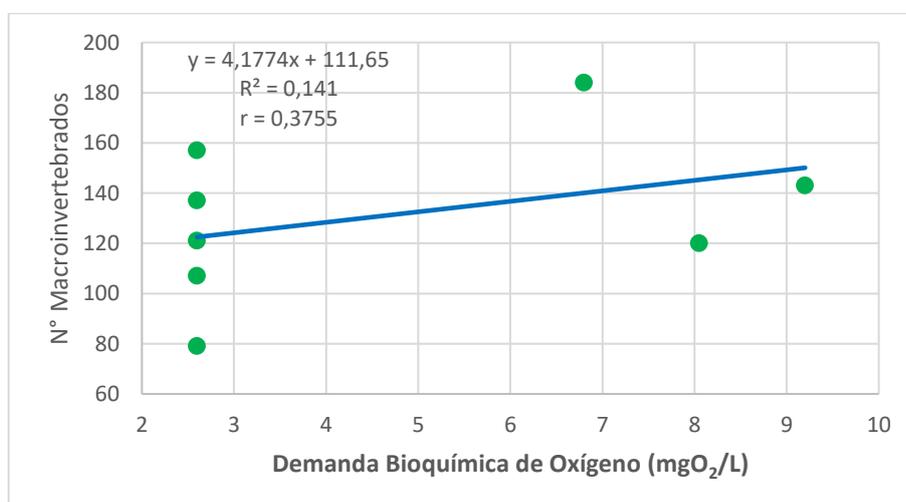
a. Regresión y correlación para el número de macroinvertebrados y la DBO₅

En la Figura 14, se observa que el coeficiente de correlación lineal ($r = 0,3755$) con tendencia hacia 1 indica que existe una correlación directamente proporcional y moderada entre variables; observándose una tendencia equitativa en la cantidad de macroinvertebrados ya que en la mayoría de puntos de monitoreo la DBO₅ se encuentra dentro de los estándares de calidad del agua. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,141$), indica que la DBO₅ influye en 14,1% sobre los macroinvertebrados. La ecuación lineal obtenida de este análisis de regresión es: $\text{Macroinv.} = 4,1774x + 111,65$.

La DBO₅ mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica, según los resultados obtenidos todos los puntos de monitoreo se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA agua) a excepción de los puntos de monitoreo P1 (13,5 mgO₂/L), P2 (11 mgO₂/L) y P3 (15,8 mgO₂/L) de la época seca, no cumple con lo establecido en el ECA agua. Esto indica que el río tiene una buena capacidad de autodepuración y no hay una deficiencia de oxígeno disuelto en el agua.

Figura 14

Recta de regresión para los macroinvertebrados en función del DBO₅



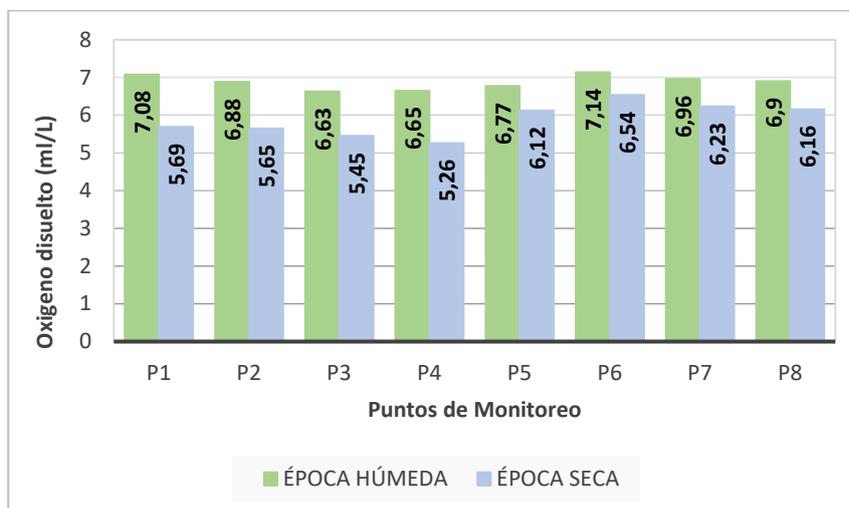
4.2.6 Oxígeno disuelto (OD)

Toda la vida acuática depende de la disponibilidad de Oxígeno Disuelto (OD) en el agua, es por ello, la importancia de dicho parámetro. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 15, donde se registró la cantidad más baja de Oxígeno Disuelto en el punto de monitoreo P (5,26 mg/L) de la época seca y el registro más alto se obtuvo en el punto de monitoreo P6 (7,14 mg/L) de la época húmeda. Todos los puntos de monitoreo se encuentran dentro del rango establecido en los ECA de acuerdo D.S N°004-2017 MINAM. Categoría 4 (conservación del ambiente acuático); donde se establece para la subcategoría E2 ríos (costa y sierra): ≥ 5 mg/L. El oxígeno disuelto es uno de los parámetros que influye en la distribución de macroinvertebrados el cual permite conocer la calidad de un cuerpo de agua; en los resultados registrados en la investigación se observa que no hay deficiencia en la disponibilidad del oxígeno disuelto, por ende, los macroinvertebrados no están siendo afectados en su desarrollo.

Los resultados obtenidos en el río Chotano para el oxígeno disuelto se observó que se encuentran dentro del rango establecido por la normativa peruana, quiere decir que no existe una demanda de oxígeno, la fuente principal es el oxígeno absorbido de la atmósfera, por su parte Carrasco y Villalobos (2019), en la quebrada Amojú – Jaén, registró los valores de oxígeno disuelto que oscilaron entre 6.8 mg/L – 7.6 mg/L; los cual guarda cierta relación con los resultados obtenidos en la investigación al no existir deficiencia de oxígeno para los procesos del desarrollo de los ecosistemas acuáticos, El aumento de oxígeno disuelto en el día es causado por la disponibilidad de la luz y la actividad autotrofica y por la noche aumenta conforme la temperatura disminuye (Bernot y Wilson, 2012).

Figura 15

Oxígeno disuelto de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda



a. Regresión y correlación para el número de macroinvertebrados y el oxígeno disuelto

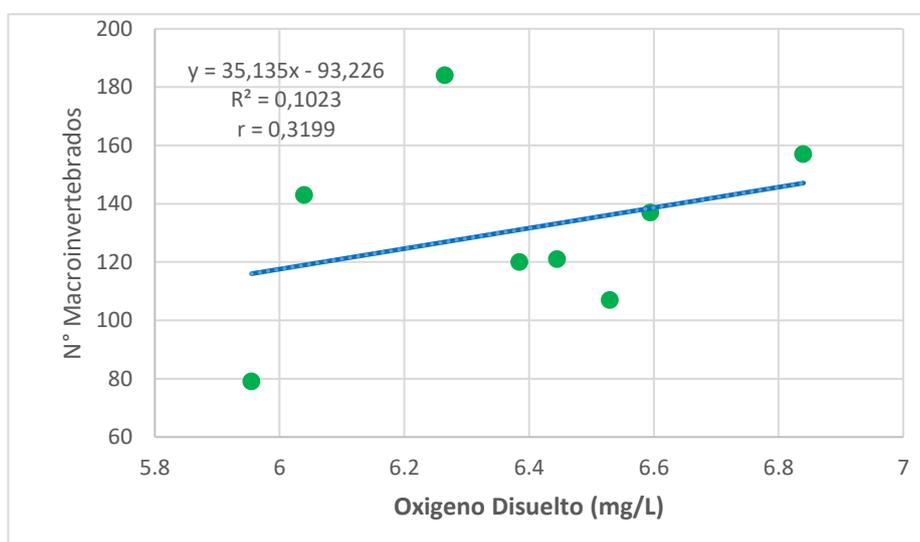
En la Figura 16, se observa que el coeficiente de correlación lineal ($r = 0,3199$) con tendencia hacia 1 indica que existe una correlación directamente proporcional y moderada entre variables; es decir que a medida que el oxígeno disuelto aumenta el número de macroinvertebrados aumenta. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,1023$), indica que el oxígeno disuelto influye en 10,23% sobre los macroinvertebrados. La ecuación lineal obtenida de este análisis de regresión es: $\text{Macroinv.} = 35,135x - 93,226$.

Lenntech (2019), considera al oxígeno disuelto como el factor ambiental más importante para la supervivencia, crecimiento y reproducción de los organismos acuáticos, por su parte Matta (2014), describe que el oxígeno disuelto es determinante en los cambios biológicos de los cuerpos de agua superficiales, este parámetro se ve afectado por incremento de la temperatura del agua y la presencia de materia orgánica lo cual reduce su concentración con la descomposición de la materia orgánica. Las fluctuaciones en las

concentraciones de oxígeno disuelto, están influenciadas por la interacción del agua con la atmósfera, y por los procesos fotosintéticos y respiratorios que se producen en el agua (Rivera, 2011). En los resultados obtenidos se evidencia que existe una disponibilidad de oxígeno disuelto, por ende, es un buen indicador para el desarrollo de la vida en los ecosistemas acuáticos.

Figura 16

Recta de regresión para los macroinvertebrados en función del oxígeno disuelto



4.2.7 Fosfato (PO_4^{3-})

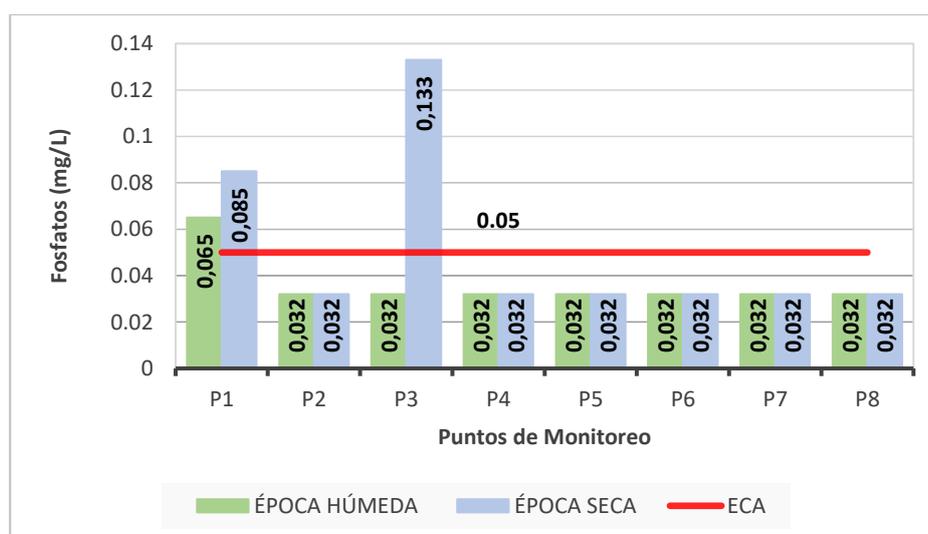
Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 17, donde se registró que en los puntos de monitoreo P2, P4, P5, P6, P7 y P8 de las dos épocas, se encuentra por debajo del Límite de Cuantificación del Método (0,032 mg/L), lo que significa que la concentración es mínima y en los puntos de monitoreo P1 (0,085 y 0.065 mg/L) de la época seca y húmeda y P3 (0.133 mg/L) de la época seca; se registró valores que superan lo establecido en los estándares de calidad ambiental para agua; de acuerdo D.S N°004-2017 MINAM. Categoría 4 (conservación del ambiente acuático); donde se establece para la subcategoría E2 ríos (costa y sierra): 0,05 mg/L. los fosfatos se relacionan directamente con las

descargas domésticas y actividades agrícolas lo que provoca una toxicidad en el agua disminuyendo la diversidad de organismos (Labajo y Nuñez, 2015).

los resultados obtenidos en el río Chotano está relacionado con lo que menciona Balmaceda (2006), en su investigación en el río Chicama – La Libertad, donde obtuvo los resultados para los fosfatos y presentó su máximo valor de 0,8 mg/L en las estaciones 2 y 6 en primavera, mientras que el mínimo valor para este parámetro fue de 0,0 mg/L en las estaciones 2, 6 y 10 en primavera, por su parte Bolaños et al. (2017) afirma que la contaminación del agua con fosfatos, es consecuencia del uso indiscriminado de fertilizantes agrícolas, que contienen fosfatos solubles en agua. Por lo que se puede afirmar que la principal fuente de contaminación del agua del río Chotano está siendo afectada por las descargas de aguas domésticas de las ciudades de Lajas y Cochabamba y el uso de fertilizantes, al evidenciar la presencia de cultivos a las riberas del río.

Figura 17

Fosfato de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda

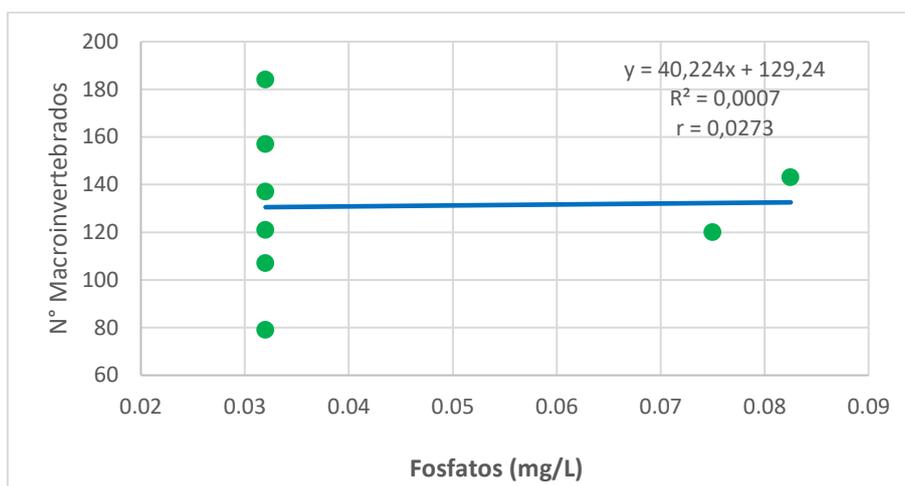


a. Regresión y correlación para el número de macroinvertebrados y Fosfatos

En la Figura 18, se observa que el coeficiente de correlación lineal ($r = 0,0273$) con tendencia hacia 0 indica que existe una correlación nula entre variables. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,0007$), indica que los fosfatos no influyen sobre los macroinvertebrados. La ecuación lineal obtenida de este análisis de regresión es: $\text{Macroinv.} = 40,224x + 129,24$.

Figura 18

Recta de regresión para los macroinvertebrados en función de los fosfatos



Según Liceo la Rita (2013), el fosfato estimulará el crecimiento del plancton y de las plantas acuáticas de las que se alimentan los organismos acuáticos. Este crecimiento puede a su vez aumentar la población y mejorar la calidad del agua. Sin embargo, el exceso de fosfato en los cursos de agua, provoca efectos negativos, las algas y plantas acuáticas crecerán excesivamente, obstruirán el curso y consumirán grandes cantidades de oxígeno. En los resultados obtenidos se observó que en todos los puntos se encuentran por debajo Límite de Cuantificación del Método (0,032 mg/L) a excepción de punto de monitoreo P1 y P3 que están siendo afectados por el vertimiento de aguas residuales y uso excesivo de fertilizantes.

4.2.8 Nitritos y nitratos

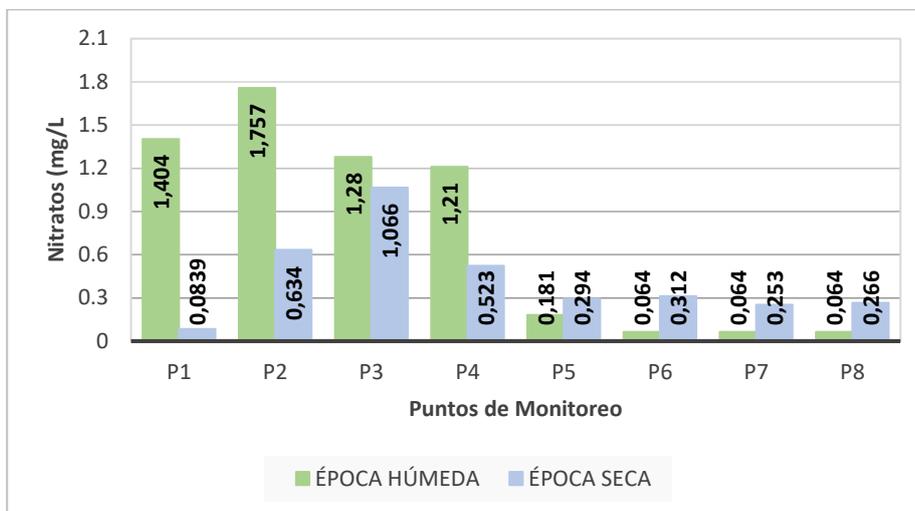
Los resultados obtenidos para los nitratos se muestran en la Figura 19, donde se registró el valor máximo en el punto de monitoreo P2 (1,757 mg/L) de la época húmeda y el valor mínimo en los puntos de monitoreo P6, P7 y P8 de la época húmeda registrando un valor por debajo del Límite de Cuantificación del Método (0,064 mg/L), lo que significa que la concentración es mínima. Todos los puntos de monitoreo se encuentran por debajo del límite establecido en los ECA de acuerdo D.S N°004-2017 MINAM. Categoría 4 (conservación del ambiente acuático); donde se establece para la subcategoría E2 ríos (costa y sierra): 13 mg/L.

Los resultados obtenidos para los nitritos se muestran en la Figura 20, donde se registró que se encuentran por debajo del Límite de Cuantificación del Método (0,50 mg/L) a excepción del P2 de la estación húmeda que registró un valor de 0,54 mg/L, este parámetro no aplica para la categoría 4 de los ECA de acuerdo D.S N°004-2017 MINAM- Categoría 4 (conservación del ambiente acuático).

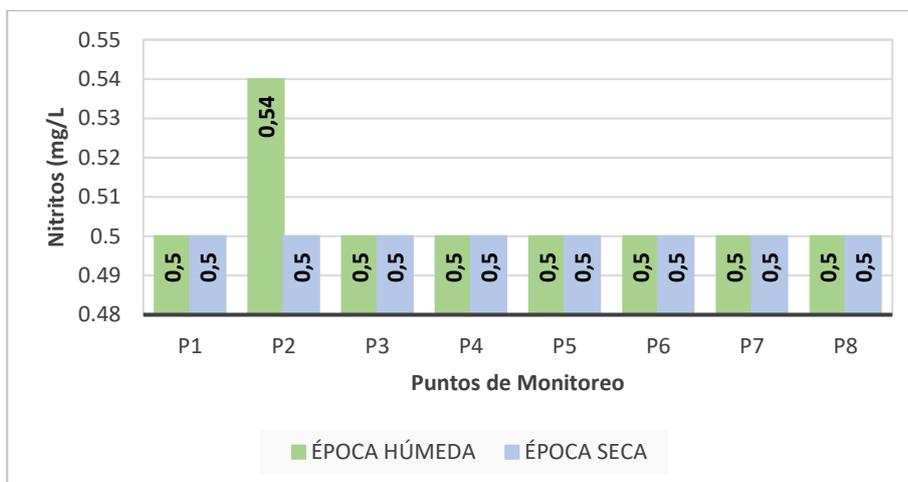
Los resultados obtenidos de los nitritos y nitratos se encuentran dentro de lo establecido en la normativa peruana, por lo que no implica un riesgo en el normal desarrollo del ecosistema acuático, por su parte Jáuregui (2019), en el río Sendamal – Celendín, encontró los valores para los nitratos que oscilaron entre 0,096 y 1,268 mg/L cumpliendo lo establecido en los estándares de calidad ambiental; esto favorece a la vida acuática al no encontrarse en elevadas concentraciones. Los nitratos son una fuente importante para los organismos, sin embargo, altas concentraciones pueden causar daños ecológicos desfavorables ocasionando deterioro en la vida acuática (Ramírez y Roldán, 2008).

Figura 19

Nitratos de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda

**Figura 20**

Nitritos de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda



a. Regresión y correlación para el número de macroinvertebrados y nitratos

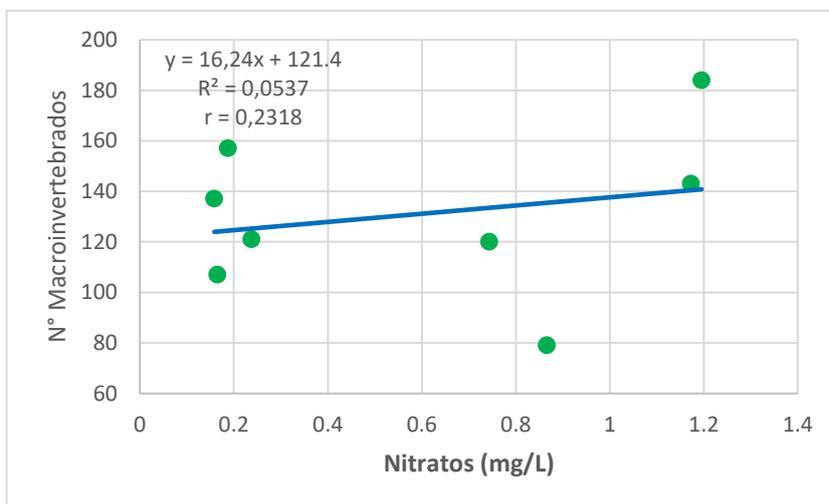
En la Figura 21, se observa que el coeficiente de correlación lineal ($r = 0,2318$) con tendencia hacia 1 indica que existe una correlación directamente proporcional y débil entre variables; es decir que a medida que los nitratos aumentan el número de macroinvertebrados aumentan. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,0537$), indica que

los nitratos influyen en 5,37% sobre los macroinvertebrados. La ecuación lineal obtenida de este análisis de regresión es: $\text{Macroinv.} = 16,24x + 121,4$.

Según los resultados obtenidos los nitritos y nitratos en todos los puntos de monitoreo se encuentran dentro del rango establecido en el ECA de acuerdo D.S N°004-2017 MINAM. Categoría 4 (conservación del ambiente acuático); donde se establece para la subcategoría E2 ríos (costa y sierra): 13 mg/L, por ende, se concluye que los macroinvertebrados no están siendo afectados por los nitritos y nitratos, de manera general estos parámetros se deben a la utilización de fertilizantes, herbicidas y pesticidas en altas concentraciones por las actividades agropecuarias, que llegan al río a través de escorrentía (Quintero et al., 2010).

Figura 21

Recta de regresión para los macroinvertebrados en función de los nitratos



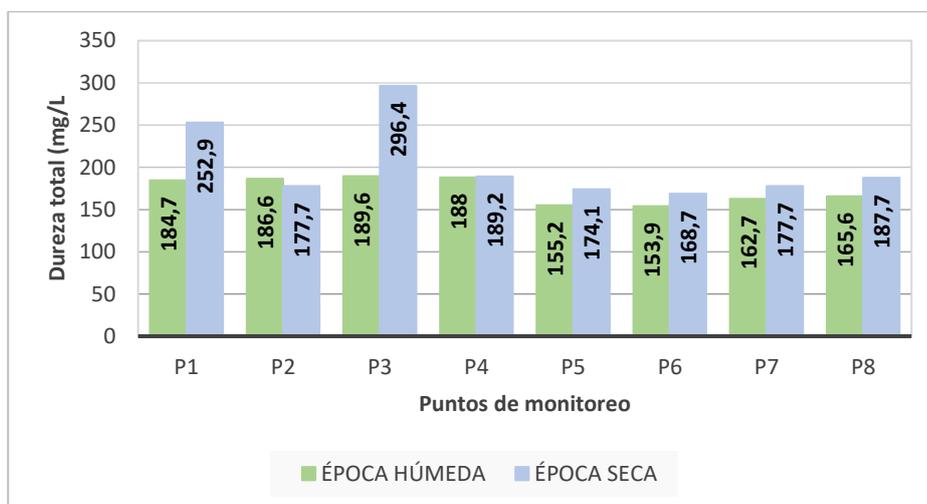
4.2.9 Dureza total

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 22, donde se observa que para la época húmeda se registró el valor máximo en el punto de monitoreo P3 con 189,6 mg/L y el valor mínimo en el punto de monitoreo P6 con 153,9 mg/L; para la época seca se registró el valor máximo en el punto de monitoreo P3 con 296,4 mg/L y el valor mínimo en el punto de monitoreo P6 con 168,7 mg/L. Este parámetro no aplica para esta categoría 4 de los ECA de acuerdo D.S N°004-2017 MINAM- Categoría 4 (conservación del ambiente acuático). En términos generales, puede considerarse que un agua es blanda cuando tiene dureza menor de 100 mg/L; medianamente dura, cuando tiene de 100 a 200 mg/L; y dura, cuando tiene de 200 a 300 mg/L (Vargas et al, 2004).

En el río Chotano la dureza del agua refleja la naturaleza de las formaciones geológicas con las que el agua ha estado en contacto (iones de calcio y magnesio), Hoyos (2019), en su investigación en el río Grande – Celendín, obtuvo resultados de dureza total en el mes de octubre oscilo entre 117,6 y 181 mg/L, para el mes de enero la oscilo entre 12,9 y 154,3 mg/L, por su parte Jáuregui (2019), en el río Sendamal - Celendín, obtuvo resultados en la época húmeda registrando promedios de 187,8 y 122,7 mg/L de dureza, en esta época se presenta valores más bajos debido a que el agua de lluvia es blanda ya que contiene una baja concentración de carbonato de calcio y otros iones y en época seca se registraron promedios de 287,1 y 145,1 mg/L aumentando las concentraciones; Si tenemos un agua dura, los metales tóxicos son menos perjudiciales para los seres vivos.

Figura 22

Dureza total de los puntos de monitoreo en las épocas seca y húmeda



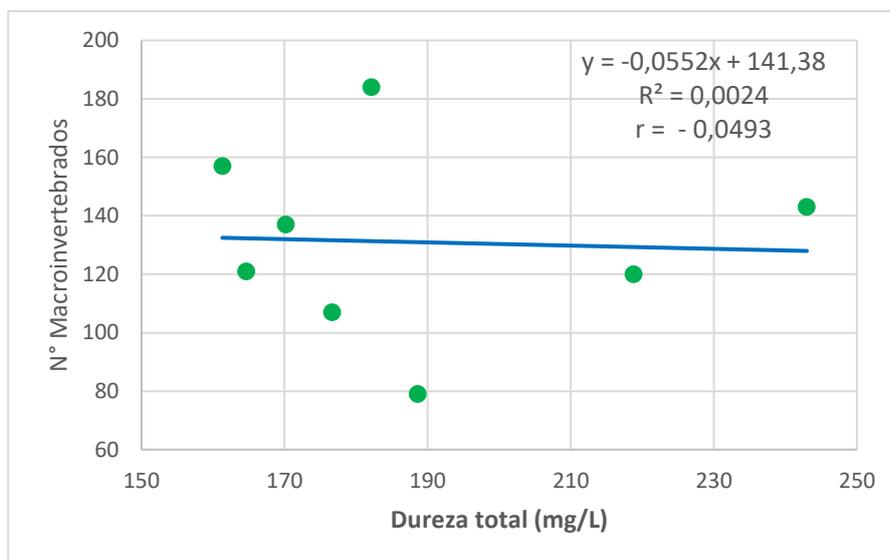
a. Regresión y correlación para el número de macroinvertebrados y la dureza total

En la Figura 23, se observa que el coeficiente de correlación lineal ($r = -0,0493$) con tendencia hacia 0 indica que existe una correlación nula entre variables. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,0024$), indica que la dureza total no influye sobre los macroinvertebrados. La ecuación lineal obtenida de este análisis de regresión es: $\text{Macroinv.} = -0,0552x + 141,38$.

La dureza del agua es la concentración de minerales, particularmente sales de magnesio y calcio. En los resultados obtenidos se observa que la correlación entre macroinvertebrados y la dureza total es nula por lo que se concluye que dicho parámetro fisicoquímico no influye en la presencia o ausencia de macroinvertebrados.

Figura 23

Recta de regresión para los macroinvertebrados en función a la dureza total



4.3 Resultados del análisis estadístico

4.3.1 Análisis de varianza (ANOVA) para las poblaciones de macroinvertebrados

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA) para las poblaciones de macroinvertebrados

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Repetición	70,54	2	35,27	0,55ns	0,583
Época (E)	630,75	1	630,75	9,83*	0,004
Punto (P)	1194,33	7	170,62	2,66*	0,030
E*P	1638,25	7	234,04	3,65*	0,006
Error	1924,79	30	64,16		
Total	5458,67	47			

(ns) no significativo (*) significativo

En la Tabla 12, se observa los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para las poblaciones de macroinvertebrados de las época húmeda y seca, los cuales indican que no existe significación estadística para las repeticiones, dado que, el valor de significación (p-

valor = 0,583) es mayor al 0,05 (5%). Para los efectos independientes de los factores en estudio (Época y Punto), se encontró significación estadística en ambos factores; para la Época se encontró significación, dado que el valor de significación (p-valor = 0,004) es menor al 0,05 (5%), esto indica, que en las épocas evaluadas las poblaciones de macroinvertebrados se diferenciaron en su número. Para el punto (P) de muestreo se encontró significación, dado que el valor de significación (p-valor = 0,030) es menor al 0,05 (5%), esto indica, que las poblaciones de macroinvertebrados difieren con respecto a su número en los diferentes puntos donde se realizaron los muestreos. Para la interacción Época y Punto (E*P), se encontró significación estadística, dado que, el valor de significación (p-valor = 0,006) es menor al 0,05 (5%), lo cual indica que las poblaciones de macroinvertebrados se encuentran afectadas por la acción conjunta del tiempo y la ubicación.

Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidad. Hipótesis alterna: No todas las medias son iguales, nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Tabla 13

Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Puntos de monitoreo época seca y húmeda	Media	Agrupación
P2	61	A
P6	52	AB
P3	48	AB
P7	46	AB
P5	40	AB
P1	40	AB
P8	36	AB
P4	26	B

En la Tabla 15 se tiene los resultados de la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad, donde se observa que las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. El resultado obtenido en el punto de monitoreo P4 tiene el promedio más bajo con 26 macroinvertebrados, que es estadísticamente inferior al obtenido en el punto de monitoreo P2 que se obtuvo un promedio de 61 macroinvertebrados siendo el promedio más alto. Este resultado indica que, se acepta la hipótesis alterna en la cual indica que no todas las medias o promedios son iguales. Comprobando el resultado obtenido en el ANOVA que para el factor punto de monitoreo se encontró significación, dado que el valor de significación (p -valor = 0,030) es menor al 0,05 (5 %). Según los resultados obtenidos en la prueba de Tukey se obtuvo tres agrupaciones (A, AB y B), en la que se evidencia la significación en los diferentes puntos de monitoreo según la cantidad de individuos encontrados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se recolectaron 1048 individuos de macroinvertebrados pertenecientes a 10 órdenes y 17 familias con los que se determinó la calidad de agua para los diferentes índices bióticos. Índice Biótico de Familias (IBF) obtuvo un puntaje promedio de 5,20 estableciendo que se tiene una calidad de agua “mala” con contaminación orgánica presente, índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) obtuvo un puntaje promedio de 1,9 estableciendo la calidad de agua “muy pobre”, severamente impactado y el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) obtuvo un puntaje promedio de 27,5 estableciendo una calidad de agua “crítica”, muy contaminadas.

Los parámetros fisicoquímicos: Conductividad Eléctrica (CE), Temperatura, Potencial de Hidrógeno (pH), Oxígeno Disuelto (OD), Fosfato, Nitritos y Nitratos y Dureza Total; se encontraron dentro de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (DS, N°004-2017-MINAM), a excepción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) que en los puntos de monitoreo P1 (13,5 mgO₂/L), P2 (11 mgO₂/L) y P3 (15,8 mgO₂/L) de la época seca; y los fosfatos en los puntos de monitoreo P1 (0,085 y 0.065 mg/L) de la época seca y húmeda y P3 (0.133 mg/L) de la época seca, exceden el límite establecido, por lo que no cumplen con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua categoría 4 de conservación del ambiente acuático.

5.2 Recomendaciones

Continuar monitoreando a los macroinvertebrado bentónicos en el río Chotano en el tramo Lajas – Cochabamba y complementar con estudios fisicoquímicos para conocer mejor la variación de la calidad del agua en el durante del año.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, A. y Camargo, J.A. (2005). *Evaluación de la efectividad de cinco sustratos minerales artificiales para el muestreo de macroinvertebrados bentónicos*. Diario de ecología de agua dulce. Madrid, España. 320 p.
- Álvarez, M. (2009). *Estudio de la variabilidad espacio-temporal de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los ecosistemas fluviales de Cantabria. Repercusiones para la aplicación de las Directiva Macro del Agua*. Universidad de Cantabria. Dpto. de Ciencia y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente.
- Álvarez, S. y Pérez, L. (2007). *Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras*. [Tesis Ing. en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente]. Universidad de Zamorano Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/524/1/IAD-2007-T001.pdf>
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2016. *Protocolo Nacional de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima – Perú.
- Arocena, R., Chalar, G., Fabián, D., De León, L., Brugnoli, E., Silva, M., Rodó, E., Machado, I., Pacheco, J.P., Castiglioni, R. & Gabito, L. (2008). *Índices físico-químicos y biológicos de calidad de agua para arroyos vadeables de la cuenca del río Santa Lucía en evaluación en cursos de agua y biomonitorio*. Limnología Facultad de Ciencias, Universidad de la República Montevideo.
- Aquino E., P. (2017). *Calidad del agua en el Perú. Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales*. Lima – Perú. 140 pp. https://www.dar.org.pe/archivos/publicacion/176_aguasresiduales.pdf.

- Ayala Salazar, C. J. y Grover Vera Vásquez, G. (2020). *Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y su relación con los parámetros fisicoquímicos de agua del río San Lucas, Cajamarca*. [Tesis Ing. Ambiental]. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23847>.
- Azabache C., L. A. (2018). *Determinación de la calidad ecológica del agua de los ríos Porcón, Grande y Mashcón- Cajamarca, en función de la macrofauna bentónica como bioindicador*. [Tesis Dr. Gestión Ambiental y Recursos Naturales]. Universidad Nacional de Cajamarca – Perú.
- Balmaceda L., J. M. (2006). *Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en el río Chicama. Regiones La Libertad – Cajamarca*. [Tesis Dr. Medio Ambiente. Trujillo, Perú]. Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/6017>.
- Bernot, M. J. y Wilson, K. P. (2012). *Variación espacial y temporal del oxígeno disuelto y la energía del ecosistema en Devils Hole, Nevada*. Western North American Naturista. <https://link.gale.com/apps/doc/A321179140/AONE?u=googlescholar&sid=bookmark-AONE&xid=ca3f9be7>.
- Boards, W. (2015). *Conductividad Eléctrica/Salinidad. California*. Foletto Informativo. https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf
- Bolaños A., J. D., Cordero C., G., y Segura A., G. (2017). *Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)*. Revista Tecnología En Marcha, 30(4), 15–27. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>.

- Bonada, N., Narcís P., Resh V. H. y Statzner B. (2006). *Desarrollos en el biomonitorio de insectos acuáticos: Un análisis comparativo de enfoques recientes*. Departamento de Ecología. Universidad de Barcelona – España.
- Bullón Alcalá, V. E. (2016). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en la cuenca del río Perene, Chanchamayo*. [Tesis Ing. Forestal Amb. Huancayo, Perú]. Universidad Nacional del Centro Del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3462>.
- Bulnes H., L. L. (2019). *Macroinvertebrados bentónicos, indicadores de la calidad ecológica del agua en dos ríos de Lima con distintas actividades productivas*. [Tesis Blgo. Lima, Perú]. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4264>.
- Cajal F. A. (2017). *¿Qué es un Ecosistema Lótico?* España <https://www.lifeder.com/ecosistema-lotico/>.
- Carrasco C., R. A. y Villalobos S., R. A. (2019). *Calidad del agua de la quebrada Amojú empleando el índice Biological Monitoring Working Party - BMWP, Jaén – Cajamarca*. [Tesis Ing. Forestal Ambiental]. Universidad Nacional de Jaén. http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/139/1/Carrasco_CRA_Villalobos_SRA.pdf
- Carrera C. y Fierro K. (2001). *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua: Manual de monitoreo*. EcoCiencia. Quito, Ecuador. 67 p.
- Castañeda Estela, D. (2021). *Caracterización fisicoquímica y biológica de las aguas del río grande en la localidad de Cortegana – Celendín – Cajamarca*. [Tesis Ing. Ambiental]. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4172>.
- Cedeño Relles A. V. y Quinteros Vera E. D. (2016). *Determinación de la calidad del agua mediante la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la subcuenca*

- del río Carrizal*. [Tesis Ing. Ambiental, Ecuador]. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/549/1/TMA111.pdf>.
- Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Chapman Hill. London. 626p.
- Chávez B., J. D. (2016). *Estructura de la comunidad de macroinvertebrados y algunos parámetros fisicoquímicos de la cuenca del río Moche, La Libertad*. [Tesis Blgo. Trujillo, Perú]. Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8766>.
- Correa, I. (2000). *Desarrollo de un índice biótico para evaluar la calidad ecológica del agua*. Departamento de Biología. Departamento de Biología. facultad de Ciencias Universidad de Los Andes. Venezuela.
- Correa, M., Machado, T. y Roldán, G. (1981). *Taxonomía y Ecología del Orden Trichoptera en el Departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales*. Act. Biol. 48 p.
- Correa, W. (2012). *Calidad del agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en la cuenca alta del río Moche, La Libertad*. Octubre 2011 – marzo 2012. [Tesis Blgo, Universidad Nacional de Trujillo, Perú].
- De la Fuente, J. G. (1994). *Zoología de artrópodos*. Madrid - España: Interamericana McGraw-Hill.
- Fernández, H., y Domínguez, E. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos Sistemática y biología*. 1a ed. - Tucumán: Fund. Miguel Lillo, Argentina. 655p.
- Fernández, H., y Domínguez, E. (2001). *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Editorial Universitaria de Tucumán Argentina. 288p.

- Fernández Rodríguez R., Rodríguez B., Carreño A y Corrochano Codornú A. (2012). Catálogo y claves de identificación de organismos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente – España.
- Flores, D. (2014). *Guía de vigilancia ambiental: con macroinvertebrados bentónicos*. IFS, ACSUR, GRUFIDES. Cajamarca, Perú. 59 p.
- Flowers, R. W. y De la Rosa, C. (2010). *Ephemeroptera*. Revista de Biología Tropical. Vol. 58(4): 63 - 93.
- Forero, D. J. (2017). *Macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua en la cuenca alta de del río Frío (Tabio, Cundinamarca)*. [Tesis Ecólogo. Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Estudios Ambientales y Rurales]. Bogotá – Colombia. <http://hdl.handle.net/10554/34419>
- García F., C. (2013). *Parámetros fisicoquímicos del agua*. Aquagan Biocidas. https://www.adiveter.com/ftp_public/A3081113.pdf
- Gil R., M. (2005). *Procesos de Descontaminación de Aguas. Cálculos informatizados avanzados. Científico titular del consejo de investigaciones científicos*. Thomson Editores Spain Paraninfo S.A.
- Gonzales, C., y Maestre, J. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Universidad Nacional de San Marcos.
- Gutiérrez, Y. A. (2009). *Uso del suelo, vegetación ribereña y calidad del agua de la microcuenca del río Gaira, Santa María*. [Tesis Ms. Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, Colombia]. Centro Agronómico Tropical de Investigación. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5630>.

- GWP Global Water Partnership. (2009). *Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas*. International Network of Basin Organizations. Francia.
- Herrera Carrasco, D. (2019). *Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad biológica del agua en la quebrada Miraflores, Chirinos*. [Tesis Ing. Forestal y Ambiental]. Universidad Nacional de Jaén. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/123>.
- Hilsenhoff, W. L. (1988). *Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index*. Journal of the North American Benthological Society 7: 65-68.
- Horrigan, N. y Baird, D.J. (2008). *Trait patterns of aquatic insects across gradients of flowrelated factors: a multivariate analysis of Canadian national data*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences
- Hoyos P., N. (2019). *Calidad del agua en función a los macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en el río Múyoc Grande, Miguel Iglesias, Celendín - 2018*. [Tesis Ing. Amb. Celendin, Cajamarca, Perú]. Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3305>.
- ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático) (2017). *Manual de medición de caudales*. Guatemala. 18 p.
- IDEAM. (2012). *Indicadores ambientales clasificadores por temáticas. Promedio de oxígeno disuelto Hoja metodológica versión 1,00*. Bogotá, Colombia. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/>.
- INTA. (2011). *Sistema de captaciones de agua en manantiales y pequeñas quebradas para la Región Andina*. Argentina. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Jáuregui, A. D. Y. (2019). *Determinación de la calidad del agua empleando macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en el río Sendamal*,

- Celendín*. [Tesis Ing. Amb. Celendín, Perú]. Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3299>.
- Jiménez Vargas, V. C. (2018). *Evaluación de la calidad de agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en la microcuenca del río Patulú*. [Tesis Ing. Amb. Riobamba, Ecuador]. Universidad Nacional de Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4606>.
- Kullberg A. (2003). *Benthic macroinvertebrate community structure in 20 streams of varying pH and humic content. Environmental pollutio*. Suecia. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(92\)90016-4](https://doi.org/10.1016/0269-7491(92)90016-4).
- Labajo V., Y. I. y Nuñeza, O. M. (2015). *Macroinvertebrates as bioindicators of water quality in Labo and Clarin rivers, Misamis Occidental, Philippines*. International Journal of Biosciences (IJB), 6(9), 62-73.
- Ladrera F., R. (2012). *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos*. Páginas de Información Ambienta. España.
- Lenntech (2019). *Agua residual y purificación del aire*. USA. <https://www.lenntech.es/index.htm>.
- Liceo la Rita. (2013). *Análisis físico, químico y biológico de la cuenca hidrológica del río San Rafael y su posible relación con el impacto ecológico ocasionado por la actividad piñera aledaña al río, durante el periodo de marzo a octubre del año 2013 en Guápiles*. Costa Rica Globe, p.26.
- Linares Zelada, J. F. (2018). *Caracterización fisicoquímica y de macro invertebrados bentónicos de los ríos Perlamayo y Tacamache, Distrito de Chugur – Cajamarca*. [Tesis Maestro en Ciencias: Gestión Ambiental]. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2485>.

- Lisboa Barrientos, J. L. (2016). *Macroinvertebrados acuáticos indicadores de calidad de agua en el río Chira*. [Tesis Biólogo]. Universidad Nacional de Piura. <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1493>.
- Luciani Alegria, J. A. (2021). *Determinación de la relación entre las propiedades fisicoquímicas del agua y macroinvertebrados acuáticos - Santa Carmen*. [Tesis Ing. en conservación de suelos y agua]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco – Perú. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2201>.
- Marín Ortega, V. (2018). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua del río Amanalco*. [Tesis para Optar el Título de M. Sc. Ciencias del agua]. universidad autónoma del estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/98784>.
- Martínez, C; Quitan, F. s.f. *Condiciones de carga orgánica, temperatura, precipitación, radiación solar, sulfuros y sulfatos en la estratificación de la biomasa algas en las lagunas de estabilización*. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicona/R-0080.pdf>.
- Matta, G. (2014). *A study on physico-chemical Characteristics to assess the pollution status of river Ganga in Uttarakhand*. Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences. 7(3), 210-217.
- Mauricio Torres, C. R. (2018). *Insectos acuáticos como indicadores de la calidad de agua del río Huayobamba, San Marcos – Cajamarca*. [Tesis Maestro en Ciencias]. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3375>.
- Metcalf, C. y Flint, W. (1966). *Insectos destructivos e insectos útiles: sus costumbres y su control*. Compañía Editorial Continental S.A México. 288 p.

- Metcalf, J. (1989). *Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status I, Europe*, Environ. Pollut.
- Metcalf, L. J. (1994). *Biological Water-Quality Assessment of Rivers: Use of Macroinvertebrate Communities*. In: Peter C., Jeffrey E.P. (eds). *The River Handbook: Hydrobiological and Ecological Principles*. 170 p.
- Mey, W. y Speidel, W. (2007). *Diversidad global de mariposas (Lepidoptera) en agua dulce. Animal Diversity Assessment. Desarrollos en Hidrobiología*. Bruselas, Bélgica, Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8259-7_50
- Minchola Soto, G. K. (2021). *Macroinvertebrados acuáticos indicadores de la calidad del agua del río Negro – Aguaytía*. [Tesis Ing. Ambiental]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1980>.
- Mocoroa, F. (2013). *La autodepuración del río Urumea. Capacidad de autodepuración de los ríos*. <https://docplayer.es/29150234-La-auto-depuracion-del-rio-urumea.html>.
- Monforte G., G. y Cantú M., P. C. (2009). *Escenario del agua en México*. Cultura Científica Y Tecnológica. Universidad Autónoma de Nuevo León. <https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/356>.
- Mora Tisnado, G. M. (2019). *Calidad de agua de las cuencas de Huacamarcanga y Tres Cruces mediante los índices de diversidad, equidad, BMWP, EPT y algunos parámetros fisicoquímicos – La Libertad*. [Tesis Maestro en Ciencias – Gestión Ambiental]. Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12898>.
- Muñoz, C. (2016). *Caracterización físico química y biológica de las aguas del río Grande Celendín - Cajamarca*. [Tesis para Optar el Título de Ingeniero

- Ambiental]. Universidad Nacional de Cajamarca.
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/1755>.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2006). *Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición*. Catalogación por la Biblioteca de la OMS. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39098>.
- Orjuela, L. (2013). *Hoja metodológica del indicador Demanda Bioquímica de Oxígeno en las masas de agua por estación*. Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia.
- Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M. N., Rodríguez, F. y Alfayate, J. (2005). *Contaminación Ambiental. Una visión desde la química*. Tercera edición, Thomson Editoriales Spain Paraninfo, S.A.
- Palomares, A. E. (2004). *Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento*. Instituto de Tecnología Química Valencia, España.
<https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento>.
- Patiño P., G. A. (2015). *Evaluación de la calidad del agua por medio de bioindicadores macroinvertebrados acuáticos en la quebrada la vieja*. Bogotá, Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 89 p.
- Peña, J., y Villacorta, J. (2014). *Macroinvertebrados Acuáticos Como Indicadores Biológicos Y Su Relación Con La Calidad Del Agua En La Microcuenca Mishquiyacu, Provincia De Moyobamba – 2014*. [Tesis de título profesional]. Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba - Perú.
- Pérez A., Salazar N., Aguirre F., Font M., Zamora E., Córdova A. y Acosta K. (2016). *Guía de macroinvertebrados bentónicos de la provincia de Orellana*. Asociación catalana d'Enginyeria Sense Fronteres. Orellana – Ecuador.

- Pezo Gonzales, M. (2018). *Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua para regadío del río Cumbaza*. [Tesis Dr. En Ciencias Ambientales]. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2820>.
- Poblete N., E. D. (2013). *Calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Chuyugual La Libertad*. [Tesis Blgo. Trujillo, Perú]. Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3068>.
- Prieto, J. (2004). *El agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. Eco Ediciones, Bogotá, D. C. 275 p.
- QUANTITATIVA. (2004). *Antecedentes respecto a la Biodiversidad Acuática en la cuenca del Maipo*. Cuantitativa Estudios Ambientales Providencia, Santiago. 98 p.
- Quintero, A. G., Toro, D. (2009). *Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola*. Universidad de Caldas, Palestina, Colombia. 78 p.
- Quintero, L., Rendón, E., Agudelo, Y., Quintana, S., y Osorio, A. (2010). *Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos*. Revista Gestión y Ambiente Vol. 13. 64 p.
- Quispe P., R. F. (2015). *Diversidad de la ictiofauna y macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad hídrica en dos tributarios del río bajo Madre de Dios*. [Tesis Blgo. Cuzco, Perú]. Universidad Nacional de San Antonio Abad.
- Ramírez, A. (2010). *Revista de Biología Tropical – Orden Odonata*. Rev. biol. trop vol.58. Universidad de Costa Rica. Escuela de Biología.

- Ramírez R., J. y Roldán P., J. G. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia. Colombia.
- Rengifo Arévalo, S. y Franco Mendoza, Y. (2020). *Revisión y análisis de la eficiencia de macroinvertebrados en comparación al método tradicional para determinar la calidad del agua de la quebrada Shitariyacu*. [Tesis Ing. Ambiental]. Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3203>.
- Ribes, J., & Heiss, E. (2008). *Hemiptera: Heteroptera*. Em P. A. Borges, *Listagem dos fungos, flora y fauna terrestres dos arquipélagos da Madeira e Selvagens*. Portugal. Direcção Regional do Ambiente da Madeira and Universidade dos Açores, Funchal and Angra do Heroísmo.
- Rivera, J., (2011). *Relación entre la composición y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas y químicas en el humedal Jaboque*. Facultad de Ciencias: Universidad Nacional de Colombia.
- Roldán P., G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Bogotá: Fondo Fen Colombia, 217 pp.
- Roldán P., G. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Vol. II). Universidad de Antioquia. Colombia. 440 p.
- Roldán, P. G. (1996). *Estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Universidad de Antioquia Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Centro de Investigaciones. Colombia. 226p.
- Roldán, G. (2012). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: Uso del método BMWP/Col*. Imprenta Nacional de Colombia. 148 p.
- Romero G., D. J y Tarrillo Sánchez, H. J. (2017). *Evaluación de la calidad del agua utilizando macroinvertebrados bentónicos como indicadores bióticos en la quebrada Chambag, Santa Cruz, Cajamarca, durante agosto*. [Tesis Ing. Amb.

- Chiclayo, Perú]. Universidad de Lambayeque.
<http://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/97>.
- RUM. (2011). *Monitoreo de la calidad del agua*. Recinto Universitario de Mayagüez. Mayagüez, Puerto Rico. <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-60/maguatemperatura.pdf>.
- Sánchez, J. (2001). *El fosforo, parámetro crítico de calidad de agua técnicas analíticas y de muestreo*. Universidad Central de Venezuela. 9 p.
- Sandoval R., T. G. (2019). *Dinámica fisicoquímica y su efecto en la variabilidad biológica de in sector del río Virú, la libertad, enero a julio 2019*. Tesis Blgo. Pesquero, La Libertad – Perú]. Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15038>.
- Structuralia (2017). *Así es como se produce la autodepuración de los ríos*. Madrid – España. <https://blog.structuralia.com/como-se-produce-la-autodepuracion-de-los-rios>.
- Tercedor, J. A. (1996) *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos*. Departamento de Biología Animal y Ecología. Granada, España. 262 p.
- Theischinger, G. y Watson, T. (1991). *The Australian Dragonflies. A Guide to the Identification*. Distribution and Habitats of Australian Odonata. 278p.
- Vargas, L; Maldonado, V; Barrenechea, A; Aurazo, M. 2004. *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría tomo 1*. CEPIS. Lima. Perú.
- Viale E., A. (2008). *Manual de Estadísticas Ambientales Andinas*. Lima, Perú. http://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/Manual_estadisticas_ambientales.pdf.

- White, D.S. & R.E. Roughley. 2008. *Coleoptera. An introduction to the aquatic insects of North America*. Estados Unidos. Kendall/Hunt Publishing Company. Iowa, USA.
- Zarate Chipana, G. (2015). *Índices bióticos de la comunidad macroinvertebrada en la calidad ambiental del agua del río Huatatas*. [Tesis título de bióloga]. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Perú.
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1765>.
- Zúñiga de Cardoso, M. C. y Rojas de Hernández, A. (1995). *Ephemeroptera*. En: *Seminario Invertebrados Acuáticos y su utilización en estudios ambientales*. Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN) y Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Auditorio del Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, D. C.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

ANEXO 1. Panel fotográfico

Figura 24

Monitoreo del punto P6 para la recolección de macroinvertebrados



Figura 25

Monitoreo del punto P5 para la recolección de macroinvertebrados



Figura 26

Monitoreo del punto P1 para la recolección de macroinvertebrados



Figura 27

Recolección de macroinvertebrados en el punto de monitoreo P8



Figura 28

Monitoreo del punto P7 para la recolección de macroinvertebrados

**Figura 29**

Toma de muestras para el análisis fisicoquímico en el punto de monitoreo P7



Figura 30

Toma de muestras para el análisis fisicoquímico en el punto de monitoreo P4

**Figura 31**

Medición del caudal en el punto de monitoreo P1



Figura 32

Medición de profundidades del río para determinar el caudal

**Figura 33**

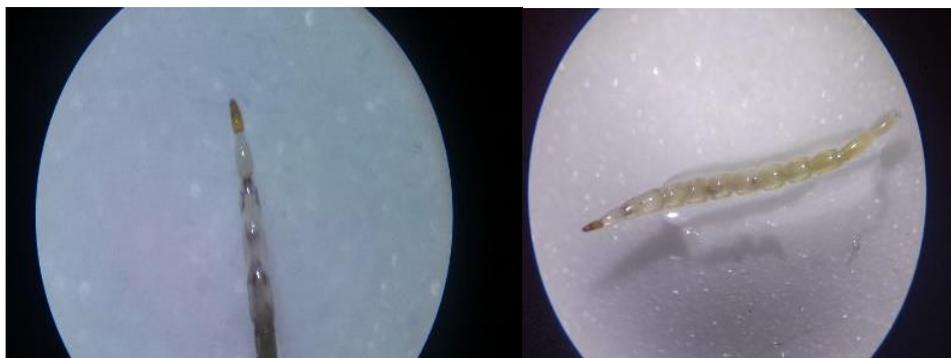
Medición del ancho del río para determinar el caudal



ANEXO 2. Familias de macroinvertebrados colectados**Figura 34***Familia Chironomidae (larva)***Figura 35***Familia Tipulidae (larva)*

Figura 36

Familia Ceratopogonidae (larva)

**Figura 37**

Familia Hydropsychidae (larva)

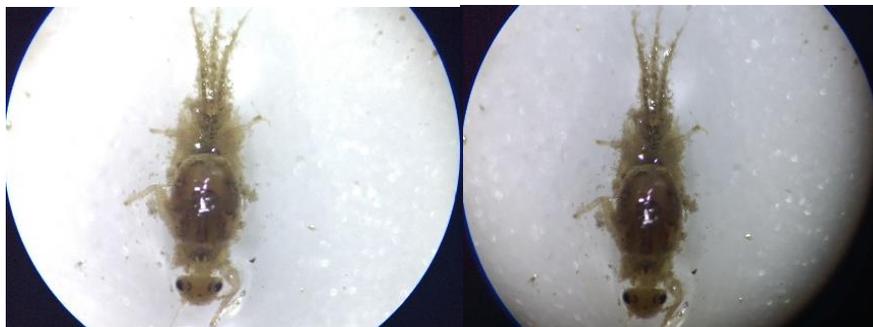
**Figura 38**

Familia Hydrobiosidae (larva)

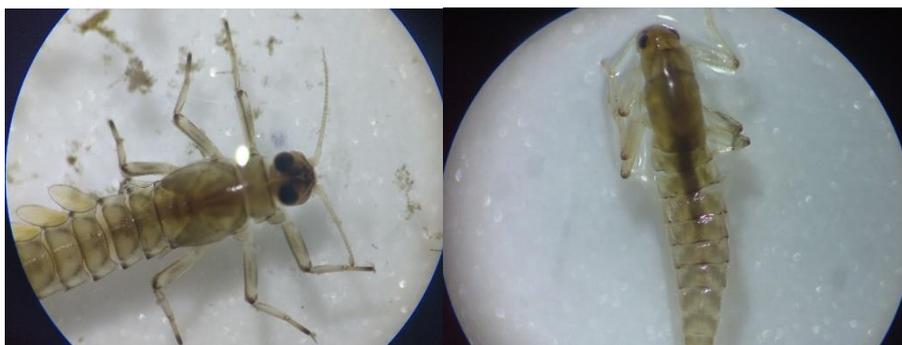


Figura 39

Familia Leptophlebiidae (larva)

**Figura 40**

Familia Baetidae (larva)

**Figura 41**

Familia Leptohiphidae (larva)

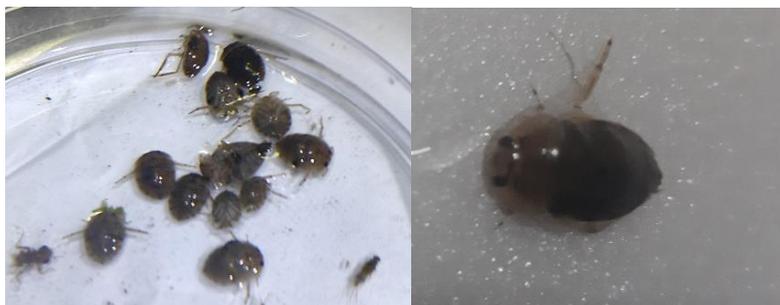


Figura 42

Familia Veliidae (adulto)

**Figura 43**

Familia Naucoridae (adulto)

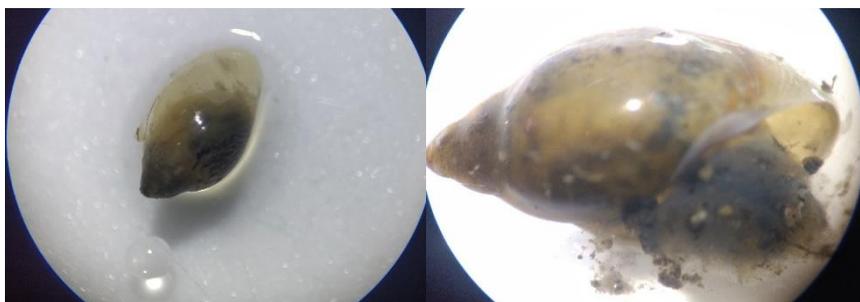
**Figura 44**

Familia Lumbricidae (adulto)

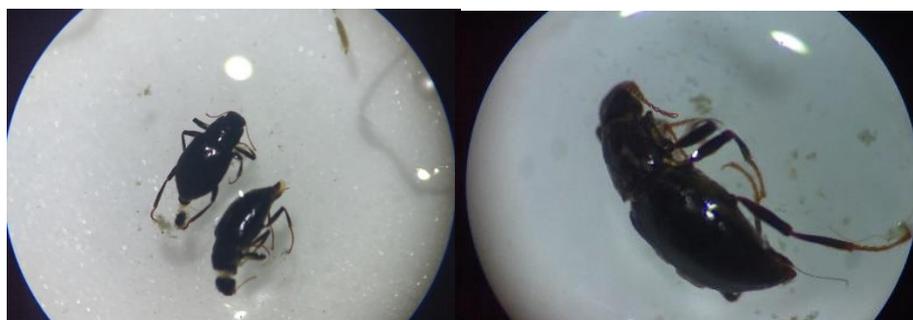


Figura 45

Familia Physidae (adulto)

**Figura 46**

Familia Elmidae (adulto)

**Figura 47**

Familia Corydalidae (larva)



Figura 48

Familia Perlidae (larva)

**Figura 49**

Familia Planariidae (adulto)

**Figura 50**

Familia Aeshnidae (larva)



ANEXO 3. Informes de ensayos del Laboratorio Regional del Agua

Figura 51

Resultados de parámetros fisicoquímicos de la época húmeda



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0320164

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS					
Código de la Muestra			P1	P2	P3	P4	P5	P6
Código Laboratorio			0320164-01	0320164-02	0320164-03	0320164-04	0320164-05	0320164-06
Matriz			NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Localización de la Muestra			Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	1.600	1.396	1.616	1.487	0.868	0.916
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	0.054	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	1.404	1.757	1.280	1.210	0.181	<LCM
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	0.070	7.810	6.597	6.850	6.630	7.406	10.224
Fosfato (PO ₄ ⁻³)	mg/L	0.032	0.065	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
pH a 25°C	pH	NA	8.18	8.31	8.24	8.12	8.17	8.33
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	337.0	338.0	338.0	341.0	301.0	310.0
(*) Dureza Total	mg/L	0.5	184.7	186.6	189.6	188.0	155.2	153.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
(*) Oxígeno Disuelto	mg O2/L	0.5	7.08	6.88	6.63	6.65	6.77	7.14

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS					
Código de la Muestra			P7	P8	-	-	-	-
Código Laboratorio			1020537-07	1020537-08	-	-	-	-
Matriz			NATURAL	NATURAL	-	-	-	-
Descripción			Superficial	Superficial	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	1.183	-	-	-	-	
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	-	-	-	
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	-	-	-	
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	<LCM	<LCM	-	-	-	
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	0.070	12.02	14.21	-	-	-	
Fosfato (PO ₄ ⁻³)	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	-	-	-	
pH a 25°C	pH	NA	8.11	8.24	-	-	-	
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	327.0	341.0	-	-	-	
(*) Dureza Total	mg/L	1.04	162.7	165.6	-	-	-	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	<LCM	<LCM	-	-	-	
(*) Oxígeno Disuelto	mg O2/L	0.5	6.96	6.9	-	-	-	

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 18 de Marzo de 2020.



Firmado digitalmente por LOPEZ LEON Freddy Humberto FAU
23453744163 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 05.11.2020 19:06:55 -05:00

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONDO: 599000 anexo 1140.

Figura 52

Resultados de parámetros físicoquímicos de la época seca



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 1020537

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS					
Código de la Muestra			P1	P2	P3	P4	P5	P6
Código Laboratorio			1020537-01	1020537-02	1020537-03	1020537-04	1020537-05	1020537-06
Matriz			NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Localización de la Muestra			Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	1.128	0.862	0.955	1.033	1.262	0.963
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	0.839	0.634	1.066	0.523	0.294	0.312
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	0.070	6.491	5.928	8.063	6.377	5.287	5.026
Fosfato (PO ₄ ⁻³)	mg/L	0.032	0.085	<LCM	0.133	<LCM	<LCM	<LCM
pH a 25°C	pH	NA	7.96	7.90	7.94	8.03	8.34	8.30
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	427.0	428.0	428.0	455.0	386.5	380.5
(*) Dureza Total	mg/L	0.5	252.9	177.7	296.4	189.2	174.1	168.7
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O ₂ /L	2.6	13.5	11.0	15.8	<LCM	<LCM	<LCM
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	5.69	5.65	5.45	5.26	6.12	6.54

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS					
Código de la Muestra			P7	P8	-	-	-	-
Código Laboratorio			1020537-07	1020537-08	-	-	-	-
Matriz			NATURAL	NATURAL	-	-	-	-
Descripción			Superficial	Superficial	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	Río chotano en el tramo Lajas - Cochabamba	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	0.547	0.881	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	0.253	0.266	-	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	0.070	5.822	6.511	-	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ⁻³)	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	-	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	8.22	8.12	-	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	394.5	418.5	-	-	-	-
(*) Dureza Total	mg/L	1.04	177.7	187.7	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O ₂ /L	2.6	<LCM	<LCM	-	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	6.23	6.16	-	-	-	-

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 05 de Noviembre de 2020.



Firmado digitalmente por LOPÉZ
LEON Freddy Humberto FAU
20453744168.pdf
Motivo: Soy el firmante
Fecha: 05.11.2020 19:06:55 -05:00

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail: laboratorio@regio-cajamarca.gob.pe / laboratorio@regio-cajamarca@hotmail.com FONO: 0599000 anexo 1540.

Página: 2 de 3

ANEXO 4. Macroinvertebrados recolectados en la época húmeda y seca

Tabla 14

Macroinvertebrados recolectados en la época húmeda por punto de monitoreo y repeticiones

Macroinvertebrados			P1			P2			P3			P4			P5			P6			P7			P8			Total
Orden	Familia	Clase	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
Diptera	Chironomidae	Insecta	14	11	9	15	8	9			12		16	4	3	2		14	11	8	43	3	6	10		8	206
Diptera	Ceratopogonidae	Insecta																								1	1
Trichoptera	Hydrobiosidae	Insecta	4		6			13	2	1	5							4					1				36
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Insecta	1				7				1							3			2	2					16
Ephemeroptera	Baetidae	Insecta			2																12	1	12	10	2		39
Lumbricina	Lumbricidae	Oligochaeta					5		5	10		1				2	3								3		29
Hemiptera	Naucoridae	Insecta							10	1	1	10			7	5	4	13	9	11		7					78
Basommatophora	Physidae	Gastropoda												5													5
Coleoptera	Elmidae	Insecta											7									6					13
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Insecta											3														3
Ephemeroptera	Baetidae	Insecta											5								4						9
Megaloptera	Corydalidae	Insecta													2												2
Total			19	11	17	15	20	22	17	12	19	11	31	9	12	9	7	27	27	23	49	24	10	22	10	14	437

Tabla 15*Macroinvertebrados recolectados en la época seca por punto de monitoreo y repeticiones*

Macroinvertebrados			P1			P2			P3			P4			P5			P6			P7			P8			Total	
Orden	Familia	Clase	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3		
Diptera	Chironomidae	Insecta	14	11	16	21	41	27	13	12			12	4	28	4	32	9	8	20	6		7	4	5		294	
Diptera	Tipulidae	Insecta														1			1							2		
Trichoptera	Hydrobiosidae	Insecta						8																		8		
Trichoptera	Hydropsychidae	Insecta	5	5	6	5	8	3	11		17															60		
Lumbricina	Lumbricidae	Oligochaeta		1	1						1								1	1						5		
Hemiptera	Naucoridae	Insecta								2			2				10		2	2	3	4	12		7	6	4	54
Hemiptera	Veliidae	Insecta																		6						6		
Basommatophora	Physidae	Gastropoda					5																	2	3	10		
Coleoptera	Elmidae	Insecta																						4	12	4	20	
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Insecta					6	5		15				2	6	4	6	7	17	3	3	8	12		5	99		
Megaloptera	Corydalidae	Insecta	5	4	2	3				5	8	1				2										30		
Plecoptera	Perlidae	Insecta	1	2						1	2	1	6													13		
Tricladida	Planariidae	Rhabditophora					3																			3		
Odonata	Aeshnidae	Insecta																		2						5	7	
Total			25	23	25	37	55	35	38	29	28	4	18	6	34	21	38	19	29	32	15	20	19	17	26	18	611	

ANEXO 5. Tablas para la asignación de puntajes en los índices bióticos

Tabla 16:

Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el Índice BMWP/Col (Roldán 2012)

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodi- dae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossossoma- tidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagri- nidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hy- draenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae,	2
Tubificidae	1

Tabla 17

Valores de Tolerancia ajustados para la aplicación del IBF (Hilsenhoff 1988)

Clase	Orden	Familia	Andean Biotic Index	Valores de tolerancia ajustados para aplicación del FBI	Clase	Orden	Familia	Andean Biotic Index	Valores de tolerancia ajustados para aplicación del FBI
Hydrozoa		Hydridae	10	0			Hydroptilidae	6	4
Turbellaria	Tricladia		5	5			Xiphocentronidae	8	2
Hynudinea			3	7			Hydrobiosidae	8	2
Oligoqueta		Tubificidae	1	9		Trichoptera	Glossosomatidae	7	3
		Ancylidae	6	4			Hydropsychidae	5	5
		Physidae	3	7			Anomalopsychidae	10	0
Gasteropoda		Hydrobiidae	3	7			Philopotamidae	8	2
		Limnaeidae	3	7			Limnephilidae	7	3
		Planorbidae	3	7		Lepidoptera	Pyralidae	4	6
		Sphaeriidae	3	7			Ptilodactylidae	5	5
Bivalvia		Hyriidae	3	7			Lampyridae	5	5
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	6	4			Psephenidae	5	5
Ostracoda			3	7			Scirtidae (Helodidae)	5	5
Acari	Hydracarina		4	6			Staphylinidae	3	7
		Baetidae	4	6		Coleoptera	Elmidae	5	5
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	10	0			Dryopidae	5	5
		Leptohyphidae	7	3			Gyrinidae	3	7
		Oligoneuridae	10	0			Dytiscidae	3	7
		Aeshnidae	6	4	Insecta		Hydrophilidae	3	7
		Gomphidae	8	2			Hydraenidae	5	5
	Odonata	Libellulidae	6	4			Athericidae	10	0
		Coenagrionidae	6	4			Blepharoceridae	10	0
		Calopterygidae	8	2			Simuliidae	5	5
		Polythoridae	10	0			Tabanidae	4	6
	Plecóptera	Perlidae	10	0			Tipulidae	5	5
		Gripopterygidae	10	0			Limoniidae	4	6
		Veliidae	5	5			Ceratopogonidae	4	6
		Gerridae	5	5			Dixidae	4	6
	Heteróptera	Corixidae	5	5			Psychodidae	3	7
		Notonectidae	5	5		Diptera	Dolichopodidae	4	6
		Belostomatidae	4	6			Stratiomyidae	4	6
		Naucoridae	5	5			Empididae	4	6
		Helicopsychidae	10	0			Chironomidae	2	8
		Calamoceratidae	10	0			Culicidae	2	8
	Trichóptera	Odontoceridae	10	0			Muscidae	2	8
		Leptoceridae	8	2			Ephydriidae	2	8
		Polycentropodidae	8	2			Syrphidae	1	9

ANEXO 6: Guía para la identificación de macroinvertebrados

Tabla 18

Principales órdenes y familias para la identificación de macroinvertebrados bentónicos

ORDEN	FAMILIAS	CARACTERISTICAS	HABITAT
Diptera	Chironomidae	La larva varía en tamaño, mide entre 2.0 y 30.0 mm; presentan cabeza capsulada, no retráctil y esclerotizada; el tórax y abdomen están fusionados, son alargados y cilíndricos.	Viven en aguas loticas y lenticas con abundante materia orgánica en descomposición. Algunos, viven en aguas muy contaminadas.
	Tipulidae	Miden 6.8 y 8.0 mm; los segmentos torácicos y abdominales son cortos y con manchas dorsales; el disco espiracular cuenta con cuatro lóbulos.	Viven sobre sustratos con mucho perifiton. Indicadores de aguas mesotroficas
	Ceratopogonidae	Miden entre 6.0 y 7.0 mm; el cuerpo es aplanado; pueden presentar o no setas esclerotizadas en el primer segmento torácico; tienen proyecciones en el tórax; poseen procesos laterales a lo largo del cuerpo.	Viven en aguas loticas adheridos a rocas emergentes.
Trichoptera	Hydropsychidae	Miden hasta 20.0 mm; el abdomen posee agallas formadas con base en un tallo central con filamentos laterales uniformes; el tórax es esclerotizado; el octavo segmento abdominal presenta un par de escleritos ventrales	Aguas corrientes con mucha vegetación toleran aguas con un poco de contaminación, fabrican casas en forma de red fuertemente adheridas a rocas para capturar alimento
	Hydrobiosidae	Miden entre 10.0 y 12.0 mm; las primeras patas son muy modificadas; las otras dos tienen escleritos en la base de la coxa	No construyen casas. Viven en aguas corrientes sobre material pedregoso.
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Miden entre 3.0 y 4.0 mm; las agallas del segundo segmento abdominal son triangulares y cubren las demás; el fémur de la primera pata presenta una hilera de setas largas; cuerpo a menudo cubierto de sedimentos	Viven en aguas lentas, en remansos debajo de troncos, hojas, piedras
	Leptophlebiidae	Miden 6.0 y 10.0 mm; agallas bifurcadas del primer al séptimo segmento y disminuyen progresivamente de tamaño; bordes laterales del labrum aguzados	Viven debajo de rocas, adheridos a la vegetación y entre residuos vegetales
	Baetidae	Miden entre 5.0 y 8.0 mm; agallas del primer al séptimo segmento abdominal, filamento terminal más corto y delgado que los cercos	Viven en aguas rápidas, debajo de troncos, rocas y adheridos a vegetación sumergida
Hemiptera	Veliidae	Miden entre 4.5 y 5.2 mm; cuerpo alargado; tarsos medios con una	Viven en aguas lenticas y en remansos de

		hendidura profunda y una estructura como un abanico con pelos plumosos que salen de ella	corrientes; nadan sobre la superficie del agua
	Naucoridae	Miden entre 9.0 y 11.0 mm; tienen forma oval y son de color caoba; bordes del pronoto aserrados	Viven en los sedimentos de ecosistemas loticos
Lumbricina	Lumbricidae	Cuerpo segmentado, sin ventosas. Con molleja. Con dos quetas por fascículo. Longitud mayor de 50 mm. Diámetro del cuerpo mayor de 2 mm	Viven en diferentes ambientes de aguas dulces, especialmente en el curso alto de ríos y arroyos
Basommatophora	Physidae	Conchas entre 9.0 y 12.3 mm de largo y entre 4.3 y 6.4 de ancho; de forma ovalada, delgadas, de color café, con cinco vueltas de salientes moderadas. La concha tiene a menudo incrustaciones negras en la espira que son depósitos de óxidos férricos	Se encuentran en todo tipo de aguas, pero con preferencia en aguas contaminadas
Coleoptera	Elmidae	Adultos: miden entre 5.6 y 10.1 mm; la antena cuenta con 11 segmentos; el pronoto es más ancho que largo y es estrecho en la parte anterior Larvas: miden aproximadamente 9.0 mm; tienen expansiones laterales amplias, cada una con numerosas setas; el abdomen presenta pleuritas	Viven en aguas loticas y ocasionalmente en aguas lenticas, debajo de troncos y hojas en descomposición
Megaloptera	Corydalidae	Miden entre 10.0 y 80.0 mm; son larvas muy grandes y llamativas; las mandíbulas son muy prominentes; tienen un par de propatas anales; las agallas abdominales son muy desarrolladas	Viven en aguas corrientes debajo de restos de vegetación, troncos, piedras y entre raíces de vegetación sumergida
Plecoptera	Perlidae	Miden entre 10.0 y 30.0 mm; poseen antenas muy largas; las agallas torácicas se localizan en la parte ventral; tienen dos cercis; poseen coloración amarillenta a café oscura	Viven sobre rocas, restos de vegetación, troncos sumergidos y fondos pedregosos
Tricladida	Planariidae	Miden 2.0 y 30.0 mm; se alimentan a través de un tubo retráctil llamado faringe	viven en aguas poco profundas debajo de piedras, troncos y sustratos similares.
Odonata	Aeshnidae	Miden entre 41.0 y 65.0 mm; lóbulo medio del labio con una espina adyacente a cada lado de la hendidura media; los márgenes posterolaterales de la cabeza son angulados	Viven en agua loticas con abundante vegetación

ANEXO 7: Claves de identificación taxonómica**Tabla 19***Claves de identificación (Fernández et al 2012)*

1a	Con apéndices articulados	Phylum Arthropoda, 10
2b	Sin apéndices articulados	2
2a	Con concha	Phylum Mollusca, 13
2b	Sin concha	3
3a	Cuerpo segmentado	4
3b	Cuerpo no segmentado	4
4a	Con cápsula cefálica	Phylum Arthropoda, 10
4b	Sin cápsula cefálica	Phylum Annelida, 32
5a	Organismos que viven adheridos a diferentes sustratos. Con textura esponjosa, poros y espículas	Phylum Porifera, Familia Spongillidae
5b	Sin estos caracteres	6
6a	Con tentáculos	7
6b	Sin tentáculos	8
7a	Solitarios. Sésiles o de vida libre. Pólipos cilíndricos, con los tentáculos rodeando la boca	Phylum Cnidaria, Clase Hydrozoa
7b	Colonias formadas por cierto número de zooides sésiles	Phylum Bryozoa
8a	Cuerpo deprimido	Phylum Platyhelminthes, Clase Turbellaria, 34
8b	Cuerpo cilíndrico	9
9a	Con más de 1 cm. Muy alargados, con forma de hebra. Extremo posterior del cuerpo con una cloaca donde desembocan los órganos sexuales	Phylum Nematomorpha, Familia Gordiidae
9b	Con menos de 1 cm. Forma alargada, con los extremos a lados. Algunos en forma de espiral	Phylum Nematoda
10a	Con tres pares de patas o sin patas	11
10b	Con más de tres pares de patas	12
11a	Con un par de antenas	Superclase Hexapoda, 37
11b	Sin antenas	Clase Arachnida, 50
12a	Con cuatro pares de patas. Sin antenas	Clase Arachnida, 50
12b	Con más de cuatro pares de patas. Dos pares de antenas	Subphylum Crustacea, 51
13a	Concha formada por dos piezas o valvas	Clase Bivalvia, 14
13b	Concha formada por una pieza	Clase Gastropoda, 20
14a	Aspecto de pequeño mejillón, con biso	15
14b	Aspecto de pequeña ostra o almeja, sin biso	16
15a	Valvas subcilíndricas, con el margen ventral recto o ligeramente arqueado, de color oscuro a veces con manchas blancas irregulares. Tamaño aproximado 4 cm	Familia Mytilidae

15b	Valvas triangulares con ambos bordes arqueados, con bandas amarillentas y pardo-oscuros en zigzag. Tamaño máximo 3 cm	Familia Dreissenidae	
16a	Valvas simétricas respecto al umbo. Tamaño máximo de 30 mm		17
16b	Valvas asimétricas respecto al umbo. Tamaño desde algunos mm (juveniles) hasta más de 150 mm (adultos)		18
17a	Ligamento interno	Familia Sphaeriidae	
17b	Ligamento externo protegido por un repliegue calcáreo que sobresale en cada valva	Familia Corbiculidae	
18a	Sin dientes cardinales en la charnela. Concha en general na	Familia Unionidae	
18b	Con dientes cardinales en la charnela. Concha en general gruesa		19
19a	Con un diente lateral posterior, poco aparente, en la valva izquierda. Concha bastante gruesa y pesada	Familia Margaritiferidae	
19b	Con dos dientes laterales posteriores, bien aparentes, en la valva izquierda. Concha no tan gruesa y pesada	Familia Unionidae	
20a	Opérculo presente		21
20b	Opérculo ausente		27
21a	Opérculo y abertura de la concha en forma de media luna	Familia Neritidae	
21b	Opérculo y abertura de la concha ovalados o redondeados		22
22a	Opérculo presente en la zona más exterior de la abertura de la concha		23
22b	Opérculo retraído en la primera espiral de la concha		24
23a	Concha con 2 o 3 bandas sombreadas en la última espiral	Familia Viviparidae	
23b	Concha sin bandas sombreadas	Familia Bithyniidae	
24a	Ombliigo abierto y abertura de la concha más o menos circular	Familia Valvatidae	
24b	Ombliigo cerrado y abertura de la concha ovalada		25
25a	Con escotadura basal en la abertura de la concha	Familia Melanopsidae	
25b	Sin escotadura basal en la abertura de la concha		26
26a	Abertura de la concha ovalada o sub elíptica. Tamaño máximo 10 mm	Familia Hydrobiidae	
26b	Abertura de la concha más estrecha y alargada. Tamaño máximo 20 mm	Familia Thiaridae	
27a	Concha con forma de gorro (tipo lapa)		28
27b	Concha enrollada en espiral		30
28a	Concha con forma ovalada, ápice recto y agudo	Familia Ancyliidae	
28b	Concha con forma alargada, ápice curvado		29
29a	Ápice de la concha agudo y dirigido hacia la izquierda	Familia Acroloxidae	

29b	Ápice de la concha romo y dirigido hacia la derecha	Familia Planorbidae, Género Ferrissia
30a	Concha enrollada en un solo plano	Familia Planorbidae
30b	Concha helicoidal	31
31a	Abertura de la concha hacia la derecha	Familia Lymnaeidae
31b	Abertura de la concha hacia la izquierda	Familia Physidae
32a	Cuerpo con ventosas	33
32b	Cuerpo sin ventosas	Clase Oligochaeta, 69
33a	Con una ventosa posterior. Sin ojos, de pequeño tamaño (inferior a 12 mm), ectoparásitos de crustáceos	Clase Branchiobdellea, Familia Branchiobdellidae
33b	Con dos ventosas, una anterior y otra posterior. Con ojos	Clase Hirudinea, 76
34a	Tamaño máximo 3 mm. Faringe simple o bulbosa	Microturbellaria
34b	Tamaño 5 - 35 mm. Faringe plegada	Orden Tricladida, 35
35a	Cabeza con borde frontal lobulado y ancho menor que el del cuerpo. Siempre con dos ojos	Familia Dendrocoelidae
35b	Cabeza con borde frontal de otra forma y ancho mayor o igual que el del cuerpo. Con dos o más ojos	36
36a	Cabeza con forma triangular (lanceolada o espatulada). Sin tentáculos. Con dos ojos	Familia Dugesiidae
36b	Cabeza sin forma triangular. Con o sin tentáculos. Con dos o más ojos	Familia Planariidae
37a	Con furca en el abdomen	Clase Collembola
37b	Sin furca en el abdomen	Clase Insecta, 38
38a	Con élitros (adultos)	Orden Coleoptera, 81
38b	Sin élitros	39
39a	Con ojos compuestos. Larvas bien desarrolladas con esbozos alares	40
39b	Con ojos simples. Larvas sin esbozos alares	43
40a	Con dos o tres cercos pluriarticulados en el abdomen	41
40b	Sin cercos pluriarticulados en el abdomen	42
41a	Patas con 2 uñas. Sin branquias abdominales laterales. Con 2 cercos en el abdomen	Orden Plecoptera, 98
41b	Patas con una uña. Con branquias abdominales laterales. Generalmente con 3 cercos en el abdomen	Orden Ephemeroptera, 104
42a	Aparato bucal con el labio modificado en una estructura denominada máscara	Orden Odonata, 115
42b	Aparato bucal de tipo picador-chupador. Sin máscara (Heteroptera)	Orden Hemiptera, 123
43a	Con patas arculadas	44
43b	Sin patas arculadas	49
44a	Larva parásita que fabrica un lamento respiratorio en el estuche de algunos tricópteros (Subf. Agriotypinae)	Orden Hymenoptera, Familia Ichneumonidae
44b	Sin estos caracteres	45

45a	Mandíbulas de longitud mucho mayor que la cabeza	Orden Neuroptera, 134
45b	Mandíbulas de longitud menor o igual a la de la cabeza	46
46a	Con cinco pares de pseudópodos abdominales	Orden Lepidoptera, Familia Pyralidae
46b	Sin pseudópodos abdominales	47
47a	Abdomen con un lamento caudal y con branquias laterales	Orden Megaloptera, Familia Sialidae
47b	Sin estos caracteres	48
48a	Abdomen con un par de uñas anales con forma de gancho	Orden Trichoptera, 135
48b	Abdomen sin uñas anales o con cuatro muy juntas (larvas)	Orden Coleoptera, 158
49a	Aspecto grueso y curvado con forma de "C", tipo melolontoide (larvas)	Orden Coleoptera, 158
49b	Con otro aspecto	Orden Diptera, 170
50a	Cuerpo claramente dividido en dos tagmas, separados por un pedicelo. Piezas bucales no agrupadas. Con cuatro pares de patas	Orden Aranei
50b	Cuerpo no dividido en dos tagmas, sin pedicelo. Piezas bucales agrupadas formando un cono bucal. Adultos con cuatro pares de patas, inmaduros con tres	Superorden Acariformes
51a	Cuerpo fuertemente deprimido, con caparazón dorsal. Apéndices cefálicos transformados en ganchos, ventosas y una probóscide succionadora. Ectoparásito de peces	Subclase Branchiura, Familia Argulidae
51b	Sin estos caracteres	52
52a	Aspecto de cangrejo o gamba. Cuerpo con 20 segmentos	53
52b	Aspecto variable. Cuerpo con número variable de segmentos	62
53a	Cuerpo con caparazón cefalotorácico	54
53b	Cuerpo sin caparazón cefalotorácico	58
54a	Deprimidos. Primer par de maxilípedos transformado en un quelípedo con fuertes pinzas	55
54b	Comprimidos. Sin quelípedo	57
55a	Primer segmento abdominal sin pleópodos en ambos sexos	Familia Parastacidae
55b	Primer segmento abdominal con pleópodos, en la hembra son vestigiales	56
56a	Suturas longitudinales del cefalotórax próximas y unidas en su mitad. Espinas del cefalotórax distribuidas por ambos lados de la sutura cervical	Familia Cambaridae
56b	Suturas longitudinales del cefalotórax separadas. Espinas del cefalotórax distribuidas por detrás de la sutura cervical	Familia Astacidae

57a	Rostro finamente serrado, con espinas pequeñas y una espina supraorbital. Quelas de los dos primeros pereiópodos similares en tamaño y con una franja de seda apicales al final	Familia Atyidae
57b	Rostro no serrado, con espinas grandes y sin espina supraorbital. Quela del segundo par de pereiópodos mayor que la del primero; sin franja de sedas apicales	Familia Palaemonidae
58a	Cuerpo deprimido	Familia Asellidae
58b	Cuerpo comprimido	59
59a	Antena II muy desarrollada	Familia Corophiidae
59b	Antena II poco desarrollada	60
60a	Flagelo de la antena I con 1-2 artejos. Sin ojos	Familia Niphargidae
60b	Flagelo de la antena I con 4-5 artejos. Con ojos	61
61a	Exopodito del 3° urópodo con espinas y sedas	Familia Gammaridae
61b	Exopodito del 3° urópodo con espinas y sin sedas	Familia Crangonycidae
62a	Con caparazón	63
62b	Sin caparazón	68
63a	Con caparazón en forma de escudo dorsal. Cuerpo con dos largos cercos pluriarticulados	Orden Notostraca
63b	Sin estos caracteres	64
64a	Caparazón bivalvo que cubre todo el cuerpo. Apéndices retraídos en el interior de las valvas	65
64b	Caparazón bivalvo que no cubre la cabeza. Antenas II grandes, no retraídas en el interior de las valvas. Superorden Cladocera	66
65a	Valvas con estrías de crecimiento concéntricas. Más de dos pares de pereiópodos	Orden Spinicaudata
65b	Valvas sin estrías de crecimiento. Dos pares de pereiópodos	Clase Ostracoda
66a	Cuatro pares de pereiópodos	Orden Onychopoda
66b	Más de cuatro pares de pereiópodos	67
67a	Seis pares de pereiópodos morfológicamente similares	Orden Ctenopoda
67b	Cinco pares de pereiópodos morfológicamente diferentes	Orden Anomopoda
68a	Con ojos compuestos pedunculados. Pereiópodos foliáceos	Orden Anostraca
68b	Sin ojos compuestos. Pereiópodos no foliáceos	Clase Copepoda
69a	Una o dos quetas por fascículo	70
69b	Más de dos quetas por fascículo	73
70a	Una queta por fascículo	Familia Haplotaxidae
70b	Dos quetas por fascículo	71
71a	Longitud 10-40 mm. Diámetro del cuerpo	Familia Lumbriculidae
71b	Longitud >50 mm. Diámetro del cuerpo >2 mm	72
72a	Con molleja	Familia Lumbricidae

72b	Sin molleja	Familia Sparganophilidae	
73a	Cuerpo con estrechamiento entre los segmentos, en forma de cadena. Con o sin ojos. En general, tamaño menor de 20 mm. Cuerpo translúcido o de color rosado	Familia Naididae	
73b	Cuerpo sin estrechamiento entre los segmentos. Sin ojos. En general, tamaño mayor de 20 mm. Cuerpo de color rojizo o blanquecino		74
74a	Cuerpo, generalmente, rojizo. Quetas de forma variable	Familia Tubificidae	
74b	Cuerpo, generalmente, blanquecino. Quetas simples, rectas o sigmoidales		75
75a	Con probóscide	Familia Propappidae	
75b	Sin probóscide	Familia Enchytraeidae	
76a	Cuerpo cilíndrico. Ventosa anterior (oral) más ancha que el cuerpo	Familia Piscicolidae	
76b	Cuerpo deprimido. Ventosa anterior menos ancha que el cuerpo		77
77a	1 a 3 pares de ojos en posición central	Familia Glossiphoniidae	
77b	Más de 3 pares de ojos		78
78a	Con 5 pares de ojos. Faringe con mandíbulas dentadas		79
78b	Con 4 pares de ojos. Faringe sin mandíbulas		80
79a	Mandíbulas con 15 dientes dispuestos en dos las. Faringe de longitud, aproximadamente, el doble que su diámetro. Abertura anal amplia. Anchura de la ventosa posterior mucho menor que la anchura máxima del cuerpo	Familia Haemopidae	
79b	Mandíbulas con 30 o más dientes dispuestos en una sola la. Faringe de longitud, aproximadamente, igual al diámetro. Abertura anal estrecha. Anchura de la ventosa posterior, aproximadamente $\frac{3}{4}$ de la anchura del cuerpo	Familia Hirudidae	
80a	Un par de ojos por segmento, dispuestos en dos las longitudinales centrales	Familia Glossiphoniidae	
80b	Dos pares de ojos por segmento, los posteriores en posición lateral	Familia Erpobdellidae	
81a	Metacoxas estrechas, no cubren los segmentos abdominales		82
81b	Metacoxas anchas, cubren los primeros segmentos abdominales		94
82a	Cabeza con rostro, sobre el que se encuentran las antenas	Familia Curculionidae	
82b	Cabeza sin rostro		83
83a	Tarsos con tres artejos		84
83b	Tarsos con cuatro o cinco artejos		85
84a	Élitros truncados en su parte posterior	Familia Hydroscaphidae	
84b	Élitros no truncados	Familia Sphaeriusidae	

85a	Tarsos con cuatro artejos, el tercero corto y bilobulado. Margen externo distal del élitro provisto de un fuerte den culo. Antenas largas y filiformes	Familia Chrysomelidae	
85b	Tarsos con cuatro o cinco artejos, el tercero alargado, nunca bilobulado. Margen externo distal del élitro sin den culo. Antenas con forma variada		86
86a	Antenas con los últimos artejos formando una maza		87
86b	Antenas de aspecto variable, nunca formando una maza		91
87a	Antenas de 8 a 9 artejos y maza pubescente de 5 segmentos	Familia Hydraenidae	
87b	Antenas de 6 a 9 artejos y maza pubescente de 3 segmentos		88
88a	Máxima anchura del pronoto en la región anterior o media		89
88b	Máxima anchura del pronoto en la base		90
89a	Pronoto con cinco surcos longitudinales	Familia Helophoridae	
89b	Pronoto sin cinco surcos longitudinales	Familia Hydrochidae	
90a	Prosterno cubierto por dos grandes placas formadas por la fusión de las coxas y los trocánteres	Familia Georissidae	
90b	Prosterno nunca cubierto por dos grandes placas	Familia Hydrophilidae	
91a	Tibias con fuertes espinas en el borde externo	Familia Heteroceridae	
91b	Tibias sin fuertes espinas en el borde externo		92
92a	Antenas cortas	Familia Dryopidae	
92b	Antenas largas		93
93a	Cuerpo redondeado. Super cie dorsal muy pubescente	Familia Limnichidae	
93b	Cuerpo alargado u oval. Super cie dorsal glabra	Familia Elmidae	
94a	Ojos divididos en dos partes, una dorsal y otra ventral. Tercer par de patas cortas y con forma de paleta. Antenas cortas	Familia Gyrinidae	
94b	Ojos no divididos. Tercer par de patas no transformadas en paleta. Antenas largas		95
95a	Metacoxas transformadas en grandes placas que cubren la mayor parte de los 3 primeros esternitos abdominales	Familia Haliplidae	
95b	Metacoxas nunca transformadas en placas		96
96a	Ojos prominentes. Cabeza separada del pronoto por un "cuello"	Familia Paelobiidae	
96b	Sin estos caracteres		97
97a	Apófisis metacoxales anchas, forman una V invertida distalmente	Familia Noteridae	
97b	Apófisis metacoxales estrechas con formas variables	Familia Dytiscidae	
98a	Labio con las glosas más pequeñas que las paraglosas		99
98b	Labio con las glosas y paraglosas de tamaño similar		101

99a	Tórax con traqueobranquias	Familia Perlidae	
99b	Tórax sin traqueobranquias		100
100a	Anchura del último artejo del palpo maxilar aproximadamente $\frac{1}{4}$ de la anchura del artejo precedente. Esbozos alares con márgenes externos redondeados	Familia Chloroperlidae	
100b	Anchura del último artejo del palpo maxilar aproximadamente la mitad de la anchura del artejo precedente. Esbozos alares con márgenes externos rec líneas	Familia Perlodidae	
101a	Artejos de los tarsos de longitud similar o progresivamente más largos, desde el primero hasta el último	Familia Taeniopterygidae	
101b	Segundo artejo de los tarsos más corto que los otros dos		102
102a	Tergos y esternos claramente separados en los nueve primeros segmentos abdominales	Familia Capniidae	
102b	Tergos y esternos claramente separados, como máximo, en los siete primeros segmentos abdominales		103
103a	Cuerpo robusto. Patas posteriores más largas que el abdomen. Esbozos alares divergentes respecto al eje longitudinal del cuerpo	Familia Nemouridae	
103b	Cuerpo alargado y delgado. Patas posteriores más cortas que el abdomen. Esbozos alares paralelos al eje longitudinal del cuerpo	Familia Leuctridae	
104a	Con caparazón que cubre el tórax y parte del abdomen	Familia Prosopistomatidae	
104b	Sin caparazón		105
105a	Branquias plumosas, bífidas		106
105b	Branquias no plumosas, simples, bífidas o multífidas		108
106a	Procesos mandibulares largos, sobrepasan la cabeza		107
106b	Procesos mandibulares cortos, nunca sobrepasan la cabeza	Familia Potamanthidae	
107a	Procesos mandibulares convergentes provistos de espinas	Familia Polymitarcyidae	
107b	Procesos mandibulares divergentes, sin espinas	Familia Ephemeridae	
108a	Ojos en posición dorsal. Cuerpo deprimido		109
108b	Ojos en posición latero-dorsal. Cuerpo no deprimido		110
109a	Cabeza triangular. Tibias de las patas I con una serie de sedas largas en el borde anterior	Familia Oligoneuriidae	
109b	Cabeza elíptica o trapezoidal, más ancha que larga. Tibias de las patas I sin sedas en el borde anterior	Familia Heptageniidae	
110a	Segundo par de branquias transformado en dos placas que cubren el resto de branquias	Familia Caenidae	

110b	Segundo par de branquias sin forma de placas	111
111a	Cercos con sedas en el margen interno	112
111b	Cercos con sedas en los márgenes interno y externo	114
112a	Ángulo posterior de los terguitos abdominales prolongado en un proceso a lado	113
112b	Ángulo posterior de los terguitos abdominales no prolongado en un proceso a lado	Familia Baetidae
113a	Fémur y tibia I con largas sedas. Maxilas con un mechón branquial en la base	Familia Isonychiidae
113b	Fémur y tibia I sin sedas. Maxilas sin mechón branquial	Familia Siphonuridae
114a	Cinco pares de branquias en posición dorsal. Branquias simples en forma de lámina	Familia Ephemerellidae
114b	Siete pares de branquias en posición lateral. Branquias simples bífidas o dobles de forma variada	Familia Leptophlebiidae
115a	Con lamelas caudales	116
115b	Sin lamelas caudales	119
116a	Artejo basal de la antena de tamaño mayor o igual que la suma del resto de artejos. Máscara con una abertura romboidal en el prementón	Familia Calopterygidae
116b	Artejo basal de la antena de tamaño similar al resto de artejos. Máscara sin abertura en el prementón	117
117a	Premetón con hendidura en el margen distal	Familia Lestidae
117b	Premetón sin hendidura en el margen distal	118
118a	Premetón dorsalmente con cuatro sedas dispuestas en una línea horizontal. Lamela caudal con extremidad afilada	Familia Platycnemididae
118b	Premetón dorsalmente con dos hileras de sedas dispuestas oblicuamente. Lamela caudal con extremidad roma	Familia Coenagrionidae
119a	Máscara aplanada	120
119b	Máscara cóncava, a modo de cuchara	121
120a	Antenas engrosadas con cuatro artejos	Familia Gomphidae
120b	Antenas filiformes con seis o siete artejos	Familia Aeshnidae
121a	Margen distal del palpo labial con dientes fuertes y agudos	Familia Cordulegastridae
121b	Margen distal del palpo labial con dientes romos y reducidos	122
122a	Cercos más largos que la mitad de la longitud de los paraproctos	Familia Corduliidae
122b	Cercos más cortos que la mitad de la longitud de los paraproctos	Familia Libellulidae
123a	Antenas de longitud mayor que la cabeza	124
123b	Antenas de longitud menor que la cabeza	128

124a	Cabeza muy alargada. Ojos situados en la zona media de la cabeza, alejados del pronoto	Familia Hydrometridae	
124b	Cabeza corta y triangular. Ojos situados en la base de la cabeza, cerca del pronoto		125
125a	Antenas de cinco antenómeros. Tarsos de dos tarsómeros. Búculas bien desarrolladas, cubren la base del rostro	Familia Hebridae	
125b	Antenas de cuatro antenómeros. Tarsos de tres tarsómeros. Búculas poco desarrolladas		126
126a	Mesoesterno alargado, de tal manera que las coxas medias están mucho más cerca de las posteriores que de las anteriores	Familia Gerridae	
126b	Mesoesterno corto, coxas medias equidistantes de las anteriores y de las posteriores		127
127a	Coxas medias convergentes hacia el eje central del cuerpo. Uñas con inserción apical	Familia Mesoveliidae	
127b	Coxas medias paralelas al eje central del cuerpo. Uñas con inserción subapical	Familia Veliidae	
128a	Abdomen con un sifón respiratorio	Familia Nepidae	
128b	Abdomen sin sifón respiratorio		129
129a	Con ocelos. Rostro alargado	Familia Ochteridae	
129b	Sin ocelos. Rostro generalmente corto, alargado en Aphelocheiridae		130
130a	Patas anteriores con los fémures muy ensanchados	Familia Naucoridae	
130b	Patas anteriores con los fémures no ensanchados		131
131a	Rostro muy largo, sobrepasa la inserción de las coxas medias	Familia Aphelocheiridae	
131b	Rostro corto, nunca alcanza la inserción de las coxas medias		132
132a	Patas anteriores con los tarsos modificados en paletas natatorias. Rostro ancho, no segmentado, de aspecto triangular.	Familia Corixidae	
132b	Patas anteriores con los tarsos no modificados. Rostro estrecho, con cuatro artejos bien definidos		133
133a	Cuerpo corto y comprimido, de aspecto abombado. Tamaño igual o menor a 3 mm	Familia Pleidae	
133b	Cuerpo alargado, no comprimido. Tamaño superior a 8 mm	Familia Notonectidae	
134a	Antenas más cortas que los estiletes maxilo-mandibulares. Sin branquias ventrales en el abdomen	Familia Osmylidae	
134b	Antenas más largas que los estiletes maxilo-mandibulare. Con branquias ventrales en el abdomen	Familia Sisyridae	
135a	Uñas anales con forma de peine curvado. Larva con estuche de granos de arena y forma de caracol	Familia Helicopsychidae	

135b	Uñas anales con forma de garfio. Larva sin estuche o con estuche de formas variadas		136
136a	Metanoto totalmente esclerotizado		137
136b	Metanoto membranoso o con pequeños escleritos aislados		139
137a	Con branquias abdominales ventrales	Familia Hydropsychidae	
137b	Sin branquias abdominales ventrales		138
138a	Segmento abdominal IX con un esclerito dorsal. Con estuche de morfología variada	Familia Hydroptilidae	
138b	Segmento abdominal IX membranoso, sin esclerito dorsal. Sin estuche	Familia Ecnomidae	
139a	Mesonoto membranoso o con dos pequeños escleritos aislados		140
139b	Mesonoto totalmente esclerotizado		146
140a	Primer segmento abdominal con protuberancias		141
140b	Primer segmento abdominal sin protuberancias		142
141a	Meso y metanoto con largas sedas. Estuche formado por elementos minerales	Familia Sericostomatidae	
141b	Meso y metanoto sin sedas. Estuche formado por elementos vegetales	Familia Phryganeidae	
142a	Segmento abdominal IX con una placa dorsal esclerotizada		143
142b	Segmento abdominal IX membranoso		144
143a	Apéndices anales largos y robustos, con uñas fuertes y prominentes. Sin estuche	Familia Rhyacophilidae	
143b	Apéndices anales cortos, con uñas pequeñas. Con estuche	Familia Glossosomatidae	
144a	Patas con uñas largas y arqueadas. Protrocanthin con el extremo anterior acuminado	Familia Polycentropodidae	
144b	Patas con uñas cortas. Protrocanthin con otro aspecto		145
145a	Primer par de patas similar a las demás. Protrocanthin con el extremo anterior redondeado	Familia Philopotamidae	
145b	Primer par de patas más gruesas que las demás. Protrocanthin aplanado y corto, en forma de paleta	Familia Psychomyiidae	
146a	Metanoto con escleritos		147
146b	Metanoto membranoso, sin escleritos		154
147a	Primer segmento abdominal sin protuberancia	Familia Brachycentridae	
147b	Primer segmento abdominal con 2 protuberancias laterales o con 3 (1 dorsal y 2 laterales)		148
148a	Mesonoto con 4 a 6 escleritos		149
148b	Mesonoto con 2 escleritos		150
149a	Borde anterior del pronoto con prolongaciones laterales. Estuche formado por elementos minerales, con refuerzos laterales	Familia Goeridae	

149b	Borde anterior del pronoto sin prolongaciones laterales. Estuche formado por elementos minerales, en forma de lapa	Familia Uenoidea	
150a	Primer segmento abdominal con 2 protuberancias laterales	Familia Lepidostomatidae	
150b	Primer segmento abdominal con 3 protuberancias (1 dorsal y 2 laterales)		151
151a	Metanoto con 4 escleritos, 2 medianos transversales y 2 laterales	Familia Odontoceridae	
151b	Metanoto con escleritos en disposición diferente		152
152a	Pronoto con el borde anterolateral en punta	Familia Calamocera dae	
152b	Pronoto con el borde anterolateral redondeado		153
153a	Metanoto con dos escleritos anteromedianos, sin sedas	Familia Limnephilidae	
153b	Metanoto sin escleritos anteromedianos, con una la transversal de sedas	Familia Apataniidae	
154a	Pronoto con una carena transversal en el borde anterolateral	Familia Beraeidae	
154b	Pronoto sin carena		155
155a	Uñas del tercer par de patas, con sedas, muy a ladas o menores que las uñas de las demás patas	Familia Molannidae	
155b	Uñas del tercer par de patas, sin sedas, similar a las uñas de las demás patas		156
156a	Trocater de longitud similar a la del fémur. Articulación entre el trocater y el fémur con una pieza femoral proximal	Familia Leptoceridae	
156b	Trocater de 2 a 3 veces más corto que el fémur. Articulación entre el trocater y el fémur sin pieza femoral proximal		157
157a	Uñas del tercer par de patas más largas que el tarso (género Beraeodes)	Familia Beraeidae	
157b	Uñas del tercer par de patas tan largas como el tarso	Familia Sericostomadae	
158a	Sin patas	Familia Curculionidae	
158b	Con patas		159
159a	Aspecto grueso y curvado con forma de "C", tipo melolontoide. Con diez segmentos abdominales. Con uñas o ganchos estigma cos sobre el segmento abdominal VIII	Familia Chrysomelidae	
159b	Aspecto delgado y alargado. Número variable de segmentos abdominales		160
160a	Patas con cinco artejos		161
160b	Patas con cuatro artejos		165
161a	Patas con una uña	Familia Haliplidae	
161b	Patas con dos uñas		162
162a	Con branquias		163
162b	Sin branquias		164

163a	Branquias abdominales en posición lateral. Con cuatro uñas anales	Familia Gyrinidae
163b	Branquias torácicas y abdominales en posición ventral. Sin uñas anales	Familia Paelobiidae
164a	Mandíbulas largas, estrechas, arqueadas y con un canal	Familia Dyscidae
164b	Mandíbulas cortas, anchas y sin canal	Familia Noteridae
165a	Abdomen con ocho segmentos	166
165b	Abdomen con nueve o diez segmentos	167
166a	Antenas muy largas, sobrepasan la cabeza	Familia Scirtidae
166b	Antenas muy cortas, no sobrepasan la cabeza	Familia Hydrophilidae
167a	Abdomen con diez segmentos	Familia Hydroscaphidae
167b	Abdomen con nueve segmentos	168
168a	Cabeza oculta, no visible dorsalmente. Cuerpo deprimido	Familia Psephenidae
168b	Cabeza visible dorsalmente	169
169a	Con branquias anales (a veces retraídas bajo el opérculo). Último segmento abdominal más largo que ancho, triangular y escotado	Familia Elmidae
169b	Sin branquias anales. Último segmento abdominal tan largo como ancho, redondeado y entero	Familia Dryopidae
170a	Cápsula cefálica bien esclerotizada y definida, no retráctil (larvas eucéfalas)	171
170b	Cápsula cefálica no definida, retráctil en el tórax (larvas hemicéfalas o acéfalas)	184
171a	Con 6 ventosas ventrales y 6 pares de uñas	Familia Blephariceridae
171b	Sin estos caracteres	172
172a	Con pseudópodos	173
172b	Sin pseudópodos	178
173a	Con pseudópodos en los segmentos abdominales I y II. Extremo caudal con un sifón quitinizado y dos placas con sedas	Familia Dixidae
173b	Pseudópodos torácicos y/o anales	174
174a	Con pseudópodos anales	175
174b	Sin pseudópodos anales	Familia Simuliidae
175a	Con pseudópodos torácicos	176
175b	Sin pseudópodos torácicos (Subf. Dasyheleinae)	Familia Ceratopogonidae
176a	Cuerpo con protuberancias espinosas (Subf. Foreypomyinae)	Familia Ceratopogonidae
176b	Cuerpo sin protuberancias espinosas	177
177a	Cápsula cefálica con protuberancias	Familia Thaumaleidae
177b	Cápsula cefálica sin protuberancias	Familia Chironomidae
178a	Tórax engrosado, sin segmentación aparente	179
178b	Tórax no engrosado, con segmentación definida	180

179a	Antenas en posición vertical con respecto a la cabeza, terminadas en largas sedas. A veces con órganos hidrostáticos en el tórax y al final del abdomen	Familia Chaoboridae
179b	Antenas en posición horizontal con respecto a la cabeza	Familia Culicidae
180a	Extremo caudal con un sifón respiratorio alargado y dos branquias	Familia Ptychopteridae
180b	Sin estos caracteres	181
181a	Cápsula cefálica no totalmente esclerificada (Subf. Leptoconopinae)	Familia Ceratopogonidae
181b	Cápsula cefálica totalmente esclerificada	182
182a	Cuerpo cilíndrico, liforme. Segmentos más largos que anchos (Subf. Ceratopogoninae)	Familia Ceratopogonidae
182b	Cuerpo deprimido	183
183a	Con 14 o más segmentos postcefálicos. Con placas dorsales quitinizadas	Familia Psychodidae
183b	Con 11 segmentos postcefálicos. Sin placas dorsales	Familia Straomyidae
184a	Mandíbulas en forma de pinza, en disposición horizontal con respecto a la cabeza	185
184b	Mandíbulas en forma de gancho, en disposición vertical con respecto a la cabeza	187
185a	Cuerpo con numerosas expansiones cuticulares alargadas, bifidas o dentadas	Familia Cylindrotomidae
185b	Sin estos caracteres	186
186a	Disco espiracular con 6 o más lóbulos	Familia Tipulidae
186b	Disco espiracular con menos de 6 lóbulos	Familia Limoniidae
187a	Con sifón respiratorio más o menos desarrollado	188
187b	Sin sifón respiratorio	190
188a	Sifón respiratorio muy alargado de forma telescópica	Familia Syrphidae
188b	Sifón respiratorio corto	189
189a	Sifón respiratorio con la extremidad terminal bifida. Con pseudópodos ventrales	Familia Ephydriidae
189b	Sifón respiratorio con la extremidad terminal no bifida. Con pseudópodos distribuidos por todo el cuerpo	Familia Tabanidae
190a	Con pseudópodos	191
190b	Sin pseudópodos, con otras estructuras locomotoras	192
191a	Extremo caudal con prolongaciones (1 ó 5 pares) más largas que el último par de pseudópodos	Familia Athericidae
191b	Extremo caudal sin prolongaciones o con prolongaciones más cortas que el último par de pseudópodos	Familia Empididae
192a	Extremo caudal con cuatro prolongaciones curvadas hacia la cabeza	Familia Anthomyiidae
192b	Sin estos caracteres	193

193a	Extremo caudal con espiráculos rodeados de lóbulos y sedas ramificadas	Familia Sciomyzidae
193b	Sin estos caracteres	194
194a	Sin lóbulos. Con espiráculos sobre la super cie del último segmento abdominal o sobre cortos procesos	Familia Scathophagidae
194b	Con cuatro lóbulos, formando una concavidad en la que se localizan los espiráculos	195
195a	Lóbulos cónicos, los ventrales más desarrollados que los dorsales y terminados en punta. Cuerpo con estrías longitudinales	Familia Dolichopodidae
195b	Lóbulos foliáceos, de tamaño similar. Cuerpo con dos repliegues longitudinales laterales	Familia Rhagionidae