

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL



T E S I S

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA CALIDAD DEL
AGUA EN EL RÍO LLAUCANO DE LA CIUDAD DE BAMBAMARCA

Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por la Bachiller:
LILIANA NADDYESDA SAAVEDRA MEJÍA

Asesores:
Ing. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
MSc. MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL

CAJAMARCA-PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Norte de la Universidad Peruana
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

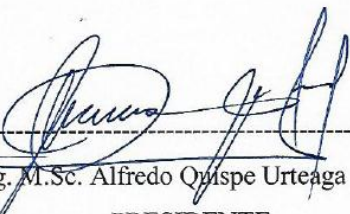
En Cajamarca, a los 10 días del mes de Mayo del Año dos mil diecinueve, se reunieron en el ambiente 2A-201 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 030-2019-FCA-UNC, Fecha 10 de Abril del 2019, con el objeto de Evaluar la sustentación del Trabajo de Tesis titulado: **“CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LLAUCANO DE LA CIUDAD DE BAMBAMARCA”**, de la Bachiller: **SAAVEDRA MEJÍA LILIANA NADDYESDA** en Cajamarca, para optar el título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las dieciséis horas y diez minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo de Tesis, la formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el Presidente anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **DIECISEIS (16)**

Por lo tanto, el graduando queda expedita para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente.

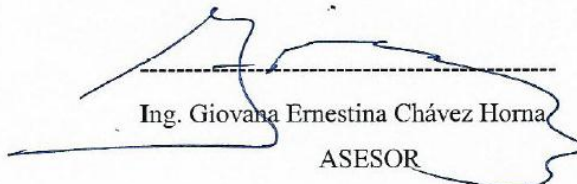
A las diecisiete horas y cincuenta minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

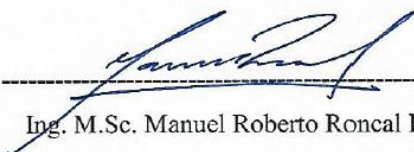
Cajamarca, 10 de mayo de 2019.


Ing. M.Sc. Alfredo Quspe Urteaga
PRESIDENTE


M.Sc. David Ricardo Uriol Valverde
SECRETARIO


Ing. M. Sc. Segundo César Guevara Cieza
VOCAL


Ing. Giovana Ernestina Chávez Horna
ASESOR


Ing. M.Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal
ASESOR

DEDICATORIA

Con profundo cariño y agradecimiento a mi padre Estanislao Saavedra Uriarte, por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, gracias por cada una de sus palabras que me guían durante la vida, a mi madre Marybel Mejía Zambrano, quien con su amor, apoyo y consejos ha sabido inculcar buenos principios en mi persona y a mi hermano Alejandro Saavedra Mejía, quien me motiva cada día a ser mejor.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme vida, salud y sabiduría para alcanzar mis propósitos.

A mis padres, quienes están siempre en cada etapa de mi vida brindándome su apoyo incondicional.

A mi hermano Alejandro, quien con entusiasmo y alegría me apoya siempre.

A la Municipalidad Provincial de Hualgayoc – Bambamarca, al personal del Área Técnica Municipal, por brindarme el apoyo con los equipos y facilitarme información para la elaboración de la presente Tesis.

A mi asesor, Msc. Manuel Roberto Roncal Rabanal, por brindarme su apoyo, en el desarrollo de la presente tesis, incentivándome a trabajar de la mejor manera para obtener un trabajo de calidad.

A mi asesora, Ing. Giovana Ernestina Chávez Horna, quien con su buena voluntad me supo brindar la confianza y oportunidad para el desarrollo de la presente investigación.

A mis amigas Mishell y Yesenia, quienes siempre me apoyan y me brindan su cariño, y que a pesar de la distancia hemos podido compartir experiencias que nos han ayudado a ser mejores personas y a fortalecer nuestra amistad.

A Pamela y Wanesa, por nuestra hermosa amistad durante todos los años de universidad, compartiendo momentos agradables, superando adversidades y aprendiendo que siempre hay que sonreír y ser positivas.

Finalmente agradecer a todos los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, quienes impartieron sus conocimientos y experiencias de la mejor manera para formarme como profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
SUMMARY	xi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema de investigación	2
1.2 Formulación del problema de investigación	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Hipótesis de la investigación.....	3
CAPÍTULO II	4
REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Calidad del agua	7
2.3 Ecosistemas acuáticos.....	8
2.4 Métodos para determinar la calidad del agua.....	8
2.5 Indicador de la contaminación	9
2.6 Bioindicador	9
2.7 Estándar de calidad ambiental.....	10
2.7.1 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	10
2.8 Parámetros analizados.....	11
2.8.1 Conductividad eléctrica (CE).....	11
2.8.2 Potencial de hidrógeno (pH).....	12
2.8.3 Turbiedad.....	12
2.8.4 Temperatura (T°)	13

2.8.5 Oxígeno disuelto (OD)	13
2.8.6 Demanda química de oxígeno (DQO).....	14
2.8.7 Sólidos suspendidos totales (SST)	14
2.8.8 Sólidos totales disueltos (TDS).....	15
2.8.9 Coliformes termo tolerantes (CT)	15
2.9.10 Huevos de helmintos (HH)	16
2.11 Los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores	16
2.12 Factores que determinan la distribución de los macroinvertebrados	
Acuáticos.....	17
2.13 Relación de los factores fisicoquímicos del agua con la macrofauna acuática	17
2.14 Índices de calidad del agua	17
2.14.1 Índice biótico andino (Por sus siglas en inglés ABI)	17
2.14.2 Biological monitoring working party (BMWP/Col)	18
2.14.3 Ephemeroptera, plecópfera y trichoptera (EPT)	20
CAPÍTULO III.....	22
MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1 Ubicación del trabajo de investigación.....	22
3.1.2 Hidrografía y fisiografía	23
3.2 MATERIALES.....	26
3.2.1 Material experimental.....	26
3.2.2 Equipos	26
3.2.3 materiales de campo	26
3.2.4 Materiales de escritorio	27
3.3 Metodología	27
3.3.1 Etapa de campo	27
3.3.2 Fase de gabinete - procesamiento de datos.....	31
CAPÍTULO IV	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1 Resultados de los parámetros fisicoquímicos	33
4.1.1 Potencial de hidrógeno (pH).....	33
4.1.2 Temperatura (T°).....	35
4.1.3 Turbiedad.....	36
4.1.4 Conductividad eléctrica (CE).....	38

4.1.5 Oxígeno disuelto (OD)	38
4.1.6 Sólidos disueltos totales (TDS).....	39
4.1.7 Demanda química de oxígeno (DQO).....	41
4.1.8 Análisis descriptivo de coliformes termo tolerantes	42
4.1.9 Huevos de helminto (HH).....	42
4.2 Resultados de la aplicación de los índices de diversidad biológica	46
4. 2.1 Evaluación porcentual con respecto al total de cada zona de monitoreo	50
4.2.2 Evaluación porcentual con respecto al total, de cada mes de monitoreo	52
4.2.3 Índice Andean Biotic Index (ABI)	53
4.2.4 Índice BMWP/Col.....	54
4.2.5 Análisis y resultados de la prueba estadística ANOVA para los índices ABI, BMWP/Col.....	54
4.2.6 Análisis y resultados para la aplicación de EPT	55
4.2.7 Análisis de varianza (ANOVA) para las poblaciones de Macroinvertebrados.....	56
4.2.8 Prueba de significación de Tukey	57
CAPÍTULO V.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1. CONCLUSIONES	59
5.2 RECOMENDACIÓN.....	59
CAPÍTULO VI	60
BIBLIOGRAFÍA.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales.	11
Tabla 2. Niveles de calidad del agua a partir del puntaje del índice Biótico Andino (ABI)	18
Tabla 3. Clases de estado ecológico según ABI para ríos altoandinos de Ecuador y Perú	18
Tabla 4. Clasificación de las aguas de acuerdo al índice BMWP/Col y colores para representaciones cartográficas	19
Tabla 5. Puntuación de las familias de macroinvertebrados para obtener el índice BMWP/Col	20
Tabla 6. Aspectos generales de la cuenca	22
Tabla 7. Puntos establecidos para la toma de muestras en el río Llaucano en la ciudad de Bambamarca	23
Tabla 8. Parámetros y metodología utilizada por el Laboratorio	29
Tabla 9. Programación del monitoreo	30
Tabla 10. Valores ponderados para el índice BMWP/Col	31
Tabla 11. Valores ponderados para el índice Biótico Andino (ABI)	32
Tabla 12. Valores ponderados en el índice EPT	32
Tabla 13. Cantidad de macroinvertebrados colectados	51
Tabla 14. Resultados del índice ABI	53
Tabla 15. Resultados del índice BMWP/Col durante los 4 meses de monitoreo	54
Tabla 16. Análisis de varianza	55
Tabla 17. ANOVA para macroinvertebrados	56
Tabla 18. Prueba de Tukey al 5% en los meses de monitoreo	57
Tabla 19. Prueba de Tukey al 5% en los puntos de monitoreo.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de la zona de estudio y puntos de monitoreo	25
Figura 2. Valores de pH del río Llaucano – Bambamarca	33
Figura 3. Temperatura del río Llaucano – Bambamarca	35
Figura 4. Turbiedad (UNT), del río Llaucano – Bambamarca	36
Figura 5. Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del río Llaucano – Bambamarca	37
Figura 6. Oxígeno disuelto (mg/L), del río Llaucano – Bambamarca.....	39
Figura 7. Sólidos disueltos totales (TDS), del río Llaucano – Bambamarca	40
Figura 8. Demanda química de oxígeno del río Llaucano- Bambamarca	41
Figura 9. Coliformes termo tolerantes (NMP/mL), en el río Llaucano – Bambamarca	42
Figura 10. Huevos de Helminto (HH/L), del río Llaucano - Bambamarca	43
Figura 11. Sólidos suspendidos totales (mg/L), del río Llaucano – Bambamarca	45
Figura 12. Cuantificación de macroinvertebrados, mes - mayo	47
Figura 13. Cuantificación de macroinvertebrados, mes junio	48
Figura 14. Cuantificación de macroinvertebrados, mes julio	48
Figura 15. Cuantificación de macroinvertebrados, mes – agosto	49
Figura 16. Porcentajes por zona de monitoreo	50
Figura 17. Porcentajes por mes de monitoreo	52
Figura 18. Promedio de las poblaciones de macroinvertebrados por mes	57
Figura 19. Promedio de las poblaciones de macroinvertebrados por punto	58
Figura 20. Punto 1 de monitoreo- Llaucan	70
Figura 21. Punto 2 de monitoreo - Parte baja de plaza pecuaria	70
Figura 22. Punto 3 de monitoreo - José Olaya	71
Figura 23. Toma de parámetros de campo	71
Figura 24. Recolección de muestras para análisis fisicoquímicos en el punto 3, José Olaya (camal)	72
Figura 25. Recolección de muestras río Llaucano.....	73
Figura 26. Toma de muestras para análisis bacteriológicos	73
Figura 27. Equipos utilizados en campo.....	73
Figura 28. Preservación y envío al Laboratorio	74
Figura 29. Recolección de macroinvertebrados	74

	Pág.
Figura 30. Macroinvertebrados bentónicos	75
Figura 31. Clasificación por punto de monitoreo	75
Figura 32. Identificación de macroinvertebrados	76
Figura 33. Macroinvertebrados bentónicos	76
Figura 34. Familias de macroinvertebrados encontrados en el río Llaucano	77
Figura 35. Resultados fisicoquímicos, mes - mayo	80
Figura 36. Resultados de análisis fisicoquímicos, mes - junio	81
Figura 37. Resultados de análisis fisicoquímicos, mes - julio.....	82
Figura 38. Resultados fisicoquímicos, mes - agosto	83

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar la calidad del agua mediante la aplicación de índices biológicos como: Índice Biológico ABI, Iberian Biological Monitoring Working Party (IBMWP) y el Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (EPT), para los cuales se asignó una escala de valores, los mismos que nos permitió establecer la calidad del agua, obteniendo una calidad calificada como “moderada”, el total de individuos colectados fue 1428 pertenecientes a 4 clases, 7 órdenes y 14 familias, mostrando una disminución significativa de individuos colectados entre puntos, asimismo se analizó los parámetros fisicoquímicos como: demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), coliformes termo tolerantes (CT) y huevos de helminto (HH), y los parámetros de campo: oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura (T°), sólidos totales disueltos (TDS) y turbiedad. Los resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 3, establecidas en el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, determinando que los parámetros que sobrepasaron los Estándares fueron el pH, llegando a presentar un valor máximo de 9.27 en época seca en el punto 3; coliformes termo tolerantes con un valor de 35000 NMP/100 mL. en temporada seca, valor que representa un grado alarmante de contaminación y los huevos de helminto los cuales llegaron a un valor máximo de 7 y 8 HH/L encontrando los valores más altos en el punto 2 y punto 3 respectivamente, dichos resultados nos permitieron determinar que el agua en dichos puntos monitoreados no es apta para el consumo de animales ni riego de vegetales.

SUMMARY

The objective of the present study was to determine water quality through the application of biological indexes such as: ABI Biological Index, Iberian Biological Monitoring Working Party (IBMWP) and Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT), for which a scale of values, the same ones that allowed us to establish the water quality, obtaining a qualified quality as "moderate", the total of collected individuals was 1428 belonging to 4 classes, 7 orders and 14 families, showing a significant decrease of individuals collected between points, Likewise, physicochemical parameters were analyzed such as: chemical oxygen demand (COD), total suspended solids (TSS), thermo tolerant coliforms (TC) and helminth eggs (HH), and field parameters: dissolved oxygen (DO), pH , electrical conductivity (CE), temperature (T °), total dissolved solids (TDS) and turbidity. The results were compared with the Environmental Quality Standards for Water, Category 3, established in the Supreme

Decree N ° 004-2017-MINAM, determining that the parameters that exceeded the Standards were pH, reaching a maximum value of 9.27 in dry season in point 3; heattolerant coliforms with a value of 35,000 NMP / 100 mL. in the dry season, which represents an alarming degree of contamination and the helminth eggs which reached a maximum value of 7 and 8 HH / L, finding the highest values in point 2 and 3 respectively, these results allowed us to determine that the water in those monitored points is not apt for the consumption of animals nor irrigation of vegetables.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La evaluación de la calidad del agua, a menudo es diagnosticada a través de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos (Roldán 2003, Paredes *et al.* 2005), que solamente proporciona información puntual e indirecta; actualmente existen índices bióticos que al adaptarlos a diferentes regiones se convierten en herramientas efectivas para evaluar íntegramente la calidad ecológica de un río (Mafla 2005). Se puede trabajar con macroinvertebrados acuáticos, con comunidades de algas fotosintéticas o con peces, entre otros, y todos tienen sus ventajas y desventajas, pudiendo usarse combinados o individualmente, según la disponibilidad de recursos humanos y operativos.

El monitoreo se realizó durante un periodo de 4 meses abarcando la época húmeda y época seca, en tres puntos establecidos, evaluando la calidad del agua del río Llaucano mediante parámetros físicos, químicos y biológicos, para lo cual se realizó el análisis de 10 parámetros los cuales son: demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), coliformes termo tolerantes (CT), huevos de helminto, temperatura (T°), pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), turbiedad y sólidos disueltos totales (TDS), los resultados fueron analizados y comparados con los estándares de calidad ambiental para agua categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, regulado por el estado peruano, al mismo tiempo se realizó el monitoreo de macroinvertebrados lo cual ha contribuido de manera fundamental en el presente estudio. Se ha podido identificar y evaluar el diagnóstico actual del río y establecer mecanismos de prevención y control para la administración adecuada del recurso hídrico, brindando así una herramienta útil para la provincia de Hualgayoc – Bambamarca, puesto que a partir del presente estudio se podrá llevar a cabo comparaciones en futuros estudios y se podrá tomar decisiones con respecto a la calidad del agua.

1.1 Problema de investigación

Actualmente la población de Bambamarca atraviesa una situación preocupante con respecto al tratamiento de las aguas servidas puesto que la población no cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, esto conlleva a que sean vertidas directamente al río Llaucano, causando daños a la calidad ambiental y a la población aledaña a las zonas de descarga debido a que las aguas residuales no tienen ningún tipo de tratamiento fisicoquímico ni bacteriológico y no cuenta con autorización de la Autoridad Nacional de Agua (ANA) para efectuar vertimientos de aguas residuales. Asimismo, la Municipalidad Distrital de Bambamarca tampoco se encuentra inscrita en el Programa de Vertimientos y Rehúso de Aguas Residuales- PAVER (ANA 2016).

La población más cercana que resulta perjudicada con los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento son los barrios José Olaya, Los Pinos, adyacente al Camal Municipal y Urbanización Los Laureles, quienes muestran frecuentemente su preocupación por la forma como se ven contaminados con el arrojado de aguas servidas que van a desembocar a la altura del puente José Olaya; lugar en el que numerosas familias habitan con sus hijos que son los más perjudicados y expenden productos comestibles.

1.2 Formulación del problema de investigación

¿Cuál es la calidad del agua en el río Llaucano de la ciudad de Bambamarca según sus características fisicoquímicas (DQO, SST, OD, pH, CE, TDS, CT, HH, T°, turbiedad) y biológicas (macroinvertebrados)?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar la calidad del agua del río Llaucano de la ciudad de Bambamarca mediante variables fisicoquímicas y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en los puntos de muestreo establecidos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y describir su variabilidad en el río Llaucano.

1.4 Hipótesis de la investigación

La calidad del agua del río Llaucano es mala, según las características fisicoquímicas evaluadas y los indicadores biológicos presentes en el río.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes

Los macroinvertebrados bentónicos han sido reconocidos como potenciales indicadores de la calidad biológica de los sistemas acuáticos fluviales desde hace mucho tiempo (Helawell 1986; Rosenberg & Resh 1993), esencialmente por su amplia distribución y diversidad, lo que les permite adaptarse a características muy definidas de calidad del agua. Además, son capaces de integrar información temporal y su sensibilidad les permite responder a varios tipos de perturbaciones y contaminantes, reflejando el efecto integrado de todas las variables ambientales. Para estos organismos se usa de forma habitual el nivel taxonómico de familia como indicador de las condiciones ambientales y de la estructura de la comunidad.

Como indica Morales (2010), director Ejecutivo de Salud Ambiental de la DISA Chota, que la vida acuática del río Llaucano está siendo afectada por la presencia de posibles contaminantes que han puesto en peligro el recurso hídrico y, por consiguiente, con consecuencias lamentables para la población aledaña, la indagación señala como antecedentes que en el mes de febrero – 2001 se produjo en el río Llaucano la muerte de 12 mil truchas, en la comunidad de Ahijadero, jurisdicción de Llaucan, según los análisis de los parámetros de campo, acorde a la clasificación (Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA), el río Llaucano está considerado en la categoría III (riego de vegetales y bebida de animales), lo cual determina que existe presencia de cloro (0.2 ppm), debido al vertimiento de aguas residuales industriales (formales e informales).

Según Roldán (2003), últimamente el concepto de calidad de agua ha ido cambiando de un enfoque fisicoquímico a otro que integra todos los componentes del ecosistema. Actualmente, muchos países apoyan el uso de comunidades acuáticas y el estudio de su comportamiento a través del tiempo (biomonitoreos) como herramienta fundamental para evaluar la calidad de las aguas superficiales continentales (Rosenberg *et al.* 1986).

Como indica Prieto (2004), a fin de conseguir un desarrollo social y económico que llegue a satisfacer las necesidades básicas humanas presentes y futuras, es fundamental conocer y comprender los problemas ambientales para lograr el uso racional de los recursos como el agua.

De conformidad con Alba - Tercedor (1996), las razones fundamentales para el empleo de macroinvertebrados acuáticos, reside en su tamaño relativamente grande (visible a simple vista), existen técnicas de muestreo estandarizadas las cuales no requieren equipos costosos. Además, la vida acuática presenta ciclos de desarrollo largos, lo que permite detectar cualquier alteración en los ecosistemas acuáticos y su amplia diversidad (Hellowell 1986).

En Perú, con el apoyo de la Universidad Nacional de Cajamarca, , Ingeniería Sin Fronteras, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Asociación para la Cooperación en el Sur - Las Segovias, Grupo de Formación e Intervención para el Desarrollo Sostenible y otras instituciones están trabajando con macroinvertebrados para la evaluación de la calidad del agua dentro del país, logrando la elaboración de la denominada “Guía de vigilancia ambiental con macroinvertebrados bentónicos en Cajamarca” (Flores 2014).

Teves (2016), con la tesis denominada “Estudio fisicoquímico de la calidad del agua del río Caca” realizada en el río Cañete, Región Lima, en época de lluvias y estiaje definiendo 6 estaciones de muestreo, realizando técnicas volumétricas, gravimétricas e instrumentales. Concluyó, que los parámetros estudiados en el río Caca no sobrepasan los niveles establecidos en el estándar nacional de calidad ambiental para agua destinada a riego de vegetales y bebida para animales.

Beita (2008), con la tesis denominada “Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón” con procedimientos normalizados y acreditados en la norma INTE_ISO/IEC 17025:2000, concluyó que las aguas están caracterizadas por valores suficientes para mantener la vida acuática de las especies más sensibles, por lo que las actividades humanas no han tenido un impacto negativo sobre la calidad del agua y que los principales parámetros fisicoquímicos medidos, representan condiciones geogénicas de la cuenca.

García (2016), con la tesis denominada “Diversidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del Río Chillón y su uso como indicadores biológicos” en Perú. Concluyó que, el pH, los Sólidos totales disueltos (STD) y el oxígeno disuelto fueron los parámetros fisicoquímicos que más influyeron en la riqueza de macroinvertebrados bentónicos.

Acosta (2009), con la tesis denominada “Estudio de la Cuenca Altoandina del Río Cañete: Distribución Altitudinal de la Comunidad de Macroinvertebrados Bentónicos y Caracterización Hidro química de sus Cabeceras Cársticas” en Perú. Concluyó que, en el gradiente altitudinal estudiado, la comunidad de macroinvertebrados de la cuenca presentó un patrón de distribución como altitud y orden del río; sin embargo, en algunos casos, dicho patrón estuvo fuertemente modificado por factores locales como la calidad del hábitat fluvial, la vegetación de ribera y los usos de tierra.

Trama (2014), con la tesis denominada “Efecto de los Plaguicidas utilizados en los Cultivos de arroz, sobre las comunidades de Macroinvertebrados bentónicos y la Calidad de las Aguas en la Cuenca Baja del Río Piura” en Perú. Concluyó que, solo un 50 por ciento de las especies fueron compartidas entre los puntos evaluados mostrando una pérdida de complejidad estructural de la comunidad de macroinvertebrados del punto control al drenaje del sistema y luego al canal que va al manglar.

Carvacho (2012) con el trabajo de investigación “Estudio de las Comunidades de Macroinvertebrados Bentónicos y Desarrollo de un Índice multiparamétrico para evaluar el Estado ecológico de los ríos de la Cuenca del Limarí” en Chile. Concluyó que la comunidad de macroinvertebrados presenta un patrón de distribución determinado principalmente por factores hidro morfológicos y fisicoquímicos.

Zurita (2016), en la tesis denominada “Aplicación combinada del método BMWP- ABI-ICA para la evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Atapo- Pomachaca Parroquia Palmira” en Ecuador. Concluyó que la evaluación comparativa de los resultados demuestra la no dependencia del índice de calidad del agua ICA con la presencia de macroinvertebrados.

Muñoz (2016), en la tesis denominada “Caracterización fisicoquímica y biológica de las aguas del Río Grande Celendín – Cajamarca” concluyó que algunos parámetros fisicoquímicos no cumplieron los Estándares de Calidad Ambiental para Aguas en la Categoría 3, establecidas en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, excepto en los parámetros de conductividad eléctrica y temperatura considerados en este estudio.

La cuenca del río Llaucano presenta vertimientos de aguas residuales domésticas, pasivos de aguas residuales industriales y residuos sólidos urbanos. a partir del informe técnico N° 1354-2011-ANA-DGRH/FHA, correspondiente a la identificación de fuentes contaminantes realizada en la cuenca del río Llaucano se ha podido identificar un total de 14 puntos de vertimientos de aguas residuales, 1067 pasivos de aguas industriales mineros, 16 puntos de arroj de residuos sólidos abarcando un total de 1097 fuentes contaminantes a nivel de la cuenca (ANA 2015).

En la actualidad, no existe estudios sobre las comunidades de macroinvertebrados presentes en la cuenca del río Llaucano, a pesar que en estos últimos años los estudios de la biota acuática de cuerpos de agua lóticos están convirtiéndose en una herramienta importante en el monitoreo y manejo del agua a nivel mundial.

La presente tesis es considerada como la primera en estudiar la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del río Llaucano, así como estimar la calidad del agua en base a esta comunidad de organismos acuáticos. Con este estudio, se busca aportar al conocimiento de la ecología y distribución de los macroinvertebrados bentónicos, así como de los factores ambientales que más influye en su diversidad (parámetros fisicoquímicos del agua, actividades humanas).

2.2 Calidad del agua

La calidad del agua es un constituyente de gran importante al momento de valorar el desarrollo sostenible de una determinada zona. En los últimos años, el creciente interés por su medición se ha puesto de manifiesto en diversos estudios (Bemonte *et al.* 2007; Villalba *et al.* 1995). Asimismo, la consideración de los aspectos económicos relacionados con el agua y su calidad, también ha conducido a la

realización de un gran número de investigaciones (Zurita 2016; Carvacho 2012; Trama 2014; Muñoz 2016; Acosta 2009).

La calidad del agua está definida en función de un conjunto de características fisicoquímicas y microbiológicas, así como de variables de aceptación o rechazo. La calidad fisicoquímica del agua se basa en la determinación de sustancias químicas específicas que pueden afectar a la salud (OMS 2006), tras cortos o largos periodos de exposición (Rojas 2002).

2.3 Ecosistemas acuáticos

Se entiende por ecosistemas acuáticos a la unidad ecológica en la que un grupo de organismos se relacionan entre sí e interactúan con el ambiente (Roldán 1992), en tal sentido y de forma general podría hablarse de dos tipos básicos de ecosistemas: acuáticos y terrestres.

Desde siempre, los ecosistemas acuáticos han estado influenciados por dos grandes grupos de factores: bióticos y abióticos. Los primeros se refieren a todas las interacciones entre los diferentes organismos del ecosistema, entradas, flujos de energía y zonas de ribera, mientras que los factores abióticos hacen referencia a variables climáticas, físico-químicas y biogeográficas que influyen el medio en el cual se desenvuelven los organismos acuáticos (Roldán 1992).

2.4 Métodos para determinar la calidad del agua

Los métodos para determinar la calidad del agua se refieren al análisis de un agua con el objetivo de conocer sus características tanto físicas, químicas y biológicas, de una manera que se pueda definir su amplitud para uso doméstico, agrícola, recreacional, industrial etc. De esta manera se puede aplicar los requerimientos legales y económicos, de gestión adecuada o tratamiento según lo amerite. Estos métodos son los siguientes:

• Método biológico

Basado principalmente en la composición de comunidades de especies específicas, hace uso de organismos vivos como indicadores de la calidad del agua, los más utilizados son las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en estudios de la calidad del agua en ríos. Estos macroinvertebrados son identificados con los índices bióticos. Este método es complementario al método fisicoquímico debido a que los

seres vivos pueden integrar periodos largos en el tiempo, a diferencia de los métodos fisicoquímicos que son más puntuales (Yungán 2010).

• **Método fisicoquímico**

Este método es el único en determinar los contaminantes presentes en el agua, se refiere a la medida de parámetros fisicoquímicos del agua. La valoración de la calidad del agua solamente por este método no ofrece datos sobre la alteración biótica del agua (Yungán 2010).

2.5 Indicador de la contaminación

Existen diferentes tipos de indicadores biológicos de ecosistemas fluviales, como microorganismos, macrófitos o peces. Sin embargo, uno de los grupos más ampliamente utilizados y establecido por la propia Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE, DMA) como un tipo de indicadores a utilizar son los macroinvertebrados acuáticos. Esto se debe a varias razones:

- Su elevada diversidad.
- Son relativamente fáciles de muestrear.
- Los diferentes taxones presentan requerimientos ecológicos diferentes.
- Los protocolos de muestreo y elaboración de índices están bien estandarizados.
- Poseen un tiempo de vida relativamente largo, que permite integrar los efectos de la contaminación en el tiempo.

2.6 Bioindicador

Los Bioindicadores son organismos o comunidades de estos que a través de su presencia indican el nivel de preservación o el estado de un hábitat (Morais *et al.* 2009). El bioindicador ideal es aquel que tiene tolerancias ambientales estrechas (Zúñiga de Cardoso y Caicedo 1997) es decir, son sensibles a las alteraciones de los factores físicos y químicos del medio en el que viven.

Los bioindicadores miden los efectos de la contaminación en el ambiente y en los propios seres vivos, por tanto, ofrecen información sobre los riesgos para otros organismos, el ecosistema y también para el ser humano. Las especies bioindicadores son aquellas que pueden vivir bajo condiciones ambientales relativamente particulares (Segnini 2003).

2.7 Estándar de calidad ambiental

El Estándar de Calidad Ambiental – ECA, es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiere, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

Los ECA – Agua son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, atendiendo condiciones naturales o niveles de fondo, y el diseño de normas legales, de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente. Es un instrumento útil para evaluar el estado de la calidad de los cuerpos naturales de agua en las cuencas hidrográficas del país.

2.7.1 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

- **Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Aquellas aguas que son utilizadas en riego de cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el riego en cultivos, clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas.

- **Agua para riego no restringido**

Aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego,

- **Agua para riego restringido**

Aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de cultivos alimenticios que se consumen cocidos (habas), cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (árboles frutales), cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (trigo, arroz, avena y quinua), cultivos industriales no comestibles (algodón) y cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (maíz forrajero y alfalfa) (ECA 2017)

- **Subcategoría D2**

Aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos (ECA 2017).

Tabla 1. Categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales.

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales			D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido ©		Agua para restringido	Bebida de animales
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	40	40		
Conductividad				2500	5000
Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/L			≥4	≥5
Temperatura	°C			Δ 3	Δ 3
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml		1000	2000	1000
Huevos de Helminto	Huevo/L	1	1	**	

Fuente: Estándar de calidad ambiental para agua, 2017

2.8 Parámetros analizados

Los métodos fisicoquímicos nos permiten conocer con precisión el tipo de contaminante vertido en detalle, al mismo tiempo que la información proporcionada por estos análisis es puntual y transitoria. Según Roldan (1988), los parámetros a los cuales son más sensibles los organismos son: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura. Dentro de las desventajas principales que podemos encontrar está el costo elevado que generan dichos análisis (Leyva 2004).

2.8.1 Conductividad eléctrica (CE)

Es la capacidad del agua para transportar la corriente eléctrica, esta capacidad depende de los iones presentes en el agua debido a la división de sales inorgánicas, ácidos y bases. Su importancia, nos permite verificar en forma rápida la variación el contenido de sales disueltas en aguas superficiales y estima cuantitativamente los sólidos totales disueltos (TDS) en una muestra de agua. Así mismo los cambios en la conductividad nos pueden indicar intrusión

salina u otras fuentes de contaminación. Para la conductividad el método de medición más usado es el potenciómetro debido a su facilidad y exactitud.

Siendo más recomendable medir in situ (Espigares y Pérez 2003).

2.8.2 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH se define como la concentración del ion hidrógeno en el agua. Es una propiedad química del agua que indica su acidez o basicidad. La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa para reaccionar con una base fuerte, con iones hidroxilo, para ceder protones, o su contenido de sustancias ácidas a un pH designado (Romero 2002).

El pH del agua puede variar en una escala de 0 a 14, cuando el valor es mayor de 7 es un pH básico, en cambio cuando está por debajo de 7 se designa como ácido. Juega un papel primordial en el desarrollo de la vida acuática por participar en varios procesos químicos y biológicos, además que a esta propiedad se debe la capacidad de autodepuración de los ríos y corriente determinando de esta manera su contenido de materia orgánica DBO, DQO (Rize 2012).

La actividad biológica se desarrolla dentro de un intervalo de pH generalmente estricto. Un pH que se encuentra entre los valores de 5 a 9, no suele tener un efecto significativo sobre la mayoría de las especies, aunque algunas son muy estrictas a este respecto. Un aspecto importante del pH es la agresividad de las aguas ácidas, que da lugar a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales. De este modo, un efluente con pH adverso altera la composición y modifica la vida biológica de las aguas naturales. También es más difícil tratar por métodos biológicos, que solo pueden realizarse entre valores de pH de 6,5 a 8,5. Las aguas residuales urbanas suelen tener un pH próximo a neutro.

Aparte del efecto directo, el pH tiene un efecto indirecto, influenciando la toxicidad depende del grado de disociación (Espigares y Pérez 2003).

2.8.3 Turbiedad

Propiedad física del agua que refleja el efecto óptico influenciado por la dispersión y absorción de los rayos de la luz al atravesar una muestra de agua. Las partículas coloidales y en suspensión son las responsables de la turbidez en el agua como materia orgánica e inorgánica, arcilla, limo, microorganismos y bacterias (Romero 2002).

La turbiedad como una medida de las propiedades de dispersión de la luz es otro parámetro usado para indicar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales, tratadas con relación al material residual en suspensión coloidal. Los resultados de las mediciones de turbiedad se dan en unidades nefelométricas de turbiedad (Crites y Tchobanoglous 2000).

2.8.4 Temperatura (T°)

La temperatura es una propiedad física del agua, se refiere a la medida de la energía térmica de las partículas del agua. Los organismos requieren determinadas condiciones de temperatura para sobrevivir. Por ejemplo, las temperaturas elevadas de los vertidos en cuerpos de agua tienen un impacto ambiental significativo en esos ecosistemas. La temperatura se relaciona con otros indicadores como el grado de saturación de oxígeno disuelto, pH y otras variables (Rice 2012).

La temperatura es un parámetro de gran importancia en las aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, la temperatura afecta a la alteración de la vida acuática, modifica la concentración, saturación de oxígeno disuelto, velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacterial (Romero 2004).

2.8.5 Oxígeno disuelto (OD)

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua y que es fundamental para los ríos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto es uno de los indicadores para poder determinar cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, se puede decir que un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 0-18 partes por millón (ppm), aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5-6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática. Los niveles de oxígeno disuelto por debajo de 3 ppm dañan a la mayor parte de los organismos acuáticos y por debajo de 2 ó 1 ppm los peces mueren. Además, los niveles de OD a veces se expresan en términos de Porcentaje de saturación (Pulla 2007).

El oxígeno disuelto es una propiedad del agua nos ayuda a determinar las condiciones de un medio ya sean anaerobias o aerobias, donde la cantidad de

oxígeno disuelto presente en el agua es directamente proporcional a la concentración de material orgánico del medio, siendo muy importante para que los ríos se auto depuren. El OD tiene una relación directa con la temperatura, puesto que a mayores temperaturas menor será el valor del oxígeno disuelto (Romero 2002).

2.8.6 Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujos en solución fuertemente ácida (H_2SO_4) con un exceso conocido de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en presencia de sulfato de plata ($AgSO_4$) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercurico ($HgSO_4$) adicionado para remover la interferencia de los cloruros, la cantidad de materia oxidable se mide como oxígeno equivalente y es proporcional al oxígeno consumido. Se expresa en mg/L de oxígeno y proporciona una medida de la cantidad de sustancias, bajo las condiciones en las que se efectúan esta prueba. (PCUTP-CIHH 2006).

2.8.7 Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales o residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, está definido como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante. Una muestra bien mezclada se pasa a través de un filtro estándar de fibra de vidrio previamente pesado, y el residuo retenido se seca a 103-105°C hasta peso constante. Los sólidos suspendidos totales afectan las actividades agrícolas porque taponean el suelo debido a su retención en la superficie, disminuyendo de esta manera la infiltración y la germinación de las semillas. La deposición de sólidos suspendidos totales en las hojas inhibe la actividad fotosintética, disminuye el crecimiento de cultivos, sin embargo, su acumulación en suelos arenosos puede ser benéfica, puesto que mejora la estructura incrementando la capacidad de retención de agua (Jiménez 2001).

2.8.8 Sólidos totales disueltos (TDS)

También conocidos como residuo filtrable, hace referencia a toda materia contenida en el agua. Esta propiedad indica la cantidad total de sustancias disueltas en el agua, según esto se puede saber la calidad del agua de una forma general. Las sustancias disueltas se pueden encontrar como cationes; Calcio, Magnesio, Amonio, etc.; o como aniones: Sulfatos, Bicarbonatos, Nitratos, Fosfatos, etc. (Romero 2002).

2.8.9 Coliformes termo tolerantes (CT)

Los coliformes fecales se denominan termo tolerantes, por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas, la capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc. En la mayoría de aguas el género predominante es *Escherichia*, pero algunos tipos de géneros como *Sitrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* también son considerados termo tolerantes. Sin embargo, *Escherichia coli* se distingue de los demás coliformes termo tolerantes por su capacidad para producir indol a partir de triptófano. Coliforme significa con forma de *coli*, refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la *Escherichia coli* (Vega 2009).

El grupo coliforme abarca todas las bacterias entéricas que se caracterizan por tener las siguientes propiedades bioquímicas:

- Ser aerobias o anaerobias facultativas.
- Ser bacilos gram negativo.
- No ser esporógenas.
- Fermentar la lactosa a 35°C en 48 horas, produciendo ácido láctico y gas.

Son patógenos que pertenecen al grupo coliforme, estas bacterias son de forma bacilar, aerobias y anaerobias facultativas, Gram negativas. Las coliformes no forman esporas y pueden fermentar la lactosa formando un gas en un tiempo de 2 días a una temperatura de 35 o 37 °C. Las unidades son NMP/100 mL que determina el número más probable por unidad de volumen de agua (Romero 2002).

Debido a que los excrementos humanos contienen gran número de coliformes, su presencia en cuerpos de agua indica la existencia de contaminación fecal.

Así que una contaminación de agua por estos patógenos puede ser de origen animal, humano o provenir del suelo. Para diferenciar las coliformes fecales de las del suelo se utiliza un medio EC para incubación (Rice 2010).

2.9.10 Huevos de helmintos (HH)

El término “helminto” es aplicado a los parásitos con forma de lombriz que pertenecen, principalmente, a tres grupos biológicos: Nematodos (nematelmintos o gusanos redondos), trematodos (dístomas o duelas) y cestodos (tenias). Para comprender el papel que desempeñan las aguas residuales en la transmisión de los helmintos, se debe tener en cuenta la manera en que éstos se diseminan y como sobreviven, ya que en muchos casos no incluyen la ruta fecal (Jiménez 2010). Su presencia en aguas residuales es no obstante de gran preocupación con respecto a la salud humana. El huevo constituye la etapa contagiosa de los parásitos de Helminto; son excretados en las heces y se extienden a las aguas residuales, en el suelo o en los alimentos. El huevo es muy resistente a las tensiones ambientales y a la desinfección en la planta de tratamiento de aguas residuales (Bitton 1994).

Los Helmintos o gusanos pertenecen al subreino de los Metazoarios, lo que denota que son animales multicelulares, en los cuales las células se hallan diferenciadas formando órganos con funciones especiales, y además divididos en dos ramas, los Platelminetos (gusanos planos) y los Nematelmintos (gusanos redondos). Los Platelminetos están subdivididos en dos clases, los Trematodos (duelas) y los Cestodos (tenias). Los Nematelmintos incluye la clase Nemátodo, de los cuales algunos son parásitos del hombre; mientras que la mayoría son formas de vida libre o parásitos de los animales y de las plantas (Lambert 1975).

2.11 Los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores

Los macroinvertebrados bentónicos habitan en la zona profunda o bental de lagos y ríos adheridos a sustratos tales como rocas, residuos vegetales o plantas acuáticas; algunos viven enterrados en el sustrato (Roldán 1992; Roldán y Ramírez 2008). Son relativamente grandes (no inferiores a 0.5 mm) y principalmente pertenecientes al grupo de los artrópodos; entre estos, dominan los insectos que se pueden encontrar en diferentes etapas del desarrollo (ninfas, larvas y adultos). La comunidad de macroinvertebrados bentónicos está

constituida por artrópodos, algunos poríferos, hidrozooos, hirudíneos, oligoquetos y moluscos (Roldán 1992).

2.12 Factores que determinan la distribución de los macroinvertebrados acuáticos

La estructura de las comunidades de macroinvertebrados es afectada directamente por la disponibilidad y calidad del alimento, el tipo de sustrato, la temperatura del medio y la concentración del CO₂ y ácido sulfúrico, factores muy variables en ambientes fluviales (Esteves 1998). De la misma forma, la distribución y abundancia de los nutrientes dentro de los sistemas lóticos es influenciada por factores como el tamaño del río, las áreas iluminadas y el sustrato, entre otros (Allan 1995). En aguas poco profundas y con poca sombra, el periofiton se convierte en un recurso muy importante, por su abundancia y amplia distribución, las formaciones de micro capas orgánicas sobre piedras y otros sustratos, constituyen a su vez, la principal fuente de alimento para las larvas de insectos (Allan 1995).

2.13 Relación de los factores fisicoquímicos del agua con la macrofauna acuática

Los parámetros fisicoquímicos del agua determinados por factores ambientales influyen de manera directa en la diversidad de las comunidades de los macroinvertebrados. Factores como la profundidad, pH, alcalinidad, dureza, iones de calcio, clase de sedimentos, materia orgánica, contaminantes tanto industriales como domésticos, determinan la abundancia relativa de las comunidades. Adicionalmente la calidad del agua está influenciada por las interacciones de la vegetación, suelos y tiempo de inundación.

2.14 Índices de calidad del agua

2.14.1 Índice biótico andino (Por sus siglas en inglés ABI)

El ABI (Acosta *et al.* 2009) es un índice biótico que sirve para evaluar la calidad del agua y la integridad ecológica de ecosistemas acuáticos andinos. Este índice se construye asignando valores numéricos entre 1 y 10 a cada familia registrada durante un muestreo, dependiendo de su nivel de tolerancia a la contaminación. En esta escala, el valor de 1 se asigna a las familias más tolerantes y el de 10 a las familias más sensibles. La suma de los puntajes de

todas las familias encontradas en un sitio determinado equivale al puntaje ABI total, el cual es un indicador de la calidad de agua de dicho sitio.

Tabla 2. Niveles de calidad del agua a partir del puntaje del índice biótico andino (ABI)

ABI	Calidad del agua
>96	Muy Bueno
59-96	Bueno
35-58	Regular
<35	Malo

Fuente: Acosta et al. 2009

Tabla 3. Clases de estado ecológico según ABI para ríos altoandinos de Ecuador y Perú

Clase	Ecuador	Perú
Muy bueno	>96	>74
Bueno	59 - 96	5 - 74
Moderado	35 - 58	27 - 44
Malo	14 - 34	11 - 26
Pésimo	<14	<11

Fuente: (Acosta et al. 2009)

2.14.2 Biological monitoring working party (BMWP/Col)

El índice biological monitoring working party (BMWP) es utilizado como un método simple y rápido con la finalidad de evaluar la calidad del agua usando macroinvertebrados como bioindicadores, proporciona información de la presencia o ausencia de los organismos, para la aplicación del índice sólo se requiere llegar hasta el nivel de familia y los datos son cualitativos, es decir, El índice permite estimar la calidad de un ecosistema acuático a partir de la valoración de las especies acuáticas que habitan en el mismo; se atribuye a cada especie un valor determinado de acuerdo con su tolerancia a la contaminación que va de 1 a 10, de manera que las familias más tolerantes obtienen una menor puntuación que aquellas que requieren una mejor calidad de las aguas en que viven. La suma de los valores obtenidos para cada familia en un punto de muestreo dará el grado de contaminación del mismo. Cuanto mayor sea la suma, menor es la contaminación del punto estudiado (Gómez *et al.* 2003).

Tabla 4. Clasificación de las aguas de acuerdo al índice BMWP/Col y colores para representaciones cartográficas

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>150	Aguas muy limpias, no contaminadas	Azul
II	Aceptable	101-120	Se evidencian efectos de la contaminación	Verde
III	Dudosa	61-100	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	36-60	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas/ situación crítica	Rojo

Fuente: Roldan (2003). Bioindicadores de la calidad del agua en Colombia.

Tabla 5. Puntuación de las familias de macroinvertebrados para obtener el índice BMWP/Col

Familia	Sensibilidad
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessidae, Odontoceridae, Olilgoneuridae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae, Ptilodactylidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Calamoceratidae, Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Dolichopudidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydroptilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae (cuando no es la familia dominante, si domina es 1), Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae	2
Tubificidae	1

Fuente: Roldan, 2003. (Bioindicación de la calidad del agua en Colombia).

2.14.3 Ephemeroptera, plecóptera y trichoptera (EPT)

- **Ephemeroptera**

Los Ephemeropteros son los insectos más primitivos y antiguos de todos los insectos existentes. Los ciclos biológicos varían según las distintas especies y regiones en las que viven. Hay especies que tienen ciclos muy cortos, que se determinan rápidamente durante las cortas estaciones favorables a altas latitudes, mientras que hay otras que son mucho más largas en lugares tropicales, con generaciones no estacionales en los trópicos, con la presencia de adultos durante todo el año (Domínguez *et al.* 2009).

- **Plecóptera**

El orden Plecóptera es un grupo relativamente pequeño de insectos. Cerca de 3000 especies han sido descritas en el mundo, distribuidos en 16 familias y 286 géneros. En América del Sur existen 6 familias, 47 géneros y aproximadamente 460 especies, de las cuales las familias Gripopterygidae y Perlidae tienen distribución más amplia. Los plecópteros se encuentran generalmente en aguas rápidas, turbulentas, frías y altamente oxigenadas, es por esta razón que son considerados excelentes bioindicadores de calidad de agua (Romero 2001).

- **Trichóptera**

El orden Trichóptera representa a uno de los más diversos y abundantes grupos de los insectos acuáticos, encontrados en casi todos los ecosistemas lenticos y lóticos. A nivel mundial se han descrito 13500 especies aproximadamente y 2530 en la región Neotropical (Morse 2001).

Respecto al ciclo de vida, Springer (2010) señala que los trichópteros son insectos que pasan por los estados de huevo, larva, pupa y adulto (holométabolos), de los cuales solamente el último es terrestre. Resh y

Rosenberg (1984), señalan que la mayoría de los miembros del orden Trichóptera pasan aproximadamente por cinco estados pudiendo durar de meses a años según la especie y las condiciones ambientales.

Entre las especies más abundantes en los ríos están las filtradoras de materia orgánica fina en suspensión, especialmente de la familia Hydropsychidae, los cuales construyen redes finas en la corriente para filtrar el agua. Finalmente, hay varios trichópteros depredadores de otros organismos acuáticos, como las larvas de Hydrobiosidae y polycentropodidae. Es importante mencionar que algunos trichópteros filtradores son también depredadores de larvas en deriva que caen en sus redes (Benke & Wallace 1980). Por otro lado, los adultos únicamente consumen líquidos, como néctar, debido a que carecen de mandíbulas (Springer 2010).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del trabajo de investigación

La cuenca del río Llaucano se encuentra ubicada en la región Nor Oriental del Marañón formando parte de las provincias de Cajamarca, Hualgayoc, Chota y Cutervo del departamento de Cajamarca; geográficamente sus puntos extremos están ubicados aproximadamente entre las coordenadas 78° 18' 52" de longitud Oeste y 6° 04' y 6°59' de latitud Sur; Los principales centros poblados ubicados, dentro de la cuenca son Hualgayoc, Bambamarca, Cutervo, Súcota, Conchán y Tacabamba (ANA 2016).

Tabla 6. Aspectos generales de la cuenca

Características	Descripción
Nombre de la cuenca	Llaucano
Vertiente hidrográfica	Atlántico
Jurisdicción	ALA Chotano- Llaucano
Superficie	2545.73 Km ²
Río principal	Río Llaucano
Longitud del río principal	116.91 Km
Tributarios principales	Ríos Hualgayoc, Tingo, Pomagón
Otros	Laguna Totoracocha, Laguna mamacocha
Principales usos de la cuenca	Poblacional, agrícola, minero, industrial

Fuente: ANA, 2016

- El tramo de estudio inicia en el centro poblado de Llaucan ubicado en las coordenadas 773093. 5055 Este; 9253745.1086 Norte, lugar donde se ubica el primer punto de monitoreo, dicho punto se ubica aproximadamente a 850 metros aguas abajo del centro poblado. Este punto se seleccionó debido a las evidencias de ganadería y pastoreo en las orillas del río, no se evidencian arrojo de residuos sólidos ni descargas de aguas residuales, puesto que en esta zona mayormente existe vegetación y se puede apreciar que no existen viviendas aledañas. No hay

presencia de peces en el río. Existe un camino lastre al costado del río, el cual nos permite tener acceso al río.

- El segundo punto de monitoreo se encuentra en las coordenadas 774348.4924 Este y 9259656.0976 Norte, en este lugar se ha ubicado el segundo punto de monitoreo, se encuentra a la altura de la plaza pecuaria, se seleccionó este punto debido a la presencia de residuos de carácter urbano como basura. Tiene un camino de 30 metros de distancia aproximadamente, el cual nos permite acceder desde la carretera hasta el borde del río, esto ha facilitado el ingreso para realizar el monitoreo.
- El último punto ubicado entre las coordenadas 774736.5267 Este y 926131.8165 Norte, se encuentra debajo del puente “Saul Mego”, que conduce a la carretera Bambamarca – Chala. A una distancia de 200 metros aguas abajo donde se encuentra la confluencia con el río Maygasbamba, donde también se realiza el vertimiento de aguas servidas las cuales proceden del camal Municipal. Esta zona a simple vista es la más afectada, puesto que las descargas de aguas residuales y residuos sólidos generados por la población cercana hacen que tenga un claro aspecto antiestético.

3.1.2 Hidrografía y fisiografía

El área de la cuenca es 2407 Km² y la longitud de su cauce principal es 90 Km. Los efluentes principales, por la margen derecha son los ríos Pomagón y Chontas, por la margen izquierda son los ríos Hualgayoc- Arascorgue y Tingo-Maygasbamba. La morfología de los valles varía desde suave en las partes altas hasta taludes escarpados en las partes medias. La parte baja de los valles tienen mejores condiciones morfológicas y climatológicas que favorecen la agricultura y ganadería con cultivos en secano y con riego. Los fondos de los valles principales son estrechos con algunas terrazas, lechos fluviales y ríos torrentosos permanentes y temporales que desarrollan procesos de desgaste y transporte de sedimentos en forma intensa en épocas de lluvia. El monitoreo se realizó en tres puntos de muestreo: Llaucan, Plaza pecuaria y José Olaya (parte baja del Camal Municipal) de la ciudad de Bambamarca. (Ver Figura 1).

Tabla 7. Puntos establecidos para la toma de muestras en el río Llaucano en la ciudad de Bambamarca

Puntos	Muestreo al azar parámetros fisicoquímicos	Datum UTM WGS84-ZONA17S			Referencia
		Este	Norte	Altura	
1	M. fisicoquímico	773093.50	9253745.10	2562	Llaucan
2	M. fisicoquímico	774348.49	9259656.09	2503	Plaza Pecuaria
3	M. fisicoquímico	774736.52	9261314.81	2478	Camal

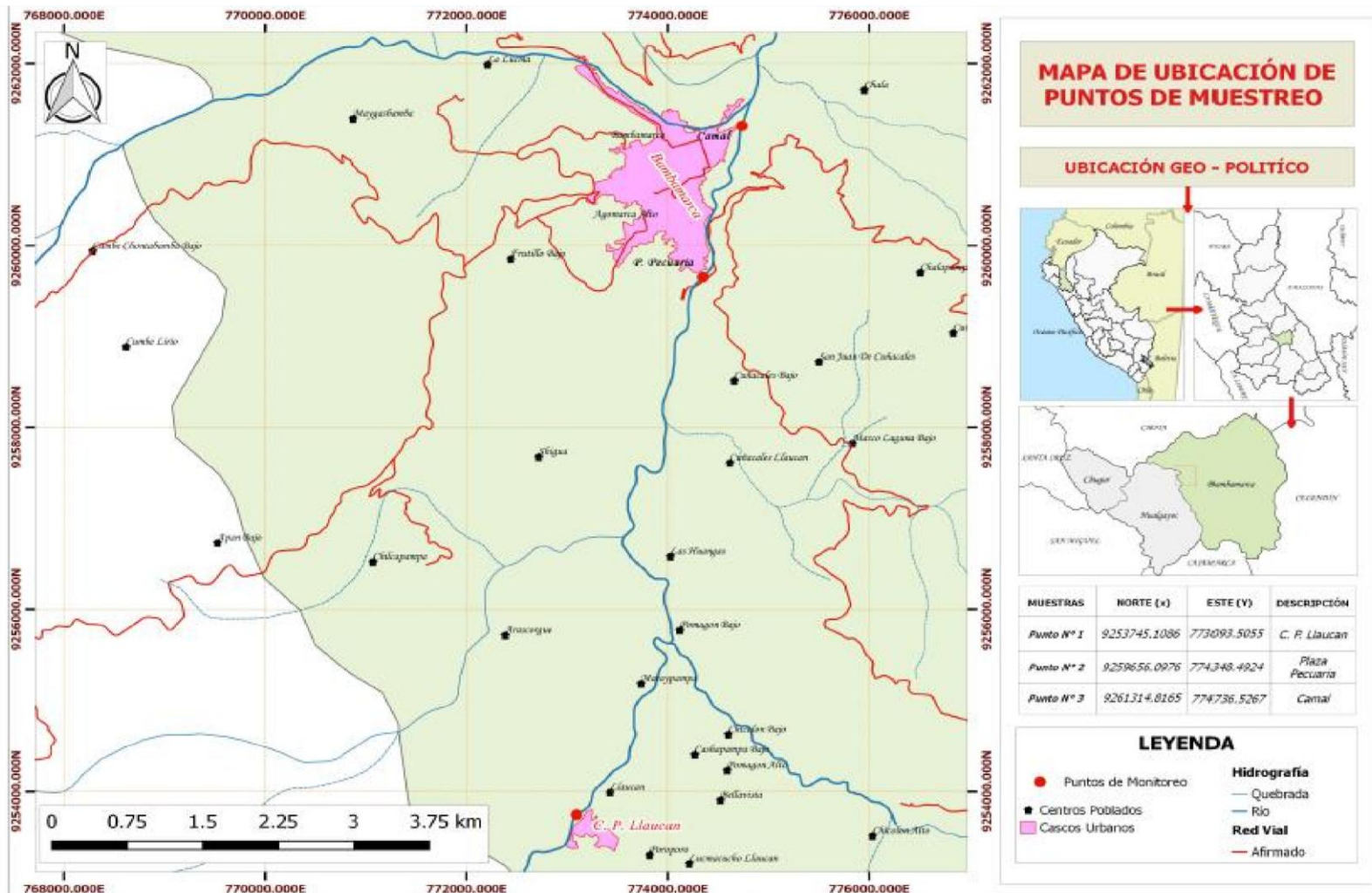


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio y puntos de monitoreo

3.2 MATERIALES

3.2.1 Material experimental

- Agua del río Llaucano.

3.2.2 Equipos

- pH-metro: marca OAKTON modelo RS 232 □ Cronómetro: marca Taylor 5828.
- GPS: marca Garmin, modelo: GPS map76CSx.
- Multiparámetro marca: HQ40d serie: 11036088hd98569.
- Cámara fotográfica marca: SONY, modelo: ST56.
- Turbidímetro marca: HANNA modelo: HI93703

3.2.3 Materiales de campo

- Frasco lavador
- Papel absorbente
- Cinta pegante y de enmascarar
- Bolsa pequeña para basura
- Marcador de tinta indeleble
- Tabla portapapeles
- Guantes
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4)
- Preservantes para muestra: Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4),
- Recipientes plásticos de vidrio. Varía según requerimiento de análisis
- Formato de captura de datos en campo (si la visita no resulta efectiva)
- Documentos de identificación personal (carnet Universitario) □ Ropa de trabajo cómoda y que brinde protección adecuada.
- Botas de caucho.
- Cajas Petri
- Alcohol de 96°
- Guía de vigilancia ambiental con macroinvertebrados bentónicos en Cajamarca.
- Pinzas entomológicas
- Lapicero de tinta indeleble
- Papel toalla
- Recipientes de plástico pequeños.

- Colador
- Red Surber adaptada □ Bolsas ziploc.
- Fuente grande color blanco.

3.2.4 Materiales de escritorio

- Fichas de estudio
- Copias fotostáticas
- Libreta de campo
- Tabla de campo
- Papel bond A4 □ Folders manila
- Planos del área de monitoreo
- Lapiceros
- Memoria USB
- Laptop
- Internet
- Cinta adhesiva

3.3 Metodología

El presente trabajo de investigación se realizó en tres fases:

- Fase de campo.
- Fase de laboratorio.
- Fase de gabinete.

Según el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA) y el protocolo y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S) se realizará el monitoreo de la siguiente manera:

3.3.1 Etapa de campo

• Recolección de información

Se recopiló información de la municipalidad distrital de Bambamarca, del área técnica municipal (ATM) y de las oficinas de ALA Chotano - Llaucano, por medio de la cual se ha podido conocer específicamente las zonas más impactadas, para así poder ubicar los puntos de monitoreo.

- **Ubicación de puntos de monitoreo**

Se ubicaron claramente los puntos en campo de manera que puedan ser identificados en muestreos futuros. Para determinar la ubicación se utilizó el sistema de posicionamiento global (GPS); las coordenadas del punto de monitoreo fueron registradas en el sistema universal transversal de Mercator (UTM). Asimismo, se registraron zonas de referencia en la proximidad de cada punto, tales como puentes, kilometraje vial, localidad, lo cual ha permitido tener una referencia en campo, cada punto se señaló con una boya lo cual ha permitido su posterior identificación.

- **Determinación de parámetros de campo**

La lectura de los valores de pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales se lo realizó de forma inmediata en cada punto establecido, utilizando un multiparámetro, para medir la turbiedad del agua se utilizó un turbidímetro, los valores fueron registrados en el formato de registro de datos de campo.

- **Toma de muestras**

Para la toma de muestras que se analizaron en el laboratorio en lo que respecta a sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), y huevos de helminto se utilizó botellas de plástico debidamente rotuladas, las cuales fueron sumergidas aproximadamente 10 cm dentro del río en sentido contrario de la corriente, tras enjuagar tres veces el recipiente, se procedió al llenado por completo de la botella, en el caso de los frascos que contenían el agua para los análisis de demanda química de oxígeno (DQO), se le agregó 15 gotas de H_2SO_4 , para poder preservar la muestra en tanto sea transportada al laboratorio.

Para las muestras de agua con las que se analizó coliformes termo tolerantes no se realizó ningún enjuague del recipiente, se lo sumergió directamente al río con la finalidad de ingresar el agua en el recipiente de vidrio debidamente rotulado, teniendo en cuenta que se debe dejar un espacio de 10 % del volumen del recipiente para asegurar un adecuado suministro de oxígeno para las bacterias, luego se lo cerró completamente evitando algún contacto con objetos u cosas que puedan alterar los resultados.

Durante el trabajo de campo, los reactivos se almacenaron de forma separada en un frasco pequeño, limpio y seguro para impedir la contaminación cruzada, los análisis se los realizó en el Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca, acreditado con la ISO/IEC 17025.

Tabla 8. Parámetros y metodología utilizada por el Laboratorio

Parámetro	Metodología
Demanda química de oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Sólidos suspendidos totales (SST)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 22 nd Ed. 2012: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C
Coliformes termotolerantes (CT)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, 23rd Ed. 2017: Multiple- Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
Huevos y larvas de helmintos (HH)	NMX-AA-113-SCFI.2012: Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica- método de prueba.

Fuente: Laboratorio Regional del Agua, 2018

Muestreo biológico

- Se seleccionaron 3 puntos de monitoreo, en los cuales se realizó 3 repeticiones en cada uno abarcando un tiempo establecido de 30 minutos por cada repetición, durante los meses de mayo, junio, julio y agosto del año 2018, se utilizó la red Surber, la cual fue elaborada teniendo en cuenta las medidas y el material especificado en la guía de vigilancia ambiental de macroinvertebrados.
- Se definió una sección de 100 m. en la que se realizó un muestreo semicuantitativo ingresando al río, usando guantes y botas, colocando el marco de la malla sobre el fondo y en contra corriente, se examinó los hábitats correspondientes a cada punto de monitoreo (piedras, lodo, raíces sumergidas, restos de residuos que se pueda encontrar), removiendo cuidadosamente el material del fondo, haciendo que de esta manera los organismos queden atrapados dentro de la red.
- Al culminar el tiempo del muestreo sacamos todo el material colectado y lo colocamos en la bandeja blanca, verificamos que todos los MIB de la malla

hayan salido, y nos ayudamos de las pinzas, colador y dedos para sacar algunos que hayan quedado impregnados en la malla.

- Se utilizó frascos pequeños de plástico con tapa rosca debidamente rotulados, lo cual ha permitido poder realizar una separación y clasificación adecuada de acuerdo a cada punto monitoreado, luego fueron trasladados al laboratorio de Ecología del departamento de Ciencias Biológicas 2^a-104 de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental para proceder a su identificación y cuantificación.

Tabla 9. Programación del monitoreo

Puntos de	Referencia	Parámetros	Frecuencia	Repeticiones monitoreo
1	Llaucan	Químicos: DQO, SST, CT, HH, pH, CE,		
2	Parte baja de la plaza Pecuaria	T°, turbiedad, TDS, OD.	Mensual (época seca- época húmeda)	4 meses (mayo, junio, julio y agosto)
3	Camal Fiscoquí	Biológicos: Monitoreo de macroinvertebrados		

3.3.2 Fase de gabinete - procesamiento de datos

- **Resultados fisicoquímicos**

Se evaluó y se comparó cada uno de los resultados obtenidos de la calidad del agua con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3, establecidas en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

- **Determinación del índice biológico BMWP/Col**

El cálculo del Índice BMWP/Col, se realizó después de la colecta de macroinvertebrados, una vez identificados se realizó la valoración correspondiente para cada grupo de familia, luego se realizó una suma de los valores de cada grupo identificado para así obtener un resultado total referente al Índice BMWP/Col. Este valor se comparó con los valores de los niveles de referencia de calidad del agua.

El resultado obtenido nos indica el tipo de calidad del agua ya sea buena, aceptable, dudosa, crítica o muy crítica.

Tabla 10. Valores ponderados para el índice BMWP/Col

BMWP/Col Σ de puntajes asignados a cada familia	Valores de ponderación	Calidad
101-120	4	Buena
61-100	3	Aceptable
36-60	2	Dudosa
16-35	1	Crítica
Menor 15		Muy crítica

Fuente: Roldan, 2003.

□ **Determinación del índice biológico ABI**

El cálculo del índice ABI se realizó con las puntuaciones de sensibilidad que recibieron las familias presentes, indistintamente del número de especímenes de cada familia, ya que ésta no se ve influenciada por el factor de abundancia, sino más bien es un indicador de potencia/ ausencia de macroinvertebrados. Si se identifica solamente 1 individuo por familia, este recibe el puntaje que le corresponde. Como parte final, una vez que se ha obtenido todas las puntuaciones de sensibilidad, se realizó una suma de todas las puntuaciones de la columna que

dio el valor de la sensibilidad total. Este valor se comparó con la escala ABI que dio como resultado el nivel correspondiente a la calidad del agua ya sea muy bueno, aceptable, dudoso o crítico.

Se desarrolló la valoración de especies ordenando en tablas con valores ponderados según el índice aplicado: Índice biológico ABI, el Iberian

Biological Monitoring Working Party (IBMWP) y el Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (EPT), teniendo en cuenta los rangos establecidos en cada índice, clasificándolo en excelente, buena, regular y mala. A continuación, se detalla los valores ponderados respecto a cada índice aplicado:

Tabla 11. Valores ponderados para el índice biótico andino (ABI)

ABI Σ de puntajes asignados a cada familia	Valores de ponderación	Calidad
>74	4	Muy bueno
45-74	3	Bueno
27-44	2	Moderado
11-26	1	Malo
<11		Pésimo

Fuente: Guía de vigilancia ambiental “Agua es Vida”. ISF, ACSUR, Grufides.

Cajamarca, Perú.

□ Determinación del EPT

Tabla 12. Valores ponderados en el índice EPT

EPT Σ de taxas presentes	Valores de ponderación	Calidad del agua
>10	4	Sin impacto
6-10	3	Levemente impactado
2-5	2	Moderadamente impactado
0-1	1	Severamente impactado

Fuente: Klemm *et al.* (1990).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de los parámetros fisicoquímicos

4.1.1 Potencial de hidrógeno (pH)

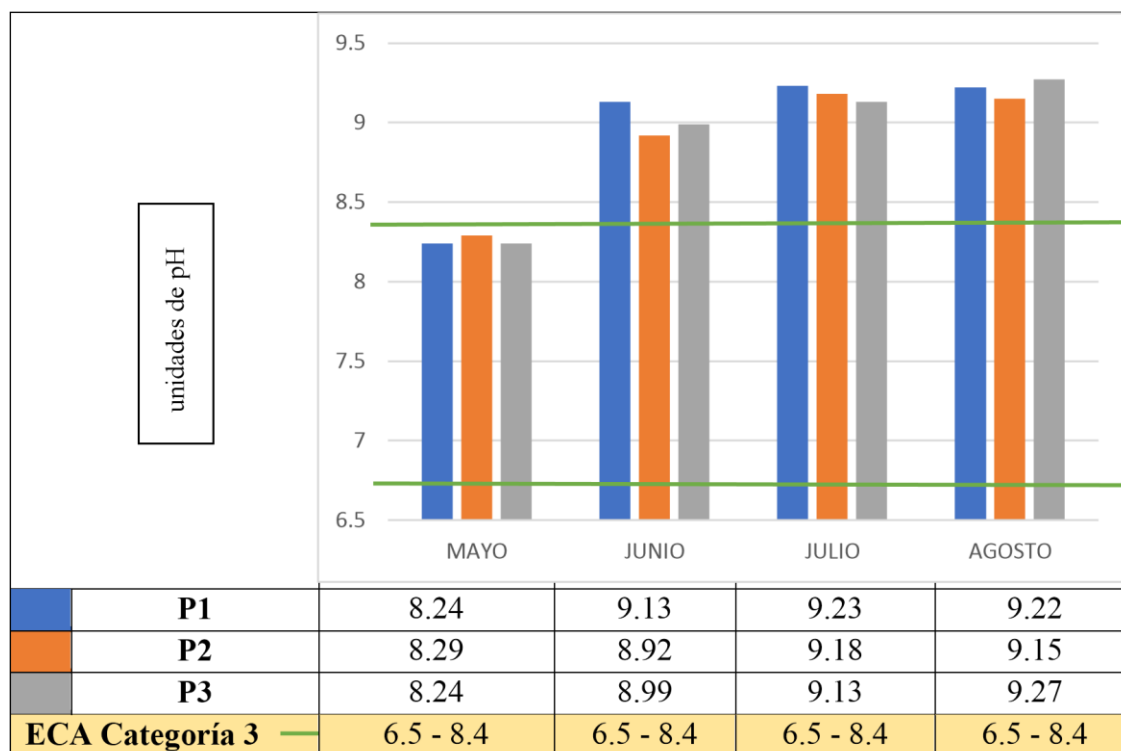


Figura 2. Valores de pH del río Llaucano – Bambamarca

El pH del agua se debe sobre todo al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos (Marín 2003). Según los Estándares de calidad ambiental (ECA) Categoría 3, el pH de las aguas debe encontrarse entre 6.5 – 8.4 unidades de pH, la Figura 2 nos muestra los valores de pH registrados en el río, los cuales se encuentran entre 8.24 y 9.27 unidades de pH, indicando de esta manera un nivel ligeramente básico en el agua.

En el mes de mayo se registraron valores de 8.24 – 8.29 unidades de pH, valores que tienden a indicar un nivel ligeramente básico, los cuales se encuentran dentro de los Estándares de calidad ambiental para Agua, categoría 3. Mostrando un comportamiento con mínimas variaciones entre los tres puntos monitoreados, dichos valores contribuyen a la protección de vida acuática y a los invertebrados que habitan en el fondo (Chapman y Kimstach 1992).

Durante el mes de junio, julio y agosto los valores de pH tuvieron ligeras variaciones mostrando valores de 8.92 - 9.27 unidades de pH, sobrepasando de esta manera los Estándares de calidad ambiental para agua, Categoría 3. Esto debido a la estratificación térmica, puesto que las aguas superficiales ricas en fitoplancton que usan CO₂ como alimento presentan valores de pH más altos que en zonas con mayor profundidad (Marín 2003).

Los valores registrados en el punto 1 son: 8.24, 9.13, 9.23, 9.22 unidades de pH, correspondientes al mes de mayo, junio, julio y agosto respectivamente, las variaciones presentadas son mínimas indicándonos un estado ligeramente básico. Teniendo en cuenta que las actividades fotosintéticas reducen el contenido en CO₂ mientras que la respiración de los organismos heterótrofos produce dióxido de carbono causando un efecto contrario con respecto al pH del medio acuático (Marín 2003).

De acuerdo a los registros obtenidos en el punto 2 de monitoreo se observa que los valores son: 8.29, 8.92, 9.18 y 9.15 unidades de pH, correspondientes al mes de mayo, junio, julio y agosto respectivamente, indicando mínimas variaciones en el mismo, obteniendo un nivel básico en el agua, de acuerdo a los valores obtenidos podemos observar un equilibrio carbónico en el agua.

En el punto 3 ubicado en la parte baja del camal Municipal de la ciudad de Bambamarca, los valores registrados fueron: 8.24, 8.99, 9.13, 9.27, correspondientes al mes de mayo, junio, julio y agosto respectivamente, los cuales se encuentran fuera del rango establecido por los estándares de calidad ambiental para agua en categoría 3. Debido a que en este punto de monitoreo se realizan vertidos de aguas residuales, asimismo se tiene en cuenta que los valores característicos de las aguas residuales se encuentran en un rango establecido de 7.0 y 8,0 unidades de pH (Henze *et al.* 2008). La variación presentada durante el mes de mayo comparada con los meses consecutivos de monitoreo puede derivar de la geología del área donde se llevó a cabo el estudio (Ramírez y Hernández 2012) y por consiguiente por ser una zona muy calcárea, es por ello que presenta unas características muy variantes, en este caso en el pH.

4.1.2 Temperatura (T°)

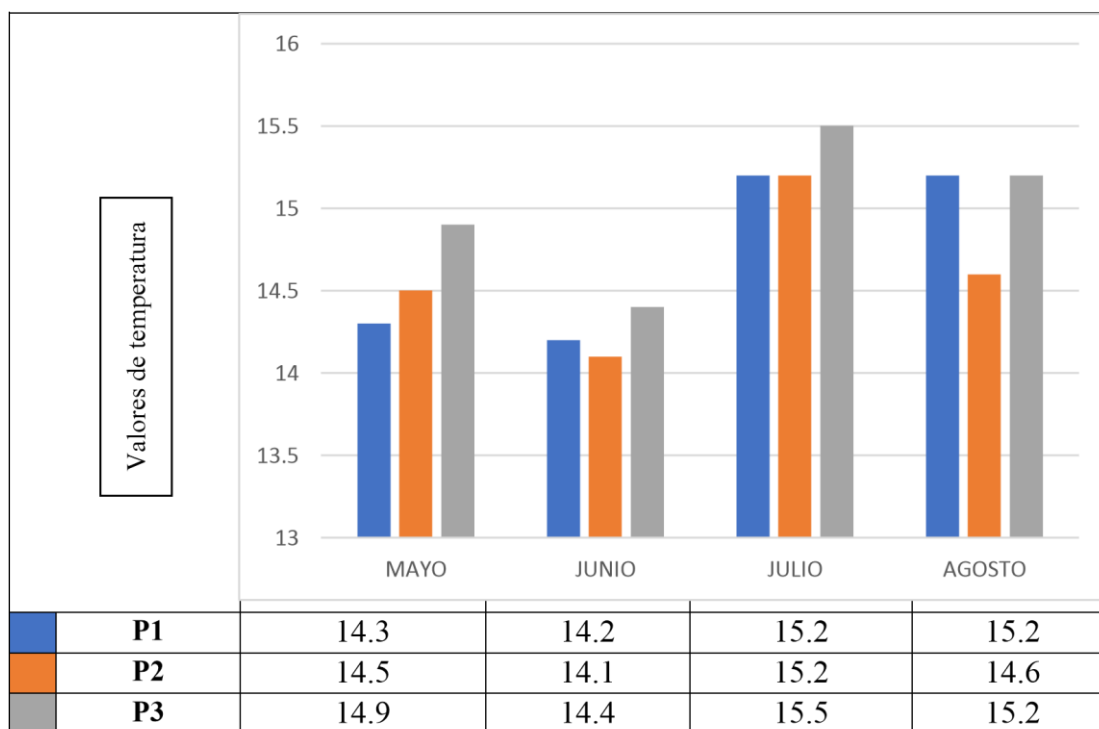


Figura 3. Temperatura del río Llaucano – Bambamarca

El régimen térmico de un río es muy importante puesto que condiciona en gran medida los procesos químicos y biológicos que en él tienen lugar, así como la alteración y su evolución temporal (ciclos diarios y anuales), afecta a los organismos acuáticos, incidiendo en sus poblaciones como consecuencia de una modificación en su metabolismo, reproducción y comportamiento. El constante movimiento de las partículas del agua en un río, favorecen a tener una uniformidad térmica a lo largo de éste. Por otra parte, las grandes masas de agua, prácticamente en reposo, existentes en un embalse presentan una notable inercia térmica. La capacidad calórica y la conductividad térmica del agua impiden que los intercambios térmicos entre la atmosfera y el agua situada en la superficie modifiquen de una forma inmediata la temperatura en toda la profundidad.

El rango de temperatura registrado fue de 14.1 °C a 15.5 °C. la temperatura tuvo una tendencia creciente en el mes de julio, considerando que la temperatura puede variar de acuerdo a muchos factores como la radiación solar.

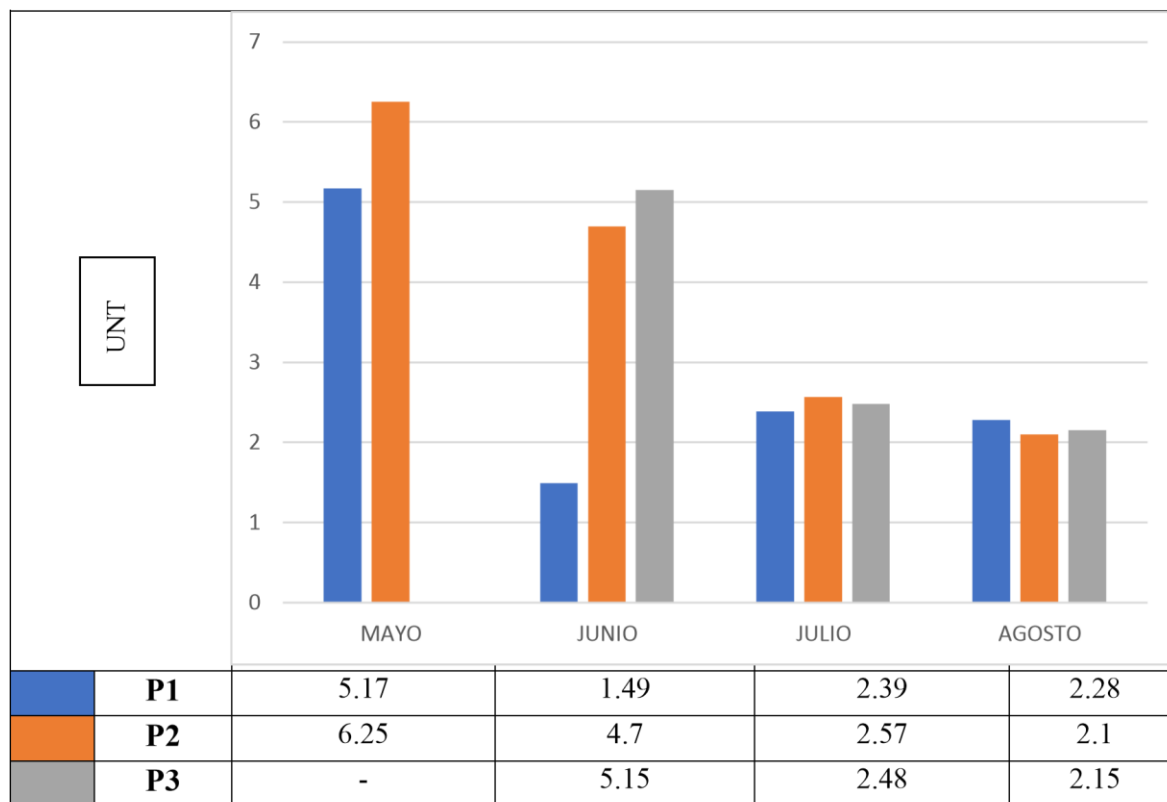


Figura 4. Turbiedad (UNT), del río Llaucano – Bambamarca

El valor mínimo registrado de temperatura corresponde al punto 2, realizado en el mes de junio, con un valor de 14.1, y el valor máximo se registró en el punto 3, realizado en el mes de julio, las temperaturas arriba de los 25 °C aceleran la biodegradación, mientras que las temperaturas bajas disminuyen la eliminación de la DBO y dificultan el metabolismo de las bacterias.

Realizando un comparativo entre los tres puntos de monitoreo podemos observar que el incremento significativo de temperatura durante los cuatro meses de monitoreo se muestra en el tercer punto, considerando que el aumento de temperatura afecta de manera directa a los procesos físicos, químicos y biológicos, por tal motivo es un parámetro de gran importancia puesto que repercute en el efecto de los contaminantes.

4.1.3 Turbiedad

La turbiedad es uno de los parámetros más importantes en la calidad del agua, puesto que es un indicativo de contaminación, puede impactar de manera directa a los ecosistemas acuáticos al afectar la fotosíntesis (limitando el paso de la luz solar), respiración y reproducción de la vida acuática.

Durante el mes de mayo en el punto 3 se registró un valor de 197 UNT, esto debido a un aumento de material como limo, arena o material orgánico, también puede estar relacionado con el alto grado de erosión de las zonas aledañas, junto con las altas descargas que entran al río (Sánchez *et al.* 2010), Los sólidos dispersos y las partículas presentes en el agua pueden actuar como portadores de parásitos, bacterias, gérmenes y virus, su concentración se ve afectada por la erosión del suelo y el transporte de materia coloidal como el constituido por arcilla, fibras vegetales, etc. Existen unas interferencias importantes de considerar en las mediciones de turbiedad, como son: la presencia de residuos flotantes o sedimentados, la coloración y las burbujas de aire presentes en la muestra de agua para analizar (Villa 2011).

Mientras que en los meses de julio y agosto se presentó un comportamiento más bajo y estable en cuestión a los valores registrados esto debido a una baja concentración de sólidos y al poco arrastre de material que pudiera incrementar la turbiedad. Los valores de turbiedad no están registrados en los Estándares de calidad ambiental, categoría 3.

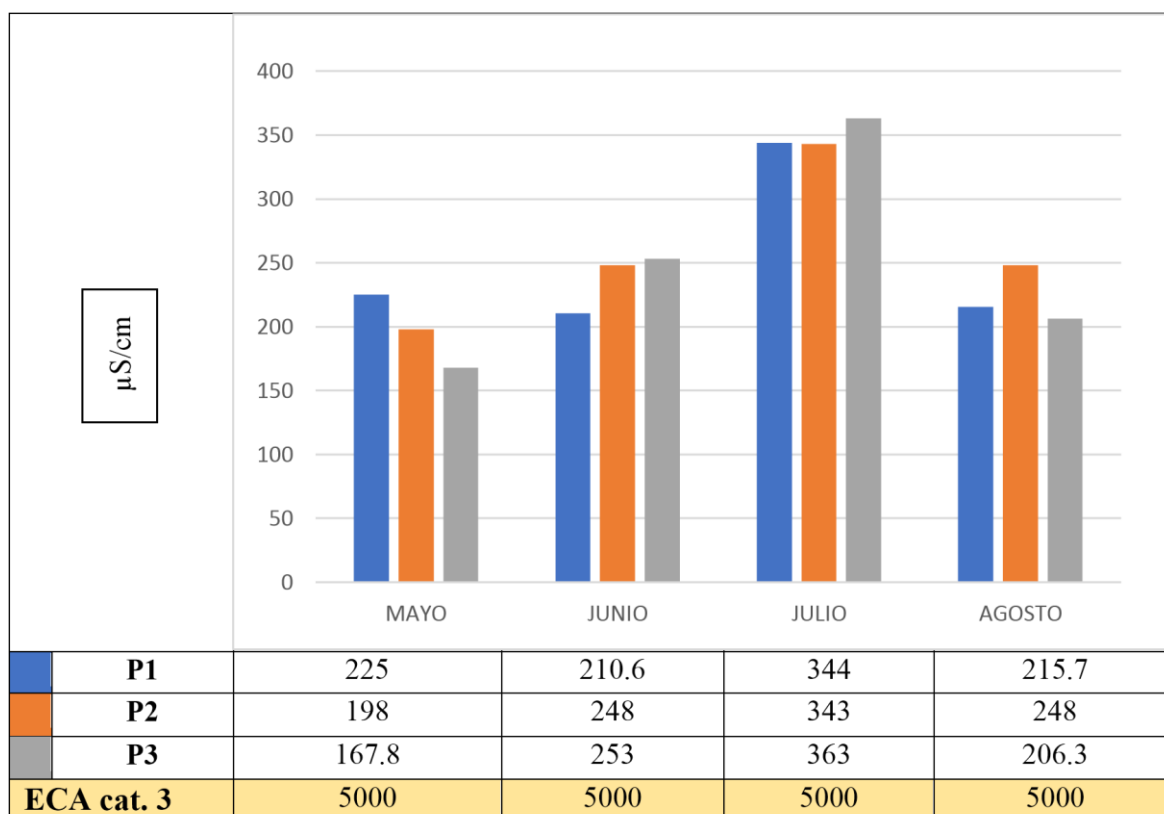


Figura 5. Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del río Llaucano – Bambamarca

4.1.4 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica hace referencia a la capacidad del agua para conducir la electricidad debido a la presencia de sales disueltas que pueden contener; su concentración se puede alterar por la presencia de vertidos salinos que limitan su uso para fines de riego (Bianchini 2006).

Los valores obtenidos de la conductividad eléctrica mostrados en la figura 5, muestran que los niveles se encuentran entre 167.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 363 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Valores que no sobrepasan los Estándares de calidad ambiental para aguas, categoría 3, esto nos indican que se encuentra en los valores óptimos para mantener la vida acuática, por lo que tanto en la temporada húmeda como en la temporada seca, tuvo mínimas variaciones, es por ello que se puede decir que este no es un factor determinante que se vea afectado por las actividades antropogénicas.

Por otro lado, podemos mencionar que guarda una estrecha relación con la vida acuática, puesto que Roldán (2003) señala que la conductividad en aguas superficiales por lo regular es muy baja, y que el aumento de ésta es debido a las actividades humanas, disminuyendo de esta manera la diversidad de especies (Roldán 2003).

4.1.5 Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es un parámetro de suma importancia puesto que es un indicador de cuán contaminado puede estar el agua y del grado de soporte que puede dar esta agua a la vida vegetal y animal. La concentración de OD en el agua debe tener un valor mayor a

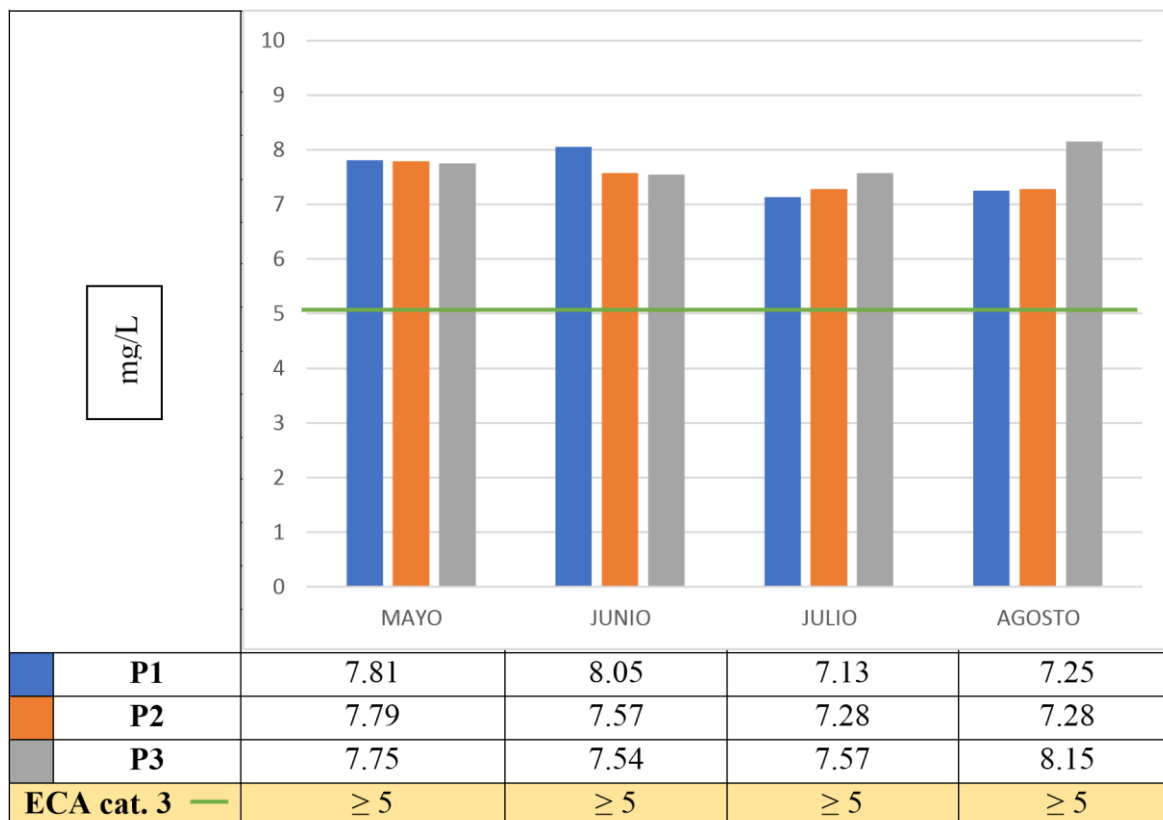


Figura 6. Oxígeno disuelto (mg/L), del río Llaucano – Bambamarca. 5 mg/L, de esta manera garantiza la supervivencia de comunidades biológicas, en medida porcentual debe tener un valor mayor al 70%.

Los valores registrados durante los 4 meses de monitoreo cumplen con lo dispuesto en los Estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3, donde nos indica que los valores deben ser mayor a 5. El máximo valor registrado corresponde al punto 3, realizado en el mes de agosto, asimismo el menor valor obtenido se registró en el punto 1 correspondiente al mes de julio, esto nos indica que, pese a llevarse a cabo los vertimientos de aguas residuales en los dos últimos puntos de monitoreo, el proceso de autodepuración es beneficiosa en los mismos, esto debido a la profundidad del río y a la fuerza con la que se transporta el agua, lo que favorece a la oxigenación de la misma.

4.1.6 Sólidos disueltos totales (TDS)

Los sólidos disueltos totales generan una serie de afectaciones a la salud de los ecosistemas, debido a la formación de turbiedad en las aguas naturales, además que

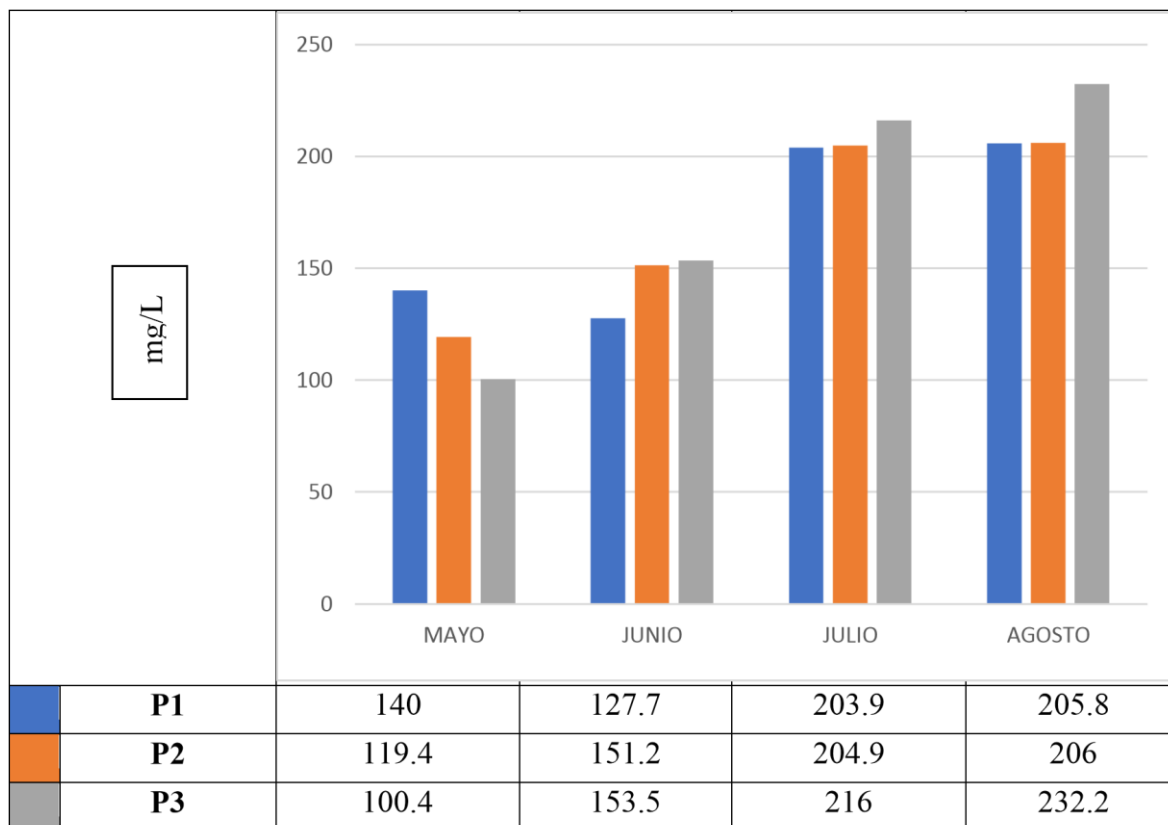


Figura 7. Sólidos disueltos totales (TDS), del río Llaucano – Bambamarca. pueden llegar a sedimentarse dañando el hábitat de algunos organismos bentónicos y fomentando la sobrepoblación bacteriana (Mackenzie 2005).

La figura 7 muestra los valores de sólidos disueltos totales (TDS) de los tres puntos de monitoreo, siendo el menor valor registrado: 100.4 mg/L, en el punto 3, en el mes de mayo correspondiente a la época seca, que se encuentra ubicado en la zona de Llaucan, asimismo un máximo valor de 232.2 mg/L, en el punto 3 en la parte baja de José Olaya (costado del camal), en el mes de agosto. Los valores de sólidos disueltos totales no están registrados en los estándares de calidad ambiental, categoría 3.

4.1.7 Demanda química de oxígeno (DQO)

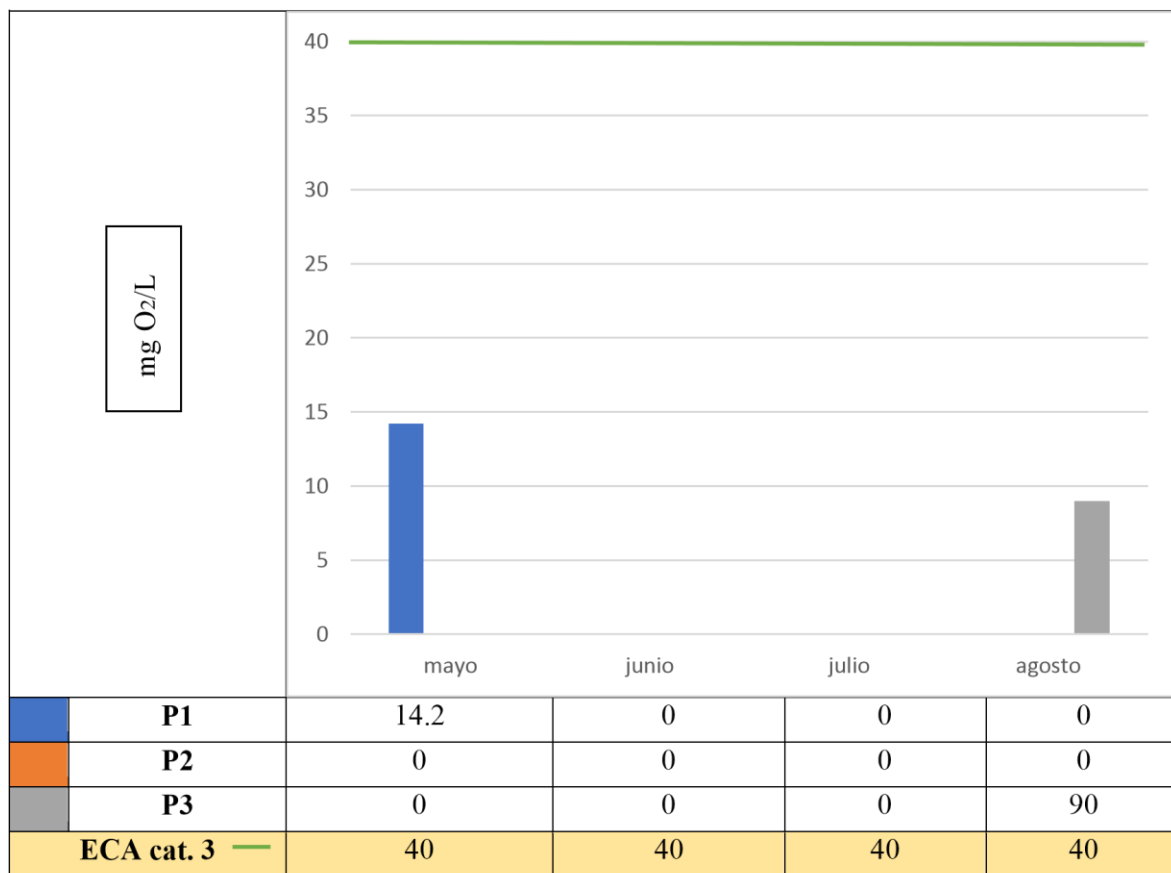


Figura 8. Demanda química de oxígeno del río Llaucano- Bambamarca

Como se muestra en la figura 8. los valores de la Demanda Química de Oxígeno no sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental para Agua Categoría 3, los valores que se muestran en la gráfica pertenecen al primer mes de monitoreo correspondiente a la época seca, donde se obtuvo un valor de 14.2 mg O₂/L y en el punto 3 en el mes de agosto correspondiente a la época de lluvia con un valor de 90 mg O₂/L.

Los valores 0 corresponden al indicativo <LCM, lo que significa que la concentración del analito es menor al límite de cuantificación del método del Laboratorio establecido.

4.1.8 Análisis descriptivo de coliformes termo tolerantes

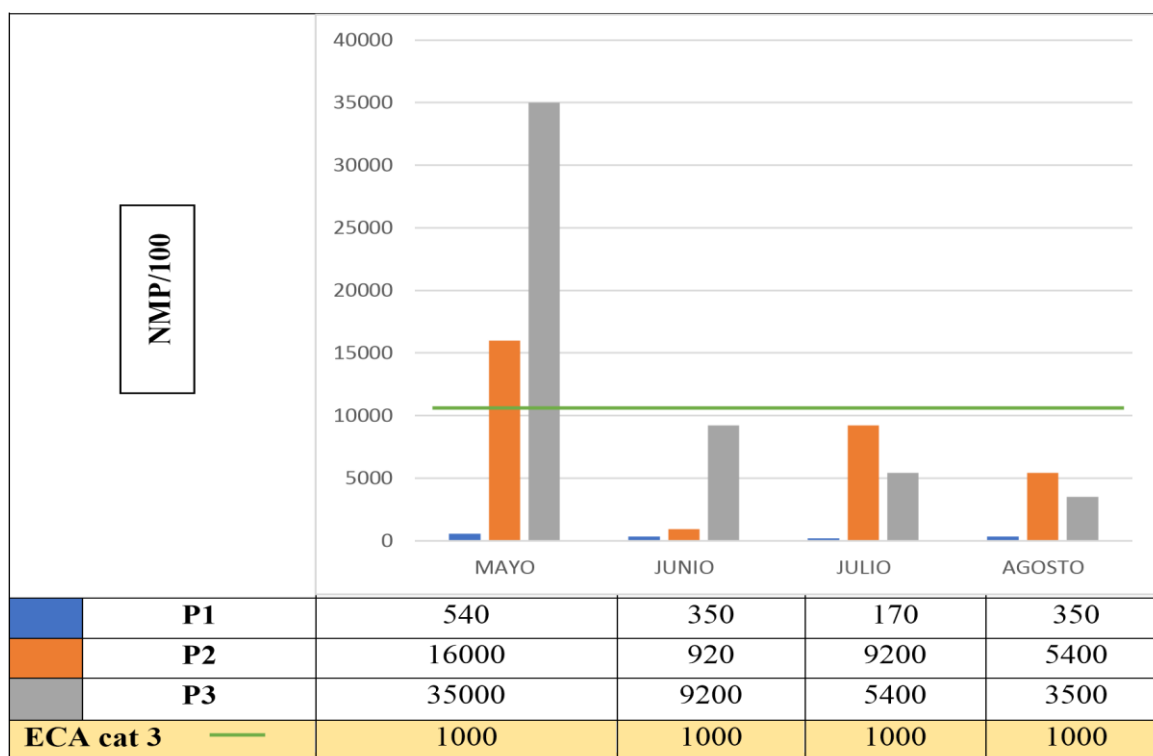


Figura 9. Coliformes termo tolerantes (NMP/mL), en el río Llaucano – Bambamarca

En la figura 9 podemos apreciar el resultado de coliformes termo tolerantes, la diferencia entre el mes de mayo con los siguientes meses es bastante significativa, en el punto 3 ubicado en la parte baja del camal, registrándose un valor de 35 000 NMP/mL, esto debido a la zona que representa, donde el incremento de vertimientos y residuos afectan de manera más significativa, mientras que el valor mínimo obtenido se registró en el mes de julio con un valor de 170 NMP/100 mL, en el punto 1 ubicado en la zona de Llaucan, lo cual nos indica los bajos niveles de contaminación en esta zona.

Realizando una comparación con los Estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3, observamos que en el punto 1 realizado en los meses de mayo, junio, julio y agosto los resultados fueron de 540 NMP/mL, 350 NMP/mL, 170 NMP/mL y 350 NMP/mL respectivamente, los cuales se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental para aguas, categoría 3, del mismo modo también observamos que en el punto 2 y 3 del mes de mayo llegaron a superar los estándares de calidad ambiental para agua categoría 3, cabe mencionar que en estos puntos se realiza el incremento de actividades antropogénicas, arrojamiento de desechos y estas zonas están expuestas al arrojamiento de residuos orgánicos, crianza de cerdos y vertido de aguas residuales.

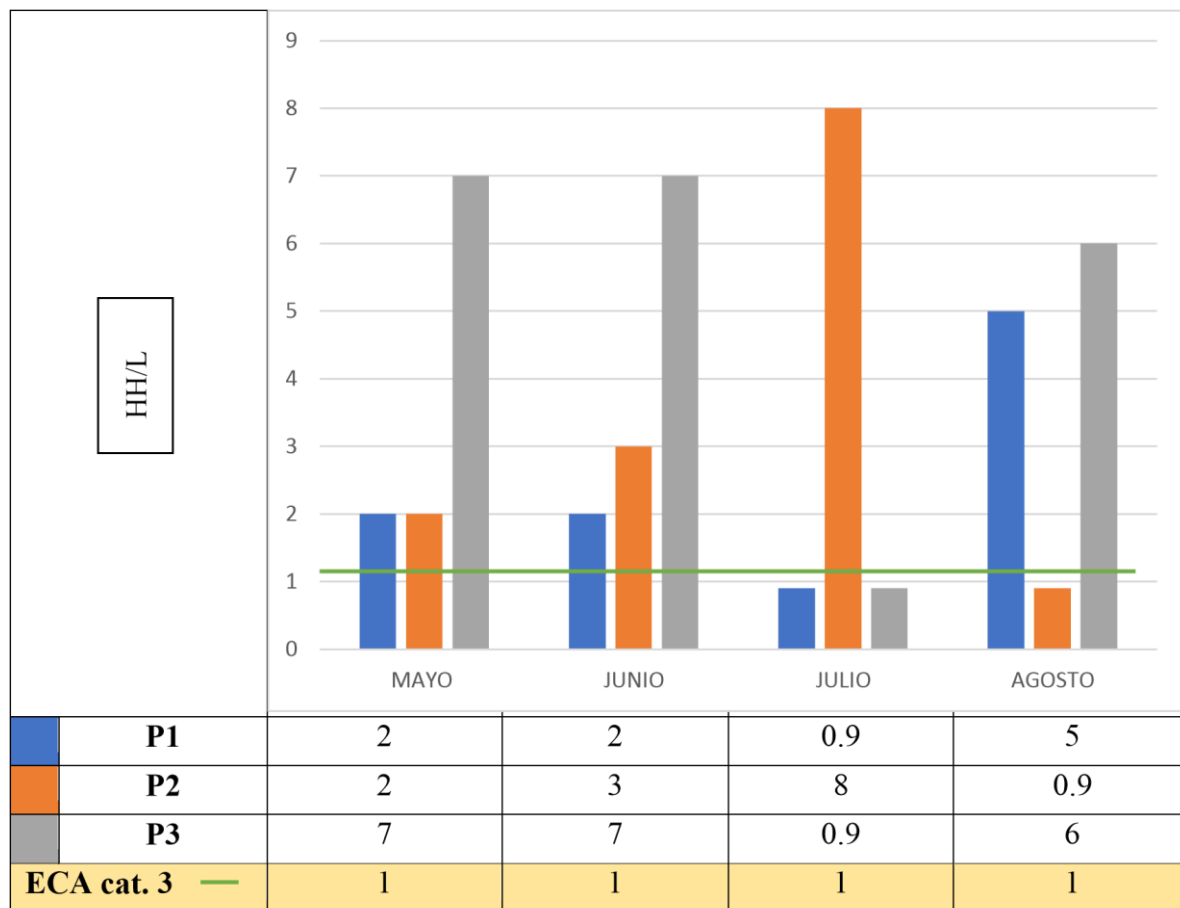


Figura 10. Huevos de helminto (HH/L), del río Llaucano - Bambamarca

4.1.9 Huevos de helminto (HH)

Su presencia en aguas residuales es no obstante de gran preocupación con respecto a la salud humana. El huevo constituye la etapa contagiosa de los parásitos de Helminto; son excretados en las heces y se extienden a las aguas residuales, en el suelo o en los alimentos. El huevo es muy resistente a las tensiones ambientales y a la desinfección con cloro en la planta de tratamiento de aguas residuales (Bitton 1994).

Realizando un análisis cuantitativo de huevos de helminto en el primer punto de monitoreo ubicado en Llaucan, podemos observar la constante variación que se presenta en los cuatro meses. Obteniendo un valor de 2 HH/L en el mes de mayo correspondiente a la época de húmeda, manteniéndose constante en el mes de junio, teniendo una decreciente variación en el mes de julio con un valor de 0.9 HH/L, el cual se encuentra por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 3, mientras que en el mes de agosto correspondiente a la época seca se incrementa el valor a 5 HH/L.

En el punto 2 ubicado en la parte baja de la plaza pecuaria podemos observar constantes variaciones, así en el mes de mayo se obtuvo un valor de 2 HH/L, aumentando en el mes de junio a un valor de 3 HH/L, incrementado aún más en el mes de julio presentando un valor de 8 HH/L, valor más alto obtenido durante todos los meses de monitoreo, sobrepasando de tal manera los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 3, en la época de estiaje podemos observar una decreciente variación llegando a presentar un valor de 0.9 HH/L. Cabe mencionar que a partir de este punto empiezan las actividades antropogénicas, donde se puede apreciar el arrojado de residuos orgánicos, residuos sólidos, vertido de aguas residuales, crianza de cerdos, condiciones que llevan al incremento de contaminantes en el agua.

En el punto 3 ubicado en la parte baja del camal, podemos diferenciar los altos valores durante los 4 meses de monitoreo obteniendo un valor de 7 HH/L en el mes de mayo, correspondiente a la época de húmeda, manteniendo su valor en el mes de junio, decreciendo de manera significativa en el mes de julio con un valor de 0.9 HH/L, encontrando este valor por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 3, En la época seca se presenta un aumento en los resultados, obteniendo un valor de 6 HH/L, cabe mencionar que ésta zona recibe directamente los vertidos de aguas residuales, desechos provenientes del camal, desechos de la crianza de cerdos, arrojado de residuos sólidos, desperdicios orgánicos, condiciones que alteran de manera significativa la calidad del agua, llegando a tener variaciones constantes.

Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 3, nos indica que el valor límite corresponde es 1 HH/L, al realizar la comparación de los resultados del presente estudio con el mismo, podemos observar que los únicos valores que no sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental de Agua, Categoría 3, corresponden al punto 1 y punto 3, correspondientes al mes de julio y el punto 2 correspondiente al mes de agosto con un valor de 0.9 HH/L, lo cual nos indica que la mayor cantidad de valores obtenidos superan los estándares establecidos por la normativa. Por lo que más del 80 % de los cuerpos de agua analizados representan un riesgo epidemiológico en distintos grados. Siendo los puntos de muestreo con valores más altos, las zonas aledañas a la plaza pecuaria y José Olaya (parte baja del camal), severamente contaminados.

4.1.10 Sólidos suspendidos totales (SST)

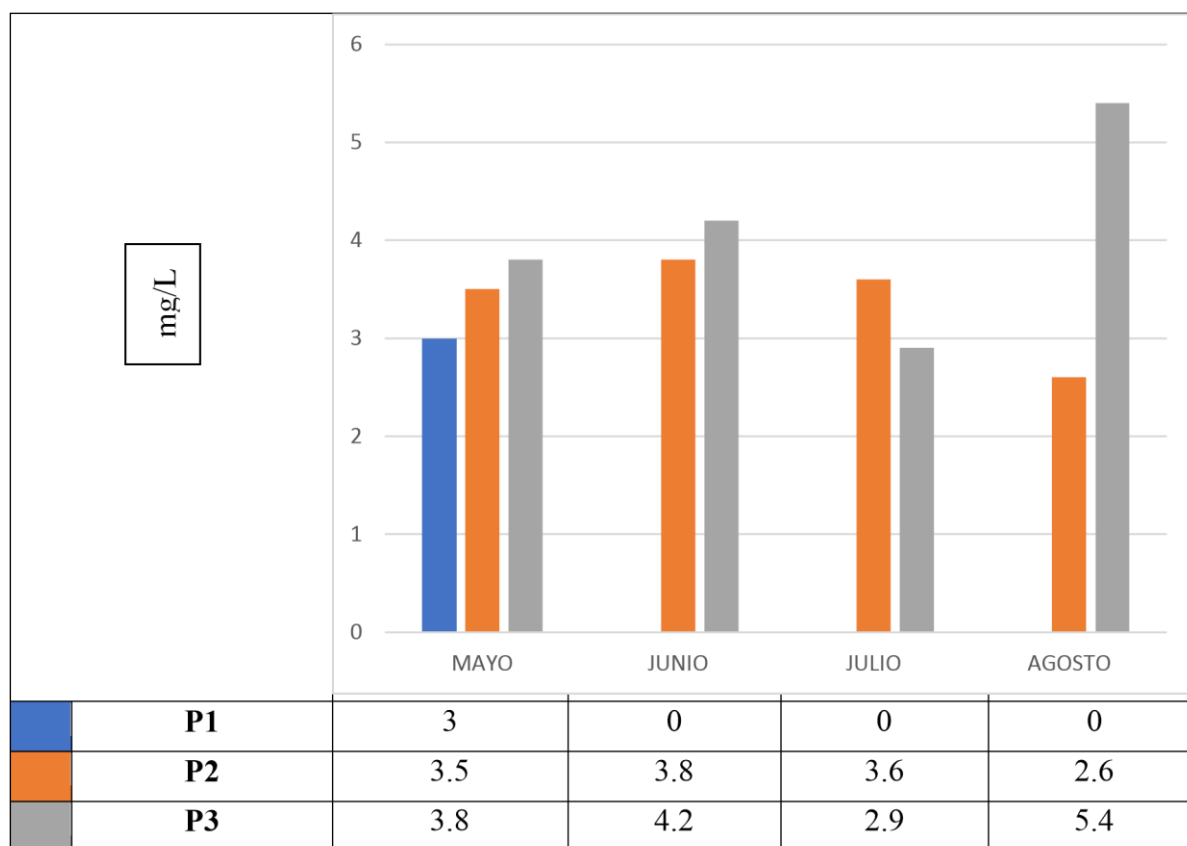


Figura 11. Sólidos suspendidos totales (mg/L), del río Llaucano – Bambamarca

Los sólidos suspendidos totales son principalmente de naturaleza orgánica, se forman a partir de materiales más objetables contenidos en el agua residual. La mayor parte de sólidos suspendidos son desechos humanos, desperdicios de alimentos, células biológicas y papel que al acumularse forman una masa de sólidos suspendidos en el agua, incluso las partículas de materiales inertes adsorben sustancias orgánicas en su superficie (Pérez 2001).

Como podemos observar los valores obtenidos en el punto 1 alcanza un valor de 3 mg/L, en el mes de mayo correspondiente a la época seca, reduciendo su valor en los meses consecutivos manteniéndose éste durante la época húmeda.

En el punto 2 ubicado en parte baja de la plaza pecuaria podemos apreciar que los valores oscilan entre 2.6 mg/L a 3.8 mg/L. Obteniendo el máximo valor en el mes de junio y el mínimo valor en el mes de agosto,

Durante el tercer punto de monitoreo podemos apreciar las variaciones consecutivas durante todo el estudio, presentando una variación de 2.9 mg/L a 5.4 mg/L, considerando en este punto un aumento de partículas de sedimento, barro de las corrientes de tierra, plancton y desechos industriales y de drenaje (García 2003). Lo que nos indica que las aguas del río Llaucano en el punto 3 traen consigo una mayor cantidad de sólidos suspendidos, esto podría ser un indicador de colmatación en el agua (Minaya 2017).

Los sólidos suspendidos totales es un parámetro que no está considerado en los Estándares de calidad ambiental para agua, Categoría 3.

4.2 Resultados de la aplicación de los índices de diversidad biológica

Para obtener una mayor precisión en el muestreo de macroinvertebrados, el nivel sistemático que se identificó los organismos fue (en la medida posible) de género. Las claves taxonómicas utilizadas fueron las de Domínguez (2009), Roldan (1996).

Durante los 9 monitoreos realizados en los 3 puntos establecidos, se encontró los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera, Díptera, Coleoptera, Bassomathopora, Amphipoda y Lumbricina, siendo las más predominantes el orden de Ephemeroptera,

Trichoptera, Díptera y coleoptera, pertenecientes a la clase Insecta, Gastrópoda, Malacostraca y Oligochaeta. Llegando a obtener un total de 1428 individuos pertenecientes a 4 clases, 7 órdenes y 14 familias, el punto de monitoreo que presenta mayor abundancia de macroinvertebrados es el punto 1 ubicado en Llaucan con un total de 807 individuos colectados, el segundo punto ubicado en la parte baja de la plaza pecuaria disminuye considerablemente llegándose a registrar un total de 403 individuos colectados y finalmente el último punto ubicado en la parte baja del camal registrando un valor de 218 individuos colectados.

En las siguientes gráficas se muestra la cantidad de macroinvertebrados colectado por mes de monitoreo.

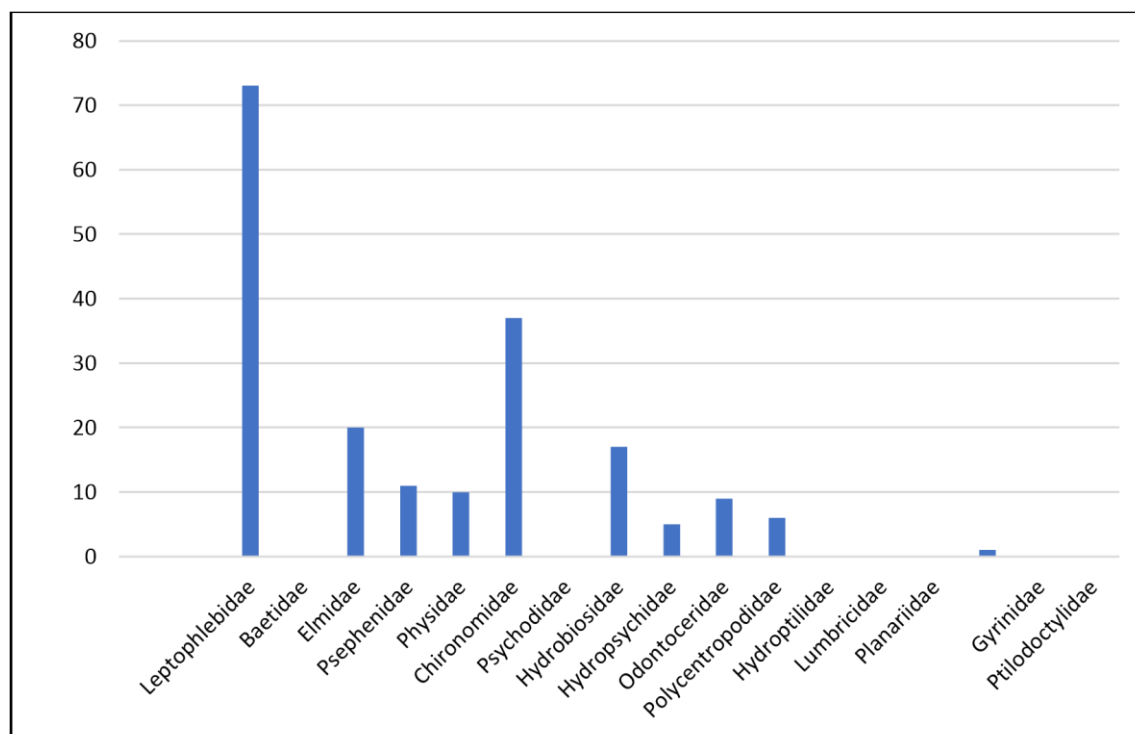


Figura 12. Cuantificación de macroinvertebrados, mes - mayo

La familia más predominante en el mes de mayo correspondiente a la época seca, es Leptophlebiidae perteneciente a la clase insecta con un valor de 73 individuos colectados y la menos abundante es la familia Hydropsychidae perteneciente a la clase insecta con un valor de 5 individuos.

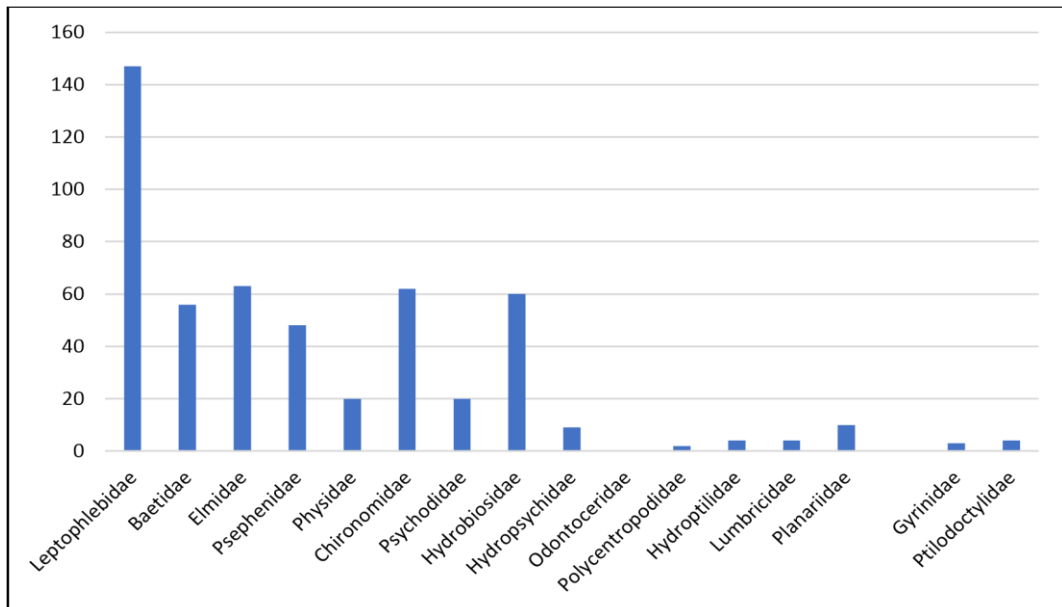


Figura 13. Cuantificación de macroinvertebrados, mes junio

En el mes de junio, la familia más predominante es Leptophlebiidae perteneciente a clase insecta con un valor de 147 individuos, mientras que la menos abundante es la familia Polycentropodidae con un valor de 2 individuos.

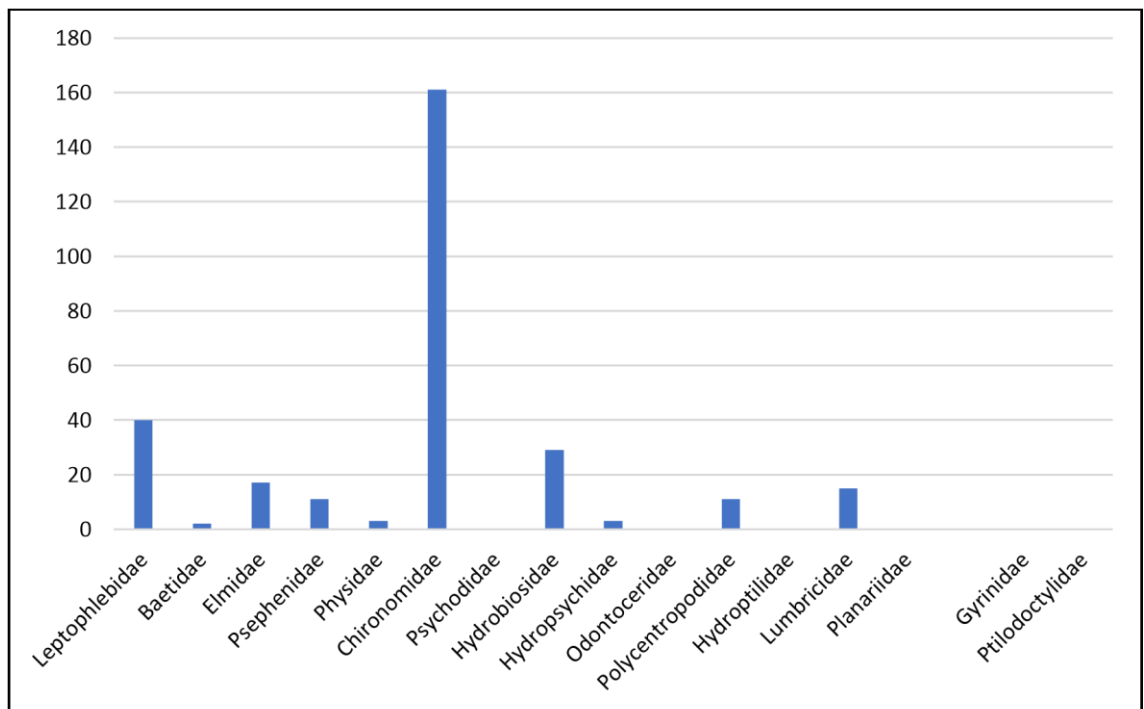


Figura 14. Cuantificación de macroinvertebrados, mes julio

La familia más predominante en el mes de julio es Chironomidae con un valor de 161 individuos, mientras que la menos abundante es la familia Baetidae con un valor de 2 individuos.

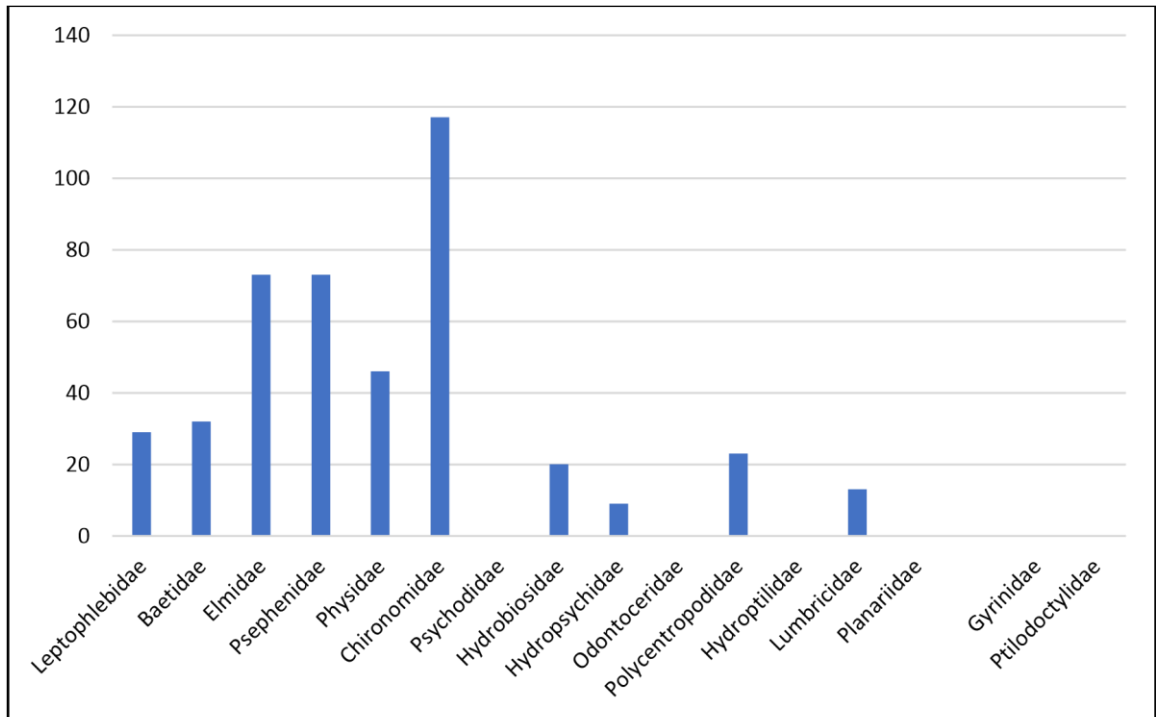


Figura 15. Cuantificación de macroinvertebrados, mes – agosto

En agosto, época húmeda, el último mes de monitoreo, la familia más predominante que se encontró fue Chironomidae con un valor asignado de 117 individuos, y la menos abundante fue la familia Hydropsychidae con un valor de 9 individuos.

4.2.1 Evaluación porcentual con respecto al total de cada zona de monitoreo

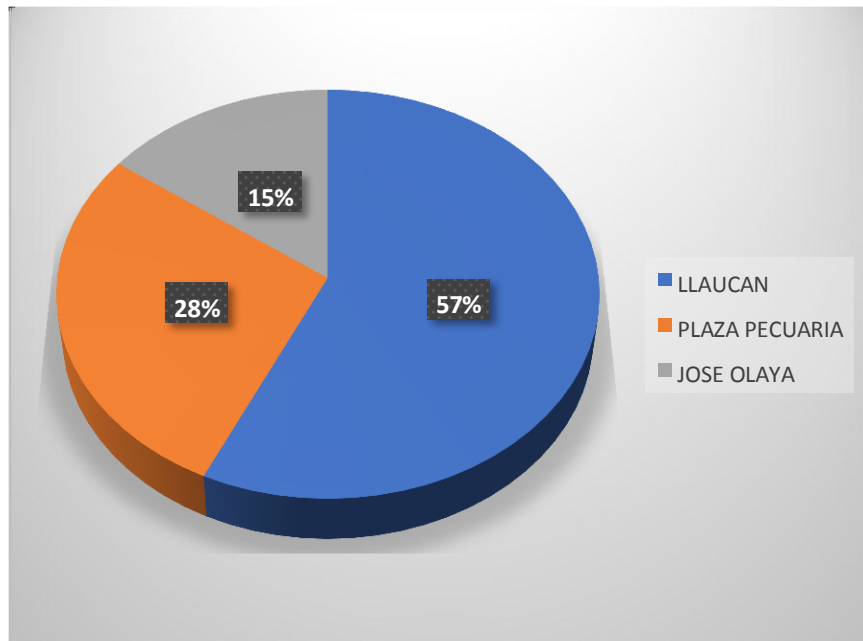


Figura 16. Porcentajes por zona de monitoreo

Como se observa en la Figura 16, se ha representado los porcentajes de macroinvertebrados colectados en las 3 zonas de monitoreo, la mayor abundancia se presenta en la zona de Llaucan, donde se tomó tres puntos de monitoreo obteniendo un 57% de individuos colectados, cantidad que va disminuyendo notablemente en la zona de la plaza pecuaria, donde también se tomó tres puntos de monitoreo, obteniendo un valor de 28 %, asimismo en la zona de José Olaya (parte baja del camal), donde se realizó los tres últimos puntos de monitoreo obteniendo un valor reducido de 15 % de individuos, esto debido al incremento de la actividad antropogénica en esta zona, donde se vierten aguas residuales y se arrojan residuos sólidos.

□ **Diversidad y cantidad de macroinvertebrados colectados en las zonas de monitoreo**

Tabla 13. Cantidad de macroinvertebrados colectados

Orden	Familia	Cantidad Llaucan	Cantidad Plaza. pecuaria	Cantidad José Olaya
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	190	63	36
Ephemeroptera	Baetidae	51	23	16
Coleoptera	Elmidae	99	54	20
Coleoptera	Psephenidae	100	43	0
Basommatophora	Physidae	50	29	0
Díptera	Chironomidae	167	125	85
Díptera	Psychodidae	11	7	2
Trichóptera	Hydrobiosidae	65	34	27
Trichóptera	Hydropsychidae	17	6	3
Trichóptera	Odontoceridae	7	2	0
Trichóptera	Polycentropodidae	19	8	15
Trichóptera	Hydroptilidae	3	1	0
Lumbricina	Lumbricidae	17	4	11
Tricladia	Planariidae	7	1	2
Amphipoda	Hyalelidae	1	0	0
Coleoptera	Gyrinidae	1	2	0
Coleoptera	Ptilodactylidae	2	1	1
Total		807	403	218
Porcentaje %	57	28	15	

El orden Basommatophora, organismos característicos de aguas moderadamente contaminadas. Esta especie vive en lugares fríos, como altiplanos y lagunas. Las medidas de los Basommatophora son en mm, su color es un café translúcido; tienen una abertura oval redondeada, casi no desviada del plano de la espira y sutilmente más ancha que alta, con bordes de la abertura cortante (Loayza Muro, Guía de Bioindicadores 2003).

Ha sido posible distinguir que la mayor diversidad local se limita en la parte alta de la cuenca, disminuyendo considerablemente en la parte media y parte baja de la cuenca, en donde ordenes de reconocida sensibilidad como *Plecóptera*, *Ephemeroptera* y *Trichoptera* (Rice *et al.* 2001), no toleran las condiciones de estrés de la cuenca, desapareciendo o encontrándose en muy baja abundancia

mientras que grupos oportunistas como oligoquetos y gasterópodos son capaces de tolerar altas concentraciones de carga orgánica y extensos periodos con baja concentraciones de oxígeno, condiciones que les permite alcanzar una alta tasa reproductiva (Muñoz & Prat 1996).

4.2.2 Evaluación porcentual con respecto al total, de cada mes de monitoreo

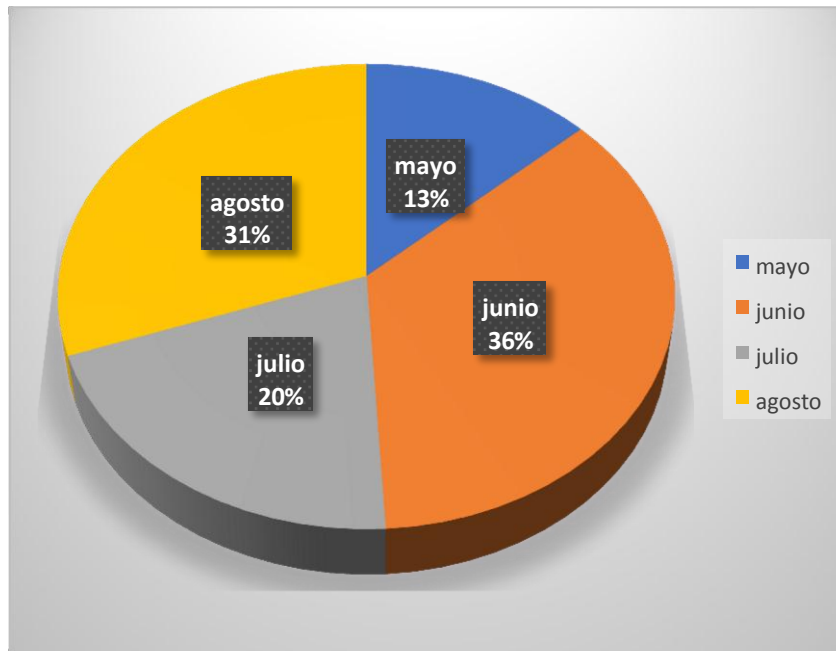


Figura 17. Porcentajes por mes de monitoreo

La Figura 17 nos muestra las cantidades porcentuales de cada mes, donde se observa que en el mes de junio se ha podido obtener la mayor cantidad de macroinvertebrados representando así un 36%, donde predominan las familias Leptophlebiidae (147), Elmidae (63), Hydrobiosidae (60), Baetidae (56) y Psephenidae (48), con los valores más representativos.

En el mes de agosto representando un 31 %, donde se encontró mayor abundancia en las familias Chironomidae (117), esta familia se caracteriza por vivir en cuerpos de agua someras o profundas, corrientes o estancadas, sobre amplias superficies o en pequeños reservorios (bromeliáceas, axilas de las plantas) (Paggi 2001). También, se les encuentra en fango, arena y con abundante materia orgánica en descomposición. Son indicadores de agua mesoeutróficas (Roldán 1996). Psephenidae (73), Elmidae (73), Baetidae (32).

En el mes de julio y mayo con un porcentaje reducido de 20 y 13 %, respectivamente, donde la mayor representatividad la tuvieron las familias Chironomidae (161) y Leptophlebiidae (73).

4.2.3 Índice Andean Biotic Index (ABI)

Se utilizó el Andean Biotic Index (ABI) que analiza la composición de los macroinvertebrados acuáticos a nivel de familia y de acuerdo a su tolerancia a la contaminación, asignándole a cada familia un puntaje de acuerdo a su capacidad de supervivencia a distintos niveles de contaminación, 10 a los más sensibles o menos tolerantes y 1 a los tolerantes o resistentes. El puntaje final se obtiene sumando los valores de todos los componentes de cada muestra determinando así la calidad del agua. El índice ABI, resulta de una abundante revisión bibliográfica realizada por Ríos, Acosta y Prat (2006), en la cual se adaptan los valores del BMWP para alturas superiores a los 2000 m.s.n.m en la región de los Andes.

El análisis para comparar la calidad del agua se realiza entre los mismos sitios de muestreo del río, la aplicación de los índices descritos consiste en otorgar valores a la presencia o ausencia de los diferentes grupos de invertebrados acuáticos. Finalmente la sumatoria de estos puntajes indica un rango de cualitativo de las categorías de la calidad del agua.

Tabla 14. Resultados del índice ABI

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	ABI
Calidad					Moderado
	ABI	ABI	ABI	ABI	
P1	46	62	46	50	51
P2	46	48	30	46	43
P3	30	37	37	37	35
Promedio					43

Como podemos observar en la tabla anterior se muestran los valores obtenidos al aplicar el índice ABI. El promedio de todos los índices nos permite obtener como resultado una calidad de agua **moderado** con un valor de 43 en el índice ABI.

4.2.4 Índice BMWP/Col

Se aplicó el índice BMWP/Col, el cual va sumando puntos según el número de familias encontradas, cada una de las cuales tiene un valor numérico del 1 al 10, relacionado con su sensibilidad a la polución. El valor es más elevado cuanto más intolerante es la familia a la contaminación. La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total de BMWP/Col.

Tabla 15. Resultados del índice BMWP/Col durante los 4 meses de monitoreo

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	BMWP
Calidad					Dudosa
	BMWP	BMWP	BMWP	BMWP	
P1	53	73	53	60	60
P2	53	67	36	53	52
P3	31	50	42	42	41
				Promedio	51

Como podemos observar en la tabla anterior se muestran los valores obtenidos al aplicar el índice BMWP/Col. El promedio de todos los índices nos permite obtener como resultado una calidad de agua **dudosa** en el índice BMWP/Col con un valor de

51.

4.2.5 Análisis y resultados de la prueba estadística ANOVA para los índices ABI, BMWP/Col

Se aplicó la prueba estadística ANOVA con la finalidad de poder determinar si existe diferencia significativa entre los puntos de monitoreo establecidos.

□ Análisis de varianza de un factor para el índice de ABI

Tabla 16. Análisis de varianza

Análisis de varianza						
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Prom. de los cuadrados	F calculado	Prob.	Valor crítico para F
Entre grupos	497.1666667	2	248.5833333	5.3	0.030	4.256494729
Dentro de los grupos	419.75	9	46.63888889			
Total	916.9166667	11				

La prueba estadística ANOVA de un factor indica que al menos una media poblacional difiere, esto quiere decir que si existe diferencias significativas en la puntuación de calidad del agua de acuerdo con los 4 meses de monitoreo realizados en los diferentes puntos. (Estadístico: F de Fisher- Snedecor = 5.3; $p=0.030 < p=0.05$).

Para poder identificar donde están las diferencias estadísticas se realizó la prueba de Tuckey.

- Diferencia honestamente significativa HSD= 13.49
- Multiplicador = 3.95
- Cuadrado del error medio Mse = 46.64
- Tamaño de muestra de cada grupo $n = 4$

4.2.6 Análisis y resultados para la aplicación de EPT

Para la aplicación del ephemeroptera, plecoptera y trichoptera se realizó

% de riqueza encontrada= (N° total de familias encontradas/37) *100

El índice de EPT (%) contempla, principalmente a las poblaciones de ephemeroptera, plecóptera y trichóptera, considerados como indicadores de aguas limpias. Según este índice y los porcentajes obtenidos por zona, La zona de

Llaucán arroja un porcentaje de 57% lo cual nos indica que las aguas son limpias, la zona de la plaza pecuaria arroja un porcentaje de (28%), lo cual nos evidencia que las aguas son moderadamente limpias, y en la zona de José Olaya con un (15%) lo cual nos indica que las aguas son pobremente limpias.

4.2.7 Análisis de varianza (ANOVA) para las poblaciones de macroinvertebrados.

Tabla 17. ANOVA para macroinvertebrados

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p-valor
Repeticiones	255.5	2	127.75	0.87	0.4318
Mes	6950.89	3	2316.96	15.83	0.0001
Punto	15121.17	2	7560.58	51.65	0.0001
Mes*Punto	3557.94	6	592.99	4.05	0.0069
Error	3220.5	22	146.39		
Total	29106	35			

$$CV = 30.5 \%$$

En la tabla 17, se observa los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para las poblaciones de macroinvertebrados, los cuales indican que no existe significación estadística para la repetición, dado que, el valor de significación (p-valor =0.4318) es menor al 0.05. Para la interacción (mes*punto), no se encontró significación estadística, dado que, el valor de significación (p-valor =0.000) es menor al 0.05, lo cual indica que las poblaciones de macroinvertebrados no se encuentran afectado por la acción conjunta del tiempo y la ubicación.

Para los efectos independientes de los factores en estudio (mes y punto), se encontraron significación estadística, dado que, el valor de significación (p-valor =0.0001) para ambos casos es menor al 0.05. Este resultado indica que, las poblaciones de macroinvertebrados difieren estadísticamente en los diferentes meses y también en los diferentes puntos donde se realizaron los muestreos. El coeficiente de variación (CV = 30.5 %), indica la variabilidad de los resultados, es decir, que en un mismo punto muestreado los resultados fueron variados.

4.2.8 Prueba de significación de Tukey

Tabla 18. Prueba de Tukey al 5% en los meses de monitoreo

Mes	N° de macroinvertebrados	Significación al 5 %
Junio	57	A
Agosto	48	A
Julio	32	B
Mayo	21	B

Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidad, para las poblaciones de macroinvertebrados en los diferentes meses.

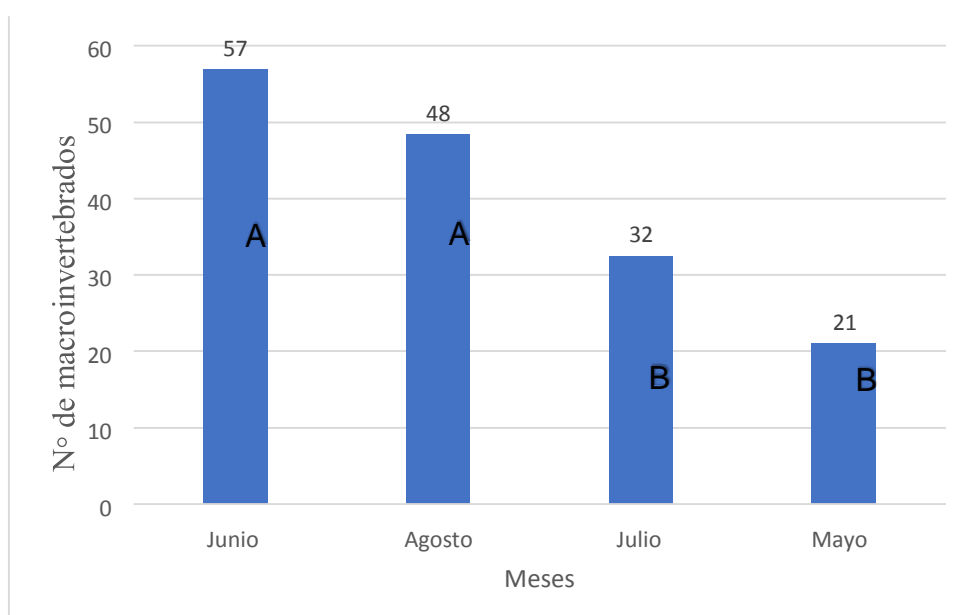


Figura 18. Promedio de las poblaciones de macroinvertebrados por mes

Al realizar la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad (Tabla 18 y Figura 18) para los efectos independientes del factor mes, se observa que en los meses de junio y agosto se encontró en promedio 57 y 48 macroinvertebrados, respectivamente. Estos resultados son estadísticamente iguales y superiores a los encontrados en los meses de julio y agosto en los que se encontró en promedio 32 y 21 macroinvertebrados, respectivamente.

Tabla 19. Prueba de Tukey al 5% en los puntos de monitoreo

Punto N° de significación al 5 % macroinvertebrados		
P1	67	A
P2	34	B
P3	18	C

Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidad, para las poblaciones de macroinvertebrados en los diferentes puntos de muestreos.

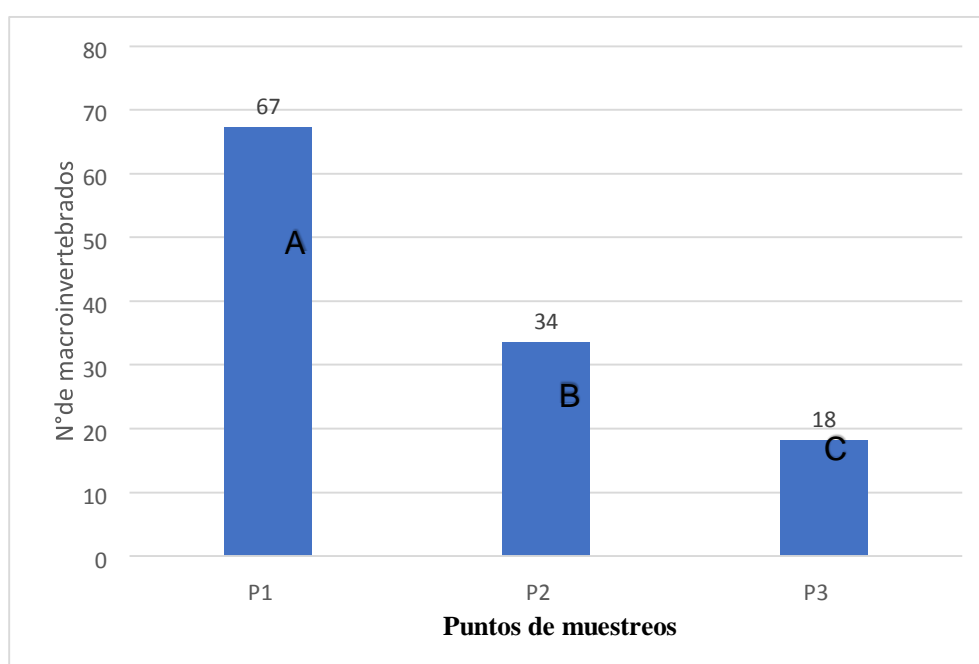


Figura 19. Promedio de las poblaciones de macroinvertebrados por punto

Al realizar la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad (Tabla 19 y Figura 19) para los efectos independientes del factor punto de muestreo, se observa que en el punto 1 se encontró en promedio 67 macroinvertebrados, este resultado es estadísticamente superior al resto. En el punto 2, se encontró en promedio 34 macroinvertebrados y en el punto tres se encontró 18.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La calidad del agua del río Llaucano de la ciudad de Bambamarca evaluada a partir del análisis fisicoquímico y la comunidad de macroinvertebrados nos muestra que la mayor contaminación se presenta en el punto 2 y 3 con respecto a los huevos de helminto llegando a presentar valores de 8 y 7 HH/L respectivamente, con respecto a las coliformes termotolerantes llegando a presentar un valor de 35000 NMP/100 mL. en el punto 3 durante el mes de mayo, los cuales corresponden con el gradiente de disminución de la calidad biológica, el cual refleja sus cambios en distintos atributos de la comunidad bentónica como riqueza, composición, abundancia o densidad de individuos. Dichos cambios en la comunidad biológica en estudio son correctamente interpretados por los índices aplicados.

El total de individuos colectados fue 1428, pertenecientes a 4 clases 7 órdenes y 14 familias, mostrando una disminución significativa de individuos colectados entre puntos, ha sido posible distinguir que la mayor diversidad local se limita en la parte alta de la cuenca, disminuyendo considerablemente en la parte media y parte baja de la cuenca.

5.2 RECOMENDACIÓN

Considerando que en los sistemas acuáticos continentales del Perú son escasos los estudios de distribución espacio- temporal de los macroinvertebrados bentónicos, se recomienda continuar con los estudios para determinar el estado de la biodiversidad de los macroinvertebrados bentónicos en toda la cuenca del río Llaucano, a fin de integrarlos en mapas hidrográficos para realizar un aprovechamiento racional del recurso hídrico. Así como, para formar colecciones de estos organismos para realizar estudios orientados a proponer claves taxonómicas a nivel de género o especie.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R., B. Ríos, M. Rieradevall & N. Prat. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica* 28: 35-64. (En línea). Pp. 36-64. Consultado el 20 de setiembre del 2018. Disponible en: [http://www.ub.edu/riosandes/docs/Limnetica%2028\(1\)%2004%20Acosta.pdf](http://www.ub.edu/riosandes/docs/Limnetica%2028(1)%2004%20Acosta.pdf)
- Acosta R., C. 2009. “Estudio de la cuenca altoandina del río Cañete: Distribución altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidro química de sus cabeceras cársticas”. Tesis. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. 177 pg. Para obtener el título de Doctor.
- Alba- Tercedor, J. & A. Sánchez – Ortega. 1996. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*. 4: 51-56.
- Alba- Tercedor., J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y la calidad del agua de los ríos. VI. Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). Vol. II. 203213
- Allan, J. D y A. S. Frecker. 1995. Biodiversity Conservation in URNG Waters. *Bioscience*: 32 – 42 pp.
- Autoridad Nacional del Agua. 2015. “Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en cuerpos Naturales de Agua Superficial”. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos del Ministerio de Agricultura.
- Autoridad Nacional del Agua – B. 2014. Informe Técnico N° 066-2015ANA-DGCRH-COGRH.Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua. 2016. Sexto Monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Llaucano. 31 pp. Informe Técnico N° 119-2016-ANA-AAA-VI.M-SDGCRH.
- Arce, 2006. Indicadores biológicos de calidad del agua. Universidad Mayor de San simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental, Cochabamba, Bolivia. 21 pp.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua, PE). 2013. “Reglamento para el otorgamiento de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas”. (En línea).

Disponible en:

<http://www.ana.gob.pe/media/704971/r.j.224%20con%20reglamento%20autorizaciones%20de%20vertimientos.pdf>

- Autoridad Nacional del Agua. 2016. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. 92 pp. Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA
- Beita 2008. “Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osas, Puntarenas, Costa Rica”. Tesis. Facultad de Ciencias Básicas. Escuela de Química. Universidad de Costa Rica. 95 pg. Para obtener el título profesional de Licenciado en Química.
- Bianchini, F. 2006. Estudio Técnico: Calidad de agua del río Tzala (Municipio de Sipakapa; departamento de San Marcos), México.
- Bitton, G. 1994. Microbiología de las aguas residuales.
- Carrillo Zapata E.M; Lozano Caicedo A.M. 2008. “Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult”. Trabajo de grado para optar el título de Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ciencias. Pág. 97.
- Carvacho 2012. “Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multiparamétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca Limari”. Trabajo de investigación. Universidad de Barcelona. 70 pp. Barcelona.
- Chapman, D. y Kimstach, V. (1992) Selección de variables de calidad del agua. En: Chapman, D., Ed., Evaluación de la calidad del agua, Chapman and Hall, Londres, 51-119.
- Crites, Tchobanoglous, G. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. McGraw Hill Interamericana, S. A. Colombia. 739pp.
- De la Paz, M. Evaluación de la calidad de agua e integridad ecológica de ríos altoandinos manejados por el FONAG (Tesis). Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales. Quito-Ecuador, 2012, pp. 2-50. Consultado el 4 de octubre del 2018. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2024/1/104396.pdf>

- Domingo Gómez O. 2003. "Evaluación de impacto Ambiental". Segunda Edición. Ediciones mundi- Prensa. Pág. 749.
- Domínguez, E. & H. Fernández. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos (Primera ed.). San Miguel de Tucumán – Argentina: Fundación Miguel Lillo. 654 pp.
- Domínguez, E. y H. R. Fernández. 1998. Calidad de los ríos de la cuenca del Salí (Tucumán, Argentina) medida por un índice biótico. Serie conservación de la naturaleza. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. 40 pp.
- ECA, 2017. Estándar de calidad ambiental para agua. Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM. 10 pp.
- FAO. 2014. Experiencias de manejo y gestión de cuencas en el Ecuador (En línea). Quito: Ana Cristina Herdoíza, Consultado el 4 de setiembre del 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4408s.pdf>
- Flores, J. 2014. Evaluación de la calidad de agua del río San Juan en el estado de Nuevo León. 1-150.
- Flores, D. 2014. Guía para la vigilancia ambiental "Agua es vida". ISF, ACSUR. GRUFIDES. Cajamarca, Perú.
- García, L. y F. Jiménez. 2006. "Efectos del bosque ribereño y de las actividades antrópicas en las características físico químicas y en poblaciones de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras". Recursos Naturales y Ambiente, Vol. 48: 35-46
- García, L., 2003. Indicadores Técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del río Tascalapa Yoro, Honduras, CR.
- García R, 2016. "Diversidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Chillón y su uso como indicadores biológicos". Tesis. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 134 pg. Para obtener el título profesional de Biólogo con mención en Hidrobiología y Pesquería.
- Gómez M.I., Roldán G., Álvarez L. F., Peláez E. y Velásquez D.P. 2003. Determinación de los valores de bioindicación de los moluscos de agua dulce y taxonomía de la familia Hydrobiidae (Gastropoda:Rissoidea) en Colombia. Convenio Colciencias-Universidad Católica de Oriente. Sin publicar. 70 pp.

- Gutierrez, P. 2010. "Plecóptera". Revista de Biología Tropical. En línea, 2010, (Costa Rica), pp. 139-148. Consultado el 11 set. del 2018. Disponible en: <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58s4/a06v58s4.pdf>
- Helawell, J. M. 1986. Indicadores biológicos de contaminación de agua dulce y medio ambiente, Inglaterra. 546 pp.
- Henze, Mogens, Marck C.M. van Loosdrecht, and George A. Ekama 2008. Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelado y diseño.
- Hilsenhoff, W.I. 1988. Evaluación rápida de campo de la contaminación orgánica con un índice biótico de nivel familiar. J. N. Am. Benthol. Soc. 7: 65-68.
- Jiménez Cisneros, B 2001. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A. C., Instituto de Ingenieros de la UNAM y PEMISCA. 926 pp.
Editorial LIMUSA, S. A. de C. V. Grupo Noriega Editores Balderas 95, México, D. F.
- Jiménez, J. 2010. El río Chilí: Cuenca Árida con Presencia Minera. IRECAUNAS/Labor, Arequipa.
- Leyva, M. J. 2004. "Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del Estero Peu Peu comuna de Lautaro IX Región de la Araucanía". Tesis. Universidad Católica de Temuco. 111 pp.
Para obtener el grado de Licenciado en Recursos Naturales. Chile.
- Loayza Muro, Raúl. Guía de bioindicadores de Quillcay. 2003.
- Mafla Herrera, M. 2005. Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano. Talamanca – Costa Rica. CATIE Publ., Turrialba, Costa Rica.
- Marín, R. 2003. Fisicoquímica y Microbiología del medio acuáticos – "Tratamiento y control de calidad de aguas", 2003. Ediciones Díaz de Santos, S. A. (En línea), consultado el 01 de setiembre del 2018. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=k8bIixwJzYUC&pg=PA15&dq=pH+del+agua+superficial&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwif6KLFzJPeAhVRq1kKHR9yAtgQ6AEIJzAA#v=onepage&q=pH%20del%20agua%20superficial&f=false>
- Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y Escherichia coli por la técnica de dilución en tubo múltiple (número más probable

o NMP). (En línea) consultado 30 oct. 2017. Disponible en: http://www.depa.fquim.unam.mx/amyd/.../TecnicaBasicas-Colif-tot-fecalesEcoli-NMP_6529.pdf

- MINAE-S. 2007. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. Decreto, No. 33903, La Gaceta No. 178.

San José, Costa Rica.

- Montero Rodríguez P.A; Agurto Romero K.L. 2009. “Recolección y conservación de muestras en campo después de originado algún daño o perjuicio sobre un cuerpo de agua y su entorno”. Instituto del Mar del Perú.

Sede Regional de Tumbes. Área de Estudios Ambientales. Pág. 18. (En línea).

Consultado el 15 set. 2017. Disponible en:

www.imarpe.gob.pe/tumbes/documentos/Recoleccion_muestras_cuerpo_agua.pdf

- Muñoz 2016. “Caracterización fisicoquímica y biológica de las aguas del río grande Celendín- Cajamarca”. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cajamarca. 123 pg. Para optar el título de Ingeniero ambiental.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 2006. Agua, Saneamiento y salud: Enfermedades relacionadas con el agua (en línea). Consultado 12 oct. 2018.
- Ortiz P. C; 2010. “Prevalencia de huevos de helmintos en lodos, agua residual cruda y tratada, provenientes de un sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio el Rosal, Cundinamarca”. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. 125 pp. Para optar el título de Magister en Ciencias Microbiológicas.
- Palombarini M. 2006 Determinación de sólidos. (En línea). Consultado el 10 oct. 2017. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/38721934/determinacionde-solidos>
- Paredes, C., J. Iannacone y L. Albariño. 2005. “Uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad de agua en el río Rímac, Lima-Callao, Perú”. Revista Peruana de Entomología. Vol. 31. 219-225 pp.
- Pérez López, J. A.; Espigares García, M. 1999. Estudio sanitario del agua. Granada: Editorial Universidad de Granada.

- Prat, N., B. Ríos, R. Acosta & M. Rieradevall. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas, p. 631-654. *In* E. Domínguez & H.R. Fernández (eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología.* Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.
- Prat, N. & M. Rieradevall. 1998. Criterios de evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses basados en los macroinvertebrados bentónicos. *Act. Biol.* 20: 137-147.
- Prat, N. Ríos, R. Acosta & M. Rieradevall. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de las aguas. *En* E. Domínguez, & H. Fernández (Eds.), *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos, Primera Ed.:* 631-654 pp. San Miguel de Tucumán Fundación Miguel Lillo.
- Prat, N., M. Rieradevall, R. Acosta & C. Villamarín. 2011. Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Díptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Clave para la determinación de los géneros. <http://www4.ub.edu/riosandes/>
- Ramírez, M.M., y Hernández, M.A. 2012. “Distribución de Fe, Zn, Pb, Cu, Cd y As originada por residuos mineros y aguas residuales en un transecto del río Taxco en -guerrero, México”. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, Vol. 29; 450-462
- Ramírez, A. 2008. “Odonata”. *Revista de Biología Tropical (En línea)*. Consultado el 4 de setiembre del 2018. Disponible en: <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58s4/a05v58s4.pdf>
- Rengifo, A., y Tello, R. 2001. Diseño y cálculo de costos para la construcción de una piscina de oxidación de Aguas Servidas en el Lago Moronacocha- Caño Ricardo Palma. Iquitos, Perú.
- Rice, E. 2012. *Métodos estándares para el examen de aguas superficiales y aguas residuales.* 22° edición. Washington- Estados Unidos: Washington: Asociación estadounidense de salud pública., pp. 2-12.
- Romero, J. 2009. *Calidad del agua.* 3 edición. Colombia. Editorial escuela Colombiana de Ingeniería. 484 pág.
- Rojas, R. 2002. *Evaluación de la contaminación ambiental por microorganismos en la ciudad de Mixco.* 78 pp. Ecuador.

- Rosenberg, D.M., R.S. King & V.H. Resh. 2008. Uso de insectos acuáticos en el biomonitoreo, p. 123-137. *In* R.W. Merritt, M.B. Berg & K.W. Cummins (eds.). *Introducción a los insectos acuáticos de América del Norte*, EEUU.
- Rosenberg, D.M., Kanks H.V. y Lehmkuhl D. M. 1986. Importancia de los insectos en la evaluación del impacto ambiental. *Manejo ambiental*. N° 10: 773-783.
- Rosenberg, D & V. Resh. 1993. *Biomonitoreo de agua dulce y macroinvertebrados bentónicos*
- Romero, R. *Calidad del agua*. 2° edición. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005, pp. 107-346.
- Roldán 1992. *Fundamentos de la Limnología Neotropical*. Universidad de Antioquía. Medellín, 529 pp.
- Roldán, G. 2003. *Bioindicación de la calidad del Agua en Colombia*. Universidad de Antioquia. Colombia. 170 pp.
- Romero, V. F. 2001. Plecóptera, pp: 93-109 (Capítulo 3). En: Fernández, H. R & E, Domínguez (Eds.) *Guía para la determinación de artrópodos bentónicos sudamericanos*. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán. Argentina.
- Sánchez-Montoya, M., M. Vidal-Abarca & M. Suárez. 2010. Comparación de la sensibilidad de diversas métricas de macroinvertebrados con un gradiente de estrés múltiple en la corriente mediterránea y su influencia en la evaluación de los indicadores ecológicos. 10: 896-904
- Segnini, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Eco trópicos*. 63 pp.
- Springer, M. 2010. "Biomonitoreo Acuático". *Revista de biología tropical*. Costa Rica, 53-59 pp. (en línea). Consultado el 2 de setiembre del 2018. ISSN-0034-7744. Disponible en: <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58s4/a03v58s4.pdf>
- Springer, M. 2010. *Revista de Biología Tropical*. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. Volúmen 58. Supl. 4. Editorial: UCR.
- Springer, M., D. Vásquez, A. Castro & B. Kohlmann. 2007. *Bioindicadores de la calidad del agua*. Guía de campo. Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica.
- Texto Unificado de Legislación secundaria del ministerio del ambiente,

Norma de calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso Agua. Editorial. Lexis. Última modificación ago. 2012. Pág. 319. (En línea).

Consultado el 13 set. 2017. Disponible en:

www.ambiente.gob.ec/.../TextoUnificado-de-Legislacion-Secundaria-del-Ministerio-delambiente

- Trama, F y Mejía, J. 2013. “Biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos en el sistema de cultivo de arroz en el sector Muñuela margen derecho en Piura, Perú” Revista. Departamento Académico de Biología. Universidad Nacional Agraria La Molina, 16 pg.
- Trama F. 2014. “Efecto de los plaguicidas utilizados en los cultivos de arroz, sobre las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y la calidad de las aguas en la cuenca baja del río Piura”. Tesis. Escuela de Post Grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. 160 pg. Para obtener el título profesional de Doctoris Philosophiae. Doctorado en Recursos Hídrico.
- Valores máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas. (En línea). Consultado el 3 oct. 2017. Disponible en:
<http://www.sedapal.com.pe/documents/10154/fedf8405-1bc2-428e-9d8da1c2ad009f53>
- Vela Díaz M. R. 2008. Impacto ambiental provocado por la contaminación de los ríos que cruzan el casco urbano de las cuatro cabeceras municipales del departamento de Santa Rosa ubicadas en la región sur del departamento de Santa Rosa. Universidad de San Carlos de Guatemala. Pág. 29
- Villa, A.; M. 2011. “Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río Yacuambi. Propuestas de Tratamiento y control de la contaminación”. Tesis. Departamento de Química Analítica. Universidad de Cádiz. 110 pp. Para optar el título de Máster en Gestión integral del agua. Cádiz - España.
- Zurita, E. 2016. “Aplicación combinada del método BMWP- ABI-ICA para la evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Atapo- Pomachaca Parroquia Palmira”. Tesis. Facultad de Ciencias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 123 pg. Para optar el título de Ingeniería en Biotecnología Ambiental. Riobamba- Ecuador.

- Yungán, Z. 2010. “Estudio de la calidad del agua en los afluentes de la microcuenca del río Blanco para determinar las causas de la degradación y alternativas de manejo”. Facultad de Recursos Naturales. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba – Ecuador. 145 pp. (en línea). Consultado: 23 oct. 2018. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/579>
- Villa Achupallas, M; 2011. “Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río Yacuambí, Propuestas de tratamiento y control de la contaminación”. Tesis de grado para obtener el título profesional de Máster en Gestión integral del agua. Cádiz- España. Pág. 110.
- Zúñiga de C. M. y Caicedo, G. 1997. Indicadores ambientales de calidad del agua en la cuenca del río Cauca en Bioindicadores Ambientales de la Calidad del Agua. Cali, Universidad del Valle.

ANEXOS



Figura 20. Punto 1 de monitoreo- Río Llaucano



Figura 21. Punto 2 de monitoreo - Parte baja de plaza pecuaria



Figura 22. Punto 3 de monitoreo - José Olaya



Figura 23. Toma de parámetros de campo



Figura 24. Recolección de muestras para análisis fisicoquímicos en el punto 3, José Olaya camal)



Figura 25. Recolección de muestras. Llaucan



Figura 26. Toma de muestras para análisis bacteriológicos



Figura 27. Equipos utilizados en campo



Figura 28. Preservación y envío al Laboratorio



Figura 29. Recolección de macroinvertebrados



Figura 30. Macroinvertebrados bentónicos



Figura 31. Clasificación por punto de monitoreo



Figura 32. Identificación de macroinvertebrados

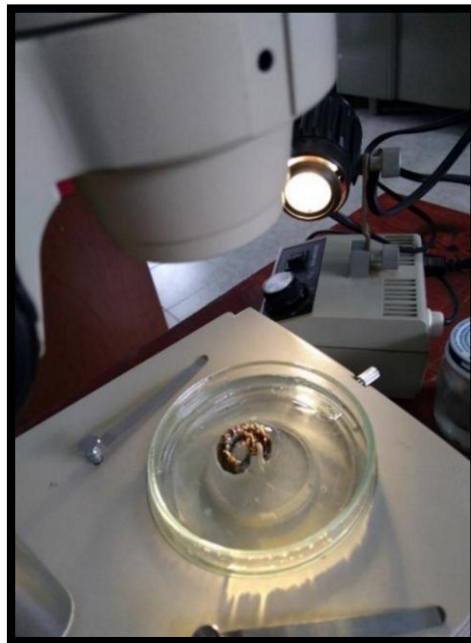
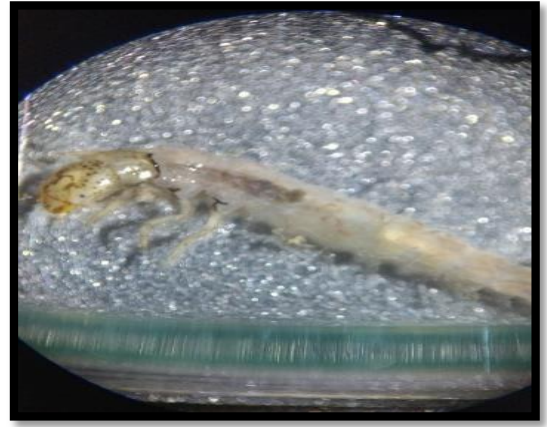


Figura 33. Macroinvertebrados bentónicos

Figura 34. Familias de macroinvertebrados encontrados en el río Llaucano



LUMBRICIDAE



POLYCENTROPODIDAE



BAETIDAE



ELMIDAE



CHIRONOMIDAE



HYDROBIOSIDAE



PSLEUCENTROPODIDAE



HYDROPSYCHIDAE



LEPTOPHLEBIDAE



BAETIDAE



ELMIDAE



PHYSIDAE



CHIRONOMIDAE




ODONTOCERIDAE




AMPHIPODA



HYDROBIOSIDAE



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INACAL
DA-Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

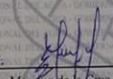
Registro N° LE - 084

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0518281

ENSAYOS			QUIMICOS			
Código Cliente	Punto 01	Punto 02	Punto 03			
Código Laboratorio	0518281-01	0518281-02	0518281-03			
Matriz de Agua	NATURAL	NATURAL	NATURAL			
Descripción	Superficial	Superficial	Superficial			
Localización de la Muestra	Plaza pecuaria	parte baja del colegio Lourdes	Costado de camal			
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	2.5	3.0	3.5	3.8	
Demanda Quimica de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	14.2	<LCM	<LCM	

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.6	540	16 x 10 ²	35 x 10 ³	

por: 

Ing. Máximo de la Cruz Sarmiento
Analista Responsable de Química
CIP: 119544

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 22nd Ed. 2012: Solids, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Demanda Quimica de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, 22 nd Ed. 2012: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedure.

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación de los métodos, los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

Código del Formato: RT1-5-10-01 Rev. N°05 Fecha: 06/06/2017

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 05 de Junio de 2018.
Página: 2 de 2

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE FNS
JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S.N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERU
e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140


Figura 35. Resultados fisicoquímicos, mes – mayo

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

INACAL
DA-Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0618352

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS				
Código Cliente			Punto 1	Punto 2	Punto 3		
Código Laboratorio	0618352-01		0618352-02	0618352-03	-	-	-
Matriz de Agua	NATURAL		NATURAL	NATURAL	-	-	-
Descripción	Superficial		Superficial	Superficial	-	-	-
Localización de la Muestra	Llaucán		Puente corellama	Costado de camal	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	<LCM	3.8	4.2	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS				
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	350	920	92 x 10 ²	-	-
(*) Huevos y Larvas de Helmintos	HH/L	1.0	2	3	7	-	-

por: 
Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento
Analista Responsable de Química
CIP: 119544

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.C. 23rd Ed. 2017. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.D. 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D. 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure
Huevos y Larvas de Helmintos	N° HH/L	NMX-AA-113-SCFI. 2012. Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación de los métodos, ECA: Estándar de calidad ambiental, VE: valor estimado
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
 Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0, significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
 (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

Código del Formato: RT-1-5-10-01 Rev.N°05 Fecha : 06/06/2017

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 02 de Julio de 2018.

Página: 2 de 2

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASSEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
 DR. ALBERTO SANCHEZ S.N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ FONO: 593000 anexo 1140
 LaboratorioRegionalAgua@hotmail.com

Figura 36. Resultados de análisis fisicoquímicos, mes – junio

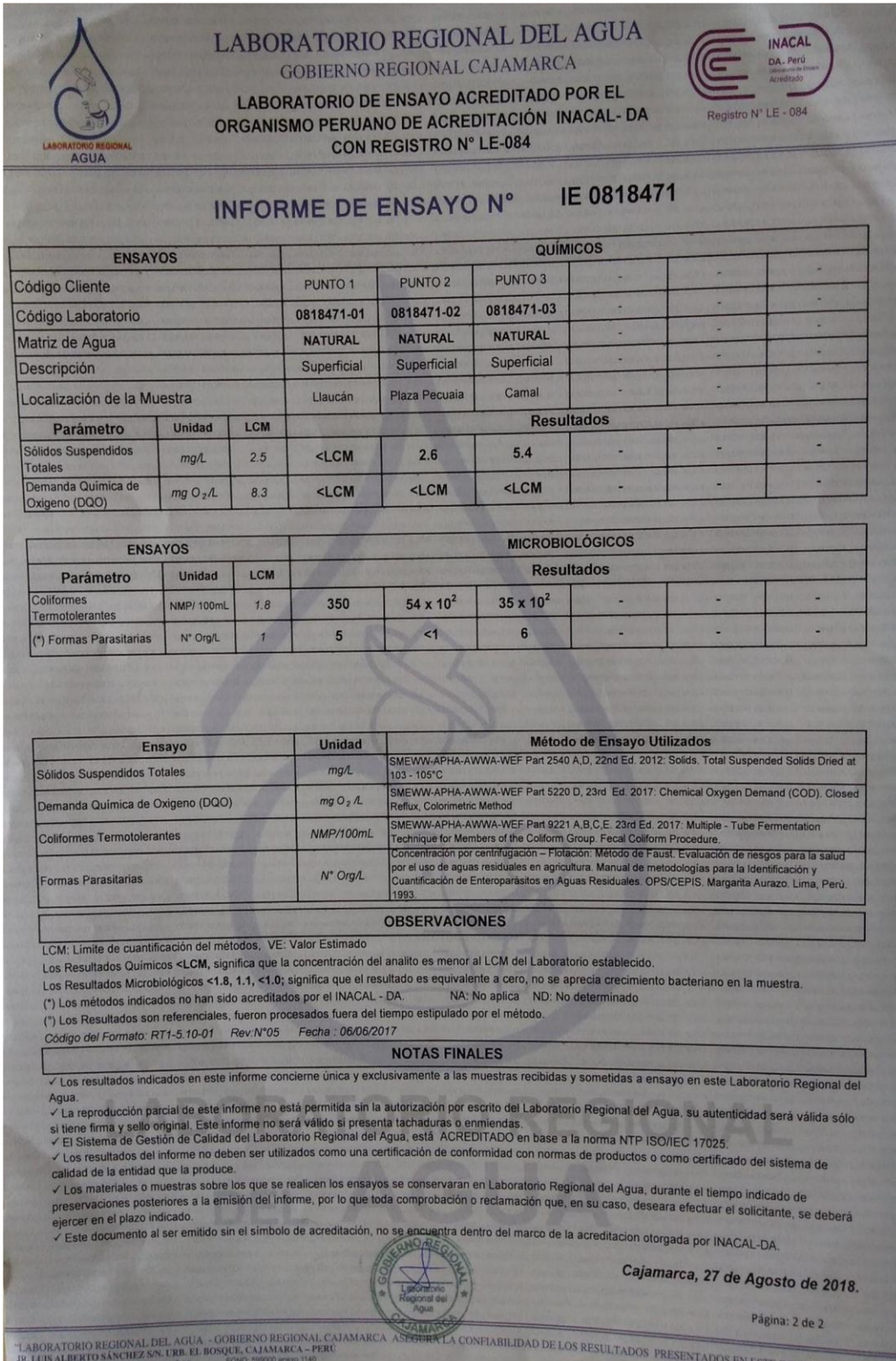




Figura 37. Resultados de análisis fisicoquímicos, mes – julio



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA-Perú
organismo de
acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0718412

ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código Cliente	Llaucan		Plaza pecuaria	Puente del canal		
Código Laboratorio	0718412-01	0718412-02	0718412-03			
Matriz de Agua	NATURAL	NATURAL	NATURAL			
Descripción	Superficial	Superficial	Superficial			
Localización de la Muestra	Río Llaucano	Río Llaucano	Río Llaucano			
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	<LCM	3.6	2.9	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	<LCM	<LCM	9.0	

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	170	92 x 10 ²	54 x 10 ²	
(*) Huevos y Larvas de Helmintos	HH/L	1.0	<1	8	<1	

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.D, 22nd Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colimetric Method
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E, 23rd Ed. 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
Huevos y Larvas de Helmintos	N° HH/L	NMX-AA-113-SCFI 2012. Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación de los métodos, los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.

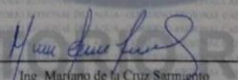
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev N°05 Fecha: 06/08/2017

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.



Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento
Analista Responsable de Química
CIP: 119544

Cajamarca, 02 de Agosto de 2018.

Página: 2 de 2

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO

JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N, URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ FONO: 599000 anexo 1140

correo: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com

Figura 38. Resultados fisicoquímicos, mes - agosto

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Calidad del agua:** Se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua. Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito.
- **Aguas residuales:** Son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales).
- **PTAR:** Conjunto de sistemas y operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es que a través de los equipamientos elimina o reduce la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.
- **Paver:** Programa de Adecuación de Vertimientos y Rehuso de Agua Residual, tiene como finalidad la adecuación a las disposiciones de los vertimientos y reusos de aguas residuales en curso, que a la fecha de entrada en vigencia del reglamento de la LRH no cuenten con las autorizaciones correspondientes.
- **Macroinvertebrados:** El término macroinvertebrados se utiliza comúnmente para referirse a animales invertebrados tales como insectos, crustáceos, moluscos y anélidos, entre otros, los cuales habitan principalmente sistemas de agua dulce.
- **Ecosistema:** Sistema de interacción de una comunidad biológica y sus alrededores medioambientales no vivientes.
- **EPA:** Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, en inglés: (Environmental Protection Agency); más conocida por las siglas EPA. Es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud

humana y proteger el medio ambiente: aire, agua y suelo, y hacer cumplir los reglamentos sobre la base de las leyes aprobadas por el Congreso en estos temas.

- **Biótico:** Hace referencia a aquello que resulta característico de los organismos vivos o que mantiene un vínculo con ellos. Puede también ser aquello que pertenece o se asocia a la biota, un concepto que permite nombrar a la fauna y la flora de un cierto territorio.
- **Abiótico:** Se refiere al entorno en el que no puede desarrollarse la vida; es el término opuesto a biótico, ya que nombra a lo que no se incluye o no es un producto de los seres con vida.
- **ABI:** Es un índice biótico que sirve para evaluar la calidad del agua y la integridad ecológica de ecosistemas acuáticos andinos. Este índice se construye asignando valores numéricos entre 1 y 10 a cada familia registrada durante un muestreo, dependiendo de su nivel de tolerancia a la contaminación. En esta escala, el valor de 1 se asigna a las familias más tolerantes y el de 10 a las familias más sensibles.
- **(BMWP/Col):** El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), es un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores; para la aplicación del índice sólo se requiere llegar hasta el nivel de familia y los datos son cualitativos, es decir, proporciona información de la presencia o ausencia de los organismos.
- **UTM:** del inglés Universal Transverse Mercator), sistema de coordenadas universal transversal de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace secante a un meridiano.
- **Longitud:** Es un concepto métrico definible para entidades geométricas sobre la que se ha definido una distancia. Más concretamente dado un segmento, curva o línea fina, se puede definir su longitud a partir de la noción de distancia. Sin embargo, no debe confundirse longitud con distancia, ya que para una curva general (no para un segmento recto) la distancia entre dos puntos cualquiera de la

misma es siempre inferior a la longitud de la curva comprendida entre esos dos puntos.

- **Latitud:** Es la distancia angular entre la línea ecuatorial (el ecuador), y un punto determinado de la Tierra, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto. Según el hemisferio en el que se sitúe el punto, puede ser latitud norte o sur, proporciona la localización de un lugar, en dirección Norte o Sur desde el ecuador y se expresa en medidas angulares que varían desde los 0° del Ecuador hasta los 90°N del polo Norte o los 90°S del Polo Sur
- **CERA-S:** Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos altoandinos
- **ALA:** Autoridad Local de Agua
- **Gps:** Sistema de Posicionamiento Global, es un sistema que permite determinar en toda la Tierra la posición de un objeto (una persona, un vehículo) con una precisión de hasta centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión.
- **Promedio:** También llamada media, de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.
- **Varianza:** Es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.
- **ATM:** Área Técnica Municipal
- **ECA:** Estándar de Calidad Ambiental, son indicadores de calidad ambiental. Miden la concentración de elementos, sustancias u otros en el aire, agua o suelo. Su finalidad es fijar metas que representan el nivel a partir del cual se puede afectar significativamente el ambiente y la salud humana

- **ANA:** Autoridad Nacional del Agua, es un organismo constitucional autónomo del Perú. Está adscrito al Ministerio de Agricultura y se encarga de realizar las acciones necesarias para el aprovechamiento multisectorial y sostenible de los recursos hídricos por cuencas hidrográficas.