



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

INFORME FINAL DE TESIS

**Variabilidad espacial de la comunidad de
macroinvertebrados bentónicos acuáticos en un
gradiente longitudinal del río Chotano - 2019**

ÁREA

CIENCIAS AMBIENTALES

LÍNEA

CALIDAD AMBIENTAL

AUTOR

CARRANZA RIVERA ELVIS ALDAIR

ASESOR Y COASESOR

DR. CHÁVEZ SANTA CRUZ GUILLERMO ALEJANDRO

MG. HIPÓLITO MURGA ORRILLO

CHOTA – PERÚ

2020



M. Sc. Hipólito Murga Orrillo
JEFE DE LA OFICINA GENERAL DE INVESTIGACIÓN
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Universidad Nacional Autónoma de Chota
Dr. Guillermo A. Chávez Santa Cruz
Sub Coordinador
Departamento Académico de Ciencias Ambientales

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 04 -2020/EPIFA/UNACH

Siendo las 15:20 horas, del día 28 de octubre de 2020, en video conferencia del aplicativo Meet Google, los miembros del Jurado de Tesis titulada: “Variabilidad espacial de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos acuáticos en un gradiente longitudinal del río Chotano -2019”, integrado por:


1. M Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito Presidente
2. Mg. Maryuri Yohana Vega Eras Secretario
3. Dr. Pedro Javier Mansilla Córdova Vocal

Sustentada por el Bach. Elvis Aldair Carranza Rivera, con la finalidad de obtener el Título Profesional en Ing. Forestal y Ambiental.

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda APROBAR la tesis, calificándola con la nota de: 14 (CATORCE), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el GRADO DE INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

Firmado en: Chota, 28 de octubre del 2020.


.....
Presidente


.....
Secretario


.....
Vocal

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar hasta este momento, haberme dado salud y su gracia en cada momento.

A mi familia por ese apoyo incondicional y ser motor de mi emprendimiento.

A mi padre y hermano por ser mi pilar fundamental de apoyo y sustento durante mi formación académica.

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme la vida y sus bendiciones.

A mi padre Segundo Alejandro Carranza Vásquez quien es mi modelo de lucha y persistencia, por su apoyo, comprensión y paciencia dado en todo momento de mi vida. A mi hermano Yerson por ser quién me impulsa a seguir adelante.

También quiero honrar y dedicar este trabajo a la memoria de mi madre, con todo mi amor y gratitud.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I.....	3
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes	5
2.1.1. A nivel mundial.....	5
2.1.2. A nivel nacional	8
2.1.3. A nivel regional.....	11
2.2. Bases teóricas.....	14
2.2.1. Calidad del agua.....	14
2.2.2. Los macroinvertebrados como bioindicadores	14
2.2.3. Macroinvertebrados bentónicos acuáticos como indicadores de la calidad ambiental.....	15
2.2.4. Los macroinvertebrados y su importancia en las redes tróficas	17
2.2.5. Los índices bióticos como métodos de muestreo de macroinvertebrados	17
2.2.5.1. Los índices bióticos.....	17
2.2.6. Macroinvertebrados y su uso en índices bióticos	19
2.2.7. Índice biótico andino (IBA).....	20
2.3. Marco conceptual.....	23
2.3.1. Macroinvertebrados acuáticos	23
2.3.2. Macroinvertebrados bentónicos	23
2.3.3. Comunidad de macroinvertebrados acuáticos	24
2.3.4. Bioindicador.....	24
2.3.5. Variabilidad espacial de macroinvertebrados	24
2.3.6. Índices de calidad del agua	25
2.3.7. Estándar de calidad ambiental para agua	25
2.3.8. Parámetro	26
2.3.9. Indicadores fisicoquímicos	26
2.3.9.1. pH.....	26

2.3.9.2. Temperatura	26
2.3.9.3. Conductividad	27
2.3.9.4. Nitratos.....	27
2.3.9.5. Caudal	27
CAPÍTULO III.....	29
MARCO METODOLÓGICO	29
3.1. Ubicación	29
3.2. Población y muestra.....	30
3.2.1. Población.....	30
3.2.2. Muestra	30
3.3. Equipos, materiales e insumos	31
3.4. Metodología de la investigación	32
3.5. Recolección de datos.....	33
3.5.1. Etapa pre – campo.....	33
3.5.1.1. Recolección de información	33
3.5.1.2. Identificación del área de estudio y estaciones de muestreo.....	33
- Chota.....	35
- Lajas.....	35
- Cochabamba.....	36
3.5.2. Etapa de campo	37
3.5.2.1. Toma de muestras de macroinvertebrados y datos fisicoquímicos.....	37
3.5.3. Etapa de gabinete	39
3.5.3.1. Identificación de especies	39
3.6. Análisis estadístico.....	40
CAPÍTULO IV	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. Resultados.....	41
4.1.1. Determinación de macroinvertebrados presentes en las estaciones de muestreo del río Chotano.....	41
4.1.2. Familias encontradas por estación de muestreo.....	44
4.1.3. Análisis de las familias de macroinvertebrados en función al índice biótico andino (IBA).	49

4.1.4. Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos.	51
4.1.4.1. Temperatura	52
4.1.4.2. Ph	53
4.1.4.3. Conductividad	55
4.1.4.4. Nitratos.....	56
4.1.4.5. Caudal	57
4.1.5. Correlación entre la cantidad de familias identificadas y parámetros fisicoquímicos analizados.	60
4.2. Discusión.....	65
4.2.1. Variabilidad espacial de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un gradiente longitudinal del río Chotano.	65
4.2.2. Índice biótico andino (IBA)	67
4.2.3. Parámetros físico-químicos.....	70
CAPÍTULO V	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
5.1. Conclusiones	73
5.2. Recomendaciones	75
CAPÍTULO VI.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
CAPÍTULO VII	82
ANEXOS.....	82
ANEXO 1: Resultado de familias de macroinvertebrados presentes en las estaciones de muestreo del río Chotano.	82
ANEXO 2: Familias de macroinvertebrados.	84
ANEXO 3: Ficha rápida de identificación de algunos especímenes de macroinvertebrados bentónicos acuáticos.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Macroinvertebrados acuáticos indicadores de buena calidad del agua.....	16
Tabla 2 Métodos de muestreo que en la actualidad se usan para medir la calidad biológica mediante macroinvertebrados.	18
Tabla 3 Puntuaciones del índice biótico andino para las familias de macroinvertebrados acuáticos de los andes tropicales distribuidos desde los 2000 m s. n. m., hasta el límite de las nieves perpetuas.	21
Tabla 4 Macroinvertebrados acuáticos indicadores de calidad de aguas, presentes en distintas calidades de aguas: mala, regular y buena calidad.	22
Tabla 5 Equipos, materiales e insumos utilizados en este proyecto.	31
Tabla 6 Localización de las estaciones de muestreo en el río Chotano, tramo Chota – Cochabamba, elevación y coordenadas UTM.	33
Tabla 7 Total de macroinvertebrados encontrados en los tres muestreos en el río Chotano. .	41
Tabla 8 Porcentaje del nivel orden por clase del total de macroinvertebrados encontrados en todas las estaciones de muestreo del río Chotano en los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2019.....	43
Tabla 9 Número de familias encontradas por estación de muestreo en cada uno de los tres muestreos.	43
Tabla 10 Especies encontradas en la estación de muestreo número uno – EM1.....	44
Tabla 11 Especies encontradas en la estación de muestreo número dos – EM2.	45
Tabla 12 Especies encontradas en la estación de muestreo número tres – EM3.	46
Tabla 13 Especies encontradas en la estación de muestreo número cuatro – EM4.....	46
Tabla 14 Especies encontradas en la estación de muestreo número cinco – EM5.	47
Tabla 15 Especies encontradas en la estación de muestreo número seis – EM6.....	48
Tabla 16 Especies encontradas en la estación de muestreo número siete – EM7.....	48

Tabla 17 Valoración del índice biótico andino (IBA).	49
Tabla 18 Puntuación obtenida por estación de muestreo en función al índice biótico andino (IBA).	49
Tabla 19 Resultados del análisis en laboratorio de nitratos en las siete estaciones de muestreo durante los tres muestreos septiembre, octubre y noviembre respectivamente.	56
Tabla 20 Cantidad de familias identificadas y parámetros fisicoquímicos analizados en cada estación de muestreo del Río Chotano (tramo Chota - Cochabamba).	60
Tabla 21 Coeficientes de correlación entre la cantidad de familias identificadas y parámetros fisicoquímicos analizados de cada punto de muestreo del río Chotano (tramo Chota - Cochabamba).	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tramo del río Chotano, desde la Provincia de Chota hasta el distrito de Cochabamba, con las distintas estaciones de muestreo.	30
Figura 2. Tres primeras estaciones de muestreo del río Chotano, localizadas cerca del cementerio San Juan en el distrito de Chota.	35
Figura 3. Estaciones de muestreo 4 y 5 del río Chotano, localizadas en el distrito de Lajas.	36
Figura 4. Estaciones de muestreo 6 y 7 del río Chotano, localizadas en el distrito de Cochabamba.	37
Figura 5. Recolección de muestras de macroinvertebrados en el río Chotano utilizando la red D-net.	38
Figura 6. Toma de datos de parámetros fisicoquímicos utilizando el equipo multiparámetro y medición de la velocidad de la corriente del río utilizando un correntómetro.	39
Figura 7. Muestra para análisis de nitratos en el laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH).	40
Figura 8. Número de familias encontradas por cada estación de muestreo del río Chotano en los meses septiembre, octubre y noviembre del 2019.	42
Figura 9. Resultados de las puntuaciones de macroinvertebrados por cada estación de muestreo en función al índice biótico andino (IBA).	50
Figura 10. Registro de la temperatura de los meses de septiembre, octubre y noviembre, de las siete estaciones de muestreo.	52

Figura 11. Registro de la temperatura promedio de los meses de septiembre, octubre y noviembre, de las siete estaciones de muestreo.	53
Figura 12. Registro de pH en las siete estaciones de muestreo durante los tres meses de muestreo.	53
Figura 13. Registro del potencial de hidrógeno (pH) promedio de los meses de septiembre, octubre y noviembre, de las siete estaciones de muestreo.	54
Figura 14. Registro de conductividad en las siete estaciones durante los tres meses de muestreo.	55
Figura 15. Registro de conductividad promedio de los meses de septiembre, octubre y noviembre, de las siete estaciones de muestreo.	56
Figura 16. Resultados del promedio de nitratos de los meses de septiembre, octubre y noviembre, de las siete estaciones de muestreo.	57
Figura 17. Caudal registrado durante el primer muestreo correspondiente al mes de septiembre en las siete estaciones de muestreo.	57
Figura 18. Caudal registrado durante el segundo muestreo correspondiente al mes de octubre en las siete estaciones de muestreo.	58
Figura 19. Caudal registrado durante el tercer muestreo correspondiente al mes de noviembre en las siete estaciones de muestreo.	58
Figura 20. Fluctuación del caudal durante los tres meses de muestreo (septiembre, octubre y noviembre), en las siete estaciones.	59

Figura 21. Resultados del promedio del caudal de los meses de septiembre, octubre y noviembre, de las siete estaciones de muestreo.	59
Figura 22. Correlación entre el número de familias identificadas y la temperatura (°C).	61
Figura 23. Correlación entre el número de familias y potencial de hidrógeno (pH).	62
Figura 24. Correlación entre el número de familias y la conductividad (μS/cm).....	63
Figura 25. Correlación entre el número de familias y los nitratos (Mg/L).	64

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es determinar la variabilidad espacial de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un gradiente longitudinal del río Chotano. Se estudiaron todos los especímenes de macroinvertebrados bentónicos capturados en este río (tramo Chota - Cochabamba) hasta el nivel taxonómico de familia y género en siete estaciones de muestreo; para el análisis de calidad de agua de las familias de macroinvertebrados identificadas se hizo uso del “Índice Biológico Andino” (IBA); también, se analizó parámetros fisicoquímicos como: temperatura, nitratos, pH, caudal y conductividad para un mejor análisis integrado de la calidad del agua. En cada punto de muestreo se evidenció un notable cambio en las estructuras de las comunidades de macroinvertebrados, esto debido a la disminución de la calidad del agua, encontrándose un total de cuatro (4) phylum, cuatro (4) clases, once (11) órdenes, diecinueve (19) familias y veinte (20) géneros, de igual manera las variables fisicoquímicas también presentan notables cambios en los diferentes puntos de muestreo, existiendo una fuerte relación entre la abundancia relativa de familias y géneros de macroinvertebrados y variables fisicoquímicas analizadas.

Palabras clave: bioindicador, índice biológico, calidad de agua, parámetros fisicoquímicos.

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the spatial variability of the benthic macroinvertebrate community at an longitudinal gradient of the Chotano River. All specimens of benthic macroinvertebrates captured in this river (Chota - Cochabamba section) were studied up to the taxonomic level of family and genus at seven sampling stations; for the water quality analysis of identified macroinvertebrate families, the "Andean Biological Index" (IBA) was used; also, physicochemical parameters such as temperature, nitrates, pH, flow and conductivity were analyzed for better integrated analysis of water quality. At each sampling point there was a marked change in the structures of macroinvertebrate communities, this due to the decrease in water quality, with a total of four (4) phylum, four (4) classes, eleven (11) orders, nineteen (19) families and twenty (20) genera, similarly physicochemical variables also exhibit notable changes in the different sampling points , there is a strong relationship between the relative abundance of families and genera of macroinvertebrates and physicochemical variables analyzed.

Keywords: bioindicator, biological index, water quality, physicochemical parameters.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A pesar de la gran extensión que tiene la cordillera de los andes sudamericanos y de las investigaciones que se han hecho sobre las características de los macroinvertebrados acuáticos en diferentes zonas longitudinales y altitudinales de los ríos en estas zonas con sus respectivas características dinámicas fluviales, todavía son escasos (Acosta Rivas, 2009). Probablemente las regiones andinas mejor estudiadas, en relación a las comunidades de macroinvertebrados, sean los andes de países como Perú, Ecuador, Chile y Argentina.

Acosta Rivas (2009), a pesar de todos los estudios presentados, en los andes es imposible tener poca diversidad biológica y es más que posible tener una extensa y variada diversidad. La variedad de familias de macroinvertebrados acuáticos que actualmente se observa, está influenciada por factores regionales como la altitud (Hoorn, como se citó en Acosta Rivas, 2009), la importación y exportación de especies faunísticos acuáticos, entre otros; produciendo interacción de dos factores tanto regionales como locales siendo resaltados como parte fundamental en estudios recientes (Bonada, como se citó en Acosta Rivas, 2009). La variedad de macroinvertebrados están influenciados y modificados por elementos propios de cada sistema acuático, entre ellos tenemos a las características fisicoquímicas de cada sistema fluvial, el uso de tierra y la diversidad vegetativa de las riberas de los ríos.

Hasta el momento, las investigaciones realizadas en los andes del norte y centro con los estudios realizados en ríos templados o tropicales de llanuras, coinciden en destacar una relativa pobreza de taxa cada ciertas longitudes e incremento de altitud, reconociéndose de esta manera que el gradiente longitudinal y altitudinal influyen en la distribución de los individuos de macroinvertebrados de los andes tanto del norte y centro, aunque hasta el

momento no se tiene una explicación como la altitud actúa sobre los macroinvertebrados acuáticos (Acosta Rivas, 2009). También se considera dos factores claves adicionales a los mencionados anteriormente como la temperatura y la presión parcial de oxígeno quienes estarían influenciando la variabilidad de macroinvertebrados acuáticos en los distintos ecosistemas fluviales (Jacobsen, como se cita en Acosta Rivas, 2009).

El presente estudio tiene por objetivos: Determinar la variabilidad espacial de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un gradiente longitudinal del río Chotano, diagnosticar la variabilidad de macroinvertebrados bentónicos presentes en cada estación de muestreo, analizar las familias de macroinvertebrados bentónicos que presenta el río Chotano en las distintas estaciones de muestreo en función al índice biótico andino (IBA) y evaluar parámetros como temperatura, nitratos, pH, caudal y conductividad. Asimismo se plantea la siguiente hipótesis “Al determinar macroinvertebrados bentónicos a través del Índice Biótico Andino (ABI) conoceremos su variabilidad en un gradiente longitudinal del río Chotano”.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel mundial

Machado Zúñiga *et al.* (2018), analizaron la calidad del ecosistema acuático del río Sardinas en relación a su abundancia, riqueza, índices BMWP/Col, EPT y cómo influyen ciertos parámetros físico-químicos mediante un PCA (análisis de componentes principales). Consideraron 5 puntos de muestreo, distanciados uno del otro 200 m. Este estudio lo realizaron en dos fases: la primera en establecer y definir los puntos de colecta, recolección de individuos, muestreo del agua y medición de parámetros fisicoquímicos. La segunda fase se realizó en laboratorio, identificación de especies a través de índices y de las muestras de agua a través parámetros fisicoquímicos. Se obtuvieron 526 individuos pertenecientes a 5 clases, 13 órdenes y 38 familias. Concluyeron que el estado ecológico en que se encuentra del río Sardinas es moderado, presentando individuos del orden *trichoptera* y *ephemeroptera* que son considerados como grupos sensibles, también se identificaron individuos del orden *chironomidae* que son individuos que resisten a ciertos grados de contaminación lo cual hace que la calidad del agua sean moderadas en este río. Dicha investigación ha realizado una identificación de especies de macroinvertebrados en el río Sardinas, usando macroinvertebrados como bioindicadores ambientales recolectados en varios puntos a lo largo del río, la cual guarda relación con el trabajo que se ha realizado en un gradiente longitudinal del río Chotano con diferentes estaciones para determinar la variabilidad de individuos de macroinvertebrados.

Forero Duarte (2017), realizó una investigación en la cuenca del río Frío cuyos objetivos de esa investigación fueron: (a) evaluación de las condiciones ecológicas del agua mediante el estudio de los individuos de macroinvertebrados y análisis de parámetros fisicoquímicos, (b) estimar su calidad de agua a partir de la estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados bentónico y (c) analizar el estado ecológico del río Frío usando el índice de calidad de agua (WQI). Se estableció cinco puntos de colecta y se analizaron los siguientes parámetros físico-químicos en cada estación de muestreo: oxígeno disuelto, D.B.O, coliformes fecales, sólidos totales, nitratos, fósforo total. Evidenciaron que cuando la calidad del agua es menor las comunidades de macroinvertebrados cambian su estructura, de igual manera los parámetros fisicoquímicos mostraron resultados cambiantes cada vez que se evidenciaba intervención humana sobre la cuenca. Ambos parámetros tanto biológicos como fisicoquímicos coincidieron en los resultados con respecto al estado ecológico de las aguas del río Frío, presentándose mayor perturbación del agua en la estación de muestro número cinco. Esta investigación guarda estrecha relación con el estudio que se ha realizado, debido que estudia a los macroinvertebrados bentónicos en el cuerpo de agua del río Frío, determinando así las familias presentes en cada estación de muestreo, similar a la investigación que se ha realizado en el río Chotano.

Buenaño Sanchez *et al.* (2018), determinaron la variabilidad de especies de macroinvertebrados en la microcuenca del Pachanlica, este estudio se realizó en los meses de abril-diciembre de 2010 y enero-junio de 2011. Se recolectó en seis oportunidades las muestras de individuos de macroinvertebrados en los

periodos antes mencionados, identificándose hasta el nivel de orden y familia cada individuo. Ya identificados los macroinvertebrados se analizó el estado de integridad del agua con los siguientes índices: el índice BMWP (Grupo de trabajo de vigilancia biológica) y el índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera). El total de individuos de macroinvertebrados recolectados fue de 3023, de estos 1669 fueron colectados durante los meses de abril-diciembre de 2010 y un total de 1354 individuos en los meses de enero-junio de 2011. Los resultados del BMWP durante el primer periodo tienen valores que oscilan entre 2 y 34, en cambio los valores en el segundo periodo de muestreo oscila desde 0 y 36 durante el primer y segundo período, teniendo estos datos se concluye que el estado de las aguas de la microcuenca del Pachanlica son de mala calidad. Los resultados del índice EPT arrojaron resultados similares al índice BMWP, en el primer periodo se obtuvo valores que va desde 0 a 4,82 % y en el segundo periodo arrojó valores que oscila entre 0 a 16,81 %, determinándose de esta manera que las aguas de la microcuenca del Pachanlica serían de mala calidad. Los parámetros fisicoquímicos podrían estar influenciando en la poca presencia de macroinvertebrados de este recurso fluvial. El trabajo de investigación que se ha realizado en el río Chotano tiene similitud con la investigación antes mencionada, ya que se ha determinado la variabilidad espacial de los macroinvertebrados bentónicos acuáticos en un gradiente longitudinal del río Chotano.

2.1.2. A nivel nacional

García Ríos (2016), realizó un estudio en las aguas del río Chillón cuyo objetivo fue la identificación de la variedad de macroinvertebrados bentónicos y su uso como indicadores de la calidad ambiental para determinar su estado ecológico actual. Se identificaron 12 puntos de colecta para muestras, en la cual se diagnosticó la variabilidad de macroinvertebrados presentes en dos épocas tanto seca y lluviosa, julio 2014 y enero 2015 respectivamente. Se encontraron en los muestreos un total de 47 taxas, el taxa más representativo y diverso en todas las estaciones de muestreo fue del orden Díptera con un total de 17 taxas, encontrándose significativamente algunas diferencias tanto a nivel temporal como espacial de la comunidad de macrobentos mediante el análisis de los valores de riqueza y abundancia. Dentro de la variación temporal el factor hidrológico juega un papel importante y dentro de la variación espacial se explica con la altitud que está ubicada cada estación de muestreo. El total de macroinvertebrados que se identificaron fue de 32613, con un total de 47 taxas, 9 clases de macroinvertebrados siendo la insecta la más representativa con 11 familias. Concluyéndose que las condiciones del entorno y la físico-química del agua tienen influencia en la variabilidad y distribución de los organismos bénticos, así también la altura como el caudal del agua determinan sus características. Este estudio ha comprobado que hay muchos factores que pueden influenciar el desarrollo y la variedad de los macroinvertebrados bentónicos de las aguas del río Chillón, entre ellos está las condiciones del entorno y la propia fisicoquímica del agua, de esta manera este trabajo se relaciona con la investigación que se ha realizado en el tramo Chota – Cochabamba del río Chotano.

Lisboa Barrientos (2019), en su investigación en el río Chira tuvo como objetivos: (a) determinar en qué condiciones se encuentran las aguas del río Chira utilizando bioindicadores como los macroinvertebrados, (b) hacer uso del índice del grupo de trabajo de vigilancia biológica para ríos de la zona norte del país peruano (nPeBMWP) y (c) identificar qué tipo de macroinvertebrados acuáticos se encuentran presentes en el río Chira. Durante la etapa de campo en la toma de muestras de macroinvertebrados acuáticos también se aprovechó para evaluar algunos parámetros fisicoquímicos tales como: temperatura, potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica. Como resultados de los muestreos realizados se pudo recolectar e identificar un total de veintiún géneros, diecinueve familias, doce órdenes, seis clases y tres phylum de organismos acuáticos. Para determinar el estado ecológico en que se encuentra las aguas del río Chira se vio por conveniente utilizar el índice del grupo de trabajo de vigilancia biológica para ríos del norte peruano nPeBMWP, concluyendo de esta manera que el estado ecológico del río Chira es regular, con aguas que presentan un cierto grado de contaminación en las cuatro estaciones de muestreo. Esta investigación ha determinado a través de macroinvertebrados acuático el estado ecológico en que se encuentran las aguas del río Chira, guardando estrecha relación con la investigación que se pretende realizar en este trabajo de investigación, la cual también identificará organismos acuáticos que presentan las siete estaciones de muestreo del río Chotano tramo Chota – Cochabamba.

Según refieren Alomía Castañeda *et al.* (2017), para determinar el estado de integridad ecológica que se encuentra el río Huallaga hicieron uso de macroinvertebrados bentónicos. Vieron por conveniente establecer doce puntos

de colecta para muestrear macroinvertebrados bentónicos, evaluándose en dos temporadas tanto lluviosa como seca, también recolectaron datos de la fisicoquímica del agua y emplearon un índice que determina el estado de conservación riberena de las zonas andinas (QBR-And) determinando así la calidad ribereña que presenta este río. En esta investigación para determinar el estado ecológico que se encuentra el recurso hídrico del río Huallaga se ha creído conveniente utilizar los siguientes índices: Índice biótico Andino (ABI), el índice del grupo de trabajo de vigilancia biológica (BMWP/COL) y el índice del grupo de macroinvertebrados ephemeroptera, plecoptera y trichoptera (EPT), determinándose que en los puntos de muestreo del cauce principal de este río las aguas presentan un cierto grado de contaminación, muy distinto a los resultados de las aguas de los tributarios que presentaron una buena calidad. En todas las zonas de monitoreo también se aplicó un índice para determinar el estado ecológico que presenta la rivera del mencionado río (QBR-And) dando como resultados que en la mayoría de estaciones tienen una calidad intermedia. Se observó que el parámetro de la temperatura tiende a aumentar conforme la altitud disminuye, también que el total de taxas de macroinvertebrados bentónicos identificados fueron de 30, las familias de macroinvertebrados más representativos fueron los chironomidae, baetidae, leptohyphidae e hidropsychidae, siendo la clase insecta la más representativa, categorizándose estas aguas en la categoría IV de los ECAs. Esta investigación se relaciona con el trabajo de investigación que se ha propuesto ya que en ambos casos se emplean a los macroinvertebrados bentónicos (MIB) los cuales son indicadores del estado ecológico del agua, en el río Chotano los resultados nos indicarán el estado ecológico en que se encuentran sus aguas.

2.1.3. A nivel regional

Salazar y Pastor (2019, p. 6) en su investigación realizada en el río Jequetepeque tramo San Juan a Chilete, su objetivo principal fue determinar el estado ecológico ambiental en que se encuentran las aguas del río Jequetepeque haciendo uso de macroinvertebrados, también se determinó ciertos parámetros fisicoquímicos como: nitratos, nitritos, fosfatos, pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, DBO5, fluoruros, cloruros, bromuros, sulfatos, sólidos disueltos totales y turbidez y parámetros microbiológicos como: coliformes termotolerantes y totales. La metodología usada fue la toma de muestras de agua y recolección de macroinvertebrados bentónicos, se realizó dos campañas en tiempo de lluvia y dos campañas en tiempo de estiaje, al igual que la aplicación de índices bióticos de calidad ambiental (BMWP/Col, BMWP/Bol y EPT) y el ICA de la NSF, al final se hizo una comparación de parámetros analizados con los ECAs. Se encontraron 3 clases, 11 órdenes y 30 familias de macroinvertebrados bentónicos. Concluyéndose que el agua se encuentra moderadamente contaminada y existe relación entre los resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, índices bióticos y el ICA de la NSF. Dicha investigación ayudó a determinar la integridad ecológica de las aguas del río Jequetepeque en el tramo estudiado, mediante los análisis fisicoquímicos, microbiológicos, ICA de la NSF y los macroinvertebrados bentónicos, la cual se relaciona con el trabajo que se ha realizado en un gradiente longitudinal del río Chotano.

Herrera Carrasco (2019), realizó una investigación en el mes de noviembre del 2017, cuyo objetivo fue determinar el estado ecológico que presenta las aguas de la quebrada Miraflores, haciendo uso de la identificación de los

macroinvertebrados bentónicos presentes en esta quebrada. Se identificó cinco zonas de monitoreo a lo largo de esta quebrada para la colecta de macroinvertebrados bentónicos, utilizando un promedio de media hora para la colecta, luego en laboratorio fueron identificados y valorados a través del índice del grupo de trabajo de vigilancia biológica (nPeBMWP). La valoración del agua a través del índice nPeBMWP tiene un puntaje que estriba entre 73 y 94, lo cual indica que presentan aguas de calidad moderada pero con ciertos rastros de alteración a causa de contaminantes, siendo la estación de muestreo número uno la que presenta menor contaminación siendo uniforme la variabilidad de macroinvertebrados bentónicos. Los resultados para la diversidad según Shannon - Weaver y Simpson son de mediana a alta. Esta investigación guarda estrecha relación con el trabajo que se ha realizado en un gradiente longitudinal del río Chotano, ya que se pretende determinar la calidad biológica en el agua utilizando bioindicadores como son los macroinvertebrados bentónicos.

Según mencionan Romero y Tarrillo (2017, p. 10), su objetivo principal de su investigación en la quebrada Chambag fue: diagnosticar el estado ecológico que presenta las aguas de la quebrada Chambag mediante la identificación de macroinvertebrados bentónicos durante los meses de agosto, diciembre 2016 y marzo 2017, recolectados en cinco estaciones de muestreo. Se identificaron un total de 8 órdenes y 17 familias de macroinvertebrados bentónicos, siendo los más representativos en dicha quebrada los individuos de díptera, ephemeroptera y coleóptera. Al aplicar el índice del grupo de macroinvertebrados ephemeroptera – plecoptera – trichoptera (EPT) en las cinco estaciones de muestreo arrojó unos resultados que califica a las aguas de esta quebrada como pobre. Los resultados obtenidos según el índice del grupo de trabajo de

vigilancia biológica (BMWP), la estación QC-R tiene una calidad ligeramente contaminada, las estaciones QC-01, QC-02 tiene una calidad dudosa y las estaciones QC-03, QC-04 presentan una calidad de agua crítica, concordando los resultados de este índice con los resultados del índice biótico andino (IBA) buena, moderada y mala respectivamente. También se analizaron parámetros como: caudal, temperatura, pH, conductividad eléctrica, DBO y oxígeno disuelto, a excepción de este último parámetro los anteriores están dentro de los ECAs. Se identificaron un total de 17 familias y 8 órdenes, siendo los individuos del orden ephemeroptera y díptera los que sobresalen.

Concluyéndose que las causas naturales o antrópicas sobre los recursos hídricos de alguna manera modifican las condiciones del agua, se observó también que cuando el caudal es menor mayor son las familias de macroinvertebrados en cambio a mayor temperatura menor número de familias de macroinvertebrados, lo mismo pasa con el pH y el oxígeno disuelto. Esta investigación que ha utilizado macroinvertebrados bentónicos como indicadores bióticos para determinar el estado de integridad que presenta las aguas de la quebrada Chambag, guarda relación con el trabajo de investigación que se ha realizado, debido a que se identificó los macroinvertebrados acuáticos presentes en un gradiente longitudinal del río Chotano (tramo Chota - Cochabamba).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Calidad del agua

Fernández Cirelli (2012), menciona que hay dos aspectos intrínsecos al definir calidad de agua: ¿Qué contiene? y ¿En qué cantidad?, el tercer aspecto es algo externo, es decir viene dado por el uso al que se destine. Este concepto es el que mejor define calidad de agua y el más aceptado por muchos investigadores. Existen muchas formas como medir la calidad del agua entre ellas tenemos los métodos físicos, químicos y biológicos. Los biológicos, estudio de macroinvertebrados, tienen sus ventajas sobre los demás métodos debido a que son fáciles de usar y tienen un menor costo de aplicación.

2.2.2. Los macroinvertebrados como bioindicadores

Según Prat Fornells *et al.* (2016), que cita a (Resh, 2008) y (Bonada *et al.*, 2006) mencionan que actualmente los organismos más usados como bioindicadores son los macroinvertebrados acuáticos, esto se debe por múltiples razones:

- a) Tienen amplia distribución tanto territorial como geográfica.
- b) Poseen gran diversidad de especies con facilidad de adaptación a diferentes tipos de ecosistemas.
- c) La gran parte de individuos son sedentarios, lo cual da las facilidades para estudios más precisos en análisis espaciales de alguna contaminación en ríos.
- d) También hay casos de macroinvertebrados que tienen una reacción de huida (deriva) lo cual darían indicios de contaminación.

- e) Algunas especies tienen un ciclo de vida prolongado lo cual se tendría registro de los efectos de la contaminación en el tiempo.
- f) Su muestreo es sencillo y económico.
- g) Poseen casi todos los macroinvertebrados una taxonomía bien conocida lo que sería fácil de identificarlos hasta el nivel de familia y género.
- h) Existen muchos individuos que son ampliamente conocidos por su sensibilidad que poseen a diferentes contaminantes.
- i) Se pueden utilizar muchas especies para diferentes estudios experimentales para analizar los efectos de la contaminación.

En ciertos países sudamericanos, muchas de estas ventajas pueden ser relativas, pero en algunos países como Perú sin embargo siguen prefiriendo a los macroinvertebrados acuáticos para cumplir la función de bioindicadores para evaluar la calidad fluvial (Prat Fornells *et al.*, 2016).






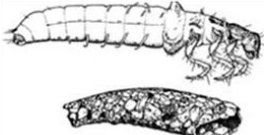





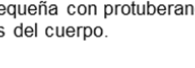
2.2.3. Macroinvertebrados bentónicos acuáticos como indicadores de la calidad ambiental

Según Gamboa *et al.* (2008), para poder evaluar la degradación ambiental a causa de un agente contaminante en un ecosistema acuático es necesario una comunidad bioindicadora de calidad de agua (en la tabla 1 se muestra algunos ejemplos de macroinvertebrados acuáticos indicadores de buena calidad de agua) y el conocimiento del medio en donde se desarrolla la zona de estudio, siendo los macroinvertebrados de la comunidad bentónica los más utilizados por muchos investigadores para evaluar la calidad ambiental. Muchos investigadores mencionan que de todos los organismos que se atribuyen como capaces de reflejar el estado ambiental los macroinvertebrados bentónicos son los mejores bioindicadores, debido a que estos se encuentran distribuidos en la

mayoría de cuerpos de agua dulce, entre ellos tenemos a los ríos y lagunas, siendo muy útiles para monitorear cualquier ecosistema acuático.

Tabla 1

Macroinvertebrados acuáticos indicadores de buena calidad del agua.

Orden de insecto	Características	Rasgos clave
PLECOPTERA 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre común: Moscas de las piedras (Familia más común: Perlidae) Ciclo de vida: hemimetabolos (ninfas acuáticas y adultos voladores) Fase indicadora: Ninfas. Muy sensibles a la contaminación. Alimentación: Ninfas Carnívoras en los últimos instares Hábitat: Ríos de aguas turbulentas, Lechos de grava. 	Abdomen con un par de cercos sencillos o multiarticulados. Uñas tarsales pares. 
EFEMEROPTERA 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre común: Efímeras (Familias más comunes: Baetidae, Leptophlebiidae, Leptohyphidae, Caenidae) Ciclo de vida: hemimetabolos (ninfas acuáticas y adultos voladores) Fase indicadora: ninfas Alimentación: ninfas herbívoras Hábitat: ríos y lagunas 	Abdomen generalmente con un par de cercos alargados y un filamento central normalmente visible. Uñas tarsales únicas. 
TRICOPTERA 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre común: Frigáneas (Familias más comunes: Hidropsiphidae, Hydroptilidae, Leptoceridae) Ciclo de vida: hemimetabolos (ninfas y pupas acuáticas y adultos voladores) Fase indicadora: ninfas Alimentación: ninfas depredadoras o herbívoras Hábitat: ríos, aguas quietas y rápidas. 	Larvas acuáticas construyen un estuche o refugio que varía según la familia. 
ODONATA 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre común: Libélulas, caballitos del diablo (Familias más comunes: Libellulidae, Coenagrionidae) Ciclo de vida: hemimetabolos (larvas acuáticas y adultos voladores) Fase indicadora: larvas Alimentación: ninfas depredadoras Hábitat: ríos de aguas quietas 	Ojos compuestos prominentes. Branquias plumosas externas en la parte posterior del abdomen. 
COLEOPTERA 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre común: Escarabajos (Familias más comunes: Elmidae, Ptylodactilidae, Pheseniidae, Dytiscidae, Hydrophilidae) Ciclo de vida: holometabolos (larvas, pupas y adultos) Fase indicadora: larvas Alimentación: ninfas herbívoras y depredadoras Hábitat: Amplio rango indicativo: salinidad, zonas lacustres 	Patas grandes y caminan por el fondo del agua. Respiran aire con el extremo del abdomen o disponen de apéndices filamentosos (branquias). 
DIPTERA  Blephariceridae	<ul style="list-style-type: none"> Nombre común: moscas, mosquitos (Familias más comunes: Simuliidae, Tipulidae, Psychodidae, Dixidae, Athericidae, Blephariceridae). Ciclo de vida: holometabolos (huevos, larvas acuáticas, pupas y adultos voladores) Fase indicadora: larvas Alimentación: larvas filtradoras y raspadoras Hábitat: ríos de aguas estancadas. 	Larva pequeña con protuberancias a los lados del cuerpo. 

Fuente: Gamboa *et al.*, 2008.

De esta lista de macroinvertebrados, pocas familias del orden díptera son capaces de resistir niveles altos de contaminación de manera fisiológica, tanto en recursos hídricos dinámicos y no dinámicos, considerándose a estos organismos como bioindicadores que se encuentran en aguas de calidad baja (Gamboa *et al.*, 2008).

2.2.4. Los macroinvertebrados y su importancia en las redes tróficas

Ladrera Fernández (2012) menciona que algunos organismos como los macroinvertebrados son de mucha importancia en el mundo acuáticos fluvial al representar el grupo de organismos más abundante en estos ecosistemas, también dichos organismos tienen mucha relevancia dentro de la cadena alimenticia ya que son el sustento alimenticio de muchos consumidores superiores. En otras palabras, estos macroinvertebrados consumen la materia orgánica que se encuentra en el medio en donde se desarrollan (como el que procede de las plantas que crecen a orillas del medio fluvial), que ha sido fabricado por algunos individuos que realizan la fotosíntesis, como algas o briófitos y estos a su vez serán el sustento de alimento para sus superiores en la cadena alimenticia, si existiese una interrupción o alteración de estos organismos de macroinvertebrados afectaría directamente a organismos superiores de la cadena trófica.

2.2.5. Los índices bióticos como métodos de muestreo de macroinvertebrados

2.2.5.1. Los índices bióticos

Estos forman parte de uno de los métodos de muestreo que en la actualidad cada vez es más usado por los investigadores para determinar la calidad biológica por medio de los macroinvertebrados (como se detalla en la

tabla 2). Los índices bióticos son uno de los métodos más prácticos para ser usados para medir la calidad ambiental, suelen expresarse con una numeración única que expresa ciertos aspectos de los organismos presentes en el agua. Principalmente consisten en la combinación de dos o tres propiedades de la asociación: la riqueza de taxa y la tolerancia e intolerancia a la contaminación para los índices cualitativos, y estos junto a la abundancia (absoluta o relativa) para los índices cuantitativos (Prat *et al.*, 2016).

Existen varios índices con los que se puede medir la calidad biológica del agua, entre ellas tenemos al BMWP (Biological Monitoring Working Party), grupo de trabajo de vigilancia biológica, el índice EPT (ephemeroptera, plecoptera, trichoptera) y el índice IBA. El índice que se utiliza con mayor frecuencia para evaluar el estado ecológico de los ríos con altitudes mayores a los 2000 m s. n. m. es el índice biótico andino IBA, por ende se ha creído conveniente utilizar este índice en esta investigación.

Tabla 2

Métodos de muestreo que en la actualidad se usan para medir la calidad biológica mediante macroinvertebrados.

Método	Correlativo	Causa-efecto	Escala	Uso geográfico	Teoría subyacente
Nivel SO/OR					
Bioensayos, test de toxicidad	SI	SI	G	W	TN
Métodos “In situ/on-line”	NO	SI	G	W	TN
Nivel A/C/E					
Riqueza específica	NO/SI	SI/NO	G	E, NA, A	HPI
Métricas basadas en la tolerancia	SI	NO	L	E, NA, A	HPI, TH, HT
Índices bióticos	SI	NO	R	E, NA, A	HPI, TN
Índices multimétricos (e.g. IBI)	SI	NO	R	E, NA,	HPI, TN, HT
Multivariantes (e.g. RIVPACS)	SI	NO	R	E, NA, A	TN
Amoebas	SI	NO	R	E	TN

Fuente: Prat *et al.*, 2016.

El significado de cada una de las letras en cada método indica una escala de aplicación ya sea global, regional o local; aplicación actual (W, a nivel mundial, E: Europa; NA: Norteamérica; A: Australia) y el argumento ecológico que se desarrolla en la concepción del índice (HPI: Hipótesis de la Perturbación Intermedia; TN: Teoría del Nicho; HT: Habitat templet). Los métodos se dividen en dos secciones según usen la escala de Organismo (OR) o inferior (Suborganismo, SO) o si son métodos que utilizan escalas superiores como Asociaciones (A), comunidades de especies (C) o bien propiedades emergentes de los ecosistemas (E) (Prat *et al.*, 2016).

2.2.6. Macroinvertebrados y su uso en índices bióticos

Gamboa *et al.* (2008), menciona que existe necesidad de implementar índices ecológicos de tolerancia, si se desea evaluar cambios en sus niveles morfológicos, fisiológicos o de desarrollo de los macroinvertebrados, pudiendo

estas revelar que las condiciones fisicoquímicas están por encima de los límites normales del nicho ecológico realizado (biorremediación). Los índices fáciles de utilizar son aquellos que son necesarios solo datos cualitativos (presencia o ausencia) e identificarles hasta el nivel de familia. Siendo estos índices bióticos puntuales para un tipo de alteración o contaminante, comportándose como indicadores, lo cual permiten diagnosticar el estado que presenta un ambiente que ha sido sometido a contaminación, asignándose un número de acuerdo a su resistencia a cierto tipo de contaminante, dependiendo del índice, a cada grupo de macroinvertebrados de una muestra.

Debido a que se está orientando las investigaciones a los cuerpos fluviales como una unidad de integración la cuenca hidrográfica estos índices bióticos se han venido modificando hacia esta nueva comprensión global. La reciente estrategia es la recuperación del estado ecológico de los ríos y del cuidado de ciertos factores de la naturaleza quienes son los responsables del mantenimiento de su integridad ecológica fluvial (Gamboa et al., 2008).

2.2.7. Índice biótico andino (IBA)

Este índice es una adaptación del BMWP (Biological Monitoring Working Party) para ríos de los Andes con altitudes mayores a los 2000 msnm (Salcedo Gustavson *et al.*, 2013). Este índice nace después de la revisión de muchos estudios realizados por distintos investigadores en los andes y la comparación de la distribución de las distintas familias con algunos contaminantes, se parte de una lista de taxa y luego de consultar los valores de tolerancia o intolerancia para cada grupo de familia ya establecidas para esta zona (Prat *et al.*, 2016). En la tabla 3 se plasma las puntuaciones que tienen los diferentes grupos de familias de macroinvertebrados con respecto al índice biótico andino (IBA) y en

la tabla 4 algunas familias de macroinvertebrados presentes en distintas calidades de aguas: mala, regular y buena calidad.

Tabla 3

Puntuaciones del índice biótico andino para las familias de macroinvertebrados acuáticos de los andes tropicales distribuidos desde los 2000 m s. n. m., hasta el límite de las nieves perpetuas.

Orden	Familia	IBA	A	N°	Orden	Familia	IBA
Turbellaria		5			Trichoptera	Helicopsychidae	10
Hirudinea		3				Calamoceratidae	10
Oligochaeta		1				Odontoceridae	10
Gasteropoda	Ancylidae	6				Leptoceridae	8
	Physidae	3				Polycentropodidae	8
	Hydrobiidae	3				Hydroptilidae	6
	Limnaeidae	3				Xiphocentronidae	8
	Planorbidae	3				Hydrobiosidae	8
Bivalvai	Sphaeriidae	3				Glossosomatidae	7
Amphipoda	Hyalelidae	6				Hydropsychidae	5
Ostracoda		3				Anomalopsychidae	10
Hydracarina		4				Philopotamidae	8
Ephemeroptera	Baetidae	4				Limnephilidae	7
	Leptophlebiidae	10			Lepidoptera	Pyralidae	4
	Leptohyphidae	7			Coleoptera	Ptilodactylidae	5
Odonata	Oligoneuridae	10				Lampyridae	5
	Aeshnidae	6				Psephenidae	5
	Gomphidae	8				Scirtidae	5
	Libellulidae	6				Staphylinidae	3
	Coenagrionidae	6				Elmidae	5
	Calopterygidae	8				Dryopidae	5
	Polythoridae	10				Gyrinidae	3
Plecoptera	Perlidae	10				Dytiscidae	3
	Gripopterygidae	10				Hydrophilidae	3
Heteroptera	Vellidae	5				Hydraenidae	5
	Gerridae	5			Diptera	Blepharoceridae	10
	Corixidae	5				Simuliidae	5
	Notonectidae	5				Tabanidae	4
	Belostomatidae	4				Tipulidae	5
	Naucoridae	5				Limoniidae	4
						Ceratopogonidae	4
ESTACIÓN:						Dixidae	4
FECHA:						Psychodidae	3
OPERADOR						Dolichopodidae	4
ESCALA DE CALIDAD						Stratiomyidae	4
MUY BUENO >74						Empididae	4
BUENO 45 A 74						Chironomidae	2
MODERADO 27 A 44						Culicidae	2
MALO 11 A 26						Muscidae	2
PÉSIMO < 11						Ephydriidae	2
						Athericidae	10
						Syrphidae	1

Fuente: Balmaceda (2019).

Tabla 4

Macroinvertebrados acuáticos indicadores de calidad de aguas, presentes en distintas calidades de aguas: mala, regular y buena calidad.

Mala	Regular		Buena
Hirudinea	Hydropsychidae	Turbellaria	Leptophlebiidae
Oligochaeta	Limnephilidae	Ancylidae	Oligoneuridae
Physidae	Lepidoptera	Amphipoda	Gomphidae
Hydrobiidae	Pyralidae	Hyalelidae	Plecoptera
Limnaeidae	Coleoptera	Hydracarina	Calopterygidae
Planorbidae	Ptilodactylidae	Ephemeroptera	Polythoridae
Sphaeriidae	Lampyridae	Baetidae	Perlidae
Ostracoda	Psephenidae	Leptohyphidae	Gripopterygidae
Staphylinidae	Scirtidae	Odonata	Trichoptera
Gyrinidae	Elmidae	Aeshnidae	Helicopsychidae
Dytiscidae	Dryopidae	Libellulidae	Calamoceratidae
Hydrophilidae	Hydraenidae	Coenagrionidae	Odontoceridae
Psychodidae	Simuliidae	Heteroptera	Leptoceriadea
Chironomidae	Tabanidae	Vellidae	Polycentropodidae
Culicidae	Tipulidae	Gerridae	Xiphocentronidae
Muscidae	Limoniidae	Corixidae	Hydrobiosidae
Ephydriidae	Ceratopogonidae	Notonectidae	Anomalopsychidae
Syrphidae	Dixidae	Belostomatidae	Philopotamidae
	Dolichopodidae	Naucoridae	Diptera
	Stratiomyidae	Hydroptilidae	Blepharoceridae
	Empididae	Glossosomatidae	Athericidae

Fuente: Acosta, Ríos, Rieradevall y Prat (2008).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Macroinvertebrados acuáticos

Se denominan macroinvertebrados acuáticos aquellos invertebrados con un tamaño superior a 500 μm , entre ellos podemos incluir animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos dentro de estos los cangrejos. Sin embargo, hay un grupo de invertebrados acuáticos que más ampliamente se encuentran distribuidos en aguas dulces y son los insectos. La mayor parte de estos individuos los estados inmaduros (huevos y larvas) son acuáticos, en cambio los adultos tienden a ser terrestres. Entre los insectos más abundantes y distribuidos con alguna fase de su vida acuática destacan, los siguientes órdenes: efemerópteros, plecópteros, odonatos, hemípteros, coleópteros, tricópteros y dípteros. (Ladrera Fernández, 2012)

2.3.2. Macroinvertebrados bentónicos

Son organismos no vertebrados tales como insectos, crustáceos, moluscos y anélidos entre otros, que superan el tamaño de un milímetro (Rueda & Molina, 2012, p. 333). Estos pueden pertenecer al bentos cuando la mayor parte del tiempo están en el fondo del agua, cuando son nadadores activos se denominan necton y cuando habitan en la superficie del agua se les denomina neuston (Roldán Pérez, 1996).

Donde existe grandes masas de agua la fauna bentónica son las que más abundan y las de mayor diversidad, jugando un papel fundamental dentro de este sistema acuático como bioindicadores debido que son muy sensibles a los cambios que ocurren dentro del sistema acuático en el que se desarrollan, siendo empleados estos macroinvertebrados tanto momentáneo como estacional para

evaluar el grado de integridad ecológica (Reinoso *et al.*, 2008; Rivera *et al.*, 2008; Gutiérrez-Yurrita *et al.*, 2002; Montoya y Aguirre, 2009 (como se citó en Buenaño Sanchez *et al.* 2018)).

2.3.3. Comunidad de macroinvertebrados acuáticos

Partiendo de que comunidad se define como un conjunto de seres vivos que comparten un área geográfica en un tiempo determinado, definiremos que comunidad de macroinvertebrados acuáticos será el conjunto de invertebrados que sobrepasan las 500 μm de tamaño, presentes en un sistema acuático en un momento dado.

2.3.4. Bioindicador

Conjunto de especies que poseen ciertas características peculiares para reaccionar ante una alteración en muchos casos mínima a ciertas variables fisicoquímicas, siendo estos cambios ya sea mínimas de estas variables fisicoquímicas un indicio que el medio en donde se desarrollan se encuentra en una alteración fuera de sus condiciones habituales. (Gamboa *et al.*, 2008)

Es decir, un bioindicador es aquella especie cuyos efectos biológicos en su organismo se evidencian a causa de un agente externo como algún agente contaminante o perturbación ecológica, estos organismos o sistemas biológicos sirven para diagnosticar alteraciones de algún ecosistema.

2.3.5. Variabilidad espacial de macroinvertebrados

La variabilidad espacial de los macroinvertebrados puede depender de varios factores, entre ellas tenemos la geografía y la fisicoquímica del agua. También se concuerda con Forero Duarte (2017) al mencionar que la distribución

espacial de las comunidades depende de dos parámetros principales: la habilidad de los individuos para adaptarse a factores ecológicos y la habilidad de las distintas especies para aprovechar al máximo los recursos disponibles para su alimentación.

2.3.6. Índices de calidad del agua

Un índice de calidad de agua, consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que caracterizan la calidad del recurso hídrico y este puede ser fácilmente interpretado por cualquier persona independientemente de la profesión que tenga. Estos índices pueden ser usados para mejorar o aumentar y difundir la información sobre la calidad del agua (Valcarcel Rojas *et al.*, 2010).

2.3.7. Estándar de calidad ambiental para agua

Son un conjunto de normas que establecen el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente. Estos estándares son aplicables a todos los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales, las políticas públicas e instrumentos de gestión ambiental (Compendio de la Legislación Ambiental Peruana, 2010).

2.3.8. Parámetro

Es un elemento de medición, puede ser físico, químico o biológico, y forma parte de un Estándar de Calidad Ambiental (MINAM, S/F). En este trabajo de investigación se ha creído conveniente tomar los tres parámetros para evaluar el estado de calidad ambiental que presenta las zonas de muestreo del río Chotano.

2.3.9. Indicadores fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos nos brindan información muy amplia de la naturaleza química del agua y sus propiedades físicas, independientemente de las causas que lo originan o su influencia en la vida acuática, pero tiene ventajas debido que su análisis son más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, además que permite una evaluación para diferentes tipos de uso (Samboni Ruiz *et al.*, 2007). Dentro de los parámetros fisicoquímicos evaluados en este estudio tenemos a los siguientes.

2.3.9.1. pH

Se define como el logaritmo de la concentración de iones hidrógeno, extendiéndose desde el cero (muy ácido) al 14 (muy alcalino), siendo 7 la neutralidad exacta a 25 °C. En las aguas su registro puede variar entre 4.5 y 8.5, ya sea natural o artificial, e incluye el valor de 5.6 del pH del agua de lluvia en equilibrio con el CO₂ atmosférico (Rodríguez Zamora, 2009).

2.3.9.2. Temperatura

La temperatura forma parte de las constantes físicas que ha tenido mucha influencia dentro de los fenómenos que acontecen dentro del agua, su

variación está en relación a la capacidad de la capa acuífera y con los aportes extraños que pueden existir por infiltración directa o por aportes subterráneos (Rodríguez Zamora, 2009).

2.3.9.3. Conductividad

La conductividad es la habilidad de una solución para conducir electricidad, esta es conducida por pequeñas partículas llamadas iones a través de soluciones de agua. Estos iones provienen principalmente de los ácidos y sales de la solución de fuente y entre más concentrado de solución de fuente sea añadido al agua mayor número de iones, incrementándose así la conductividad (Rodríguez Zamora, 2009).

2.3.9.4. Nitratos

Parámetro que mide la concentración de compuestos químicos derivados del nitrógeno, que en muchos casos se encuentran de manera natural en pequeñas concentraciones en el suelo, los alimentos y las aguas superficiales y subterráneas. Este elemento es de importancia para las plantas ya que lo necesitan para crecer, pero desafortunadamente pueden contaminar las fuentes hídricas comprometiendo de esta manera la salud humana (Mejía Clara, 2005).

2.3.9.5. Caudal

Según la Real Academia Española (RAE), es la cantidad de agua que discurre en una cuenca de drenaje o río. “El caudal ecológico es el volumen de agua que se debe mantener en las fuentes naturales de agua para la

protección o conservación de los sistemas involucrados, la estética del paisaje u otros aspectos de interés científico o cultural” (Ley de recursos hídricos, 2010, p.43). “La medición del caudal se denomina AFORO” (Vásquez Villanueva *et al.*, 2016).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

Según el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2015), la formación del río Chotano tiene su origen en una serie de pequeños riachuelos que se originan en los cerros Aparinaco y Loma Cucho, que al unirse toman el nombre de río Grande, y toma el nombre de río Chotano a partir de la unión con la quebrada Yanayacu, conservando el nombre hasta la unión con el río Huancabamba, formando el río Chamaya, siendo este afluente del río Marañón por la margen izquierda, en la vertiente del Atlántico.

La cuenca del río Chotano se encuentra distribuido entre las coordenadas geográficas 78°30' y 79°10' de longitud oeste y 6°05' y 6°40' de latitud sur; políticamente está ubicado en las provincias de Chota y Cutervo del departamento de Cajamarca. ONERN (como cita MINAGRI, 2015), menciona que el río Chotano tiene una área de drenaje de 1 882 km², recorriendo una longitud total de 100 km, y presentando una pendiente promedio de 2.3%. La cuenca alta comprometida con la cuenca de gestión Chancay – Lambayeque desde su nacimiento hasta el túnel Chotano es de 391 Km².

Este trabajo de investigación se realizó en el río Chotano exactamente en el tramo Chota – Cochabamba, con siete estaciones de muestreo para la recolección de familias de macroinvertebrados, dichos puntos inician en Chota a la altura del cementerio San Juan (este: 759587, norte: 9273203, altitud: 2305 m s. n. m.) y termina en el distrito de Cochabamba (este: 734479, norte: 9283934, altitud: 1652 m s. n. m.). A continuación en la figura uno se muestra las estaciones de muestreo.

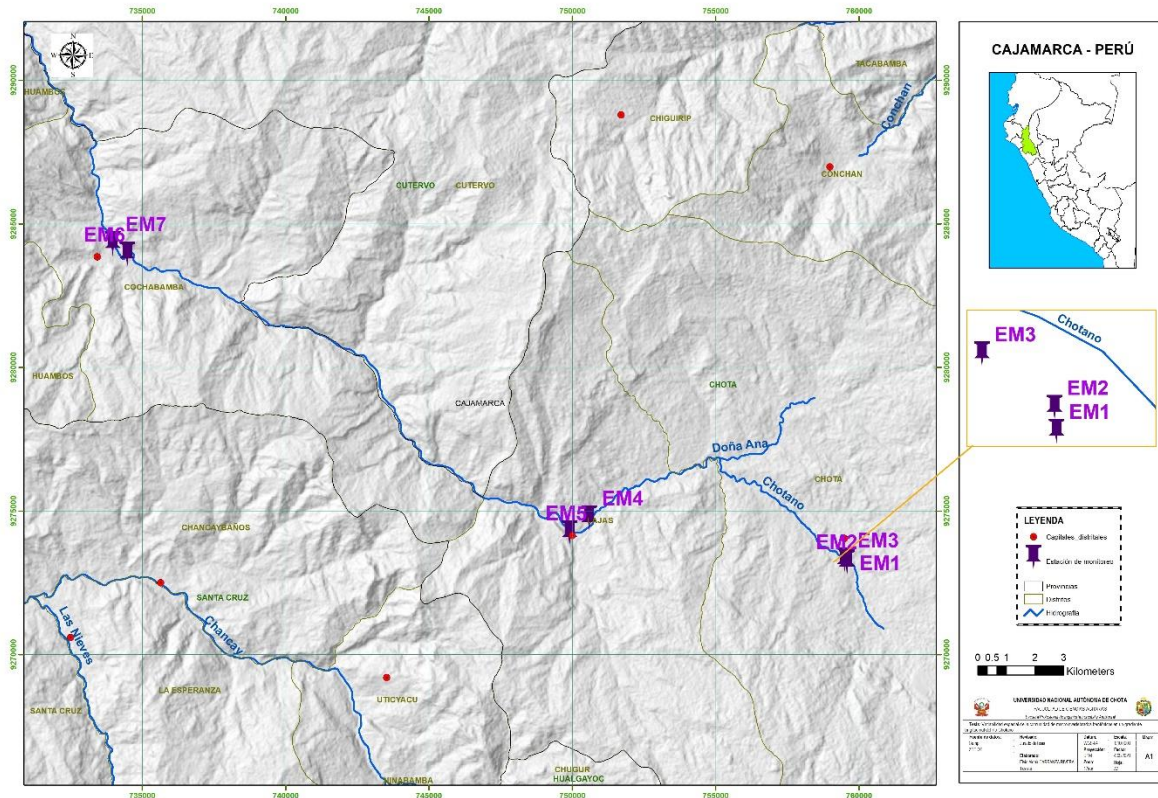


Figura 1. Tramo del río Chotano, desde la Provincia de Chota hasta el distrito de Cochabamba, con las distintas estaciones de muestreo.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Todos los macroinvertebrados bentónicos acuáticos presentes en cada estación de muestreo del río Chotano.

3.2.2. Muestra

Los individuos de macroinvertebrados bentónicos acuáticos presentes en cada punto de muestreo del río Chotano.

3.3. Equipos, materiales e insumos

Tabla 5

Equipos, materiales e insumos utilizados en este proyecto.

Instrumentos, materiales y equipamiento de campo	
Multiparámetro y Correntómetro	Etiquetas de papel
GPS	Red tipo D-net 300 micras
Equipo de protección personal	Lupa
Botas de agua	Pinzas entomológicas
Guantes de goma	Bateas blancas de plástico (30x20 cm)
Toalla	Estereoscopio
Libreta de campo	Viales de plástico herméticos
Cámara fotográfica	Alcohol
Lápices	Formol
Rotuladores indelebles	Balde de 20 litros para muestras
Hojas de registro	Regla de 30 cm
Agua destilada	Cinta métrica y cuerdas
Bolsas plásticas para muestras	Movilidad

3.4. Metodología de la investigación

Este estudio es una investigación mixta, longitudinal y no experimental. La recolección de datos se realizó en tres oportunidades a lo largo de la investigación, en siete estaciones de muestreo, cubriendo una cierta área representativa en el lugar de muestreo aproximadamente de 100 metros de largo por un período de 20 a 30 minutos y el material recolectado de las zonas de muestreo se vació en contenedores herméticos conteniendo alcohol al 70%, como recomienda la guía de “Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú” del MINAM. Para la identificación y puntuación de los individuos de macroinvertebrados bentónicos se tuvo en cuenta claves taxonómicas (Roldal, 1996) y el índice biótico andino (IBA) respectivamente. Para los análisis fisicoquímicos se tuvo en cuenta el D.S. N° 004-2019-MINAM (Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua).

3.5. Recolección de datos

3.5.1. Etapa pre – campo

3.5.1.1. Recolección de información

Se recaudó toda la información posible de la zona de estudio (río Chotano tramo Chota - Cochabamba), así también la recaudación de información cartográfica para la elaboración de mapas base y localización de las estaciones de muestreo.

3.5.1.2. Identificación del área de estudio y estaciones de muestreo

El área de estudio es el río Chotano en el tramo Chota – Cochabamba, en la cual se tomó siete estaciones de muestreo, tres en Chota, dos en Lajas y dos en Cochabamba, los cuales se detallan a continuación.

Tabla 6

Localización de las estaciones de muestreo en el río Chotano, tramo Chota – Cochabamba, elevación y coordenadas UTM.

Estación de muestreo	Ubicación	Observaciones
EM1	Cuenca: Del Chotano Río: Chotano Altitud: 2305 m s. n. m. Coordenadas: Este: 759587 Norte: 9273203	Estas aguas provienen del río Yuracyacu, en sus orillas hay presencia de ganadería y agricultura, así también algunos puntos de afluencia de aguas residuales.
EM2	Cuenca: Del Chotano Río: Colpamayo Altitud: 2303 m s. n. m. Coordenadas: Este: 759585 Norte: 9273228	Estas aguas contienen desechos de las aguas residuales tanto del camal (son botados directamente a este afluente sin ningún tratamiento previo a un kilómetro aguas arriba de este punto) como de algunas viviendas construidas a orillas de este río.
EM3	Cuenca: Del Chotano Río: Chotano Altitud: 2302 m s. n. m. Coordenadas: Este: 759509 Norte: 9273284	Este punto está a unos 100 metros de la unión entre el río Chotano y el río Colpamayo. En este punto descargan desmonte predominando el de construcción.
EM4	Cuenca: Del Chotano Río: Chotano Altitud: 2145 m s. n. m. Coordenadas: Este: 750597 Norte: 9274755	Presencia de ganadería y agricultura en sus alrededores.
EM5	Cuenca: Del Chotano Río: Chotano Altitud: 2137 m s. n. m. Coordenadas: Este: 749910 Norte: 9274229	Presencia de ganadería.
EM6	Cuenca: Del Chotano Río: Chotano Altitud: 1676 m s. n. m. Coordenadas: Este: 734479 Norte: 9283934	Presencia de canteras.
EM7	Cuenca: Del Chotano Río: Chotano Altitud: 1652 m s. n. m. Coordenadas: Este: 733972 Norte: 9284295	Presencia de canteras, ganadería y agricultura.

- Chota

Las tres primeras estaciones de muestreo, están localizadas a la altura del puente Cabracancha cerca del cementerio San Juan. La primera estación de muestreo está situada en el río Chotano, antes de la unión del río Colpamayo.

La segunda estación de muestreo está localizada en el río Colpamayo, que es afluente del río Chotano, antes de su unión con este. El tercer punto de colecta de muestras está localizada a unos 100 metros después de la unión del río Colpamayo en el río Chotano.



Figura 2. Tres primeras estaciones de muestreo del río Chotano, localizadas cerca del cementerio San Juan en el distrito de Chota.

- Lajas

En esta zona de referencia están dos estaciones de muestreo (cuarta y quinta). La cuarta está situada antes del ingreso del río Chotano en la ciudad del distrito de Lajas. La quinta estación de muestreo está localizada después que el río Chotano pasa por la ciudad del distrito

anteriormente mencionado a unos 850 metros lineales aproximadamente después de la estación número cuatro.



Figura 3. Estaciones de muestreo 4 y 5 del río Chotano, localizadas en el distrito de Lajas.

- Cochabamba

Cerca de la ciudad del distrito de Cochabamba están localizados las zonas de monitoreo seis y siete. La zona de monitoreo número seis está antes de la llegada del río Chotano al mencionado distrito y la estación siete está ubicada a unos 600 metros lineales aproximadamente después de la estación número siete.



Figura 4. Estaciones de muestreo 6 y 7 del río Chotano, localizadas en el distrito de Cochabamba.

3.5.2. Etapa de campo

3.5.2.1. Toma de muestras de macroinvertebrados y datos fisicoquímicos.

Se recolectó las muestras de macroinvertebrados en las siete estaciones de muestreo seleccionadas, con una red D-net de 300 micras, la cual es una de las más usadas para hacer un barrido a lo largo de las orillas en aguas lentas y poco profundas o corrientes con vegetación marginal (Roldán, 1996). Estas muestras se recolectaron en tres oportunidades durante los meses de septiembre, octubre y noviembre (una vez por mes). La manipulación fue durante un período de 30 minutos aproximadamente por estación de muestreo con la finalidad de homogeneizar el muestreo en todos los puntos, evitando las zonas de mucha corriente de agua, el muestreo se realizó de aguas abajo hacia aguas arriba unos 20 metros aproximadamente. Todos los especímenes capturados fueron identificados en campo en forma preliminar, los cuales se

registraron en las hojas de campo, luego las muestras extraídas fueron introducidas en “vials” etiquetados, conteniendo alcohol al 96%, con la ayuda de pinzas entomológicas flexibles para no dañarlos.



Figura 5. Recolección de muestras de macroinvertebrados en el río Chotano utilizando la red D-net.

Para el registro de los parámetros físico-químicos, se visitó las siete estaciones de muestreo seleccionadas, una vez ubicados se hizo un breve reconocimiento de campo con el fin de encontrar los puntos representativos para la realización de los muestreos. Las muestras fisicoquímicas se tomó con un equipo multiparámetro, teniendo en cuenta el “PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES” (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA). La toma de muestras de nitratos se realizó en todas las estaciones de muestreo en envases destinados para este fin, para luego ser

analizadas en laboratorio, para esta toma de muestras de nitratos también se tuvo en cuenta el protocolo anteriormente mencionado.

También se utilizó un instrumento llamado correntómetro para tomar datos de la velocidad de la corriente del río en cada estación de muestreo, cuyo dato servirá para calcular el caudal teniendo en cuenta el “MANUAL N°5 MEDICIÓN DE AGUA DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO”.



Figura 6. Toma de datos de parámetros fisicoquímicos utilizando el equipo multiparámetro y medición de la velocidad de la corriente del río utilizando un correntómetro.

3.5.3. Etapa de gabinete

3.5.3.1. Identificación de especies

Para el reconocimiento de todos los organismos de macroinvertebrados bentónicos se utilizó claves taxonómicas (Roldán, 1996), también se contó con la asistencia del Blgo. Jorge Manuel Balmaceda Lozada. Se procesó los datos fisicoquímicos tomados con el equipo multiparámetro y en el

laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH) se analizó las muestras para determinar nitratos, también se calculó el caudal de cada estación de muestreo.

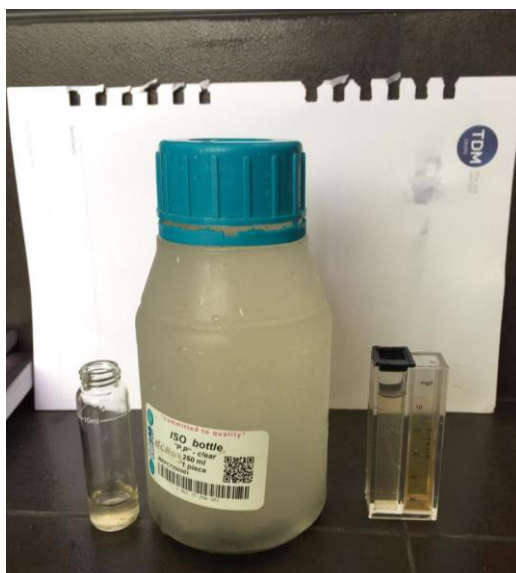


Figura 7. Muestra para análisis de nitratos en el laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH).

3.6. Análisis estadístico

Se realizó la correlación estadística de Pearson, entre la cantidad de familias identificadas y parámetros fisicoquímicos analizados, calculándose si existe relación o dependencia entre estas dos variables que intervienen en esta correlación. Estos resultados determinaron la influencia que tiene una variable sobre la otra, es decir si una variable sufre un cambio la otra también se altera.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Determinación de macroinvertebrados presentes en las estaciones de muestreo del río Chotano.

Durante los muestreos realizados en las siete estaciones de muestreo del río Chotano en los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2019 se identificaron un total de cuatro phylum, cuatro clases, once órdenes, diecinueve familias y veinte géneros, los cuales se detallan en la tabla número siete.

Tabla 7

Total de macroinvertebrados encontrados en los tres muestreos en el río Chotano.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	
Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae		
			Syrphidae	<i>Eristalis</i>	
			Ortorrapha - Nematocera	<i>Hexatoma</i>	
			Tipulidae		
			Antomiidae	<i>Limnophora</i> <i>sp.</i>	
			Ceratopogonidae	<i>Atrichopogon</i> <i>sp2</i>	
			Psychodidae	<i>Maruina sp.</i>	
		Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>	
				<i>Dactylobaetis</i>	
				<i>Thraulodes sp.</i>	
		Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Ochrotrichia</i>	
				Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>
				Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>

		Neuroptera	Corydalidae	<i>Corydalus</i>
		Hemiptera	Naucoridae	<i>Ambrysus sp.</i>
				<i>Cryphocricos</i>
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>
		Coleoptera	Elmidae	<i>Macrelmis sp.</i>
		Odonata	Anisoptera Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i>
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Enchytraeidae	<i>Lumbricillus</i>
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>

Durante los tres meses de muestreo se registró un total de 19 familias en el río Chotano (tramo Chota - Cochabamba), la mayor cantidad de familias encontradas se registra en la estación de muestreo número cuatro, ubicada en el distrito de Lajas, la menor cantidad de familias encontradas está ubicada en la estación de muestreo número dos, en el distrito de Chota. Las estaciones número 3, 6 y 7 coinciden en el número de familias encontradas y la estación número uno registra seis familias.

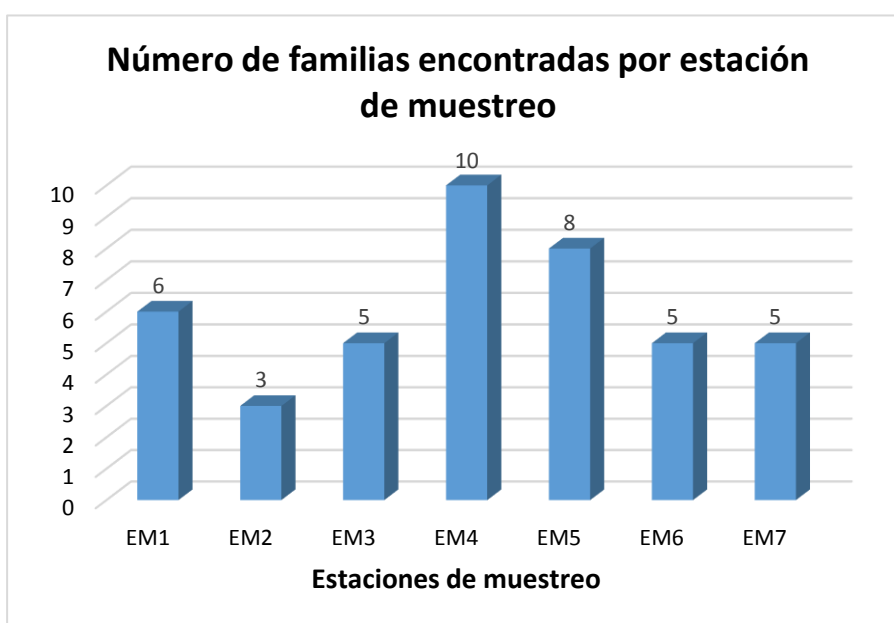


Figura 8. Número de familias encontradas por cada estación de muestreo del río Chotano en los meses septiembre, octubre y noviembre de 2019.

Tabla 8

Porcentaje del nivel orden por clase del total de macroinvertebrados encontrados en todas las estaciones de muestreo del río Chotano en los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2019.

Clase	Orden	Porcentaje
Insecta	8	73%
Oligochaeta	1	9%
Gastropoda	1	9%
Turbellaria	1	9%
Total	11	100%

Estos resultados nos muestran que la clase insecta es la más abundante del río Chotano en el tramo Chota – Cochabamba, representando un 73% del total y con un máximo de once órdenes identificados en los tres muestreos los cuales son: díptera, ephemeroptera, trichoptera, neuroptera, hemiptera, plecoptera, coleoptera, odonata, haplotaxida, basommatophora y triclada.

Tanto la clase oligochaeta, gastropoda y turbellaria registraron un 9 %, comprendiendo las órdenes de haplotaxida, basommatophora y triclada respectivamente.

Tabla 9

Número de familias encontradas por estación de muestreo en cada uno de los tres muestreos.

Estaciones de muestreo	Número de familias encontradas por muestreo		
	Primero muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo
EM-1	5	6	4
EM-2	2	3	2
EM-3	4	5	3
EM-4	8	10	7
EM-5	7	8	5
EM-6	5	5	4
EM-7	4	5	4

El mayor número de familias recolectadas en las estaciones de muestreo corresponde al segundo muestreo, el menor número de familias recolectadas se registra en el tercer muestreo, esto puede ser debido a la presencia de lluvias y aumento del caudal del agua que se presencié en el mes de noviembre, lo que probablemente ha arrastrado la corriente del agua algunos individuos de macroinvertebrados.

4.1.2. Familias encontradas por estación de muestreo.

Tabla 10

Especies encontradas en la estación de muestreo número uno – EM1.

Especies encontradas en la estación de muestreo número uno				
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género
Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	

Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes sp.</i>
Arthropoda	Insecta	Neuroptera	Corydalidae	<i>Corydalis</i>
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Enchytraeidae	<i>Lumbricillus</i>
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>

Tabla 11

Especies encontradas en la estación de muestreo número dos – EM2.

Especies encontradas en la estación de muestreo número dos				
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género
Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	
Arthropoda	Insecta	Díptera	Syrphidae	<i>Eristalis</i>
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Enchytraeidae	<i>Lumbricillus</i>

Tabla 12

Especies encontradas en la estación de muestreo número tres – EM3.

Especies encontradas en la estación de muestreo número tres				
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género
Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	
Arthropoda	Insecta	Díptera	Syrphidae	<i>Eristalis</i>
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Dactylobaetis</i>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Ochrotrichia</i>
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Enchytraeidae	<i>Lumbricillus</i>

Tabla 13

Especies encontradas en la estación de muestreo número cuatro – EM4.

Especies encontradas en la estación de muestreo número cuatro				
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género
Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	
Arthropoda	Insecta	Díptera	Antomiidae	<i>Limnophora sp.</i>
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes sp.</i>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Ochrotrichia</i>
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>

Arthropoda	Insecta	Neuroptera	Corydalidae	<i>Corydalis</i>
Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>

Tabla 14

Especies encontradas en la estación de muestreo número cinco – EM5.

Especies encontradas en la estación de muestreo número cinco				
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género
Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	
Arthropoda	Insecta	Díptera	Ortorrapha - Nematocera Tipulidae	<i>Hexatoma</i>
Arthropoda	Insecta	Díptera	Ceratopogonidae	<i>Atrichopogon</i> <i>sp2</i>
Arthropoda	Insecta	Díptera	Psychodidae	<i>Maruina sp.</i>
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i> <i>sp.</i>
Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>

Tabla 15

Especies encontradas en la estación de muestreo número seis – EM6.

Especies encontradas en la estación de muestreo número seis				
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género
Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Naucoridae	<i>Ambrysus sp.</i>
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Naucoridae	<i>Cryphocricos</i>
Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>

Tabla 16

Especies encontradas en la estación de muestreo número siete – EM7.

Especies encontradas en la estación de muestreo número siete				
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género
Arthropoda	Insecta	Díptera	Ceratopogonidae	<i>Atrichopogon sp2</i>
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Naucoridae	<i>Ambrysus sp.</i>

Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	<i>Macrelmis sp.</i>
Arthropoda	Insecta	Odonata	Anisoptera Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i>

4.1.3. Análisis de las familias de macroinvertebrados en función al índice biótico andino (IBA).

Tabla 17

Valoración del índice biótico andino (IBA).

ABI	Nivel de calidad
>74	Muy bueno
45 - 74	Bueno
27 - 44	Moderado
11 - 26	Malo
<11	Pésimo

Fuente: Balmaceda (2019).

Tabla 18

Puntuación obtenida por estación de muestreo en función al índice biótico andino (IBA).

	Estaciones de muestreo							Promedio
	EM1	EM2	EM3	EM4	EM5	EM6	EM7	
ABI	25	4	14	55	43	30	24	27.9

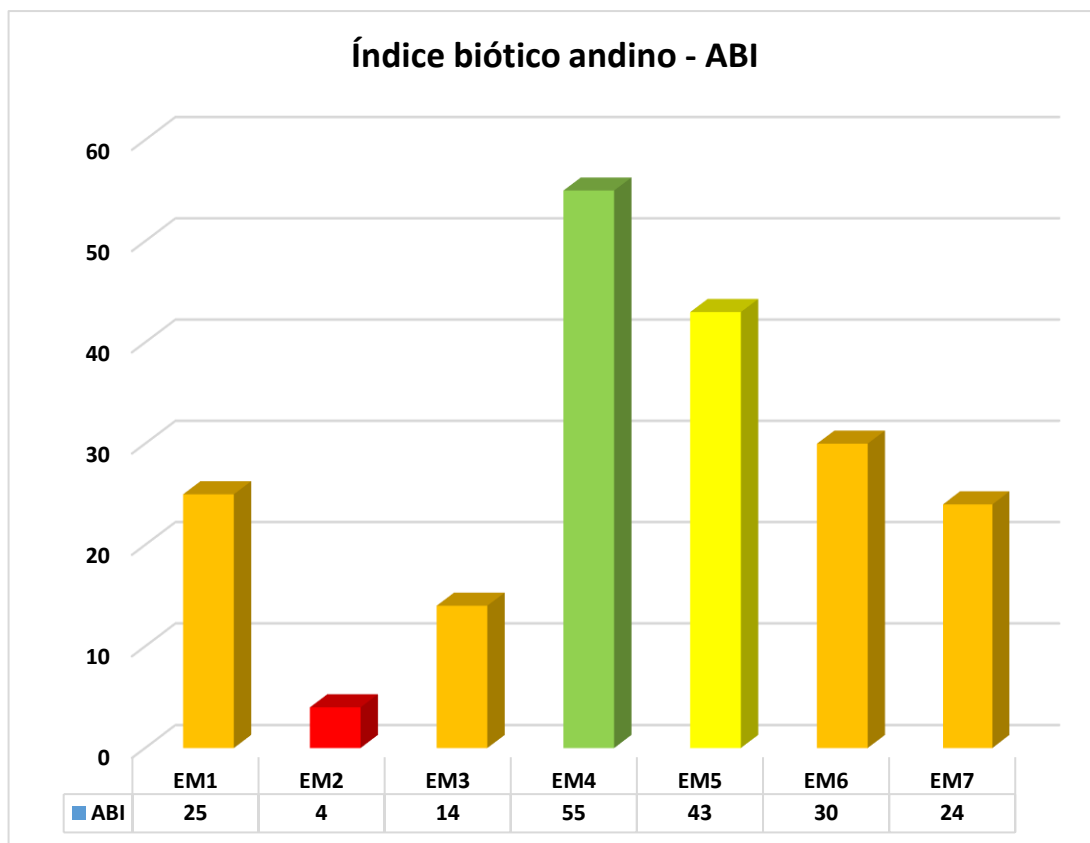


Figura 9. Resultados de las puntuaciones de macroinvertebrados por cada estación de muestreo en función al índice biótico andino (IBA).

En la figura número nueve nos muestra los resultados obtenidos de cada estación de muestreo, en orden decreciente de mayor a menor con respecto al nivel de calidad de agua sigue el siguiente orden: EM4, EM5, EM6, EM1, EM7, EM3 y EM2. En la estación de muestreo número cuatro, el nivel de calidad según el índice biótico andino es buena, la puntuación más baja se presentó en la estación número 2, con un nivel de calidad pésimo.

De la puntuación IBA obtenida de las siete estaciones de muestreo, el puntaje promedio es de 27.9, indicando de esta manera que el nivel de la calidad del agua es moderado en el río Chotano, con respecto al tramo Chota – Cochabamba, concordando este resultado con los obtenidos en el río Sardinas (Machado, *et al.*, 2018).

4.1.4. Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos.

Para la evaluación de la calidad del agua del río Chotano (tramo Chota - Cochabamba), el criterio tomado fueron los valores de los parámetros físicos – químicos de la categoría 3 de los estándares de calidad ambiental para agua: riego de vegetales y bebida de animales, establecidos en el “DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM”.

La evaluación se realizó mediante la comparación de resultados obtenidos de cada parámetro en cada estación de muestreo con el valor de la categoría ECA-Agua correspondiente. A continuación se presentan los gráficos en barras con la debida comparación entre los resultados que se ha obtenido en campo con los valores de calidad ambiental para agua del “DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM”.

4.1.4.1. Temperatura

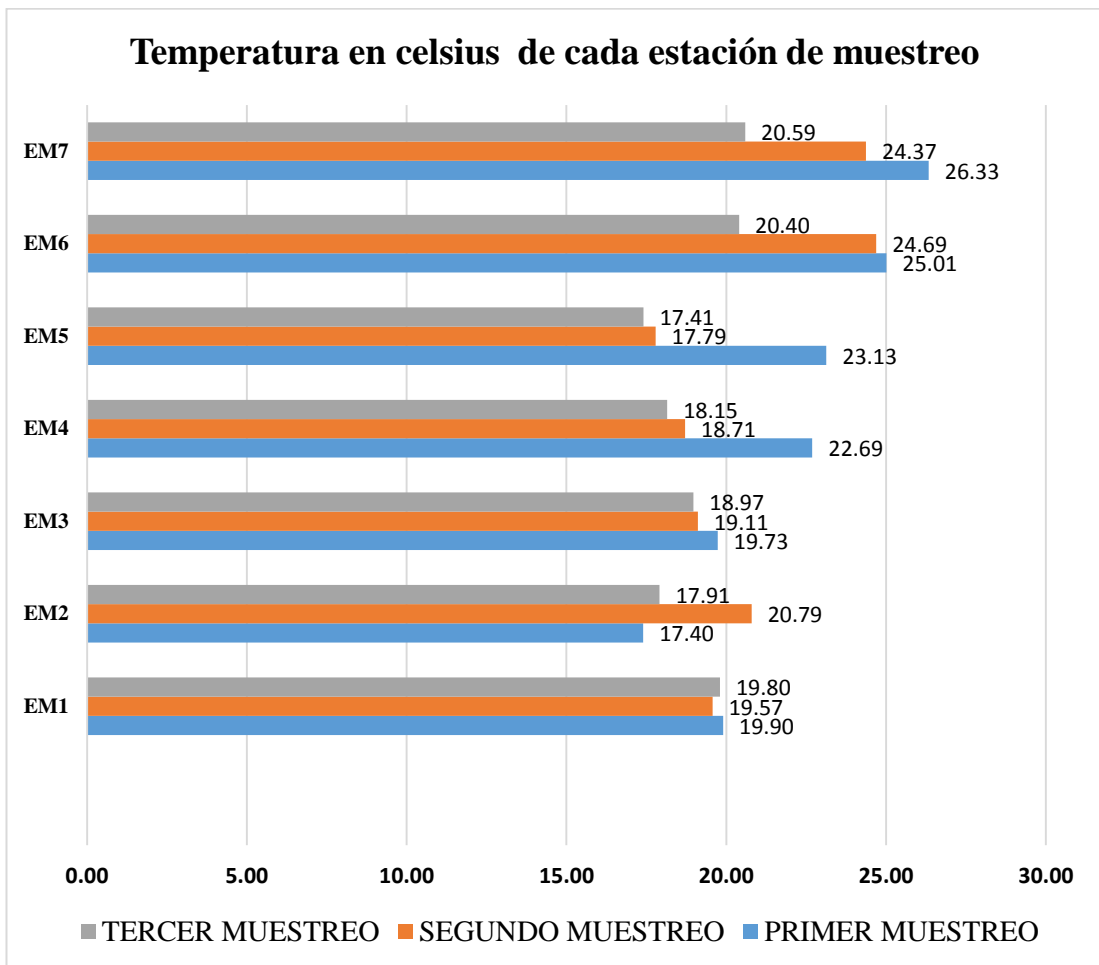


Figura 10. Registro de la temperatura de los meses de septiembre, octubre y noviembre, de las siete estaciones de muestreo.

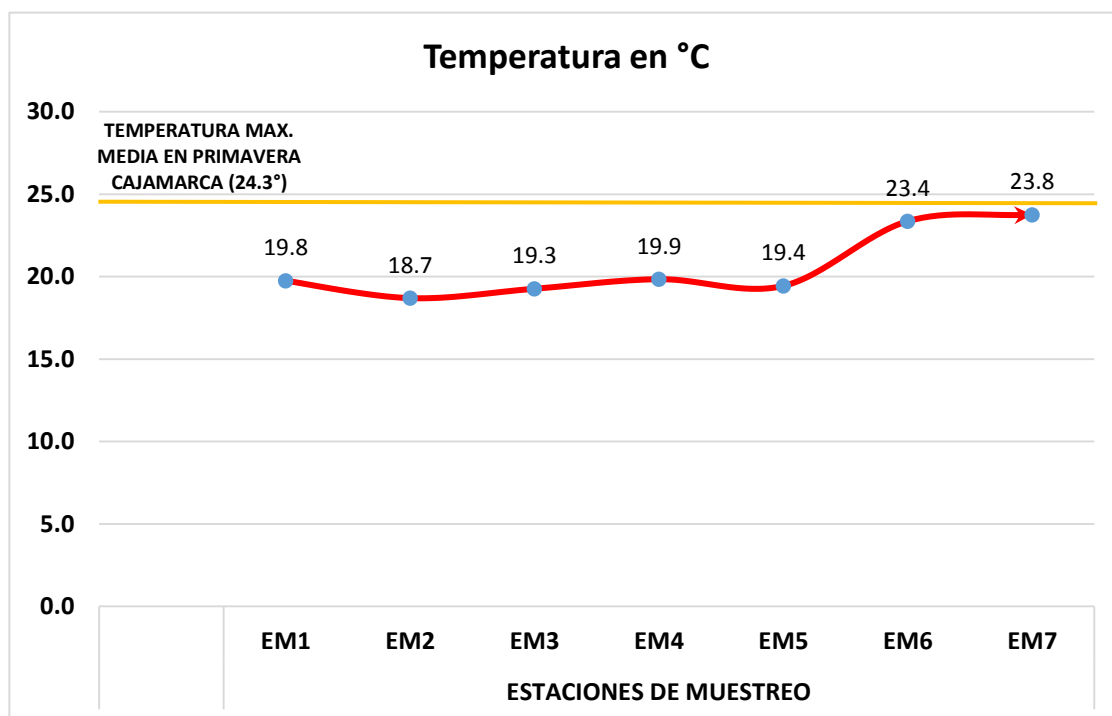


Figura 11. Registro de la temperatura promedio de los meses de septiembre, octubre y noviembre, de las siete estaciones de muestreo.

4.1.4.2. Ph

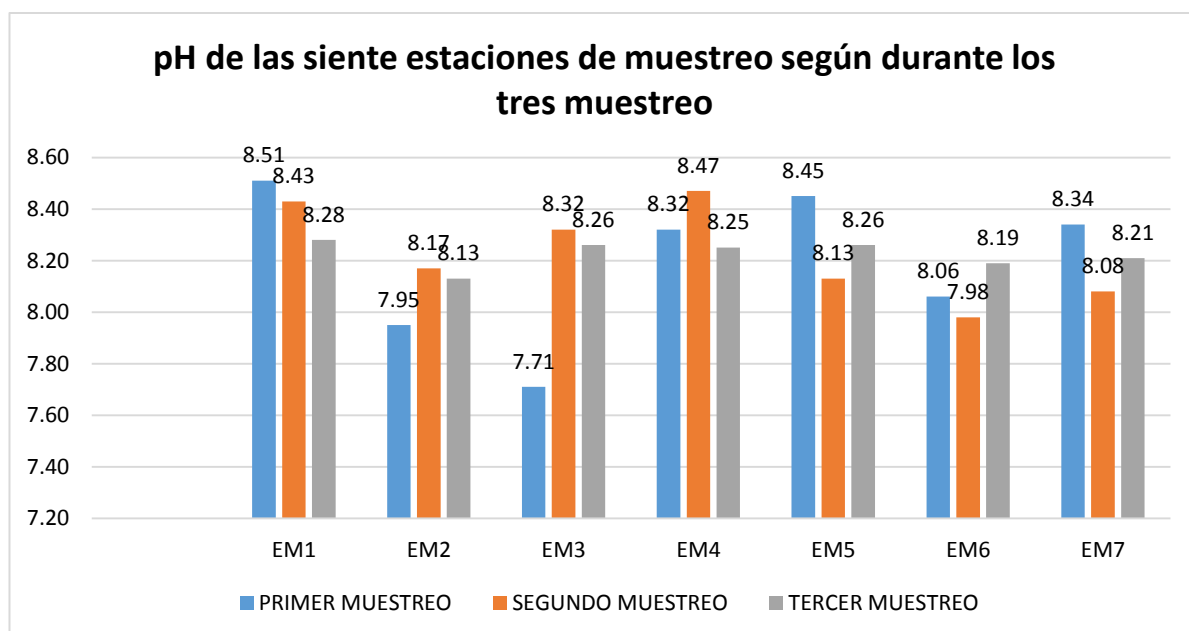


Figura 12. Registro de pH en las siete estaciones de muestreo durante los tres meses de muestreo.

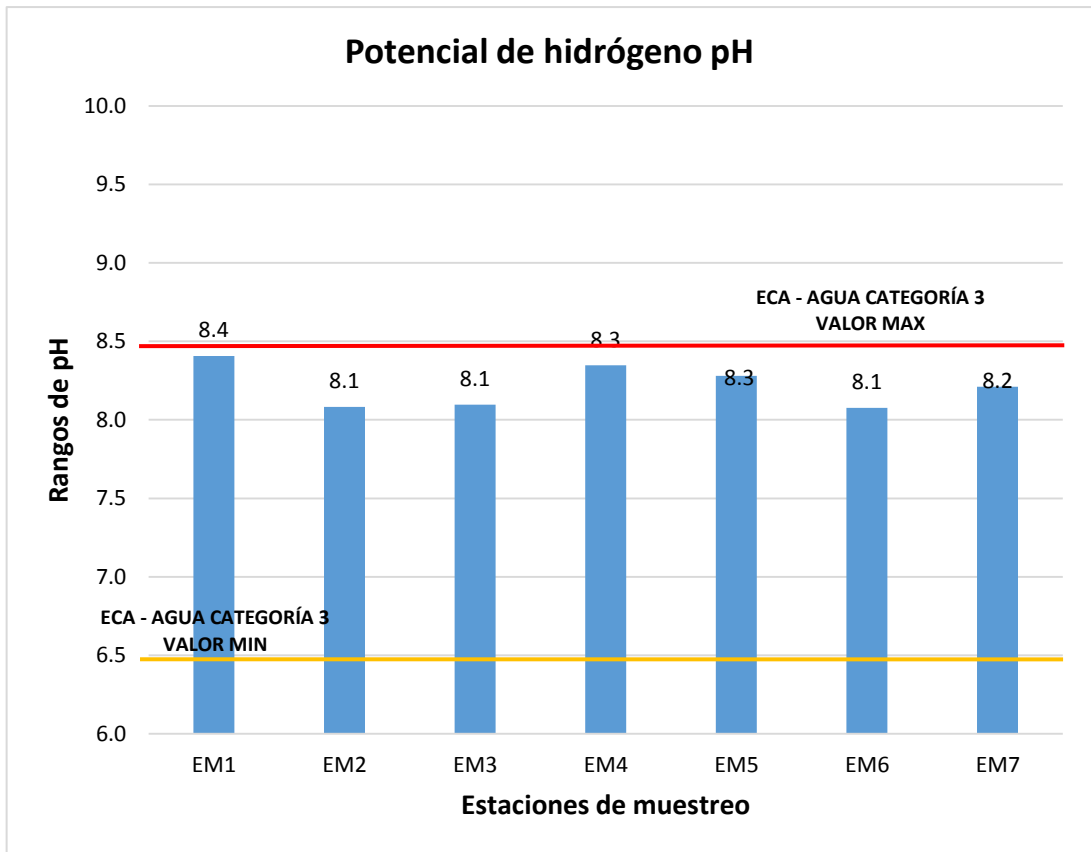


Figura 13. Registro del potencial de hidrógeno (pH) promedio de los meses de septiembre, octubre y noviembre, de las siete estaciones de muestreo.

4.1.4.3. Conductividad

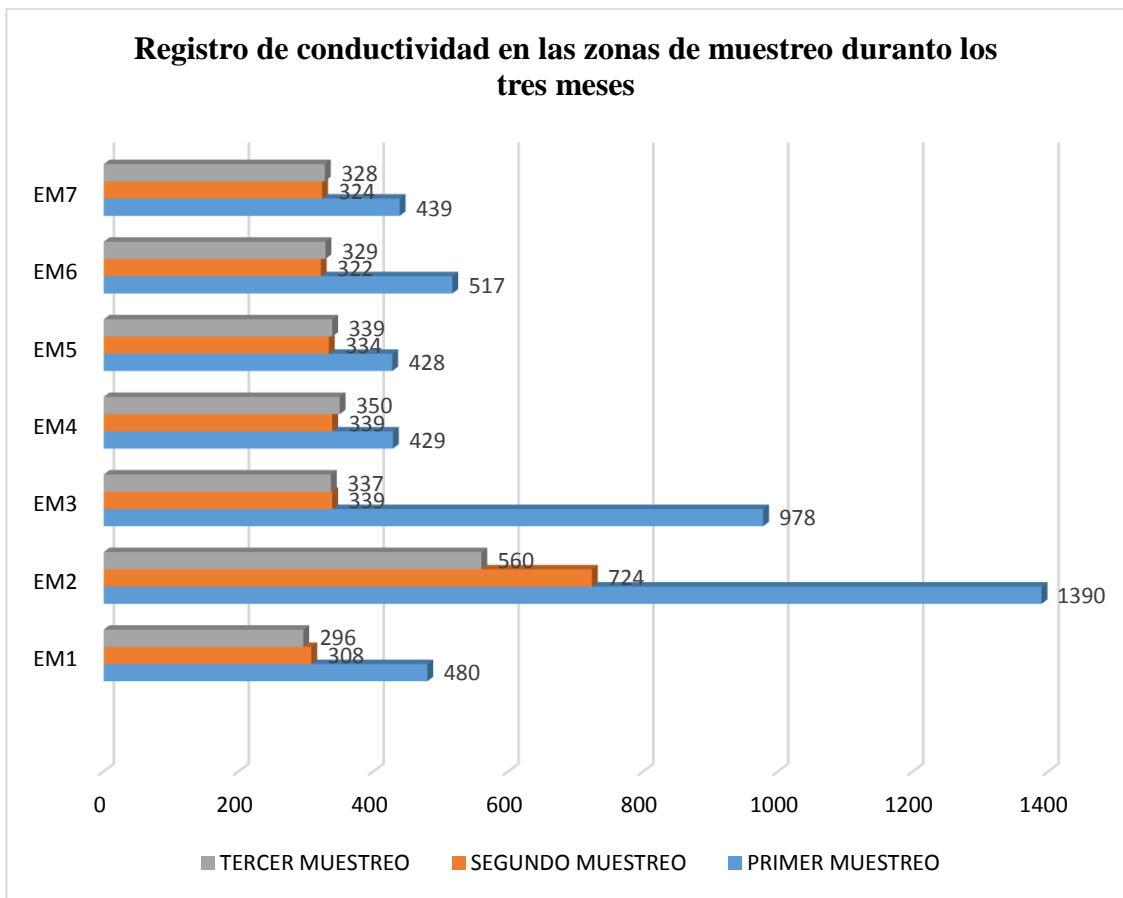


Figura 14. Registro de conductividad en las siete estaciones durante los tres meses de muestreo.

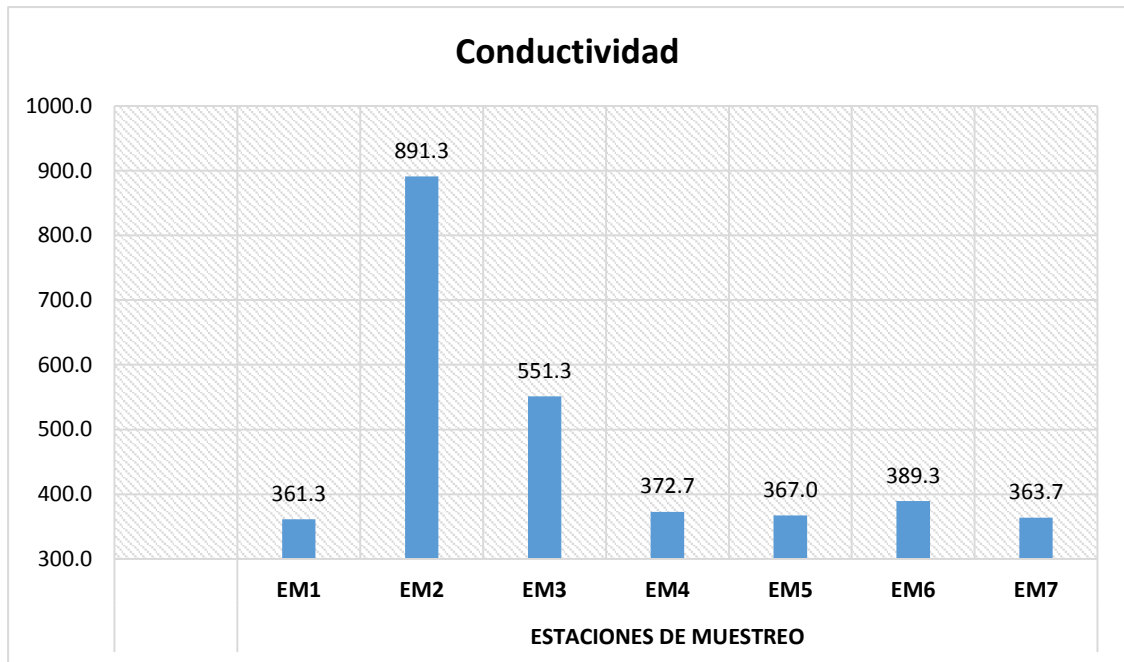


Figura 15. Registro de conductividad promedio de los meses de septiembre, octubre y noviembre, de las siete estaciones de muestreo.

4.1.4.4. Nitratos

Tabla 19

Resultados del análisis en laboratorio de nitratos en las siete estaciones de muestreo durante los tres muestreos septiembre, octubre y noviembre respectivamente.

Número de muestreos	Resultados de los análisis de nitratos en Mg/L						
	EM1	EM2	EM3	EM4	EM5	EM6	EM7
Primer muestreo	22.15	199.35	132.9	22.15	8.86	8.86	3.1
Segundo muestreo	8.86	13.29	4.43	17.72	4.43	4.43	1.33
Tercer muestreo	1.77	75.31	0.89	2.66	3.99	1.33	4.43
Promedio	10.93	95.98	46.07	14.18	5.76	4.87	2.95

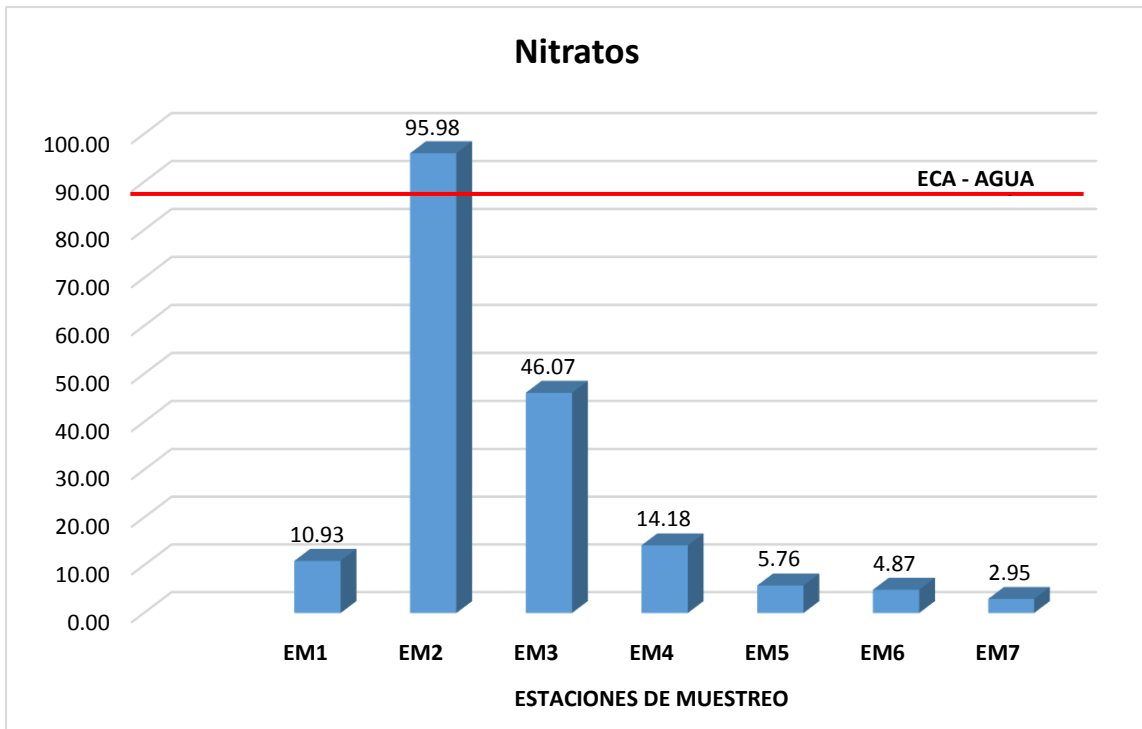


Figura 16. Resultados del promedio de nitratos de los meses de septiembre, octubre y noviembre, de las siete estaciones de muestreo.

4.1.4.5. Caudal

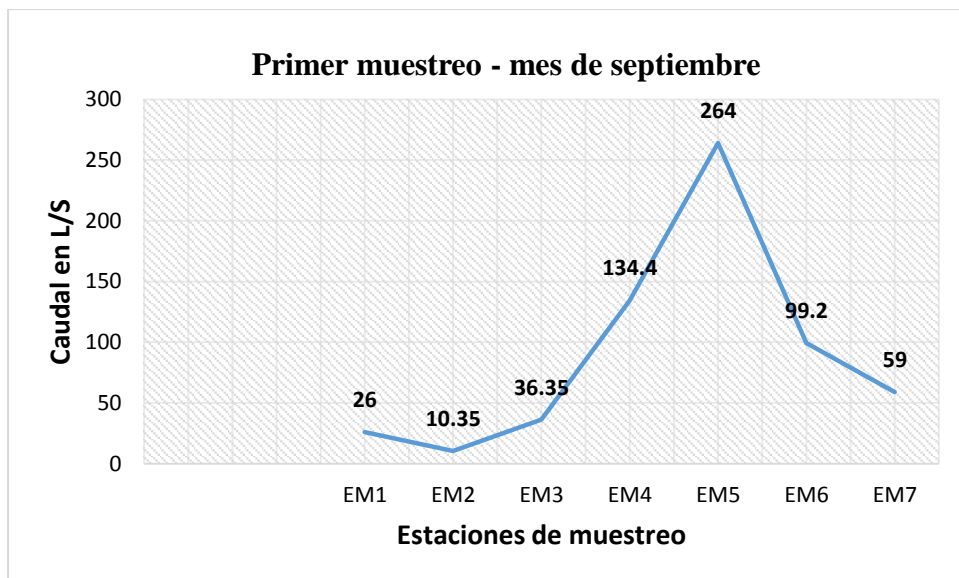


Figura 17. Caudal registrado durante el primer muestreo correspondiente al mes de septiembre en las siete estaciones de muestreo.

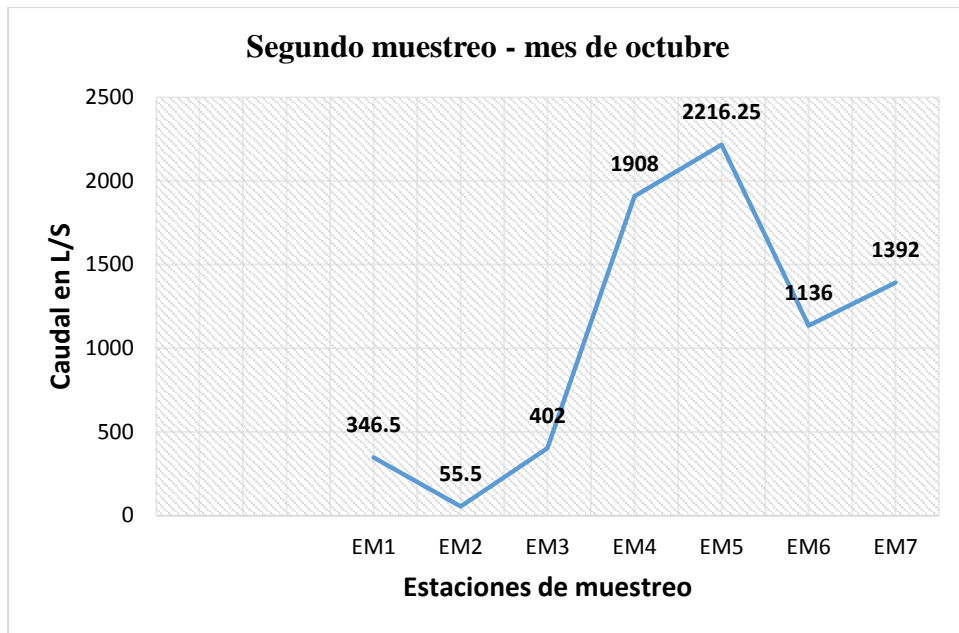


Figura 18. Caudal registrado durante el segundo muestreo correspondiente al mes de octubre en las siete estaciones de muestreo.

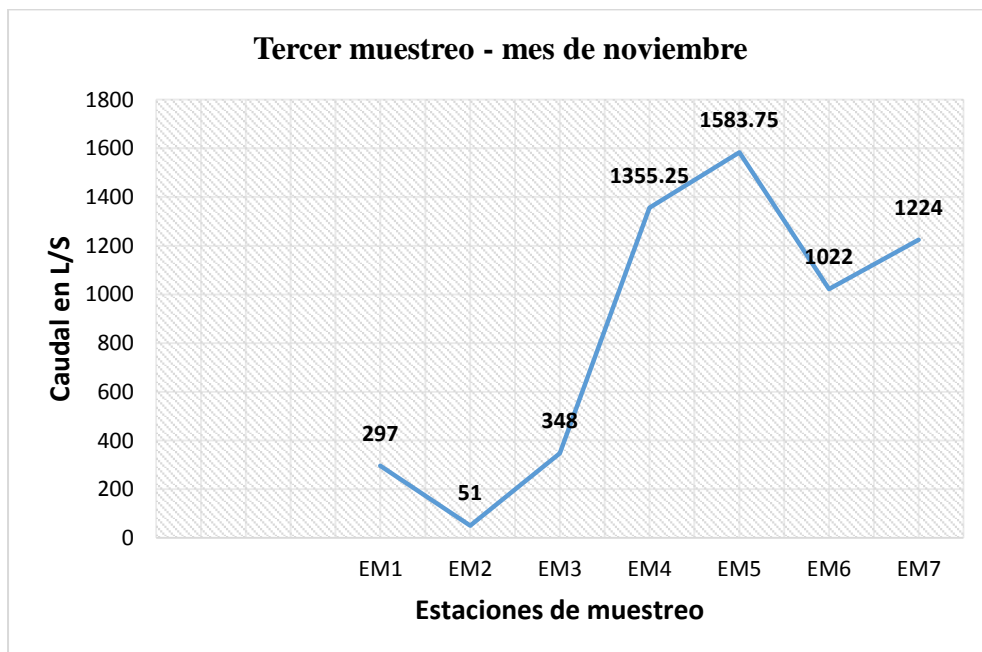


Figura 19. Caudal registrado durante el tercer muestreo correspondiente al mes de noviembre en las siete estaciones de muestreo.

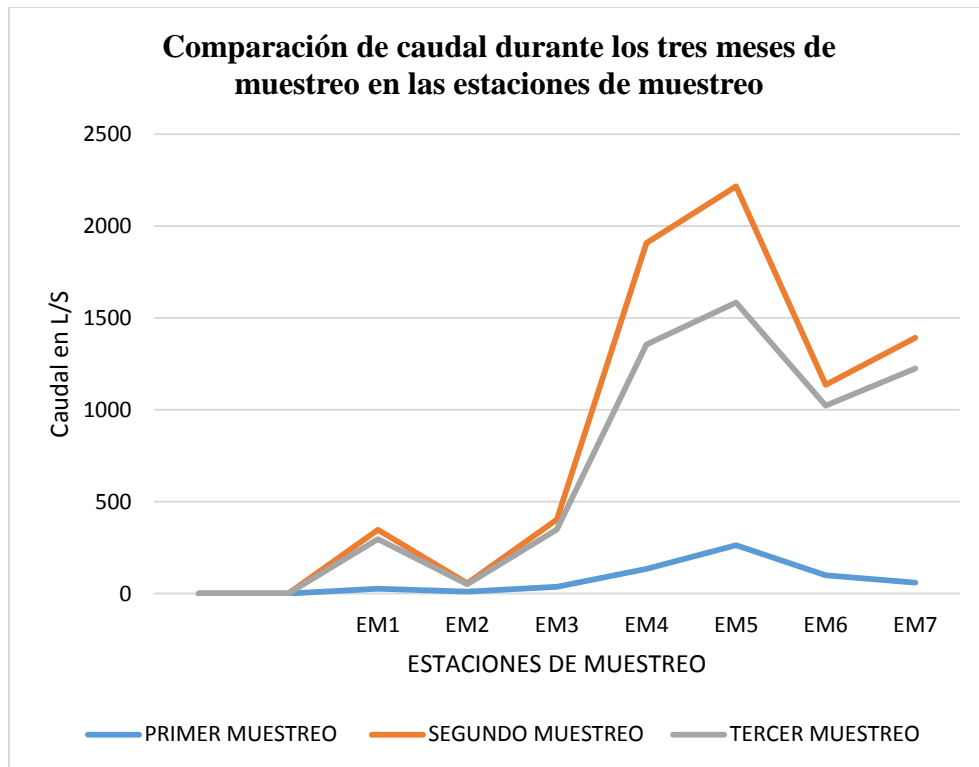


Figura 20. Fluctuación del caudal durante los tres meses de muestreo (septiembre, octubre y noviembre), en las siete estaciones.

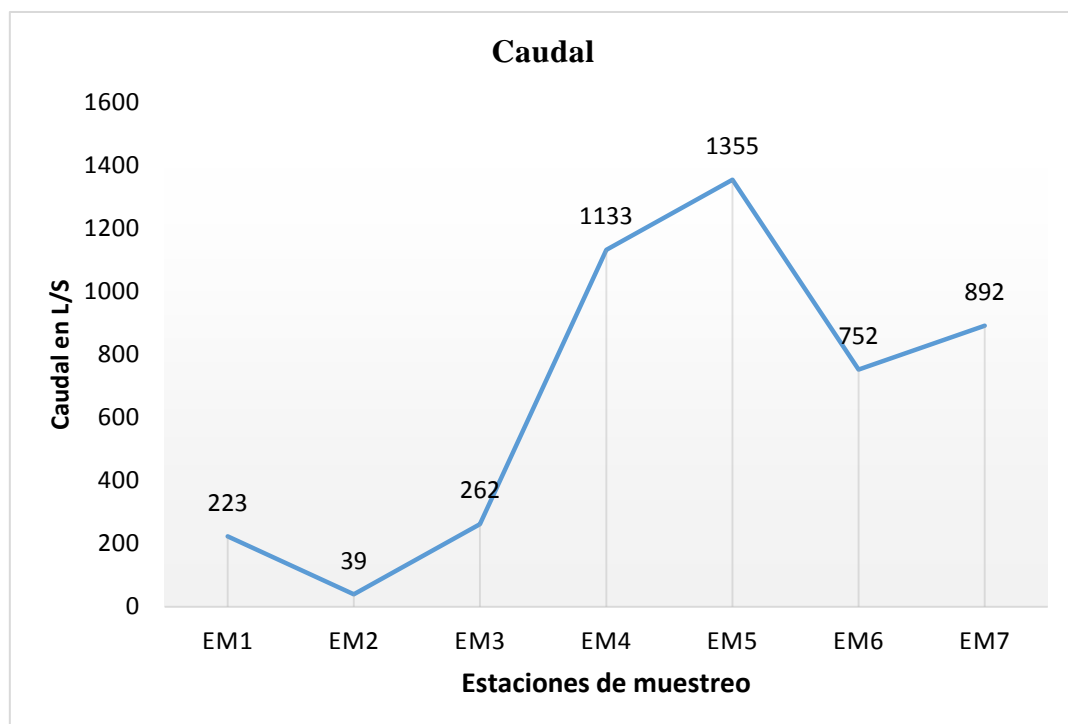


Figura 21. Resultados del promedio del caudal de los meses de septiembre, octubre y noviembre, de las siete estaciones de muestreo.

4.1.5. Correlación entre la cantidad de familias identificadas y parámetros fisicoquímicos analizados.

Tabla 20

Cantidad de familias identificadas y parámetros fisicoquímicos analizados en cada estación de muestreo del río Chotano (tramo Chota - Cochabamba).

Estaciones de muestreo	Número de familias	Promedio de los parámetros fisicoquímicos			
		Temperatura (°C)	Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad (µS/cm)	Nitratos (Mg/L)
EM1	6	19.8	8.4	361.3	10.93
EM2	3	18.7	8.1	891.3	95.98
EM3	5	19.3	8.1	551.3	46.07
EM4	10	19.9	8.3	372.7	14.18
EM5	8	19.4	8.3	367.0	5.76
EM6	5	23.4	8.1	389.3	4.87
EM7	5	23.8	8.2	363.7	2.95

Tabla 21

Coefficientes de correlación entre la cantidad de familias identificadas y parámetros fisicoquímicos analizados de cada punto de muestreo del río Chotano (tramo Chota - Cochabamba).

Variables	Temperatura (°C)	Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad (µS/cm)	Nitratos (Mg/L)
Número de Familias	-0.145753	0.653388	-0.641036	-0.575846

En la tabla número 21, se muestran los valores según la correlación de Pearson que tienen cada uno de los parámetros fisicoquímicos con respecto al número de familias identificadas. En los siguientes gráficos se mostrará los diferentes comportamientos que sufren cada una de las correlaciones.

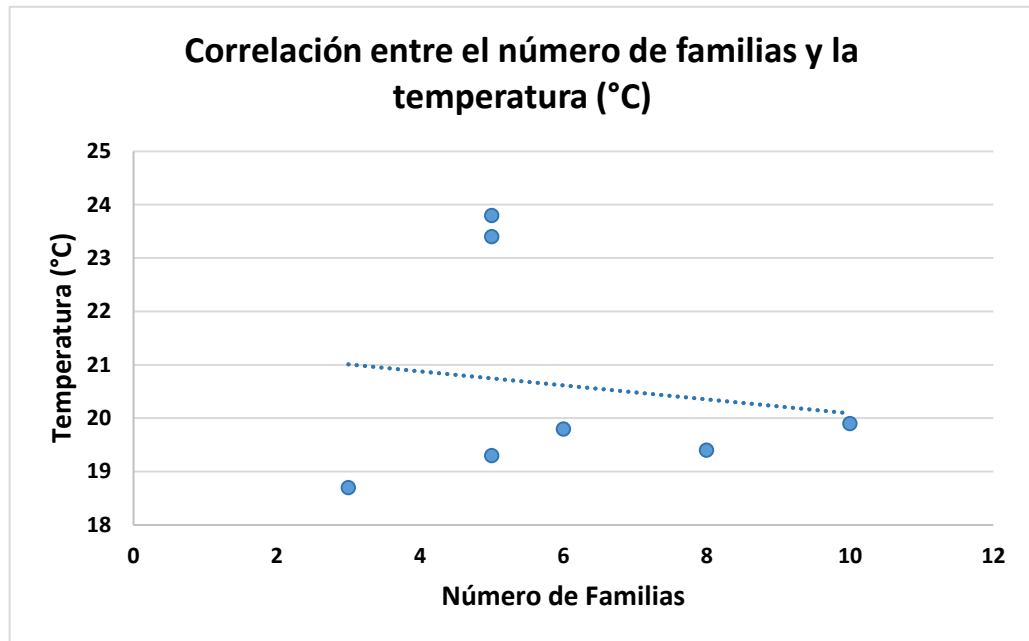


Figura 22. Correlación entre el número de familias identificadas y la temperatura (°C).

El coeficiente de correlación de Pearson entre el número de familias y la temperatura (°C) es negativa teniendo un valor de -0.145753 ; lo cual nos indica una relación negativa muy baja entre estas dos variables, deduciendo que a medida que incrementa su valor la temperatura (°C), las familias de macroinvertebrados bentónicos decrecen en población tenuemente en el río Chotano (tramo Chota - Cochabamba).

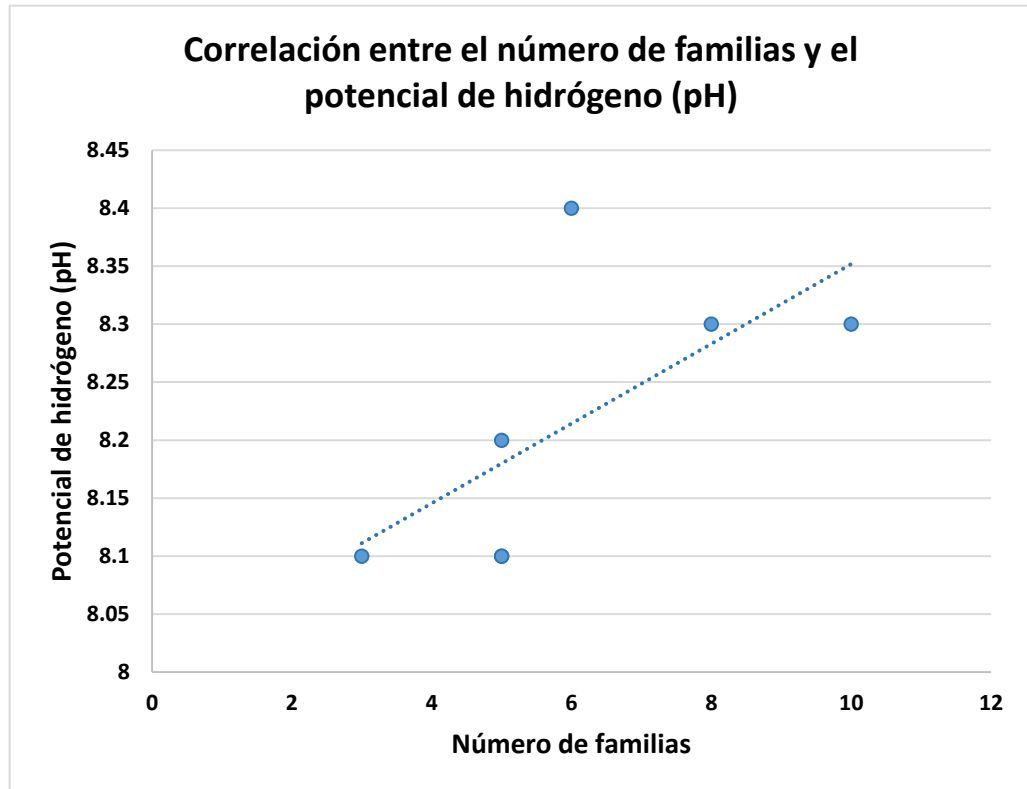


Figura 23. Correlación entre el número de familias y potencial de hidrógeno (pH).

En esta esta figura 23, se puede observar que las variables de correlación cantidad de familias de macroinvertebrados bentónicos y potencial de hidrógeno es positiva, dando un valor de 0.653388, existiendo una correlación positiva alta entre estas dos variables es decir; al aumentar el valor del potencial de hidrógeno (pH) también lo hacen las familias de macroinvertebrados bentónicos en proporción constante. Concluyendo que el potencial de hidrógeno (pH) es un factor muy importante para la variabilidad de las familias de macroinvertebrados bentónicos acuáticos en el río Chotano.

En la figura 24, se muestra un valor de correlación negativa alta de - 0.641036, entre la cantidad de familias de macroinvertebrados bentónicos y la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), esto nos muestra que cada vez que aumenta su valor la

conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), las familias de macroinvertebrados bentónicos acuáticos disminuyen considerablemente.

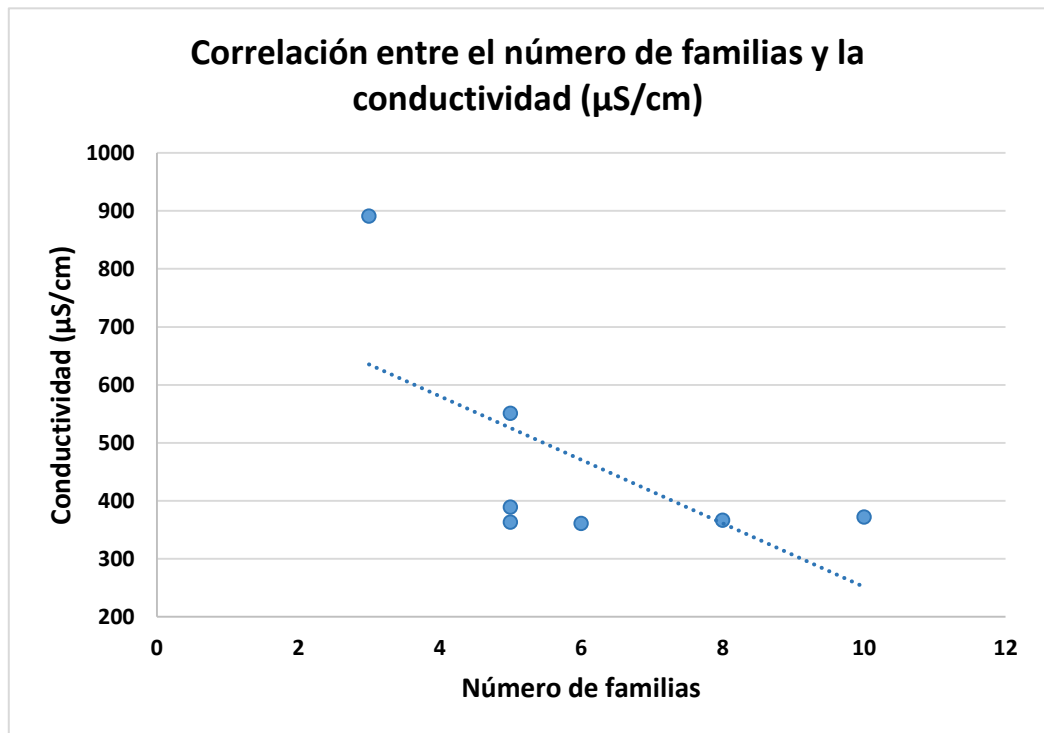


Figura 24. Correlación entre el número de familias y la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

El valor del coeficiente de correlación entre las familias de macroinvertebrados bentónicos acuáticos y los nitratos nos da un valor de -0.575846, siendo esta una correlación negativa moderado. Es decir, que a medida que el valor de los nitratos (Mg/L) aumenta existe una disminución moderada en la cantidad familias de macroinvertebrados bentónicos en el río Chotano (tramo Chota - Cochabamba). Estos resultados se pueden apreciar más a detalle en la figura 25.

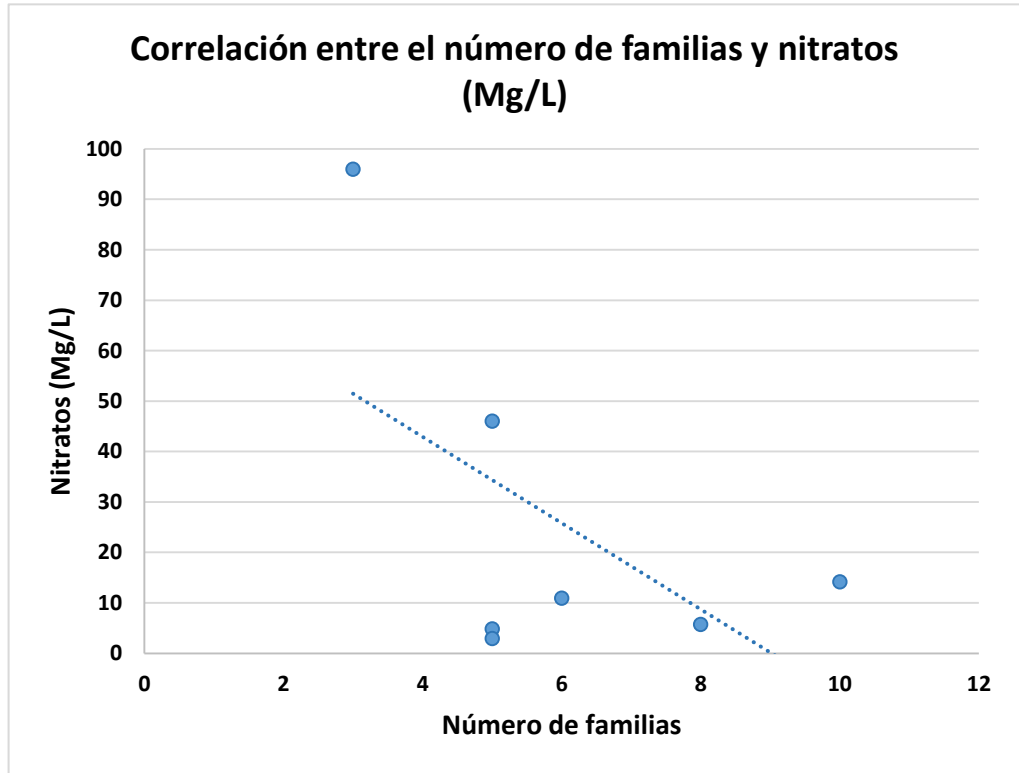


Figura 25. Correlación entre el número de familias y los nitratos (Mg/L).

4.2. Discusión

4.2.1. Variabilidad espacial de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un gradiente longitudinal del río Chotano.

La variabilidad de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos que se registró en el gradiente longitudinal del río Chotano (tramo Chota - Cochabamba), fue que la clase insecta representó un 73% del total de la población, siendo el orden díptera la más distintiva de la clase, reafirmando los estudios de Toro *et al.* (como se citó en Bullón, 2016) que menciona que los insectos acuáticos representan entre un 70% a un 90% de la fauna de macroinvertebrados dulceacuícolas, así también estos resultados se asemejan a los resultados encontrados en la cuenta alta del río Chillón donde el orden díptera es el más heterogéneo y el más representativo (García Ríos, 2016). Estos resultados tanto de densidad como de diversidad han sido influenciados debido a la contaminación orgánica que recibe las aguas del río Chotano, específicamente en los puntos dos y tres de colecta, dicha observación también lo hacen Pavé y Marchese (2005, p.183) en el río Las Tunas y su afluente Saucesito.

El mayor número de familias encontradas fue en la estación de muestreo número cuatro (10 familias) ubicada antes de la llegada del río Chotano al distrito de Lajas (Este: 750597, Norte: 9274755), seguido con ocho familias la estación de muestreo número cinco (Este: 749910, Norte: 9274229), ubicada a la salida del pueblo del distrito de Lajas. Las estaciones de muestreo número uno (Este: 759587, Norte: 9273203), tres (Este: 759509, Norte: 9273284), seis (Este: 734479, Norte: 9283934) y siete (Este: 733972, Norte: 9284295) comparten casi el mismo número de familias con un total de seis, cinco, cinco y

cinco respectivamente. El menor número de macroinvertebrados encontrados fue en la estación de muestreo número dos ubicado antes de la llegada del río Colpamayo en el río Chotano, con un total de tres familias, la no presencia de individuos en esta zona estaría influenciada debido a los niveles altos de contaminación que se evidencia en este punto de muestreo, tanto por el vertimiento de manera directa de aguas residuales de las viviendas cercanas a la rivera como la evacuación de las aguas y desechos producto del faenado del camal municipal, lo cual estaría alterando la físico química del agua y por ende disminuyendo su calidad, estos resultados concuerdan con los estudios de Buenaño Sanchez *et al.* (2018), que menciona que la relativa poca abundancia de los macroinvertebrados estaría condicionado con los parámetros fisicoquímicos del agua, así también con Miserendino *et al.* (Como se citó en Bullón, 2016) que menciona, los bajos índices de población de macroinvertebrados estaría influenciado con la baja calidad del agua y alimentos, así también con las dificultades de los componentes de respiración entre otros aspectos fisiomorfológicas. Tanto la población urbana como las actividades agrícolas han influenciado negativamente en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos (Yépez Ángel *et al.*, 2017).

El orden Ephemeroptera se manifiesta con mayor presencia en las estaciones de muestreo número cuatro y cinco, donde la calidad del agua resultó ser buena y moderada respectivamente, estos resultados refuerzan el estudio de Roldan (1996) que menciona que estos organismos habitan por lo general en ecosistemas libre de contaminación y bien oxigenadas, en general se consideran indicadores de buena calidad de agua.

Los individuos del orden Trichoptera prefieren las aguas no estancadas sino corrientes siendo estos indicadores de aguas limpias y oxigenadas, en general son buenos indicadores de aguas oligotróficas (Roldan, 1996), también se concuerda con esta afirmación ya que la mayor cantidad de individuos de este orden en esta investigación fueron registrados en la estación de muestreo número cuatro, cuyas aguas tienen un nivel de calidad bueno.

El patrón espacial que se registra entre los taxa de macroinvertebrados bentónicos en el gradiente longitudinal (Chota – Cochabamba) del río Chotano, depende netamente de la calidad del agua, debido a que representa una alta correlación entre la abundancia de las comunidades de macroinvertebrados y la calidad de agua registrada.

4.2.2. Índice biótico andino (IBA)

La puntuación obtenida por cada estación de muestreo en función al índice biótico andino (IBA), nos muestra un nivel de calidad del agua que va desde el pésimo hasta el bueno.

En la estación de muestreo número uno, ubicada cerca del puente Cabracancha, se obtuvo una puntuación de 25 en función al índice biológico andino (IBA), dando como resultado un nivel de calidad malo. Esto podría ser debido a que aguas arriba existen canteras y puntos de vertimiento directo de aguas residuales domiciliarias, concordando con los resultados que se registraron en el estudio de la cuenca del Pachanlica (Buenaño Sanchez *et al.*, 2018) cuyas aguas son categorizadas como de mala calidad debido a los vertimientos directos de aguas residuales, extracción de material para construcción como piedra y ripio. En esta estación de muestreo se han

identificado individuos del orden ephemeroptera como la familia leptophlebiidae y baetidae que son indicadores de aguas limpias y de buena calidad, pero también se identificaron individuos que son indicadores de aguas contaminadas de la familia chironomidae.

En la estación de muestreo número dos, se encuentra el menor número de familias encontradas durante los tres muestreos, obteniendo una puntuación de cuatro y un nivel de calidad pésimo en función al índice biótico andino (IBA). Esta estación de muestreo está ubicada a unos metros antes de la desembocadura del río Colpamayo en el río Chotano, en este afluente existe una alta contaminación visible, debido a que aguas arriba existe descarga directa de aguas residuales domiciliarias, vertimiento de desechos del faenando de ganando y aguas residuales del camal municipal y arrojado de basura en sus orillas. Forero Duarte (2017) en su estudio corrobora los resultados obtenidos en esta investigación, refiriendo que a medida que la calidad del agua disminuye, disminuye también las comunidades de macroinvertebrados. En esta estación de muestreo se identificaron tres familias que son chironomidae, syrphidae y enchytraeidae que son individuos indicadores de aguas muy contaminadas.

La estación de muestreo número tres, se encuentra a la altura del cementerio San Juan del distrito de Chota, la puntuación obtenida en función al índice IBA es de 14 y su nivel de calidad de agua es malo. Esta estación de muestreo está a unos 100 metros aguas abajo de la unión del río Colpamayo en el río Chotano, en este punto las aguas ya se encuentran totalmente mezcladas y los resultados reflejan el impacto de la unión de estos dos ríos. En este sector, sus orillas reciben descarga de desmonte y arrojado de basura. En esta estación de muestreo

se identificaron individuos indicadores de aguas contaminadas del orden díptera indicadores de aguas oligotróficas como menciona (Roldan, 1996).

La estación de muestreo número cuatro es la que tiene la puntuación más alta con un puntaje de 55 y con un nivel de calidad bueno en función al índice IBA. Este punto de muestreo se encuentra ubicada antes de la llegada del río Chotano al distrito de Lajas, donde la intervención antrópica es menor que las estaciones de monitoreo anteriores y hasta este tramo las aguas con nivel malo proveniente del distrito de Chota se purifican y oxigenan naturalmente hasta cierto grado debido a la presencia de vegetación riberena y poca intervención humana. En este punto se encontraron individuos del orden ephemeroptera, plecoptera y trichoptera, que son indicadores de aguas limpias y bien oxigenadas y de buena calidad como menciona (Roldan, 1996).

La estación de muestreo número cinco, ubicada a la salida del río Chotano del distrito de Lajas, registra una puntuación de 43 y un nivel de calidad de agua moderado en función al índice IBA. Tanto la puntuación como el nivel de calidad con respecto a la estación de muestreo número cuatro es menor a pesar de estar a pocos metros de distancia, estos resultados puede ser debido a la influencia antrópica que es sometido este cuerpo de agua al pasar por la ciudad del distrito de Lajas. En esta zona se ha encontrado individuos del orden ephemeroptera y plecoptera que son indicadores de buena calidad del agua, pero también se ha encontrado individuos de la familia chironomidae característicos de aguas contaminadas como menciona (Roldan, 1996).

La estación de muestreo número seis registra un puntaje de 30 y un nivel de calidad de agua moderado. Esta estación de muestreo se encuentra antes de la llegada del río Chotano al distrito de Cochabamba. En esta estación de muestreo

se ha encontrado individuos característicos de buena calidad de agua del orden plecoptera y trichoptera, pero también se ha identificado individuos característicos de aguas contaminadas de la familia chironomidae.

La última estación de muestreo número siete está ubicada después del distrito de Cochabamba, la cual registra una puntuación de 24 y un nivel de calidad de agua malo. Aguas arriba de esta estación de muestreo existe una cantera, la cual puede ser un factor para la poca presencia de macroinvertebrados bentónicos. En esta estación de muestreo se ha identificado individuos del orden Ephemeroptera de la familia baetidae que son indicadores de aguas limpias como menciona (Roldan, 1996).

La puntuación promedio de todo el gradiente longitudinal (tramo Chota - Cochabamba) del río Chotano en función al índice biótico andino (IBA) registra un puntaje de 27.9 correspondiente a un nivel de calidad de agua moderado.

4.2.3. Parámetros físico-químicos

La calidad del agua del río Chotano (tramo Chota - Cochabamba) se evaluó con la categoría 3 de los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, riego de vegetales y bebida de animales, establecidos en el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. La evaluación se realizó mediante la comparación de resultados obtenidos de cada parámetro en cada estación de muestreo con el valor de la categoría ECA - agua correspondiente.

La temperatura promedio de las estaciones de muestreo está por debajo de la línea máxima de temperatura (que es 24.3°C) para los meses de septiembre, octubre y noviembre en la región Cajamarca, encontrándose también que mientras más descendemos sobre el nivel del mar mayor es la temperatura, concordando estos

observaciones con el estudio de Alomía Castañeda *et al.* (2017) en la cuenca alta del río Huallaga – Perú, donde menciona que la temperatura en el agua depende de la altura sobre el nivel del mar. La máxima temperatura promedio se registra en la estación de muestreo número siete, ubicada en el distrito de Cochabamba a una altura de 1652 m s. n. m., con un registro de 23.8 grados centígrados. La mínima temperatura promedio se registró en la estación número dos, ubicada en el distrito de Chota a una altura de 2303 m s. n. m., con un registro de 18.7 grados centígrados.

El potencial de hidrógeno (pH) promedio del registro de los tres meses, de cada estación de muestreo no excede los estándares de calidad ambiental para agua (6.5 – 8.5). El registro máximo se identificó en la estación de muestreo número uno con un valor de 8.4 de pH y el registro mínimo en las estaciones de muestreo número dos, tres y seis con un valor de 8.1 de pH cada una, determinando así que las características del agua del río Chotano son ligeramente alcalinas al igual que las aguas del río Chira como menciona el estudio realizado por (Lisboa Barrientos, 2019).

El registro promedio de los datos de la conductividad de todas las estaciones de muestreo está por debajo de los 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor mínimo según los ECAs. El registro más alto se identificó en la estación de muestreo número dos, estación de muestreo donde existe la mayor contaminación por aguas residuales, con un valor de 891.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y el valor más bajo se registró en la estación de muestreo número uno con 361.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El incremento de la conductividad puede ser debido al vertimiento de las aguas residuales de manera directa a este cuerpo de agua y el exceso de agroquímicos en los cultivos a riveras de este río, estas afirmaciones se puede corroborar con los resultados obtenidos por Salazar y Pastor (2019) en las aguas del río Jequetepeque en el tramo de San Juan – Chilate del departamento de Cajamarca, donde también observaron y concluyeron que la conductividad se incrementa debido a

que existe una contaminación por aportaciones de efluentes, que en su mayoría son aguas residuales.

En la evaluación de nitratos, la estación de muestreo número dos, ubicada antes de la llegada del río Colpamayo en el río Chotano, sobrepasa los valores ambientales de la legislación peruana, con un valor de 95.98 Mg/L, pudiendo ser debido a la influencia que ejerce las aguas residuales al ser vertidas en estos cuerpos de agua, también debido a la utilización de abonos nitrogenados empleados en la agricultura presente a orillas de este río aguas arriba, esto contrasta con lo que menciona Ladrera Fernández (2012) que el aumento de nutrientes procedentes de actividades agrícolas y ganaderas como de algunos elementos que contienen las aguas residuales a causa de los detergentes provoca un descenso del oxígeno en el agua, mermando de esta manera la diversidad de las poblaciones de macroinvertebrados. Estos resultados también se presentan en las aguas del río Jequetepeque y dan las mismas observaciones en su estudio Salazar y Pastor (2019). El registro mínimo de nitratos se encuentra en la estación número siete con un valor de 2.95 Mg/L.

El mayor registro de caudal promedio se encuentra en la estación de muestreo número cinco con un total de 1355 l/s y el caudal mínimo en la estación de muestreo número dos con un total de 39 l/s correspondiente al río Colpamayo. En el tercer muestreo (mes de noviembre) se obtuvo el mayor registro de caudal, pero se registró menor número de individuos de macroinvertebrados bentónicos, estas mismas observaciones encontraron Romero y Tarrillo (2017) en la quebrada Chambag en la cual mencionan que mientras exista menor caudal promedio el número de organismos aumenta.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se dio cumplimiento al objetivo general de este trabajo de investigación identificándose los macroinvertebrados bentónicos con un total de cuatro (4) phylum, cuatro (4) clases, once (11) órdenes, diecinueve (19) familias y veinte (20) géneros, representando la clase insecta el 73% del total de la población, siendo el orden díptera la más abundante de las clases.
- La mayor cantidad de familias encontradas corresponde a la estación de muestreo número cuatro, sector distrito de Lajas, con un total de diez (10) familias. Por lo contrario el menor número de familias encontradas corresponde a la estación de muestreo número dos, desembocadura del río Colpamayo, con un total de tres (3) familias, registrando un nivel de calidad pésimo en función al índice biótico andino (IBA).
- La puntuación más alta obtenida en la evaluación de las familias de macroinvertebrados bentónicos en función al índice biótico andino (IBA), le corresponde a la estación de muestreo número cuatro, sector distrito de Lajas, con un puntaje de 55 correspondiente a un nivel de calidad bueno y la puntuación más baja corresponde a la estación de muestreo número dos, sector desembocadura del río Colpamayo en el río Chotano, con una puntuación de cuatro correspondiente a un nivel de calidad pésimo.
- Existe alteración de la calidad fisicoquímica de las aguas del río Chotano en el parámetro de nitratos, específicamente en la estación de muestreo número dos que corresponde al río Colpamayo, según los ECA-agua evaluados. Esto debido a las actividades antrópicas en dicho río, principalmente la evacuación directa de aguas

residuales tanto de las viviendas como del camal municipal en este recurso hídrico. Los parámetros como temperatura y pH están por debajo de los valores máximos de los estándares de calidad ambiental (ECA) para aguas y la conductividad está por debajo de los valores mínimos. Referido al caudal se concluye que a menor caudal existe mayor número de familias.

- El patrón espacial que sigue el número de familias de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en las aguas del río Chotano, depende de la calidad del agua de esta, ya que representa una alta correlación entre el número de familias de macroinvertebrados y el grado de integridad del agua. Así también a escala espacial, el gradiente longitudinal y altitudinal tiene una elevada importancia en las características del medio y la composición físico-química del recurso hídrico en cada una de los puntos de monitoreo estudiadas, influyendo en los patrones de riqueza, abundancia y distribución de los macroinvertebrados bentónicos.

5.2. Recomendaciones

- Desarrollar estudios complementarios en biomonitoreos con el uso de índices bióticos del río Chotano complementados con análisis fisicoquímicos de manera permanente y continua en coordinación con las instituciones competentes, a fin de garantizar su protección y conservación de este recurso hídrico acorde a los parámetros y normatividad vigente.
- Realizar constantes monitoreos, tanto en el río Chotano como en sus afluentes como es el río Colpamayo, respecto a su calidad y de esta manera contribuir a la realización de planes de gestión, sensibilización y medidas de saneamiento a fin de disminuir paulatinamente la contaminación de sus aguas.
- Realizar estudios más profundos de los índices de calidad de agua basados en macroinvertebrados, especialmente en nuestra provincia y departamento y así tener datos más precisos y confiables de los valores de tolerancia y sensibilidad que tienen cada una de las especies de macroinvertebrados en los ríos de nuestra región.
- Profundizar los estudios de claves taxonómicas de macroinvertebrados en nuestra provincia, departamento y país, para la elaboración de claves taxonómicas especializadas y de esta manera facilitar la identificación de estos en futuros estudios.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, C. R. (2009). Estudio De La Cuenca Altoandina Del Río Cañete (Perú): Distribución altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas [Tesis doctoral, Universidad de Barcelona]. Repositorio Institucional de Barcelona España. <http://www.ub.edu/riosandes/index.php/tesis.html>
- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., y Prat, N. (2008). Propuesta de un protocolo de evaluación de calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Asociación Ibérica de Limnología*, 28(1), 35-64.
- Alomía, J., Iannacone, J., Alvariano, L., y Ventura, K. (2017). Macroinvertebrados bentónicos para evaluar la calidad de las aguas de la cuenca alta del río Huallaga, Perú. *The Biologist (Lima)*, 15(1), 65-84. <http://dx.doi.org/10.24039/rtb2017151144>
- Balmaceda, J. (2019). Calidad de agua y diversidad de macroinvertebrados acuáticos del río Huancabamba en el tramo Presa El Limón, Lambayeque-Perú. *Revista Ciencia Nor@andina*, 02(1), 11-21.
- Buenaño, M., Vásquez, C., Zurita, H., Parra, G., y Pérez, R. (2018). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en la cuenca del Pachanlica, provincia de Tungurahua, Ecuador. *Intrópica*, 13(1), 41-49. <https://doi.org/10.21676/23897864.2405>
- Bullón, V. E. (2016). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en la cuenca del río Perene, Chanchamayo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Del Centro del Perú]. Repositorio

[Phhttp://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3462/Bullón%20Alcala.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3462/Bullón%20Alcala.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Cuellar, P.J., Vivas, S., Bonada, N., Robles, S., Mellando, A., Alvares, M., Avilés, J., Casas, J., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Sainz, C. E., Sánchez, A., Suarez, L., Toro, M., Vidal, R., Zamora, C., Alba, J. (2002). Protocolo GUADALMED (PRECE). *Limnetica*, 21(3-4), 187-204.

Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Revista Química Viva* 11(3), 147 – 170.

Forero, J. D. (2017). *Macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua en la cuenca alta del Río Frío (Tabio, Cundinamarca)* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional PUJ. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/34419>

Gamboa, M., Reyes, R., y Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 48(2), 109-120.

García, R. F. (2016). *Diversidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del Río Chillón (Lima, Perú) y su uso como indicadores biológicos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio de la UNMS. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/5188>

Hernández, R. (2016). *Metodología de la investigación*. México: Editorial Mexicana.

Herrera, D. (2019). *Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad biológica del agua en la quebrada Miraflores, Chirinos* [Tesis de pregrado,

- Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ.
<http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/66>
- Hurtado, S., García, F., y Gutiérrez, P. (2005). Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del río San Juan, Querétaro, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 44(3), 271-286.
- Ladrera, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de Información Ambiental*, (39), 24-29.
- Lisboa, J. L. (2019). *Macroinvertebrados acuáticos indicadores de calidad de agua en el río Chira. Piura – Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional UNP.
<http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1493>
- Machado, A., Granada, R., y Endera, A. (2018). Análisis de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos para evaluar la calidad del agua del río Sardinas, Chocó Andino Ecuatoriano. *Enfoque UTE*, 9(4), 154-167.
<http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/> e-ISSN
- Mejía, M. R. (2005). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras* [Tesis de postgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Honduras]. Repositorio Institucional CATIEH.
<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/4434>
- Ministerio Del Ambiente. (S/F). *Preguntas frecuentes*.
<http://www.minam.gob.pe/estandares-de-calidad-ambiental/wp-content/uploads/sites/146/2017/06/Preguntas-frecuentes.pdf>

- Ministerio Del Ambiente. (2010). *Compendio de la legislación ambiental peruana*.
<http://www.minam.gob.pe>
- Ministerio Del Ambiente. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*.
https://museohn.unmsm.edu.pe/docs/pub_ictio/MtodoscolectaidenticacinyanlisisdecomunidadeshidrobiolgicasMUSM-MINAMdic2014.pdf
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2010). *Decreto Supremo N°001-2010-AG (EP, 24-03-2010). Reglamento de la ley N°29338, Ley de Recursos Hídricos*.
http://www.osterlingfirm.com/Documentos/cdi/Formatos_new/NORMAS_REGISTRALES/DECRETOS_SUPREMOS/Decreto_Supremo_001-2010-AG.pdf
- Ministerio De Agricultura Y Riego. (2015). *Manual N°5 Medición de agua*.
<https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). *Principales cuencas hidrográficas a nivel nacional*. Página oficial del MINAGRI.
<https://www.minagri.gob.pe/portal/54-sector-agrario/cuencas-e-hidrografia/372-principales-cuencas-a-nivel-nacional?start=2>
- Ministerio De Agricultura Y Riego. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA)*. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/209>
- Pavé, P. J. & Marchese, M. (2005, 21 de julio). Invertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua en ríos urbanos (Paraná-Entre Ríos, Argentina). *Ecología Austral* 15(183-197).

https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/ecologiaaustral/ecologiaaustral_v015_n02_p183.pdf

- Polo, J. L., Castillo, F. H., Hora, M. E. (2014). Calidad biológica del agua del río Amojú. Jaén, Cajamarca. 2013. *Revista de Investigación Universitaria*, 1(2), 43 – 55.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., y Rieradevall, M. (2016). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. *Fundación Miguel Lillo*, 20(1), 631-654.
- Real Academia Española. (2019). *Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es/?id=7zNAPrn|7zOkCSu>
- Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008. *Revista Pensamiento Actual*, 9(12-13), 125-134.
- Roldán, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Antioquia, Colombia: Pama Editores Ltda.
- Romero, D. J., & Tarrillo, H. J. (2017). *Evaluación de la calidad del agua utilizando macroinvertebrados bentónicos como indicadores bióticos en la quebrada Chambag, Santa Cruz, Cajamarca, durante agosto, diciembre 2016 y marzo 2017* [Tesis de pregrado, Universidad de Lambayeque]. Repositorio Institucional UDL. <http://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/97>
- Rueda, J., Molina, C. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos, excelentes indicadores biológicos en las EIA: diferentes casos de estudio en el este de la Península Ibérica. *ResearchGate*, 9(38), 333 – 339.

- Salazar, B., & Pastor, Y. R. (2019). *evaluación de la calidad ecológica y ambiental del agua del río Jequetepeque en el tramo de San Juan – Chilote del departamento de Cajamarca en el año 2017 – 2018* [tesis de pregrado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. Repositorio Institucional UPAGU. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/870>
- Salcedo, S., Artica, L., y Andrea, F. (2013). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad de agua en la microcuenca San Alberto, Oxapampa, Perú. *Cienc.soc*, 03(02), 124-139.
- Samboni, N., Carvajal, Y., y Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Redalyc*, 27(3), 172-181.
- Valcarcel, L., Alberro, N., y Frías, D. (2010). El índice de calidad de agua como herramienta para la gestión de los recursos hídrico. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, (18), 1-5.
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J.,...Alcántara, J. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. Lima, Perú: Fondo Editorial-UNALM.
- Yépez-Rosado, A., Yépez-Yanez, A. B., Urdánigo-Zambrano, J. P., Morales-Cabezas, D. C., Guerrero-Chuez, N. M. & Carolina-TayHing, C. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Ciencias Ambientales* 10(1), 27-34. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6261804.pdf>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

ANEXO 1: Resultado de familias de macroinvertebrados presentes en las estaciones de muestreo del río Chotano.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	CHOTA			LAJAS		COCHABAMBA		
					EM1	EM2	EM3	EM4	EM5	EM6	EM7	
Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae		X	X	X	X	X	X		
			Syrphidae	<i>Eristalis</i>		X	X					
			Ortorrapha - Nematocera	<i>Hexatoma</i>						X		
			Tipulidae									
			Antomiidae	<i>Limnophora sp.</i>					X			
			Ceratopogonidae	<i>Atrichopogon sp2</i>						X		X
			Psychodidae	<i>Maruina sp.</i>						X		
		Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>	X			X	X		X	
				<i>Dactylobaetis</i>			X					
				Leptophlebiidae	<i>Thraulodes sp.</i>	X			X	X		
		Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Ochrotrichia</i>			X	X				
			Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>					X			
			Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>							X	
Neuroptera	Corydalidae	<i>Corydalus</i>		X			X					

		Hemiptera	Naucoridae	<i>Ambrysus sp.</i>					X	X	
				<i>Cryphocricos</i>					X		
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>			X	X	X		
		Coleoptera	Elmidae	<i>Macrelmis sp.</i>						X	
		Odonata	Anisoptera Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i>						X	
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Enchytraeidae	<i>Lumbricillus</i>	X	X	X				
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>	X			X	X		
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>				X			
Total de familias presentes por estación de muestreo					6	3	5	10	8	5	5

ANEXO 2: Familias de macroinvertebrados.

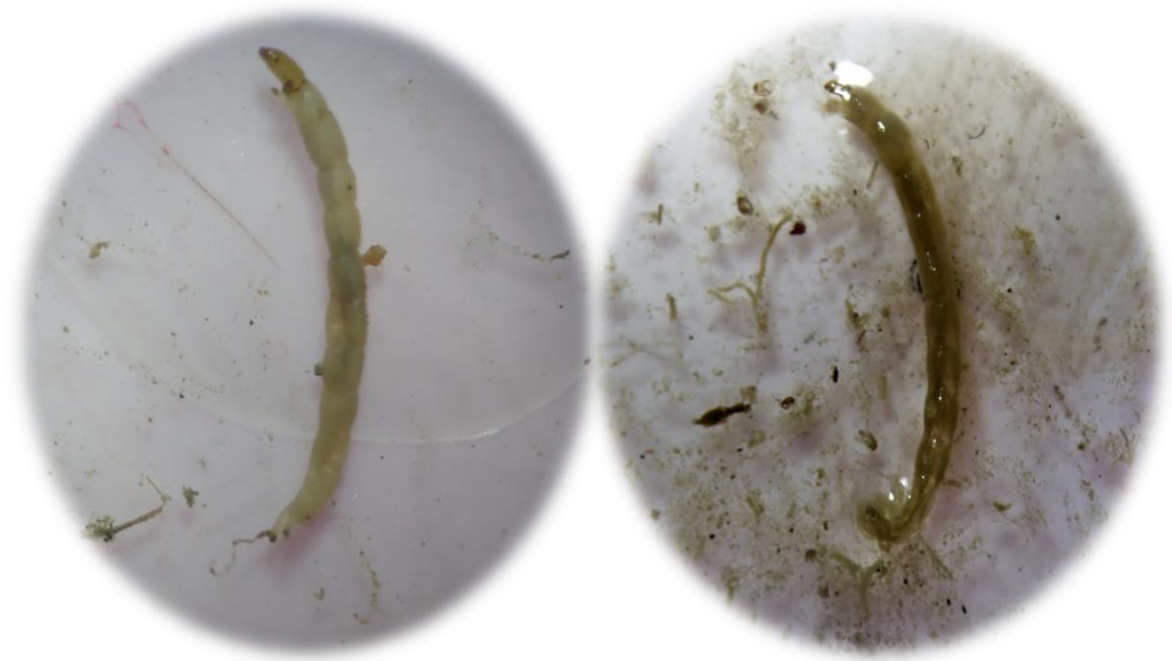


Figura 1: Individuos de Chironomidae.



Figura 2: Individuo de Syrphidae.



Figura 3: Individuo de Ortorrapha - Nematocera Tipulidae.



Figura 4: Individuo de Antomiidae.



Figura 5: Individuo de Ceratopogonidae.



Figura 6: Individuo de Psychodidae.



Figura 7: Individuos de Baetidae.



Figura 8: Individuo de Leptophlebiidae.



Figura 9: Casa de un individuo de Hydroptilidae.



Figura 10: Individuo de Hydropsychidae.



Figura 11: Individuo de Corydalidae.



Figura 11: Individuo de Naucoridae.



Figura 12: Individuo de Perlidae.



Figura 13: Individuo de Elmidae.



Figura 14: Individuo de Anisoptera Libellulidae.



Figura 15: Individuo de Enchytraeidae.


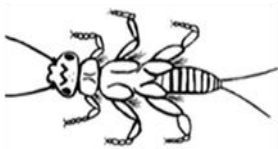
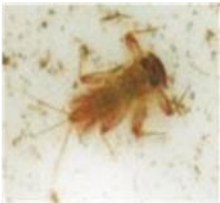
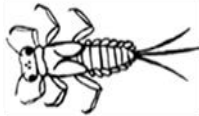

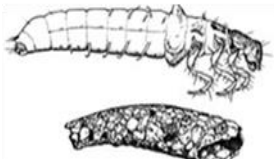



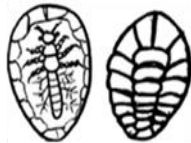



Figura 16: Individuo de Physidae.



Figura 17: Individuo de Planariidae.

ANEXO 3: Ficha rápida de identificación de algunos especímenes de macroinvertebrados bentónicos acuáticos.

Orden de insecto	Características	Rasgos clave
<p style="text-align: center;">PLECOPTERA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre común: Moscas de las piedras (Familia más común: Perlidae) • Ciclo de vida: hemimetabolos (ninfas acuáticas y adultos voladores) • Fase indicadora: Ninfas. Muy sensibles a la contaminación. • Alimentación: Ninfas Carnívoras en los últimos instares • Hábitat: Ríos de aguas turbulentas, Lechos de grava. 	<p>Abdomen con un par de cercos sencillos o multiarticulados. Uñas tarsales pares.</p> 
<p style="text-align: center;">EFEMEROPTERA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre común: Efímeras (Familias más comunes: Baetidae, Leptophlebiidae, Leptohyphidae, Caenidae) • Ciclo de vida: hemimetabolos (ninfas acuáticas y adultos voladores) • Fase indicadora: ninfas • Alimentación: ninfas herbívoras • Hábitat: ríos y lagunas 	<p>Abdomen generalmente con un par de cercos alargados y un filamento central normalmente visible. Uñas tarsales únicas.</p> 
<p style="text-align: center;">TRICOPTERA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre común: Frigáneas (Familias más comunes: Hidropsiphidae, Hydroptilidae, Leptoceridae) • Ciclo de vida: hemimetabolos (ninfas y pupas acuáticas y adultos voladores) • Fase indicadora: ninfas • Alimentación: ninfas depredadoras o herbívoras • Hábitat: ríos, aguas quietas y rápidas. 	<p>Larvas acuáticas construyen un estuche o refugio que varía según la familia.</p> 
<p style="text-align: center;">ODONATA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre común: Libélulas, caballitos del diablo (Familias más comunes: Libellulidae, Coenagrionidae) • Ciclo de vida: hemimetabolos (larvas acuáticas y adultos voladores) • Fase indicadora: larvas • Alimentación: ninfas depredadoras • Hábitat: ríos de aguas quietas 	<p>Ojos compuestos prominentes. Branquias plumosas externas en la parte posterior del abdomen.</p> 
<p style="text-align: center;">COLEOPTERA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre común: Escarabajos (Familias más comunes: Elmidae, Ptylodactilidae, Pheseniidae, Dytiscidae, Hydrophilidae) • Ciclo de vida: holometabolos (larvas, pupas y adultos) • Fase indicadora: larvas • Alimentación: ninfas herbívoras y depredadoras • Hábitat: Amplio rango indicativo: salinidad, zonas lacustres 	<p>Patatas grandes y caminan por el fondo del agua. Respiran aire con el extremo del abdomen o disponen de apéndices filamentosos (branquias).</p> 
<p style="text-align: center;">DIPTERA</p>  <p style="text-align: center;">Blephariceridae</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre común: moscas, mosquitos (Familias más comunes: Simuliidae, Tipulidae, Psychodidae, Dixidae, Athericidae, Blephariceridae). • Ciclo de vida: holometabolos (huevos, larvas acuáticas, pupas y adultos voladores) • Fase indicadora: larvas • Alimentación: larvas filtradoras y raspadoras • Hábitat: ríos de aguas estancadas. 	<p>Larva pequeña con protuberancias a los lados del cuerpo.</p>