

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**ACTIVIDADES ANTRÓPICAS Y CALIDAD DEL AGUA EN LA
CUENCA DEL RÍO MASHCÓN**

T E S I S

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO FORESTAL

Presentado por el Bachiller:

JOSÉ ADRIANO CALLA NAVARRO

Asesor:

Ing. M. Sc. Walter Roncal Briones

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 **seis días** del mes de **junio** 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° 80-2019-FCA-UNC, Fecha 12 de abril del 2019, con el objetivo de Evaluar la sustentación de la Tesis titulada: “**ACTIVIDADES ANTRÓPICAS Y CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RIO MASHCÓN**”, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**, de la Bachiller: **CALLA NAVARRO JOSÉ ADRIANO**.

A las quince horas y cinco 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 la deliberación del Jurado, el Presidente anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de dieciséis (16).

Por tanto, la graduada queda expedida para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente:

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

Cajamarca, 06 de junio de 2019.

Dr. Juan Francisco Seminario Cunya
PRESIDENTE

Ing. Nehemías Honorio Sangay Martos
SECRETARIO

Ing. Luis Dávila Estela
VOCAL

Ing. M. Sc. Wálter Roncal Briones
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que me aprecian y me han apoyado a lo largo de mi vida, especialmente a mis padres, hermanos y Ana Luisa que son las personas más importantes para mí y quienes siempre me han apoyado a seguir adelante y a ser mejor en cada aspecto, quienes me demuestran su amor incondicional y comprensión, es por todo eso que consigo la motivación para hacer las cosas y aunque no siempre vayan como uno espera, sé que ellos estarán siempre para apoyarme y animarme a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por darme salud, la cual me sirvió para poder realizar el siguiente trabajo y por su presencia en mi vida la cual me ayuda siempre a mantenerme fuerte ante las dificultades.

Al Doctor Nilton Deza Arroyo por la oportunidad de ser parte del proyecto dentro del cual fue posible realizar el presente trabajo, así también por su ayuda incondicional.

A mi asesor el Ing. M. Sc. Wálter Roncal Briones por brindarme su apoyo y confianza en todo momento, y por sus valiosos aportes y consejos.

Al M. Sc. Daniel García Mercado por apoyarme durante todo el proceso de la investigación, por sus consejos y su tiempo a pesar de la distancia.

A la Bach. Ana Luisa Silva Vásquez quien fue parte del equipo y con quien al igual que Daniel realizamos la recolección de datos.

A mi familia por apoyarme siempre.

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	2
1.2. Formulación del problema de investigación	2
1.3. Objetivos.....	2
1.4. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación.....	4
2.2. Bases teóricas	7
2.2.1. Uso de la tierra y su relación con la calidad de agua	7
2.2.2. Actividades antrópicas	8
2.2.3. Impactos sobre la calidad del agua	9
2.2.4. Estándares de calidad ambiental (ECA)	12
2.2.5. Zonificación ecológica económica	12
2.2.6. El agua.....	14
2.2.6.1. Calidad del agua	14
2.2.6.2. El agua y la actividad humana.....	20
2.2.6.3. Contaminación del agua.....	21
2.2.7. Índices de calidad del agua	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Ubicación del trabajo de investigación	24
3.2. Herramientas y Materiales	24
3.2.1. De campo.....	24
3.2.2. De laboratorio.....	24
3.3. Metodología	25

3.3.1. Elección de puntos de muestreo	25
3.3.2. Fase de campo	27
3.3.3. Fase de laboratorio	29
3.3.4. Fase de gabinete	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. Identificación, descripción de actividades antrópicas y comparación en cuanto a usos de la tierra	36
4.1.1. Identificación y descripción de actividades	36
4.2. Calidad de agua en base a los parámetros físico-químicos y biológicos	41
4.2.1. Parámetros físico-químicos	42
4.2.2. Parámetros Biológicos – Índice “Biological Monitoring Working Party” (BMWP).....	63
4.3. Comparación de la información digital del proyecto ZEE del Gobierno Regional con la obtenida en campo, para uso de la tierra en la zona de Estudio.....	66
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
5.1. Conclusiones	69
5.2. Recomendaciones	69
Bibliografía.....	71
Anexos.....	77

RESUMEN

El estudio se realizó en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca, durante los meses de enero a mayo del año 2018, con la finalidad de determinar las actividades antrópicas y la calidad del agua. Para lo cual se evaluaron las actividades humanas usando como base el estudio del ZEE, la observación directa, un protocolo de muestreo, así como también algunas variables hidromorfológicas; se tomaron muestras de agua en 40 locaciones distribuidas a lo largo de la cuenca, con mediciones *in situ* haciendo uso del Sensor multiparámetro WTW MULTI 3430 para medir parámetros físico-químicos y muestras de agua *ex situ* usando (Kits Hach-Lange LCK) para parámetros químicos, también se realizó la recolección de macroinvertebrados en 20 locaciones (haciendo uso del método de muestreo de patada). De acuerdo a los resultados, en lo que respecta a la evaluación y comparación de las actividades antrópicas, se determinó las siguientes actividades, presencia de letrinas, desagües que dan directamente al curso del río, deslizamiento de tierras, actividad agropecuaria en media y gran extensión, uso de aguas como lavaderos improvisados de ropa y vehículos, extracción de madera al borde del río, canteras, urbanización sin orden, presencia de pastizales, además del común arrojamiento de basura en las aguas del río. También Los resultados de los análisis físico-químicos fueron procesados mediante Figuras de barras, se aplicó el índice de calidad de agua (PRATI), índice biológico “Biological Monitoring Working Party Score” (BMWP) para macroinvertebrados y una correlación entre los resultados de todos los parámetros físico-químicos. Los resultados indican que el 82.2% de las locaciones poseen una calidad de agua “excelente” (PRATI). Según el (BMWP) un 45% de locaciones poseen un estado ecológico tipificado como “regular”.

ABSTRACT

The study was carried out in the Mashcón - Cajamarca river basin, during the months of January to May of 2018, with the determination to determine the anthropic activities and water quality. For which, human activities will be evaluated using the study of the ZEE, direct observation, a sampling protocol, as well as some hydromorphological variables as a basis; Water samples were taken at 40 locations distributed throughout the basin, with measurements *in situ* using the WTW MULTI 3430 Multiparameter Sensor to measure physical-chemical parameters and *ex situ* water samples using (Hach-Lange LCK Kits) for parameters chemical, macroinvertebrate collection was also performed in 20 locations (using the kick sampling method). According to the results, regarding the evaluation and comparison of the anthropic activities, the following activities were determined, the presence of latrines, drains that lead directly to the river, landslides, agricultural activities in the media and large areas. , use of waters such as makeshift laundry of clothes and vehicles, extraction of wood at the edge of the river, quarries, urbanization without order, presence of grasslands, in addition to the common dumping of garbage in the waters of the river. Also the results of the physical-chemical analysis were processed using bar figures, the water quality index (PRATI), the biological index "Biological Monitoring Working Party Score" (BMWP) for macroinvertebrates and a correlation between the results were applied. of all physical - chemical parameters. The results indicate that 82.2% of the locations that have "excellent" water quality (PRATI). According to (BMWP) 45% of affected locations in an ecological state typified as "regular".

I. INTRODUCCIÓN

El acceso al agua de calidad y cantidad permanente es un derecho de toda la humanidad, sin embargo, hay más de mil millones de personas en el mundo sin acceso a agua para satisfacer sus necesidades mínimas de consumo (Angulo 2017).

Siendo el agua un eje primordial del desarrollo de la sociedad, es también un recurso limitado, muy vulnerable y escaso en los últimos años. Más aún no existe una conciencia globalizada sobre el manejo razonable que se le debe dar, originando crisis por la falta de suministro y calidad del agua, provocando enfermedades, desnutrición, reducido crecimiento económico, inestabilidad social, conflictos por su uso y desastres ambientales. Por lo tanto, es necesario un monitoreo constante para determinar la calidad del agua y conocer cuáles son los factores que afectan sus propiedades fisicoquímicas (Pizarro 2001).

Las causas principales de la degradación del recurso hídrico son el avance de la frontera agropecuaria, con prácticas de uso del suelo tradicionales, como la ganadería extensiva en zonas de fuertes pendientes, sobrepastoreo, riego por inundación, actividades industriales y mineras, cambios en el uso de los suelos, etc. Que han causado impactos negativos sobre los ecosistemas, tales como la contaminación por nitratos y agroquímicos de las aguas superficiales de cuencas hidrográficas importantes (Auquilla *et al.* 2005).

Para poder analizar la perturbación que sufren las fuentes de agua, usualmente se han utilizado métodos físico-químicos para la obtención de información puntual del estado del agua. Actualmente, también se usa el análisis biológico a partir de organismos vivos, proporcionando información en tiempo pasado como lo que sucedió días y horas antes de la toma de la muestra. Este análisis biológico complementa en gran medida al físico-químico (Cairns *et al.* 1971; Benfield *et al.* 1987).

La presente investigación es parte del proyecto de cooperación entre Universidades de Bélgica (VLIR) y la UNC, denominado VLIR TEAM: “Impacto sobre los recursos hídricos y la biodiversidad acuática por actividades de minería a tajo abierto en Cajamarca, Perú”.

1.1. Problema de investigación

El río Mashcón, es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad de Cajamarca, permitiendo el desarrollo de diferentes actividades económicas como agricultura, ganadería, minería, extracción de material para construcción, entre otras. Sin embargo, sus aguas también son propensas a recibir los vertimientos generados por dichas actividades y por asentamientos humanos, las cuales han afectado su calidad y alterado su curso normal, limitando su uso (Jerónimo *et al.* 2016). Ya que a mayor presencia humana, se produce un incremento en la diversidad y complejidad de sustancias contaminantes, dicha acumulación es más difícil de degradar en el medio natural.

La calidad del agua a nivel físico-químico tiene alteraciones importantes debido al cambio de uso de suelo, factor principal que influye en la vulnerabilidad del recurso (Auquilla *et al.* 2005). A medida que disminuye la franja ribereña de las microcuencas y se incrementa el área de pasturas, ganadería, industrias, entre otras. También se espera que aumente el aporte de material contaminante, pudiendo llegar a observarse a simple vista.

Frente a esta realidad en el área de estudio, esta investigación busca determinar las actividades antrópicas y la calidad del agua del río Mashcón, y así poder dar a conocer la calidad del agua.

1.2. Formulación del problema de investigación

¿Cuáles son las actividades antrópicas y la calidad del agua de la cuenca del río Mashcón, 2018?

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Determinar las actividades antrópicas y la calidad del agua de la cuenca del río Mashcón.

1.3.2. Específicos

- Identificar las actividades antrópicas que se desarrollan en la cuenca del río Mashcón.
- Caracterizar los parámetros físico-químicos y biológicos del agua en los puntos de muestreo en la cuenca del río Mashcón.
- Comparar la información digital del proyecto ZEE del Gobierno Regional con la obtenida en campo, para uso de la tierra en la zona de estudio.

1.4. Hipótesis

Las actividades antrópicas son industriales, agrícolas, ganaderas, y la calidad del agua es buena en la cuenca del río Mashcón, 2018.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

Rodríguez *et al.* (2013) realizó un estudio cuyo objetivo fue analizar los cambios de uso del suelo en el período 2003- 2011 en el sector de Tandil, Buenos aires, Argentina y su relación con la calidad y disponibilidad de agua subterránea. Mediante mapeo de imágenes satelitales y su contrastación en campo evidenciaron los cambios ocurridos en los usos del suelo del área de estudio. En 2011 se midieron los niveles freáticos y se tomaron muestras de agua para conocer la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de nitratos. La CE osciló entre 480 y 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ denotando contaminaciones puntuales en la zona con mayor número de viviendas. El mismo comportamiento tienen los nitratos, variando desde 6 a 85 mg/L, con un punto que supera 200 mg/L. Estas alteraciones están ocasionadas principalmente por la disposición in situ de los efluentes domiciliarios, que genera un ciclo semicerrado de disposición - transporte - extracción del agua. Por lo que se concluye que la falta de planificación territorial con visión ambiental, sumada a la ausencia de servicios sanitarios y la ocupación en cabeceras de cuenca, pone en peligro la calidad y disponibilidad de agua subterránea y perjudica la salud de quienes lo consumen.

Guerrero (2016) en su investigación evaluó el uso de suelo y su influencia en la calidad del agua de la microcuenca "El sapanal" Cantón Pangua, Ecuador; con el objetivo de determinar la calidad de agua a partir de la evaluación del efecto del cambio del uso de suelo, basadas en el estudio de la dinámica de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. El índice Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica (BMWP-Cr), mostró que el uso de suelo del bosque posee aguas de calidad excelente, a diferencia del uso de suelo agrícola y pastizal con aguas de calidad regular. Demostrando que la reducción de la franja ribereña contribuye a la degradación del hábitat interior y de la calidad del agua. Se realizó una descripción de las áreas con distintos usos de suelo (pastizal, bosque secundario y cultivos agrícolas) mediante la observación directa, recopilación de datos de campo tomados con GPS, y aplicación del programa AutoCAD Map3D. Se tomaron muestras de macroinvertebrados acuáticos con una red, en diferentes tipos de hábitat, para su identificación hasta nivel de familia.

Jaramillo (2013) desarrolló una investigación cuyo objetivo es explicar la variación de la calidad del agua de La Bahía de Cullera y la influencia de los cambios del uso del suelo, considerando fundamentalmente el tratamiento de las aguas residuales y el destino que tienen. Para dicho fin se analizaron datos específicos, recopilados por otros estudios, en dos series: una para las décadas de los 80' y 90'; y la otra para la década 2000-2010. Además, se evalúan los cambios del caudal del río Júcar a partir de una base de datos, disponibles en la Confederación Hidrográfica del Júcar, desde 1911 hasta el año 2010. Se trabajó con una base de datos procesados por un programa informático de sistemas de información geográfica (Arc-GIS) a partir de las capas disponibles para el año 2010; y las generadas para el año 1991 y la predicción de años futuros. Se ha producido una disminución de valores máximos por la paulatina modificación del caudal a lo largo de toda la cuenca del Júcar.

Auquila *et al.* (2005) realizaron un estudio cuyo objetivo es determinar la influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. Para este análisis se consideraron 13 parámetros físico-químicos de calidad del agua tomados en las tres épocas, variando de acuerdo a las condiciones y caudal de los sitios de muestreo. Así, se tomaron 15 muestras en las nacientes, 19 en los bosques, 29 en potreros o pasturas y 5 en establos. Estas muestras se distribuyeron así: 11 en época seca, 29 en transición y 28 en época lluviosa. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) no detectó diferencias significativas entre tratamientos, todos los niveles de DBO estuvieron entre 2,00 y 2,15 mg/l. Demanda química de oxígeno (DQO) No se encontraron diferencias significativas para este parámetro entre tratamientos, épocas ni en su interacción, los valores más bajos (16,0 mg/l) se presentaron en el tratamiento establos y los más altos (23,7 mg/l) en pasturas. La concentración máxima de DQO permitida para agua de consumo humano es de 20 mg/l en aguas superficiales. Por lo tanto, el agua con influencia del área de pasturas solo puede utilizarse para actividades agropecuarias.

Ascencio (2011) en su investigación evaluó los efectos de las aguas residuales domésticas sobre el Agua, teniéndose como objetivo determinar el impacto que ocasiona la actividad humana en la calidad del agua del río Chía. El trabajo se efectuó entre los meses de mayo y julio del 2008, se determinaron tiempos de muestreo para cada estación con fines de analizar un mismo volumen de agua

a lo largo del sistema, se analizaron 12 muestras de agua. Localizándose 44 vertimientos de aguas residuales, entre viviendas, y restaurantes, lo que representa el total de 76,435 L/min, se registraron 291,49 kg/día de Residuos Sólidos. Con un flujo turístico de 4,529 prs/día. Los resultados obtenidos en el laboratorio se confrontaron, con la Ley general de Aguas (para la clase III) y el Estándar Calidad Ambiental para Agua (Gesta - Agua) determinándose que la calidad del Agua del río Chía, se encuentra dentro de los LMP para aguas superficiales, pero sobrepasa la presencia de *Escherichia Coli*, alcanzando valores máximos de 2.4×10^2 NMP/100ml. Se determinó que hay impacto negativo relacionado a la pérdida de calidad de agua, originado por las Aguas Residuales Domesticas y Residuos Sólidos provenientes de las actividades del poblador y turismo.

El estudio realizado por Loayza *et al.* (2015) tuvo como objetivo evaluar el efecto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua de la subcuenca del río Shullcas en función a las actividades desarrolladas en el sector alto medio y bajo del mismo, ubicada en la Provincia de Huancayo, Región Junín, entre 3190 a 5557 msnm en el periodo de enero del 2015. Se evaluaron parámetros "in situ" e hicieron análisis en laboratorio de muestras de agua, extraídas de las principales localidades, para ello se consideró parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua, los cuales fueron comparadas con el estándar de calidad ambiental para agua categoría: 1 y 3 - D.S. N°002-2008-MINAM para así conocer la calidad de agua del Shullcas en sus tres sectores. En los resultados se evidenció que la calidad de agua a partir del sector medio y bajo se ve afectada por la actividad doméstica por lo tanto las concentraciones de parámetros microbiológicos (coliformes fecales y *Escherichia Coli*) sobrepasan los estándares de calidad ambiental para agua categoría: 3, mientras que en el sector alto de la sub-cuenca los parámetros evaluados testifican que el agua del Shullcas, pese a la actividad ganadera desarrollada, no tiene mayor incidencia de contaminación, y su recurso hídrico aún puede ser utilizado para cualquier actividad que sus habitantes requieran.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Uso de la tierra y su relación con la calidad de agua

La actividad ganadera y su relación con la calidad del agua

Una de las prácticas de uso de tierras más usuales es la ganadería, que conlleva a impactos sobre el recurso hídrico, un sobrepastoreo resulta en un efecto muy negativo desde el punto de vista químico y bacteriológico (Brooks *et al.* 1991). La concentración cada vez mayor de granjas genera problemas de contaminación por nitratos que se filtran en el suelo y lo destruyen. Esto supone echar a perder tierras fértiles y recursos hídricos que en tiempos de sequía pueden ser necesarios (Alvarez 2013).

Aproximadamente una cuarta parte de la superficie de la tierra se utiliza para el pastoreo de ganado, lo cual tiene importantes repercusiones en la cantidad y la calidad del agua disponible. Además, cerca de un tercio de la producción mundial de cereales se destina a la alimentación del ganado. Este es el principal usuario de las tierras del mundo y la ganadería pronto será quizá la actividad agrícola más importante desde el punto de vista económico. El ganado contamina el agua con patógenos que constituyen un riesgo para la salud humana; la modificación del uso de la tierra y el deterioro de la estructura del suelo influyen de forma considerable en la disponibilidad estacional de “aguas verdes” (FAO, 2005).

La agricultura y su influencia en la calidad del agua

La principal fuente natural de las sales minerales en el agua es la erosión de las rocas y minerales. Otras fuentes secundarias incluyen la deposición atmosférica de sales oceánicas (sales en el agua de lluvia), productos químicos de fertilizantes, que lixivian a las fuentes de agua, también pueden afectar a la calidad del agua de riego (Sela 2017).

Una de las actividades más practicadas en el mundo es la agricultura, principalmente en zonas rurales. El impacto de esta actividad sobre la calidad del agua es de gran importancia, cerca del 70% de los recursos hídricos del planeta se destinan para agricultura, por lo que se puede asegurar que es uno de los principales factores de la degradación de estos (Mendoza 1996).

Las tierras boscosas y su relación con el agua

Como suelen hallarse a cierta altura, son las primeras en captar la mayor parte de la precipitación anual y después la dejan escurrir poco a poco hacia los terrenos de las partes bajas. La vegetación forestal casi siempre constituye la mejor protección y más natural de los ríos, pues contribuye a mantener la buena calidad de las aguas y a estabilizar su caudal. Por lo tanto, los bosques constituyen la fuente principal del agua dulce que emplea el hombre. Por otro lado como en las zonas urbanas la contaminación suele deberse a causas evidentes en gran parte, su solución suele ser clara (aunque costosa). En las zonas rurales y silvestres, en cambio, la calidad del agua es una función compleja de los procesos hidrológicos, de las condiciones climáticas, de las reacciones biológicas y de la interacción de otros factores. Para estudiar los ríos de las áreas silvestres, por lo tanto, es preciso conocer algunos de los procesos hidrológicos (Kunkle 1971).

2.2.2. Actividades antrópicas

a) La Agricultura

Es una de las actividades humanas que más afecta la cantidad y calidad del agua, debido a que, hace uso excesivo del líquido para los riegos de las plantaciones, haciendo que se desperdicie en muchas ocasiones, en el caso de la cantidad de agua, la agricultura la afecta debido a que muchas veces se deforestan y labran grandes extensiones de humedales, los cuales son la fuente principal de agua en el mundo, y la que está más expuesta a las actividades humanas, esto afecta los niveles en los caudales de los ríos haciendo que ésta disminuya y muchas veces los ríos pasan de ser de curso permanente a semipermanente o esporádico, es decir, solo cuando hay precipitaciones importantes.

La agricultura también afecta de manera agresiva la calidad de agua, ya que para este proceso se hace uso de fertilizantes y pesticidas que son filtrados al suelo y llegan a los cursos de los ríos, contaminándolos en grandes proporciones, haciendo que los costos de purificación del agua sean más complejos y costosos para lograr eliminar los componentes contaminantes (Scarlet 2017).

b) La actividad minera

Es otra que tiene grandes efectos en la contaminación del agua ya que también afecta los humedales por las grandes extensiones de bosques talados y la gran cantidad de agua desperdiciada para lavado de minerales con químicos muy fuertes y nocivos a la salud humana, estas aguas residuales se presentan en grandes cantidades y son vertidas a los ríos contaminándolos en grandes cantidades afectando notoriamente la calidad del agua. En el caso de Sur América la actividad minera es de gran relevancia ya que, hay grandes áreas con minerales muy importantes que son explotados constantemente (Scarlet 2017).

c) El turismo excesivo

En áreas cercanas a fuentes de agua es un gran problema, ya que las poblaciones pueden afectar los ecosistemas de humedales dejando residuos y desechos sólidos, creando contaminación en los cursos de los ríos (López 2012).

d) La ganadería intensiva

Es otra actividad que afecta la calidad del agua ya que las heces de los animales contienen compuestos químicos que son filtrados al suelo y posteriormente, llegan a las aguas de los ríos de forma residual (Senior 2015).

2.2.3. Impactos sobre la calidad de agua FUENTES

Los usuarios del agua son todos los seres humanos, la manera en que ayudan a que la calidad de ésta se degrade es a través de distintas actividades como las agrícolas, pecuarias, acuícolas, forestales, domésticas, industriales. Estas actividades constituyen el factor antrópico que afecta a los ecosistemas que prestan servicios ambientales relacionados con los recursos hídricos. El impacto ambiental derivado de tales actividades se traduce en afectaciones, es decir, perturbaciones de carácter físico, químico, biológico, económico, social y cultural que inciden sobre el ambiente (Perevochtchikova 2011).

Las actividades sociales y económicas que a continuación describimos de manera breve, se desarrollan en todas las regiones del mundo y afectan en distintos grados la calidad del agua.

- Siembra de cultivos: La agricultura es considerada como la mayor fuente de contaminación de suelos y aguas en el medio rural, a través de las escorrentías superficiales y su infiltración. El uso de agroquímicos

(herbicidas, plaguicidas, pesticidas) ha aumentado desproporcionadamente, se estima que la cantidad de metales pesados, sustancias químicas y residuos peligrosos se duplica cada 15 años (Demarco 2010).

- Desarrollo pecuario: El vertimiento de excretas, los residuos generados en rastros y curtidurías, los desperdicios resultantes de los procesos de elaboración de alimentos para el ganado u otras especies, etc., impactan y afectan significativamente las fuentes de agua. Los principales componentes que contaminan el agua son los desechos animales, antibióticos, hormonas, productos químicos utilizados para teñir las pieles, fertilizantes y pesticidas usados para fumigar los cultivos de forraje, entre otros (Matthews 2006).
- Explotación de bosques madereros y tala inmoderada: La deforestación tiene gran impacto sobre el ambiente. La biodiversidad se ve disminuida por el desplazamiento de la masa forestal, lo que afecta la calidad de agua y aire. La pérdida de recurso forestal también causa erosión debido a que no hay raíces que retengan el suelo (Menchaca 2018).
- Descarga de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica: Una cantidad considerable de materia orgánica en el agua representa un problema de descomposición, ya que el líquido tiende a una mayor demanda bioquímica de oxígeno (DBO). En condiciones extremas todo el oxígeno disuelto desaparece (condiciones anaerobias), generando la muerte de especies de flora y fauna, así como enfermedades múltiples que afectan de manera significativa a los habitantes adyacentes, además de producir olores desagradables (Tualombo 2018).
- Descarga de aguas residuales con tóxicos de origen industrial: Las sustancias tóxicas (contaminantes químicos, materiales pesados, etc.) que son depositadas en las fuentes naturales de agua causan serios problemas a las cuencas hidrológicas. Se trata de una contaminación que vemos reflejada en aspectos como el color y la espuma, los cuales son objetables no sólo por razones estéticas, sino también porque limitan la penetración de luz y pueden reducir los niveles de oxígeno disuelto, lo que altera el equilibrio ecológico natural del cuerpo de agua (Menchaca 2018).

Disminuir el efecto antrópico

Es importante señalar que el agua contaminada disminuye la disponibilidad del recurso para consumo humano, a la vez que pone en riesgo la salud y el bienestar de la población. Por ello es indispensable salvaguardar la calidad y cantidad de los recursos hídricos; de hecho, para que la sociedad continúe beneficiándose de los servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas en general, se requiere proteger y conservar sus funciones (Durán *et al.* 2006).

El gobierno en todos sus niveles, la sociedad y las universidades deben atender, con base en políticas y estrategias eficientes, los problemas que se derivan de las actividades de los usuarios del agua. Los esfuerzos deben encaminarse a disminuir el efecto del factor antrópico en los servicios de los ecosistemas, aplicar el marco normativo para dichos fines y, en su caso, ampliar las leyes o reformularlas. Es fundamental que se establezca una cultura del agua, la cual se define como el desarrollo de una serie de capacidades de cuidado y uso racional del líquido y de los diversos recursos naturales; asimismo se requiere brindar protección eficaz al medio ambiente en beneficio de todos los habitantes de las localidades, respetando sus usos y costumbres, conocimientos que pueden ser transferidos a la sociedad en general (Menchaca 2018).

2.2.4. Estándares de calidad ambiental (ECA)

Según el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, (Aprueban Estándares de Calidad Ambiental "ECA" para Agua y establecen Disposiciones Complementarias). Estos estándares serán de gran utilidad en la investigación para poder ser comparados con los datos obtenidos en campo.

CATEGORÍA 1: Poblacional y Recreacional		
CATEGORÍA 1 – A		
Parámetro	Unidad	A2
Conductividad Eléctrica	-	1600
DBO5	mg/L	5
DQO	mg/L	20
Fósforo total	mg/L	0.15
Nitratos	mg/L	50
Nitritos	mg/L	3
Oxígeno disuelto	mg/L	≥5
pH	Unidad de ph	5.5 – 9
Temperatura	°C	3
Turbiedad	UNT	100

Fuente: MINAM (2017)

2.2.5. Zonificación ecológica económica

Es un proceso dinámico y flexible para la identificación de diferentes alternativas de uso sostenible de un territorio determinado, basado en la evaluación de sus potencialidades y limitaciones con criterios físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales. (DECRETO SUPREMO N° 087-2004-PCM).

En este sentido la ZEE debe ser vista como parte de un proceso mayor, de construcción social, de un territorio, y no sólo como una herramienta técnica (Instrumento de planificación e instrumento que provee información). La ZEE es parte importante del proceso de ordenamiento territorial (Mogollón 2017).

Categorías de la ZEE:

Según del D.S. 087-2004-PMC., se contempla que un mapa ZEE debe contener, mínimo las siguientes categorías de uso:

- a. Zonas Productivas
 - Zonas para producción Agropecuaria.
 - Zonas para producción forestal y otras asociaciones.
 - Zonas para producción pesquera.
 - Zonas para producción Acuícola.
 - Zonas para producción minero.
 - Zonas para producción energética.
 - Zonas para producción turística.

- b. Zonas de Protección y Conservación Ecológica:
 - Las Áreas Naturales Protegidas (ANPs).
 - Las áreas de humedales.
 - Las cabeceras de cuenca.
 - Zonas de colina.
 - Otras áreas que el reglamento de clasificación de tierras lo determina.

- c. Zonas de Recuperación:
 - Las tierras o áreas de protección degradados.
 - Las tierras de aptitud forestal deforestados.
 - Los cuerpos de agua contaminados o degradados.
 - Otras áreas donde el uso inadecuado hay tenido impactos graves en el entorno.

- d. Zonas de Tratamiento Especial:
 - Áreas arqueológicas.
 - Áreas Histórico Culturales.
 - Aquellas otras áreas que por su naturaleza biofísica, socioeconómica, culturas diferenciadas o geopolíticas requieren de una estrategia especial para la asignación de usos.

- e. Zonas de Vocación Urbano y/o Industrial:
 - Las zonas urbanas e industriales actuales.
 - Las zonas de expansión urbana.
 - Otras áreas con condiciones físicas y socioeconómicas muy favorables para establecimiento industrias o centros urbanos. (Mogollón 2017).

2.2.6. El agua

2.2.6.1. Calidad del agua

El término calidad, relacionado con el agua, es abstracto y solo es importante si este se relaciona con el uso que se le va a dar, su calidad se especifica en términos de su uso (Gonzales 2002). 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. Se utiliza con mayor frecuencia por referencia a un conjunto de normas contra las cuales puede evaluarse el cumplimiento (Bidault 2016).

Parámetros de calidad de agua

Los indicadores de calidad de agua se pueden clasificar de diversas maneras:

Según el parámetro usado, pueden ser:

- **Físico-químicos:** se basan en parámetros físicos o químicos del agua como pueden ser el pH, los sólidos en suspensión, la temperatura, la DBO, etc. o en un conjunto de los mismos.
- **Biológicos:** es un organismo que con su presencia informa del estado de salud del medio acuático en el cual se desarrolla su ciclo biológico. Organismos usados como indicadores biológicos de calidad de aguas son los siguientes: macro-invertebrados, peces, diatomeas, organismos patógenos, etc.
- **Hidromorfológicos:** evalúan, por un lado, la diferencia entre las características hidrológicas y geomorfológicas actuales de los ríos, y por el otro, las características que tendrían los ríos en ausencia de alteraciones humanas, para garantizar el buen funcionamiento del ecosistema fluvial (Loné 2016).

a. Parámetros físicos de calidad de agua

Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad del agua de conducir electricidad. Está relacionada con la presencia de sales en solución, que mediante su disociación es capaz de transportar la energía eléctrica si se somete a un campo eléctrico (Padilla 2017). Según (Dorronsoro 2001) la conductividad eléctrica expresa la concentración total de sales solubles contenidas en las aguas. La conductividad eléctrica se puede expresar en diferentes unidades (Siemens/cm, mhos/cm) y sus equivalencias son las siguientes: $1000 \mu\text{S/cm} = 1 \text{ milimhos/cm}$

Temperatura (T°)

Es un indicador de la calidad el agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico como el pH, déficit de oxígeno, conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas (Espinoza *et al.* 2014). Tiene una gran importancia, de forma que un aumento de la está modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. La actividad biológica aproximadamente se duplica cada diez grados (ley del Q10). Un aumento anormal (por causas no climáticas) de la temperatura del agua, suele tener su origen en el vertido de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor. La temperatura se determina mediante termometría realizada "in situ" (Jiménez *et al.* 2000).

Turbidez

La turbidez es una medida del grado en el que el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del agua. Es la medida de cuántos sólidos (arena, arcilla y otros materiales) hay en suspensión en el agua mientras más sucia parecerá que ésta, más alta será la turbidez. Las partículas suspendidas también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas. Hay varios parámetros que influyen en la turbidez del agua. Algunos de estos son: partículas de suelo (tierra) suspendidas en el agua de la erosión, sedimentos depositados en el fondo, descargas directas a cuerpos de agua (desagües), escorrentía urbana (Toro 2011).

b. Parámetros químicos de calidad de agua

Potencial de Hidrogeno (pH)

Es la medida de iones hidrógeno en el agua, con escala en el rango de 0 a 14, siendo neutro el pH = 7. Es una escala logarítmica, es decir cada unidad de pH representa una potencia de 10 en acidez. Mediciones por encima de 7 son básicas (alcalinas), y por debajo de 7 son ácidas. Los puntos críticos para mortandad de peces están en el rango aproximado de pH = 4 ó pH = 11 (Espinoza *et al.* 2014).

Oxígeno disuelto (OD)

Un nivel alto de oxígeno disuelto indica agua de buena calidad, es el indicador para medir la contaminación por desechos o residuos orgánicos. Si la fuente de agua está contaminada contiene microorganismos, bacterias y materia orgánica, malos olores la concentración de oxígeno disuelto disminuye lo que indica que el agua es de mala calidad.

Las aguas corrientes superficiales no contaminadas suelen estar bien oxigenadas, e incluso sobresaturadas (>7 - 8 mg/l de O₂). Para conocer si el valor de oxígeno es adecuado se puede decir que, si la concentración es:

- 5 a 6 ppm: hay oxígeno suficiente para la mayor parte de las especies.
- < 3 ppm: dañino para la mayor parte de las especies.
- < 2 ppm: fatal para la mayor parte de las especies. (Peña 2007).

El OD debe expresarse en el porcentaje de saturación, esto se debe al hecho que el OD varía mucho en función de la temperatura y de la altitud. Para una temperatura de 20°C, por ejemplo, el tenor de saturación es de 9,2 mg/l para el nivel del mar; 8,6 mg/l para 500 m de altitud y 7,4 mg/l para 1000 m de altitud a esa temperatura (Espinoza *et al.* 2014).

Tabla 1. Concentraciones de oxígeno en función de la calidad del agua.

NIVEL DE OD	CALIDAD DEL AGUA
0.0 – 4.0	Mala Algunas poblaciones de peces y macroinvertebrados empezarán a bajar.
4.1 – 7.9	Aceptable
8.0 – 12.0	Buena
12.0 +	Repita la prueba El agua puede airearse artificialmente.

Fuente: Stevens Institute of Technology & CIESE, 2003.

Compuestos nitrogenados

Nitrógeno Total (NT)

El nitrógeno total es la suma del nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato. El agua residual doméstica suele contener 20-50 mg/L de nitrógeno total (Cárdenas *et al.* 2013).

Amonio (NH₄)

El amonio presente en el medio ambiente procede de procesos metabólicos, agropecuarios e industriales, así como de la desinfección con cloramina. Las concentraciones naturales en aguas subterráneas y superficiales suelen ser menores que 0,2 mg/l, pero las aguas subterráneas anaerobias pueden contener hasta 3 mg/l y la ganadería intensiva pueden generar concentraciones muchos mayores en aguas superficiales. También pueden producir contaminación con amonio los revestimientos de tuberías con mortero de cemento. El amonio es un indicador de posible contaminación del agua con bacterias, aguas residuales o residuos de animales. El agua residual doméstica suele contener 12-40 mg/L de amonio (OMS 2003).

Nitritos (NO₂)

Fuentes naturales

El origen de nitritos en aguas superficiales se da por procesos de mineralización y nitrificación de la materia orgánica por bacterias, y para el caso de aguas subterráneas se originan por medio de infiltración de aguas residuales ricas en fertilizantes en los acuíferos e Infiltración de vertidos industriales (D'Angelo 2016). El estándar por nitrito es 1 mg/L.

Fuentes antropogénicas

Aguas residuales de industrias: Alimentarias, Metalúrgicas, aguas residuales domésticas, utilización de fertilizantes y pesticidas en la agricultura (D'Angelo 2016).

Nitrato (NO₃)

Los nitratos son sales muy solubles derivadas del nitrógeno. La principal fuente de nitratos es la agricultura donde se utilizan como componente de abonos y fertilizantes nitrogenados, además también son originados por excretas de animales, descargas de desechos sanitarios e industriales y su uso como aditivos alimentarios (conservas de pescado y carnes). El nitrato está también presente en el agua de forma natural pudiendo incrementar su concentración por actividades humanas. Los nitratos se disuelven fácilmente en el agua y llegan así al suministro de agua de consumo humano y no confieren ningún sabor u olor a las aguas de bebida (D'Angelo 2016). En la zona del Gran Buenos Aires es posible encontrar acuíferos donde la concentración de nitratos oscila entre los 70 mg/l y los 100 mg/l, y a veces valores superiores. La alta densidad de población no conectada a sistemas cloacales, sumada a una también alta densidad industrial, explican estos valores. El estándar por nitrato-N es 10.0 mg/L en el agua potable, o 1 centésima parte de un gramo en un litro de agua (D'Angelo 2016).

Compuestos fosforados

Fósforo Total (FT)

La concentración de fósforo total mide la cantidad de fósforo disponible en forma orgánica e inorgánica, disuelta y particulada en los sistemas acuáticos. El fósforo total es la suma de los compuestos de las tres formas de fósforo, las aguas residuales domésticas tienen una concentración de fósforo total de aproximadamente 5-15 mg/L, es importante reseñar que la descarga tanto de fósforo como de nitrógeno debe ser controlada porque puede provocar un crecimiento excesivo de algas en las aguas receptoras (Teixeira *et al.* 2013).

Fosfato (PO₄)

Los fosfatos son la forma más habitual de encontrar el fósforo en agua, los podemos encontrar en solución, en forma de partículas o incluso en los organismos acuáticos. El origen de dicha presencia puede ser muy variado, como caso más habitual en forma de aditivo a detergentes para el lavado de la

ropa o limpieza en general (Vargas 2013). Desgraciadamente el uso de fertilizantes o abonos orgánicos, los llamados fitosanitarios con presencia de fosfatos también influyen, de manera negativa, en la presencia de éstos en agua, ya que por percolación llegan a los acuíferos naturales. Los fosfatos orgánicos se forman principalmente en procesos biológicos, y van a parar al agua como residuos domésticos. El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos, incluso su falta puede implicar la inhibición de dicho organismo en el agua (Novotny 2003).

Sulfato (SO₄)

Los sulfatos suelen ser sales solubles en agua, por lo que se distribuyen ampliamente en la naturaleza y pueden presentarse en las aguas naturales en un amplio intervalo de concentraciones, su origen se debe fundamentalmente a los procesos de disolución de las tizas, existentes en el terreno, en el agua subterránea (Bustamante 2015).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es un parámetro importante de calidad del agua porque, al igual que la DBO, proporciona un índice para evaluar el efecto que las aguas residuales vertidas tendrán en el ambiente receptor. Los niveles más altos de DQO significan una mayor cantidad de material orgánico oxidable en la muestra, lo que reducirá los niveles de oxígeno disuelto (OD). Una reducción en (OD) puede conducir a condiciones anaeróbicas, que es perjudicial para formas de vida acuáticas más altas (Astonitas 2018).

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno en mg/l que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por organismos unicelulares. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales. El valor de DBO se expresa con mayor frecuencia en miligramos de oxígeno consumido por litro de muestra durante 5 días de incubación a 20 ° C y se usa a menudo como un sólido sustituto del grado de contaminación orgánica del agua (Cisterna *et al.* 2017). Es un parámetro indispensable cuando se necesita determinar el estado o la calidad del agua de ríos, lagos, lagunas o efluentes. Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla) (Raffo *et al.* 2014).

c. Parámetros biológicos de calidad de agua

Macroinvertebrados

Se llaman macro porque son grandes (entre 2 mm y 30 cm), invertebrados porque no tienen huesos, y acuáticos porque viven en los lugares con agua dulce: esteros, ríos, lagos y lagunas, proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua al usarlos en el monitoreo se puede entender claramente el estado en que ésta se encuentra: algunos de ellos requieren agua de buena calidad para sobrevivir; otros, en cambio, resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación. (Carrera *et al.* 2001). Los macroinvertebrados son los organismos más ampliamente usados como bioindicadores de calidad de agua en la actualidad (Resh 2008) debido a ciertos criterios (Bonada *et al.* 2006): Tener una amplia distribución, poder ser muestreados de forma sencilla y barata, una taxonomía en general bien conocida a nivel de familia y género, la sensibilidad bien conocida de muchos taxa a diferentes tipos de contaminación. Algunas de estas condiciones pueden ser relativas en algunos países de América del Sur, pero a pesar de ello los macroinvertebrados son preferidos en muchos países para ser utilizados como bioindicadores de la calidad del agua. Por otra parte, se ha discutido mucho sobre el nivel taxonómico más adecuado para estudios de bioindicación (Melo 2005). Si bien es cierto que el nivel preferible sería el de especie, la taxonomía de ciertos grupos hace el trabajo prácticamente inviable en muchos países en gran parte por el coste económico que ello comporta (en forma de tiempo para el examen de las muestras). Especialmente en los dípteros (y muy particularmente los quironómidos) el trabajo de preparación e identificación, incluso a nivel de género, comporta un tiempo que hace su estudio económicamente muy costoso (Puntí 2007).

d. Parámetros hidromorfológicos

Evalúan, por un lado, la diferencia entre las características hidrológicas y geomorfológicas actuales de los ríos, y por el otro, las características que tendrían los ríos en ausencia de alteraciones humanas, para garantizar el buen funcionamiento del ecosistema fluvial (Agua 2016).

2.2.6.2. El agua y la actividad humana

El agua dulce es imprescindible para la vida, pero la cantidad disponible es escasa y su distribución desigual. Además, varía a lo largo del año y está sujeta a cambios provocados por la actividad humana, los usos más

importantes están relacionados con la agricultura y el consumo industrial y doméstico. Su demanda se ha incrementado notablemente con el crecimiento de la población (Martínez 2009).

En las últimas décadas, se han multiplicado las áreas agrícolas dependientes del riego para la producción de alimentos, las industrias y actividades mineras la emplean para el lavado, enfriamiento, dilución, remojo, procesamiento, eliminación de productos de desecho, etc (Acosta 2016).

2.2.6.3. Contaminación del agua

Las fuentes de contaminación antrópica que afectan a la calidad del agua suelen categorizarse en dos tipos: puntuales y no puntuales.

- **Fuentes de contaminación puntuales:** son aquellas caracterizadas por descargas únicas o discretas, en las que los contaminantes se vuelcan desde una única área geográfica aislada o confinada. Entre estas se pueden mencionar: descargas de efluentes domésticos, descargas de efluentes industriales, operaciones con residuos peligrosos, drenaje en minas, derrames y descargas accidentales (Romero 2017).
- **Fuentes de contaminación no puntuales:** involucran fuentes de contaminación difusas y comprenden actividades que abarcan grandes áreas, pudiendo causar la contaminación general del agua subterránea. Se pueden clasificar según la procedencia: agricultura y ganadería, drenaje urbano, explotación del suelo, rellenos sanitarios, deposición atmosférica y actividades recreativas. Son más difíciles de controlar que las fuentes puntuales (Romero 2017).

A continuación, se mencionan algunas características de aguas residuales de las distintas actividades humanas.

Origen doméstico

Las aguas domésticas son las que provienen de núcleos urbanos. Contienen sustancias procedentes de la actividad humana (alimentos, deyecciones, basuras, productos de limpieza, jabones, etc). La contaminación de un agua usada urbana se estima en función de su caudal, de su concentración en materias en suspensión y de su demanda biológica. Se admite que un habitante de una comunidad concreta, en un país o región determinados, y

según las condiciones de abastecimiento de agua, nivel de vida y sistemas de alcantarillado disponible, vierte una cantidad media de contaminación fija, bien determinada, base del equivalente-habitante. En general, se ha fijado un valor de 60 mg/día de DBO y 70 mg/día de sólidos en suspensión por habitante-equivalente. La dotación de agua se sitúa en torno a los 100-300 l/Hb/día. (Romero 2017).

Origen agrícola – ganadero

Son el resultado del riego y de otras labores como las actividades de limpieza ganadera, que pueden aportar al agua grandes cantidades de estiércol y orines, es decir, mucha materia orgánica, nutrientes y microorganismos. Quizá uno de los mayores problemas que origina la agricultura sea la contaminación difusa, siendo la más importante la provocada por nitratos. Se tratan de actividades extendidas en grandes áreas, por lo que resulta prácticamente imposible su depuración. Se deben tomar las medidas precisas para atajar y reducir en la medida de lo posible la contaminación por nitratos, tanto en aguas subterráneas, porque su efecto es acumulativo, como en las superficies en las que favorecen el proceso de eutrofización (Romero 2017).

Origen pluvial

Al llover, el agua arrastra toda la suciedad que encuentra a su paso, presentándose más turbia que la que se deriva del consumo doméstico. En las ciudades esta agua arrastra aceites, materia orgánica y diferentes contaminantes de la atmósfera, en el campo arrastran pesticidas, abonos, etc. En la industria las aguas pluviales arrastran las sustancias que se han caído sobre el terreno, pudiendo presentar un gran problema si son sustancias tóxicas. Además, si existe acumulación de residuos en zonas no preparadas para ello, los lixiviados de los residuos serán arrastrados. Es conveniente tener una red de pluviales, aunque según la composición que tenga, se decidirá su unión al colector que desemboca en la depuradora o se realizará una desviación vertiendo directamente a las aguas superficiales (Romero 2017).

Origen industrial

Los procesos industriales generan una gran variedad de aguas residuales, que pueden tener orígenes muy distintos, en función de los usos más frecuentes a los que se destine: Transporte de materias primas o de desechos como en la industria conservera, carbón en los lavaderos, fibras en papeleras, etc. Los residuos orgánicos de algunas industrias, por ejemplo, las de pasta de papel,

pueden ser iguales o más importantes que los de una comunidad media de habitantes. Los contaminantes pueden encontrarse en forma disuelta o en suspensión, y ser orgánicos e inorgánicos por su naturaleza química (Romero 2017).

2.2.7. Índices de calidad de agua

Índice de PRATI para calidad de agua

El índice PRATI fue desarrollado por el investigador italiano Prati. Dicho índice difiere en función de la cantidad de variables que sean consideradas para su cálculo. En esta investigación, el índice de PRATI se calculó sobre la base de cinco variables: saturación de oxígeno (%), pH, DQO (mg / l), amonio-N (mgN / l) y nitrato-N (mgN / l). Un parámetro importante para la discusión de la calidad del agua, es el oxígeno disuelto en relación con los parámetros biológicos. Debido a que su nivel de concentración juega un rol importante en el desarrollo de la vida acuática, así como también es de importancia para la auto-purificación en los ríos. El valor de cada variable se transforma mediante una ecuación específica en niveles de contaminación. El PRATI total se calcula tomando la media aritmética de los niveles de contaminación para cada variable (Prati *et al.* 1971).

Índice biológico BMWP “Biological Monitoring Working Party Score”

Es un Índice biológico modificado y adaptado a las características geomorfológicas y climáticas de los ríos. Este índice da puntuación a 131 familias de macro-invertebrados que son utilizados como indicadores, de acuerdo con la correspondiente sensibilidad a la contaminación. La suma de los valores de todas las familias identificadas da un valor final del índice que nos permite clasificar los puntos de control en 5 clases, cada una de las cuales corresponde a un nivel diferente de calidad ecológica de las aguas (Glosario 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del trabajo de investigación

El estudio se realizó en la cuenca del río Mashcón en el departamento y provincia de Cajamarca, en los distritos de Cajamarca y Baños del Inca, ubicado en los Andes del norte de Perú. La cuenca hidrográfica consta de dos sub-cuencas, la del Río Grande y del Río Porcón, con los puntos de muestreo distribuidos entre 3569 y 2661 msnm.

3.2. Herramientas y Materiales

3.2.1. De campo

- Red Surber.
- Botellas plásticas de 1L.
- Botellas plásticas de 50ml.
- Fracos de polietileno de alta densidad (HDPE) 50 ml.
- Tubos de vidrio 15 ml.
- 04 Baldes plásticos.
- Sensor multiparámetro WTW 3430
- 01 jarra plástica.
- Navegador GPS Garmín vista HCX.
- Jeringas.
- Filtros.
- Guantes de nitrilo.
- Traje impermeable.
- Cooler.
- Hielo.
- Protocolos de muestreo.
- Agua destilada.
- Cámara fotográfica.
- Alcohol.
- Lápiz.
- Borrador.

3.2.2. De laboratorio

- Kits Hach-Lange LCK
- Espectrofotometro DR3900.
- Termostato LT200.
- Agitador TOC-X5.
- Tamices de 5 y 0.5 mm.
- Bandejas plasticas.
- Pinzas.
- Pipetas automaticas (100 - 1000µl, 10 - 100µl, 1ml a 10 ml).
- Agua destilada.
- Alcohol.
- Ácido sulfúrico.
- Guantes de nitrilo marca VWR.
- Computadora (portátil).

3.3. Metodología

3.3.1. Elección de puntos de muestreo

Esta investigación fue desarrollada como parte del proyecto de cooperación entre Universidades de Bélgica (VLIR) y la UNC, denominado VLIR TEAM: “Impacto sobre los recursos hídricos y la biodiversidad acuática por actividades de minería a tajo abierto en Cajamarca, Perú” (“Impact on surface water resources and aquatic biodiversity by opencast mining activities in Cajamarca, Perú”). Debido a esto los puntos de muestreo fueron seleccionados previamente hace 2 años, considerando la presencia de diferentes factores de impacto. Para mostrar el impacto de la contaminación de la ciudad, se eligieron los puntos de muestreo que se encuentran aguas abajo de la ciudad para mostrar si hay un impacto de las aguas residuales domésticas, canteras de piedra cerca del río, industrias, etc.

Las locaciones de muestreo aguas arriba, más cercanas a la mina, se eligieron para ver si había un impacto visible de las actividades mineras. Algunos puntos intermedios se eligieron para mostrar el impacto de la agricultura y el uso de canales de riego. La colección de muestras de agua, macro-invertebrados y la aplicación de los protocolos de muestreo, fueron realizadas en los meses de enero - marzo (época lluviosa) del 2018.

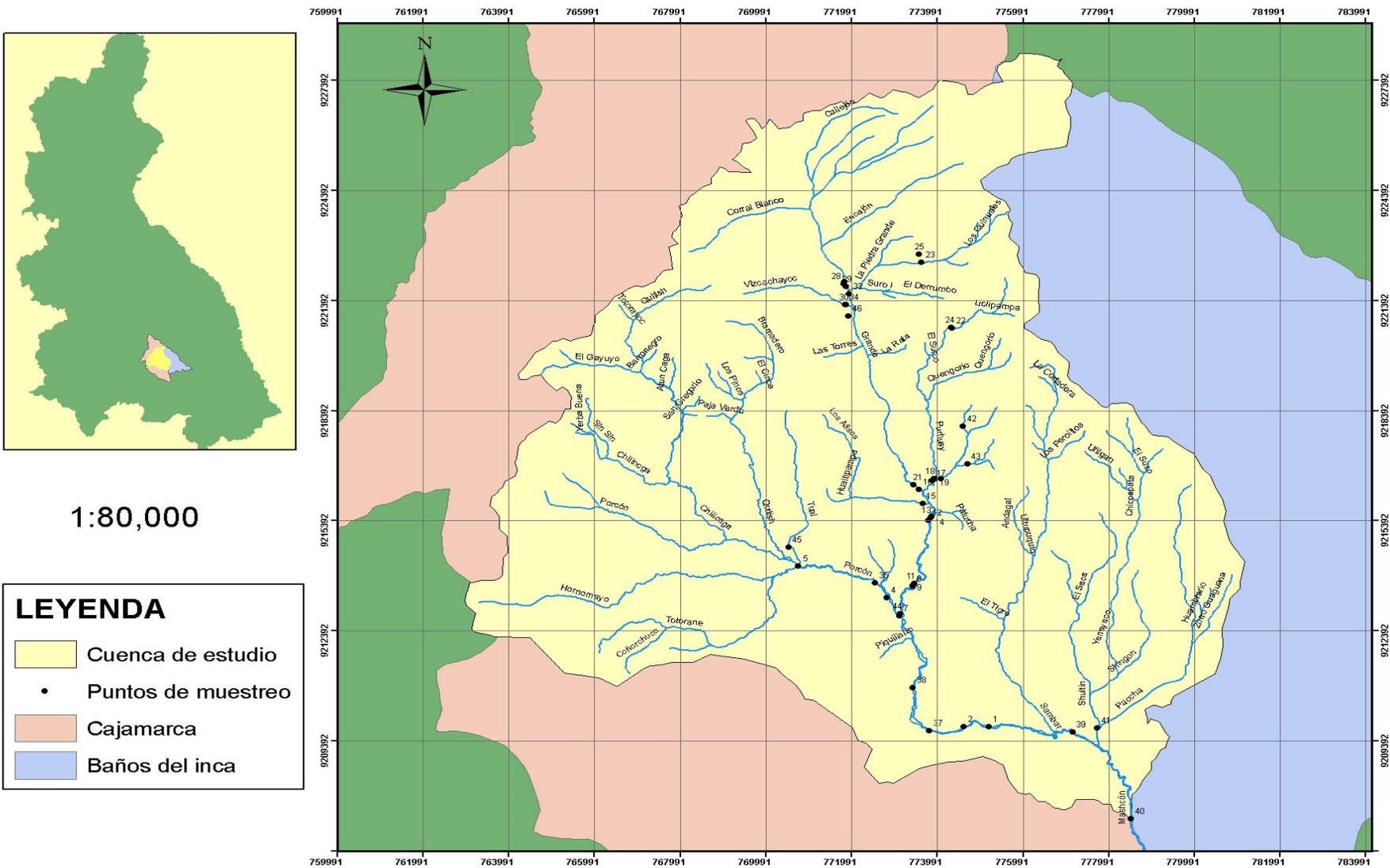


Figura 1. Mapa de ubicación y distribución de puntos de muestreo en la cuenca del río Mashcón.

3.3.2. Fase de campo

a. Colección de muestras de agua

En cada locación se realizó la colección de las muestras de agua (río o quebrada), procediendo a entrar a la parte central de curso de agua y realizando un enjuague del balde tres veces, para luego proceder a tomar la muestra y trasladarla a la orilla para que pueda ser medida con el “Sensor multiparámetro WTW MULTI 3430” (Figura 2), los datos medidos con el sensor multiparámetro fueron registrados cuando estos se estabilizaron (EPA 1982). Las variables que fueron medidas por el sensor multiparámetro se pueden ver en la Tabla 2.



Figura 2. Sensor multiparámetro insertado en la muestra de agua.

Tabla 2. Variables medidas por Sensor multiparámetro.

Variable	Unidad
Temperatura (T)	Grados centígrados (°C)
Conductividad eléctrica (CE)	MicroSiemen/centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
pH	Unidad de ph
Turbidez	Unidad Nefelometrica de turbidez (NTU)
Oxígeno disuelto (OD)	Miligramos/litro (mg/L)
Oxígeno saturado (OS)	Porcentaje (%)

Luego se procedió a una segunda toma de muestras y al llenado de 4 recipientes, 3 de plástico y 1 de vidrio, éste último fue utilizado para el análisis de carbono orgánico total (COT), llenado sin dejar burbujas de aire dentro. La botella grande usada para analizar nutrientes orgánicos (nitrito, nitrato, amonio, fosfato, fósforo total, nitrógeno total, sulfato). La botella pequeña para analizar DBO. El recipiente pequeño con tapa roja para analizar DQO.



Figura 3. Envases utilizados durante los muestreos.

b. Muestreo de macroinvertebrados

Las muestras de macro-invertebrados fueron recolectadas únicamente en 20 locaciones siguiendo el método de muestreo de patada, el cual consiste en sostener la red frente a uno mismo y caminar contra la corriente, mientras se patea el sustrato para que esté flote y entre en la red. Se utilizó una red Surber con un tamaño de malla de 500 μm (Gabriels *et al.* 2010), el muestreo, se realizó en cada locación durante 5 minutos, asegurándose de que todos los diferentes microhábitats de la corriente estuvieran cubiertos. Posteriormente se vació la red en un balde con agua, se cerró con una tapa y se transportó al laboratorio donde fueron destapados para oxigenarse por un par de horas (De Pauw *et al.* 1983).



Figura 4. Muestreo de macroinvertebrados.

c. Aplicación de protocolos de muestreo para el registro de datos en campo

Para cada sitio de muestreo se aplicó un protocolo de campo que caracteriza la hidromorfología de la corriente en un tramo de aproximadamente 100 m por 10 m. En los protocolos también hay una sección para el registro de las actividades antrópicas adyacentes a cada locación de muestreo que fueron anotadas mediante observación y estimación de porcentajes del área observada (Parsons et al. 2002).

Para la determinación de actividades antrópicas en cada locación de muestreo, así como para hidromorfología, fue utilizado el protocolo mencionado anteriormente, en el cual se determina la actividad predominante presente, por el método de la observación, en la cual también se incluye la especificación de actividades puntuales vistas en el momento de la colección de la muestra de agua. Con esta información obtenida directamente en campo se elaboró una lista de actividades antrópicas por locación, las cuales fueron sistematizadas de tal forma que se encuentren subdivididas en zonas: alta, media y baja de la cuenca, para una visión más general del uso de las tierras y las actividades humanas que estas presentan.

3.3.3. Fase de laboratorio

a. Análisis de muestras de agua

Para los análisis de laboratorio, se usarán kits de prueba de cubeta Hach - Lange en combinación con un espectrofotómetro, los cuales vienen previamente calibrados para su fácil aplicación y obtención de resultados confiables. Para cada variable se siguió una metodología diferente, aunque en

todas fueron utilizados los reactivos de los kits, así como el ya mencionado espectrofotómetro, Termostato LT200, Agitador TOC-X5 (eliminación de carbono inorgánico total). Para garantizar la confiabilidad y que las mediciones fueran precisas, se utilizaron controles de calidad por medio de pruebas en blanco y estándares con concentraciones conocidas. Todos los análisis de laboratorio fueron realizados por el M. Sc. Daniel Mercado García, con todos los equipos antes mencionados que fueron traídos de Bélgica como parte del proyecto.

Tabla 3. Rangos de detección de variables del Espectrofotómetro.

Variable	Unidad	Rango de detección Kits
Amonio (NH ₄)	mg/L	0.015-2.0
Nitrito (NO ₂)	mg/L	0.0015-0.03
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.23-13.50
Nitrógeno total (NT)	mg/L	1-16
Fosfato (PO ₄)	mg/L	0.05-1.50
Fosforo Total	mg/L	0.15-4.50
Sulfato (SO ₄)	mg/L	0-80
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	5-60
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mg/L	0.5-12
Carbono Total (CT)	mg/L	12-75
Carbono orgánico total (COT)	mg/L	2-65

b. Preparación y acondicionamiento de macroinvertebrados

Las muestras fueron tamizadas primero sobre un tamiz de 5 mm y un tamiz de 0.5 mm (ver Figura 5), para posteriormente ser extendidas sobre bandejas plásticas blancas (ver Figura 6) para su mejor diferenciación, haciendo uso de pinzas y bastante agua para que el sedimento sobrante fuera limpiado y los macroinvertebrados sean colectados más fácilmente. Los macroinvertebrados recogidos fueron colocados en pequeños tubos plásticos con etanol al 70-90% (Figura. 7). Las muestras de macroinvertebrados se acondicionaron dentro de las 24 horas para evitar la descomposición de los organismos. Los organismos fueron transportados a Bélgica donde su identificación a nivel familiar estuvo a cargo del profesor Koen Lock.



Figura 5. Tamices para la limpieza de sustrato



Figura 6. Bandeja para lavado y selección de macroinvertebrados.



Figura 7. Tubos de plástico y alcohol para empaquetado de macroinvertebrados.

3.3.4. Fase de gabinete

a. Procesamiento de datos de calidad de agua

Parámetros físico- químicos

Se procesaron los datos en hojas de cálculo de Excel, posteriormente se obtuvo los valores mínimos, máximos y promedios de cada variable, para así poder tener un mejor enfoque de la dinámica de los valores en cada punto de muestreo, asimismo se elaboraron Figuras de barras siguiendo un orden basado en la altitud de cada punto de muestreo que a su vez subdivide a los puntos en zona urbana (baja), peri urbana (media) y rural (alta).

Tabla 4. División de puntos de muestreo en zonas

Zonas	Puntos de muestreo
Alta	40, 39, 41, 1, 2, 37, 38, 7, 44, 4, 8, 9, 10, 11, 35
Media	12, 13, 14, 15, 16, 45, 21, 17, 19, 18, 20, 43, 42, 5
Baja	46, 30, 34, 32, 29, 27, 28, 22, 24, 23, 25

Indicadores biológicos (macroinvertebrados) - BMWP

Para los parámetros biológicos se utilizó el índice BMWP que asigna valores a las familias de macroinvertebrados de acuerdo a su sensibilidad al grado de contaminación del agua, dichos valores asignados a cada familia son sumados finalmente según sean encontrados dichos macroinvertebrados para cada punto de muestreo, esta sumatoria determina el puntaje final que se compara en un rango de clasificación de calidad de agua del mismo índice, con el cual se determina el estado ecológico para cada punto de muestreo.

Tabla 5. Clases y rangos de calidad biológica del índice BMWP.

Valores	Calidad biológica	Color
>100	Buena	
61-100	Aceptable	
36-60	Regular	
16-35	Mala	
0-15	Pésima	

Calidad de agua

Para la determinación de la calidad físico – química del agua en cada punto de muestreo se utilizó el índice PRATI, el cual usa parámetros de calidad de agua como: oxígeno disuelto, pH, DQO, nitrito y amonio, que, por medio de ecuaciones específicas para cada parámetro, se obtiene un valor que a su vez será comparado con los rangos del índice PRATI y así determinar el nivel de calidad del agua.

Tabla 6. Ecuaciones para cálculo de valores de parámetros del índice PRATI.

PARAMETROS	ECUACIÓN	CONDICIÓN
OD	$X = 4.2 - 0.437x \frac{100 - Y}{5} + 0.042x \left(\frac{100 - Y^2}{5} \right)$	X<90%
	$X=0.08 \times (100-Y)$	50%<X<100%
	$X=0.08 \times (Y-100)$	X>100%
Ph	$X= -5.6 + 5.6 \times (7-Y) -0.4 \times (7-Y)^2$	0<X<5
	$X= 2 \times (7-Y)$	5<X<7
	$X= (Y-7)^2$	7<X<9
	$X= -5.6 + 5.6 \times (7-Y) -0.4 \times (7-Y)^2$	9<X<14
DQO	$X=\frac{Y}{100}$	
NH ₄	$X=2^{2.1 \times \text{Log}(12 \times Y)}$	
NO ₃	$X=2^{2.1 \times \text{log}(Y/0.9)}$	

Tabla 7. Clases y rangos de calidad del índice PRATI.

Clase	Color	Rangos	Calidad
1		0-1	Excelente
2		1-2	Aceptable
3		2-4	Ligeramente contaminado
4		4-8	Contaminado
5		>8	Muy contaminado

b. Procesamiento de datos de actividades antrópicas

Se recurrió a información gratuita en formato shapefile del estudio ZEE del Gobierno Regional de Cajamarca, el cual sirvió para determinar si el uso actual y a gran escala era el mismo que se presentaba en la realidad al momento de los muestreos, ayudando a tener una mejor visión de la medida del impacto directo que estos tendrán sobre la calidad del agua, además de contextos

específicos en los cuales se presenta el agente que afecta directamente. Por lo que el uso del Software ArcGis 10.3.1 fue necesario, también se elaboró una base de datos en la cual se relacionó cada actividad observada con cada punto de muestreo, los cuales fueron interpolados con las zonas de usos definidos por el ZEE para una visión más gráfica de la comparación.

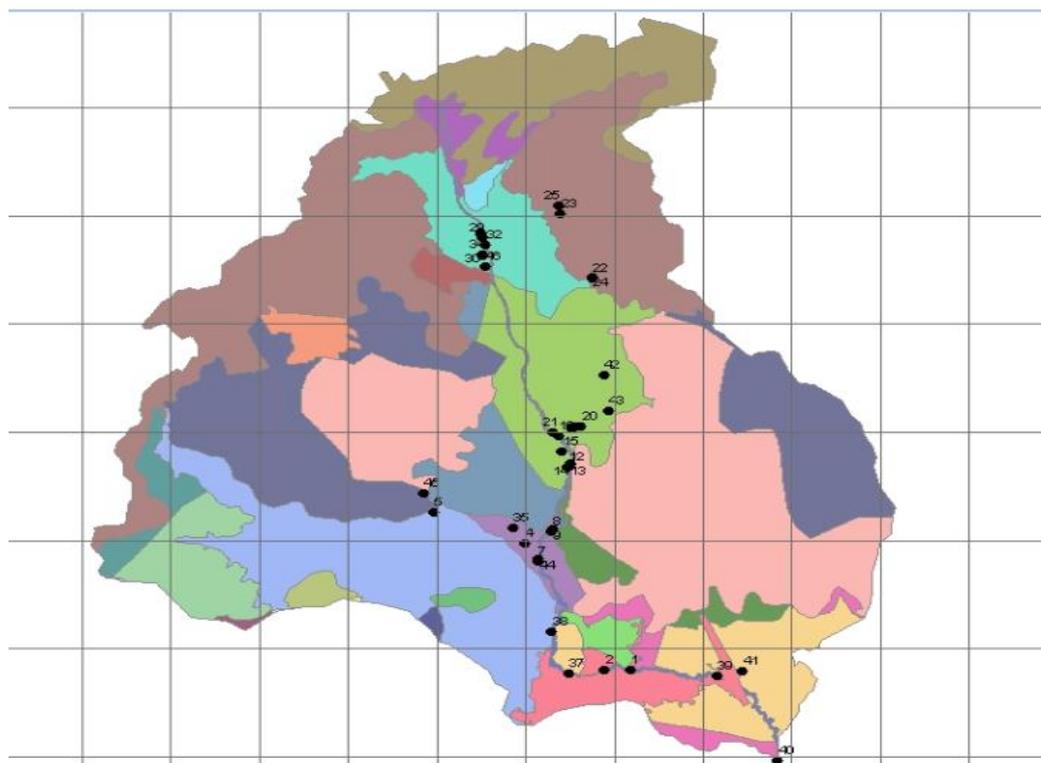


Figura 8. Mapa de clasificación ZEE interpolado con los puntos de muestreo en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

c. Correlación entre los parámetros físico-químicos

La necesidad y utilidad de un análisis de correlación tiene especial importancia dentro del estudio puesto que es una forma muy clara de analizar los datos y su interacción entre ellos, ya sea directa o inversa, además de un valor de significancia que determina la intensidad de la relación entre ciertos parámetros, los cuales de este modo pueden ser expresados, analizados y descritos de manera rápida y sencilla. Además de la correlación entre parámetros, también se consideró interesante el uso de valores altitudinales y espaciales, pues estos dan una mejor visión de la distribución de las diferentes calidades de agua y la variedad de actividades generalizadas en la cuenca por zonas, ya sea alta, media y baja.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificar las actividades antrópicas que se desarrollan en la cuenca del río Mashcón.

4.1.1. Identificación de actividades antrópicas observadas

- Letrinas: Letrinas que se encuentran principalmente en la parte urbana y periurbana de la ciudad de Cajamarca, presentándose muy cercanas al curso del río.



- Desagües: Encontrados en la zona periurbana y urbana de la ciudad, con presencia de emisiones directas al curso del río.



- Derrumbes: Presencia de escombros de un puente que se desplomo, causando turbidez en el cuerpo de agua, sumando además la modificación de los márgenes del río por construcción de otro puente.



- Agricultura: presente en mayor medida en la zona rural y zona peri-urbana, en la primera se produce en áreas más grandes, mientras que, en la segunda, se produce en áreas más pequeñas, pero a manera de huerto familiar en espacios dentro de sus predios. En ambos casos hay uso de productos agroquímicos. También se observó la presencia de invernaderos destinados a la producción de rosas y arándanos, a lo largo de toda la cuenca, sin embargo, se encuentran lejos de los cuerpos de agua muestreados.



- Lavaderos improvisados: principalmente en la zona peri urbana y urbana, en lugares en los que el cauce es accesible, son áreas utilizadas por la población como lavaderos improvisados de ropa y vehículos ya sean autos o camiones, los cuales utilizan productos químicos (detergentes) que contribuyen a la variación en los parámetros de la calidad química del agua.



- Extracción de madera: se realiza en algunas zonas con presencia de especies maderables, principalmente especies exóticas, éstas se encuentran aledañas a los cuerpos de agua, su extracción generaría turbidez en el agua, debido a la erosión y desestabilización de los márgenes.



- Cantera: presencia de canteras en las que se realiza extracción de material para construcción (material aluvial), éstas se ubican adyacentes al curso del río, causando turbidez, modificación de los márgenes, aumento de sedimentos y modificando algunas de las propiedades físico-químicas del agua.



- Urbanización: construcción de viviendas, carreteras, implementación de servicios y todo tipo de trabajos civiles que se desarrollen, cambiando el paisaje natural, genera impactos sobre su entorno, siendo esta actividad, la

que produce gran impacto debido a su gran escala, la cual seguirá en constante crecimiento debido al aumento poblacional y la demanda de mejores servicios.



- Pastizales y ganadería: presentes en la zona rural y urbana, destinado principalmente para alimentar ganado, es una actividad que requiere aplicación de productos agroquímicos. El ganado presente cerca a los cuerpos de agua genera compactación del suelo, degradación de las franjas ribereñas, etc.



- Arrojo de basura: La conciencia social de la gente sobre la contaminación en general es muy mala, ya que cualquier lugar es bueno para arrojar desperdicios de todo tipo, estando los cursos de agua entre los preferidos, donde se puede apreciar una acumulación de basura que permanece por mucho tiempo volviéndose un punto de concentración de baja calidad del agua para el caso de este estudio, el cual presento que en el punto más bajo donde se concentra la acumulación de basura se cuadruplica la contaminación orgánica en comparación con otros puntos de muestreo.



Tabla 9. Número de puntos de muestreo por actividad identificada.

Actividades antrópicas	Puntos de muestreo en los que se presentó la actividad antrópica	Cantidad de veces que se presentó la actividad antrópica
Letrinas	1, 2, 37, 38	4
Desagües	40, 39, 37	3
Derrumbe y construcción de puente	8, 9, 21	3
Agricultura	40, 38, 7, 21, 43, 27	6
Lavaderos	37, 38, 44, 16	4
Extracción de madera	17, 18, 43	3
Canteras	7, 44, 6	3
Urbanización	39, 41, 1, 2, 8, 5, 13, 45, 21, 20, 43, 42, 46, 32, 29, 28, 24	17
Pastos y ganadería	40, 39, 41, 7, 10, 11, 12, 14, 16, 45, 15, 17, 19, 18, 20, 43, 42, 30, 34, 29, 27, 22, 24, 25	24
Criadero de animales	4, 8, 5	3
Acumulación de basura	40, 1, 2, 37, 38, 4, 8, 9, 35, 5, 45, 15	12

4.2. Calidad de agua en base a los parámetros físico-químicos y biológicos

La distribución altitudinal ayuda a diferenciar los resultados a manera macro, separando la cuenca en 3 zonas altitudinales (baja, media y alta), las cuales cada una están representada por cierta cantidad de puntos de muestreo; se tuvo una altura máxima de 3569 msnm, 2661msnm mínima y una altitud promedio de 2989.4 msnm.

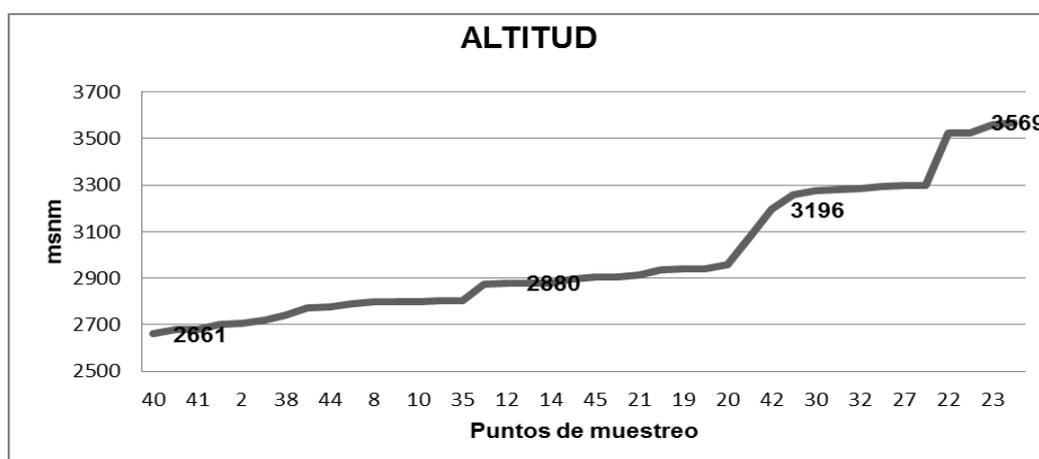


Figura 9. Valores altitudinales registradas que dividen la cuenca en tres zonas.

La altitud si bien no es un parámetro físico-químico que determine la calidad del agua, ayuda a delimitar zonas, en las cuales la presencia de las actividades humanas presenta una similitud entre ellas, siendo estas causantes de muchos valores anormales encontrados en los parámetros de calidad de agua.

Urbanización

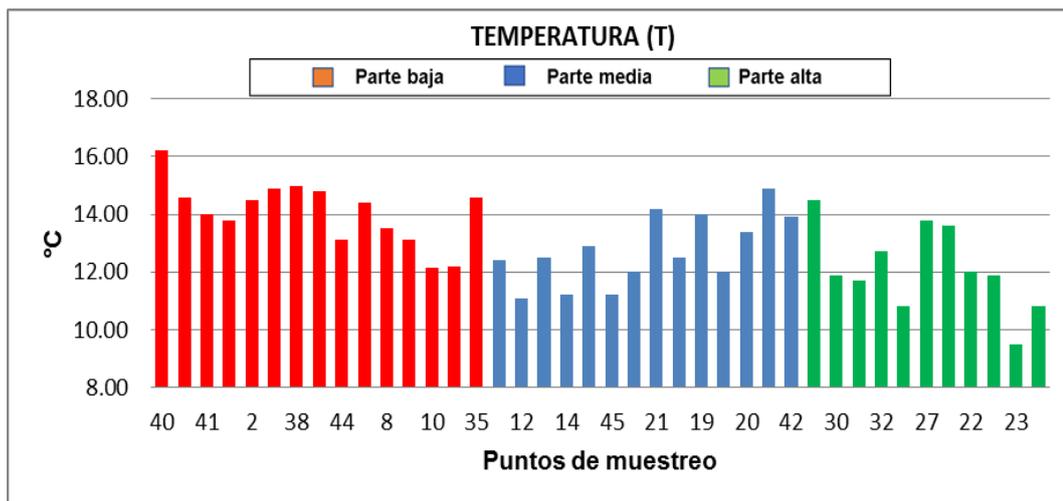
El nivel de urbanización en una cuenca hidrográfica es un punto a considerar al momento de valorar la calidad ambiental en este caso la del agua, ya que la urbanización como tal trae consigo cambios que alteran de manera negativa a la calidad ecológica de una cuenca, para el estudio se consideró una relación entre altitud y el nivel de urbanización principalmente por las consecuencias negativas que produce sobre la calidad del agua, siendo el principal proveedor de contaminación “la presencia y actividades humanas de cualquier tipo”. (Romero *et al.* 2005) asumen que una cuenca urbanizada de alta calidad ambiental es aquella que mantiene significativas concentraciones de biomasa. En el caso de la cuenca en estudio se observó mayor nivel de urbanización en la zona baja, siendo la zona media y alta las menos urbanizadas, y por tal, las menos afectadas por esta.

4.2.1. Parámetros físico-químicos

Tanto el río Porcón como el río Grande poseen aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable categoría 1 subcategoría A2, de acuerdo a la Resolución Jefatural N° 2022010-ANA (Herrera *et al.* 2017).

Temperatura

Los valores obtenidos para Temperatura en el agua, tuvieron como máximo 16.2 °C, mínimo 9.5 °C y promedio 13.1 °C, la mayoría de los valores más bajos se obtuvieron en la parte peri urbana y rural (zonas media y alta), por otro lado, en la parte urbana (ciudad) se obtuvieron valores de temperatura más elevados.



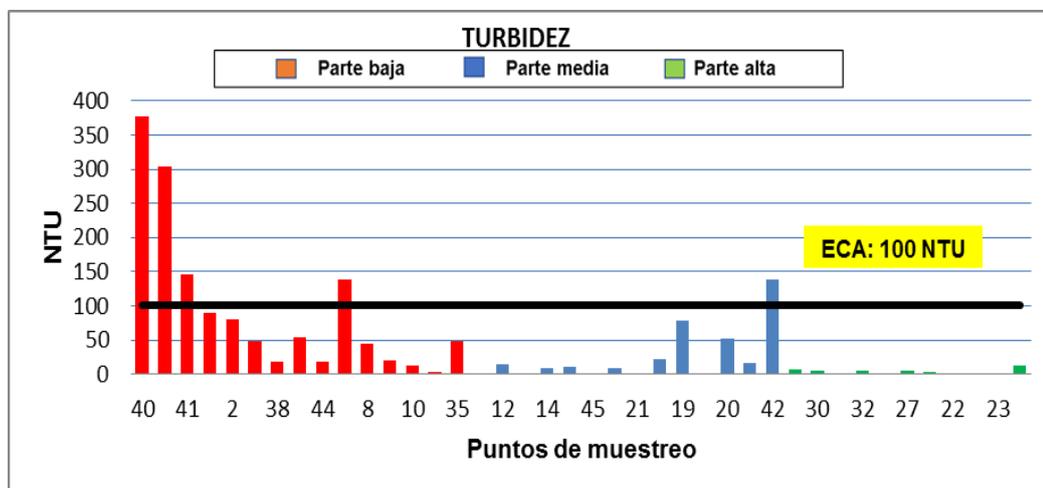
Muestra	40	39	41	1	2	37	38	7	44	4	8	9	10	11	35	5	12	13	14	16
Temperatura	16.2	14.6	14	13.8	14.5	14.9	15	14.8	13.1	14.4	13.5	13.1	12.13	12.2	14.6	12.4	11.1	12.5	11.2	12.9
Muestra	45	15	21	17	19	18	20	43	42	46	30	34	32	29	27	28	22	24	23	25
Temperatura	11.2	12	14.2	12.5	14	12	13.4	14.9	13.9	14.5	11.9	11.7	12.7	10.8	13.8	13.6	12	11.9	9.5	10.8

Figura 10. Valores de temperatura obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

En el área estudiada, principalmente en la parte urbana o baja de la cuenca, la población no siempre cuenta con el servicio de alcantarillado, por lo que en muchos casos como los puntos de muestreo (39 y 1) existen desagües que van a dar directamente al cuerpo de agua, agregando también desperdicios de los establecimientos de comida, industrias, canteras de piedra, crianza de animales que se desarrollan al costado del río, (puntos 4, 38, 8 respectivamente), los cuales son causantes directos del aumento de temperatura del agua en la zona urbana, a diferencia de la zona media y alta en que las actividades son principalmente agrícolas y ganaderas con presencia de vegetación de ribera que contribuye al mantenimiento de la temperatura. Los puntos de muestreo 39 y 40 fueron los que registraron mayores valores de temperatura (14.6 °C y 16.2 °C respectivamente), al respecto Jiménez *et al.* (2000), indican que los elevados valores de temperatura en aguas superficiales son originados por el vertido de aguas usadas en procesos industriales, presencia de contaminantes orgánicos mediante el vertido de desagües a las aguas, originando disminución en el oxígeno disuelto existente, afectando la conductividad eléctrica con la presencia de sales y con la acumulación de desperdicios, originando turbidez. La temperatura es un indicador que influye en el comportamiento de otros indicadores como el pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), entre otras (Espinoza *et al.* 2014).

Turbidez

El resultado promedio fue de 45 NTU para turbidez, con rangos que van desde 0 NTU hasta 378 NTU, siendo visible su aumento en la parte más baja de la cuenca (zona urbana) además de que 5 de los resultados superan al ECA.



Muestra	40	39	41	1	2	37	38	7	44	4	8	9	10	11	35	5	12	13	14	16
Turbidez	378	304	145	89.4	80.5	48.8	18.7	53.7	18.1	139	45.2	19	12.29	3.28	47.2	0	14.6	1.7	9.24	11.2
Muestra	45	15	21	17	19	18	20	43	42	46	30	34	32	29	27	28	22	24	23	25
Turbidez	1.53	8.85	0	22	79	1.92	52.5	17	139	6.36	4.86	0	4.43	0.644	5.35	3.67	1.16	0.7	0	13

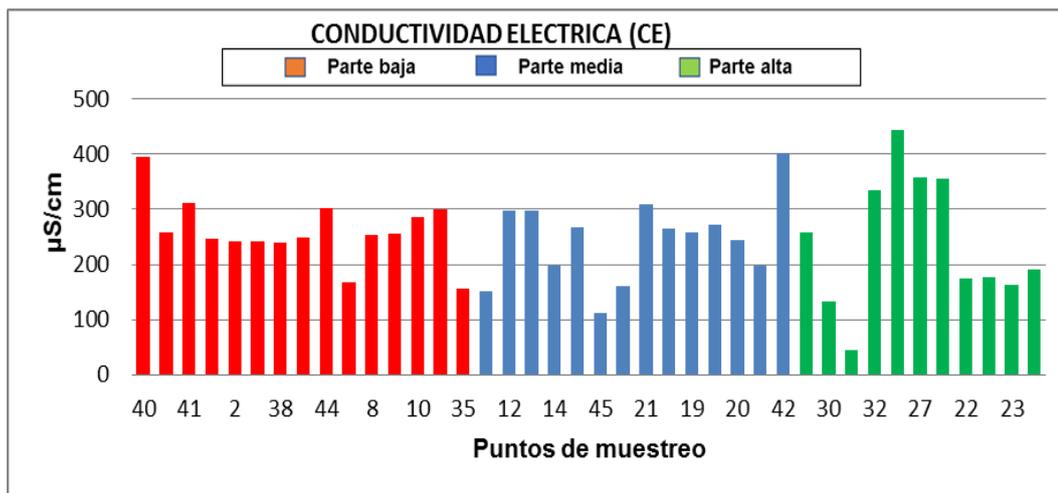
Figura 11. Valores de turbidez obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

Los valores registrados en los puntos de muestreo 40, 39, 41 y 4 superaron los valores del ECA, originados por presencia y actividad humana, ya que en estos puntos de muestreo se registraron actividades como crianza de animales (ovejas, cerdos, vacas), desagües que dan al río, presencia de un restaurant campestre, erosión de ribera debido a procesos de urbanización y acumulación de basura en el punto 40.

La turbidez es un parámetro que está influenciado por la cantidad de partículas en suspensión presentes en el agua, los puntos de muestreo en la zona urbana presentaron mayormente valores elevados, al respecto Toro (2011), indica que la turbidez es causada por descargas directas al cuerpo de agua ya sean: desagües, escorrentía urbana y partículas del suelo suspendidas por erosión del mismo.

Conductividad Eléctrica

El análisis de la conductividad eléctrica proporcionó valores de 45.5 μ S/cm a 445 μ S/cm con un promedio de 249.1 μ S/cm.



Muestra	40	39	41	1	2	37	38	7	44	4	8	9	10	11	35	5	12	13	14	16
Conductividad	395	259	312	246	241	242	239	249	302	166.8	253	255	285	301	155.7	150.5	298	298	197	267
Muestra	45	15	21	17	19	18	20	43	42	46	30	34	32	29	27	28	22	24	23	25
Conductividad	111	161.3	309	265	258	272	245	198.5	401	258	131.9	45.5	334	445	358	355	173.7	176	162.9	190

Figura 12. Valores de conductividad eléctrica obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

El punto de muestreo 29 presentó el valor máximo de 445 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que no superó al valor establecido por el ECA para este parámetro, aunque no sobrepaso el ECA es importante reconocer que es un valor elevado, el cual posiblemente está influenciado por la presencia de la actividad agrícola y ganadera que generan impacto por los residuos del uso de fertilizantes y pesticidas, los cuales aumentan las concentraciones de sales en el cuerpo de agua donde drenan, causando que los resultados obtenidos presenten tan elevados valores. Padilla (2017) y Dorronsoro (2001) consideran que, la conductividad eléctrica está influenciada por la cantidad de sales presentes en el agua

Oxígeno disuelto y Oxígeno saturado

EL oxígeno disuelto tuvo como valor máximo y mínimo 8.02 y 5.47 respectivamente, siendo apreciable su disminución en la parte baja de la cuenca (zona urbana).

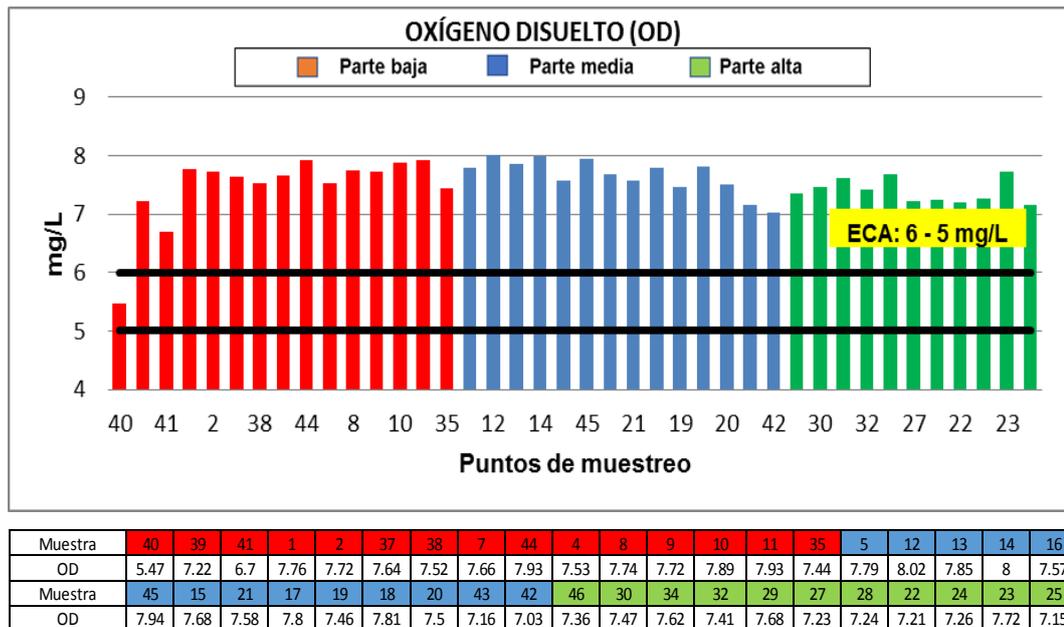


Figura 13. Valores de oxígeno disuelto obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

El oxígeno disuelto es influenciado por varios parámetros, para el ECA las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) son malas cuando éstas son menores a los rangos establecidos, en el caso de este estudio, los valores registrados en los puntos de muestreo superan o se mantienen en los valores límites del ECA, siendo posible afirmar que todos los puntos de muestreo presentan adecuadas concentraciones de oxígeno disuelto para cada uno de estos puntos, sin embargo es necesario mencionar que elevadas concentraciones de (OD) son perjudiciales por que incrementan la velocidad de corrosión en las tuberías de agua (Espinoza *et al.* 2014).

Contrariamente, los resultados obtenidos para turbidez, conductividad y temperatura que se mostraron desfavorables en la zona urbana, teóricamente deberían influir en la disminución del OD, esto es debido quizá a la presencia de plantas acuáticas que mediante la fotosíntesis aportan oxígeno al agua, así como también fuertes corrientes de aire debido a la topografía y la absorción del oxígeno del aire (Peña 2007). Además por la temperatura y la altitud, que también influyen de modo que a mayor temperatura se modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando los sólidos disueltos y disminuyendo los gases (Jiménez *et al.* 2000), probablemente es debido a las razones antes expuestas que se obtuvieron concentraciones elevadas de OD para esos puntos de muestreo tan afectados en otros parámetros, cabe resaltar el caso del punto 40

que aunque este dentro de los límites del ECA, es el valor más bajo de OD observado, lo cual podría deberse a la acumulación de basura en su entorno, Jiménez *et al.* (2000) menciona al respecto la relación existente entre el oxígeno disuelto con la temperatura y la elevación, ya que el punto 40 se encuentra en la parte baja, donde la temperatura es elevada, a causa de la contaminación que presenta, tanto orgánicos como inorgánicos.

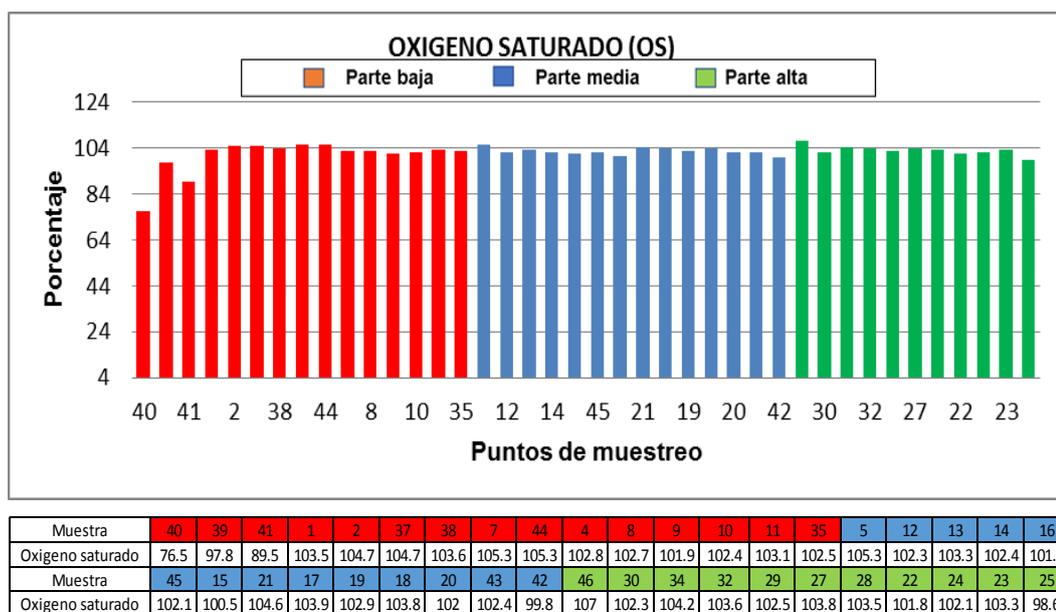
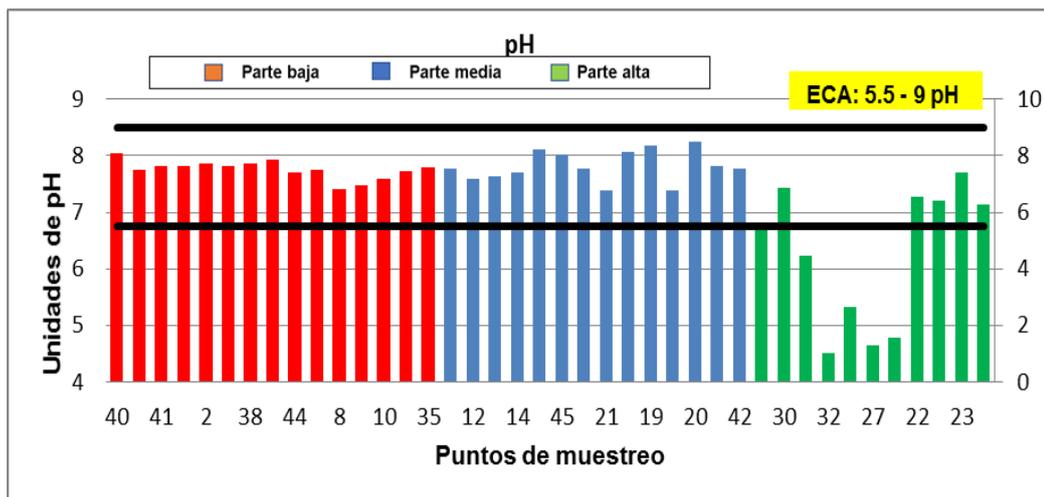


Figura 14. Valores de oxígeno saturado obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

Los resultados para la saturación de oxígeno disuelto en los puntos de muestreo fueron bastante similares en su mayoría, con excepción de los puntos más bajos de la cuenca que presentaron un valor mínimo de 76.5% que no supera al promedio que fue de 101.9% y el valor máximo fue de 107% obtenido por el punto de muestreo 46 que se encuentra en la parte alta o zona rural.

Potencial de Hidrogeniones (pH)

Para el pH, los valores máximos y mínimos obtenidos van desde 4.5 a 8.25 y un valor promedio de 7.4, encontrándose la mayoría de estos valores entre los rangos del ECA para este parámetro, con excepción de los puntos (34, 32, 29, 28, 27) encontrados en la parte rural (zona alta) de la cuenca, que tuvieron valores muy bajos (ácidos).



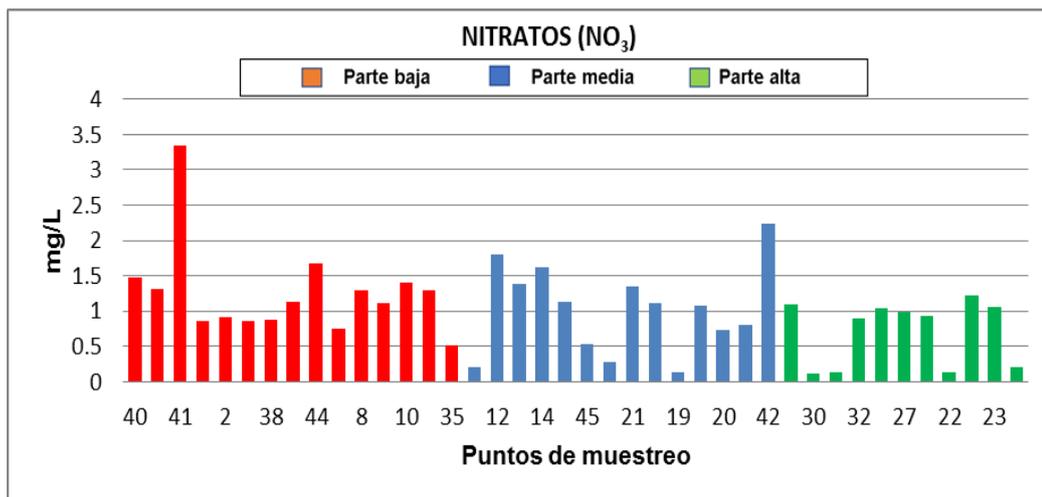
Muestra	40	39	41	1	2	37	38	7	44	4	8	9	10	11	35	5	12	13	14	16
pH	8.04	7.75	7.82	7.82	7.86	7.81	7.86	7.92	7.71	7.74	7.42	7.47	7.6	7.73	7.8	7.78	7.6	7.63	7.7	8.11
Muestra	45	15	21	17	19	18	20	43	42	46	30	34	32	29	27	28	22	24	23	25
pH	8.02	7.77	7.38	8.07	8.19	7.39	8.25	7.82	7.77	6.8	7.44	6.24	4.5	5.32	4.65	4.77	7.27	7.21	7.71	7.14

Figura 15. Valores de pH obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

La mayoría de los valores de pH se mantuvieron dentro de los rangos del ECA, sin embargo, en la parte alta de la cuenca se observaron valores bajos de pH, lo cual puede deberse a la elevada presencia de sulfatos (que se puede observar en la figura 21) provenientes del suelo adyacente a los puntos de muestreo (32, 29, 27, 28), donde además existe la presencia de plantaciones de pino, las cuales generalmente se establecieron en tierras con ese tipo de pH. Además por su cercanía a la mina, es posible que ésta tenga que ver en cierta medida con los valores obtenidos para pH y sulfatos. Lo cual concuerda con Younger *et al.* (2004), quien considera que las actividades mineras a menudo se relacionan con el aumento de las concentraciones de metales en el agua debido a la posibilidad de drenajes ácidos procedentes de sus operaciones.

Nitrato (NO₃)

Los nitratos obtenidos tuvieron un rango de valores de 0.125 mg/L a 3.34 mg/L, y un valor promedio de 1.03 mg/L, donde el valor máximo triplica al promedio obtenido.



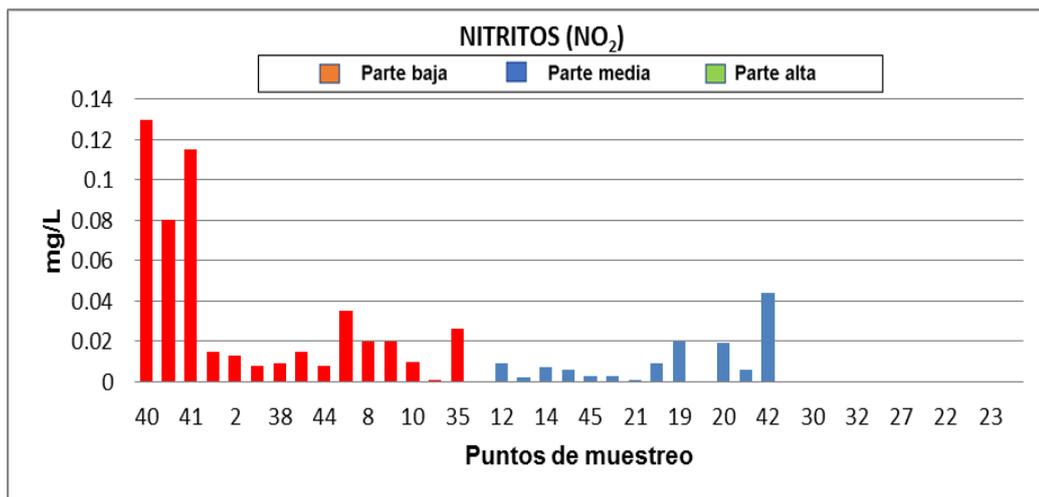
Muestra	40	39	41	1	2	37	38	7	44	4	8	9	10	11	35	5	12	13	14	16
NO3	1.48	1.31	3.34	0.858	0.914	0.865	0.871	1.13	1.67	0.756	1.29	1.12	1.41	1.3	0.522	0.207	1.8	1.39	1.63	1.13
Muestra	45	15	21	17	19	18	20	43	42	46	30	34	32	29	27	28	22	24	23	25
NO3	0.537	0.284	1.35	1.11	0.139	1.08	0.74	0.801	2.23	1.09	0.125	0.135	0.899	1.05	0.983	0.936	0.134	1.22	1.06	0.2

Figura 16. Valores de nitratos obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

Ningún valor de nitrato superó al ECA, los mayores valores obtenidos fueron de 3.34mg/L y 2.23mg/L ubicados en el punto de muestreo 41 y 42 respectivamente, el primero perteneciente a la parte baja (zona urbana) y el segundo a la parte media (zona periurbana) muy cercano a la parte alta; podemos atribuir esos elevados valores a la alta densidad poblacional, un deficiente sistema cloacal, presencia de letrinas, usos similares de la tierra para pasturas y ganadería; en el caso de pasturas, estas son abonadas con fertilizantes nitrogenados que aumentan las concentraciones de nitrógeno presentes en el suelo, los residuos son arrastrados al cuerpo de agua debido a las lluvias, ocasionando el aumento de los valores de nitratos. D'Angelo (2016) menciona en este sentido que una de las principales fuentes de nitratos en el agua es la agricultura, además de excretas de animales, descargas de desechos sanitarios e industriales, así como la presencia natural de nitratos en el agua que se ven incrementadas por actividades humanas como las anteriormente mencionadas.

Nitrito (NO₂)

Un tercio de los puntos de muestreo registraron valores desde 0 mg/L hasta 0.13 mg/L que fue el valor máximo obtenido y con un promedio de 0.016 mg/L.



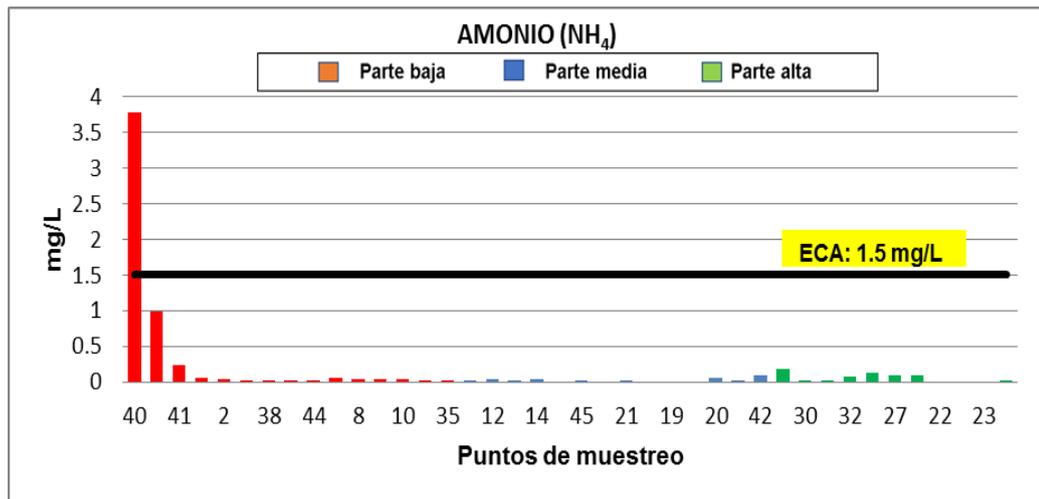
Muestra	40	39	41	1	2	37	38	7	44	4	8	9	10	11	35	5	12	13	14	16
NO2	0.13	0.08	0.115	0.015	0.013	0.008	0.009	0.015	0.008	0.035	0.02	0.02	0.01	0.001	0.026	0	0.009	0.002	0.007	0.006
Muestra	45	15	21	17	19	18	20	43	42	46	30	34	32	29	27	28	22	24	23	25
NO2	0.003	0.003	0.001	0.009	0.02	0	0.019	0.006	0.044	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 17. Valores de nitritos obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

Los nitritos al igual que los nitratos no superaron los valores de los ECA, se observa que todos los puntos de muestreo de la parte alta tuvieron valores de 0. Como en el caso de los nitratos, los mayores valores fueron encontrados en la parte baja, puntos 40 y 41, confirmando que el origen de estos valores está dado por la contaminación que genera la presencia humana a través de descargas directas de desagües, agricultura, pasturas y ganadería, así como también el arrojado de desperdicios orgánicos e inorgánicos a las aguas. D'Angelo (2016). Jiménez *et al.* (2000), indican que la presencia de nitritos en el agua es originada por el vertido de aguas usadas en procesos industriales, contaminantes orgánicos, el vertido de desagües a los cuerpos de agua.

Amonio (NH₄)

En su mayoría los valores fueron muy bajos, inclusive existiendo valores de 0mg/L, así como también un valor exagerado de 3.775mg/L que fue el valor máximo, el promedio fue de 0.2mg/L.



Muestra	40	39	41	1	2	37	38	7	44	4	8	9	10	11	35	5	12	13	14	16
NH4	3.775	0.979	0.238	0.046	0.035	0.026	0.025	0.027	0.014	0.056	0.044	0.041	0.028	0.008	0.018	0.005	0.034	0.017	0.033	0
Muestra	45	15	21	17	19	18	20	43	42	46	30	34	32	29	27	28	22	24	23	25
NH4	0.01	0	0.023	0	0	0	0.047	0.02	0.088	0.176	0.003	0.003	0.076	0.134	0.087	0.085	0	0	0	0.016

Figura 18. Valores de amonio obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

El punto con mayor concentración de amonio es el 40, éste se ve afectado principalmente por la presencia de pastos y ganado, que para este parámetro son los principales causantes del aumento de la concentración de amonio; el cual según la OMS (2003) Proviene de procesos agropecuarios e industriales, donde la ganadería intensiva genera concentraciones elevadas de materia orgánica que van a dar a las aguas superficiales, las cuales son descompuestas por hongos y bacterias, causando estos elevados valores.

Nitrógeno total

Los valores máximos y mínimos obtenidos para el nitrógeno total fueron de 8.75mg/L y 0.17mg/L respectivamente, con un valor promedio de 2.2mg/L.

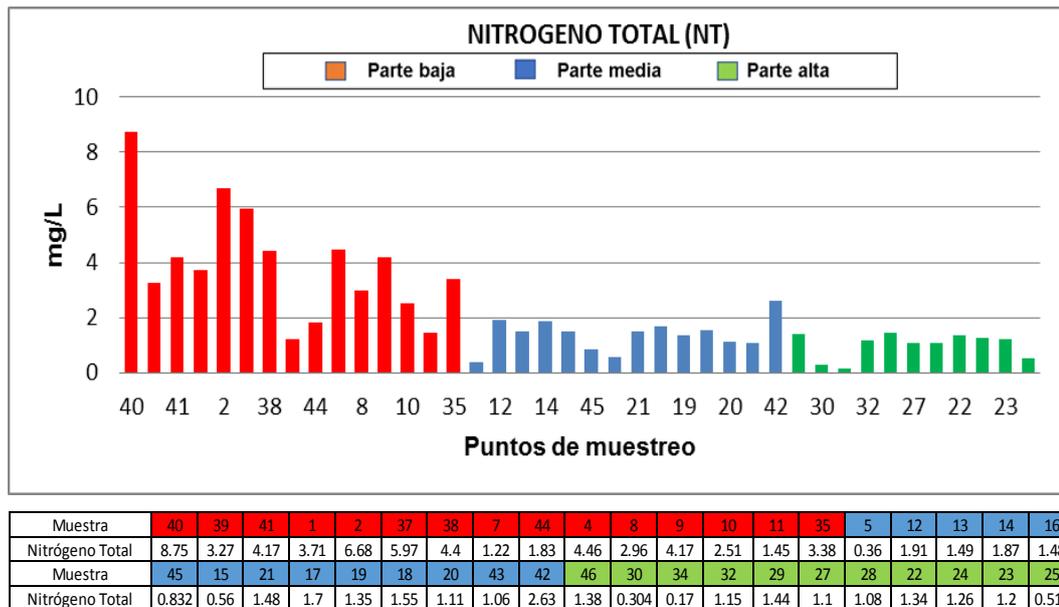


Figura 19. Valores de nitrógeno total obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

Según Cárdenas *et al.* (2013), las aguas residuales domésticas suelen contener alrededor de 20.50 mg/L de nitrógeno total, por lo que estas descargas presentes en la zona siendo la principal causa de los altos valores de nitrógeno total, ya que en el Figura y en los resultados se aprecia que siguen siendo los puntos de la parte baja (zona urbana) los más afectados, ya antes se mencionó que la causa no es únicamente aguas residuales, sino también la agricultura que usa muchos fertilizantes nitrogenados, cuyos residuos contaminan al agua.

Fósforo total (FT)

Los resultados obtenidos para fósforo total en los puntos de muestreo se encuentran en el rango de 1.63mg/L a 0mg/L con un promedio de 0.1mg/L.

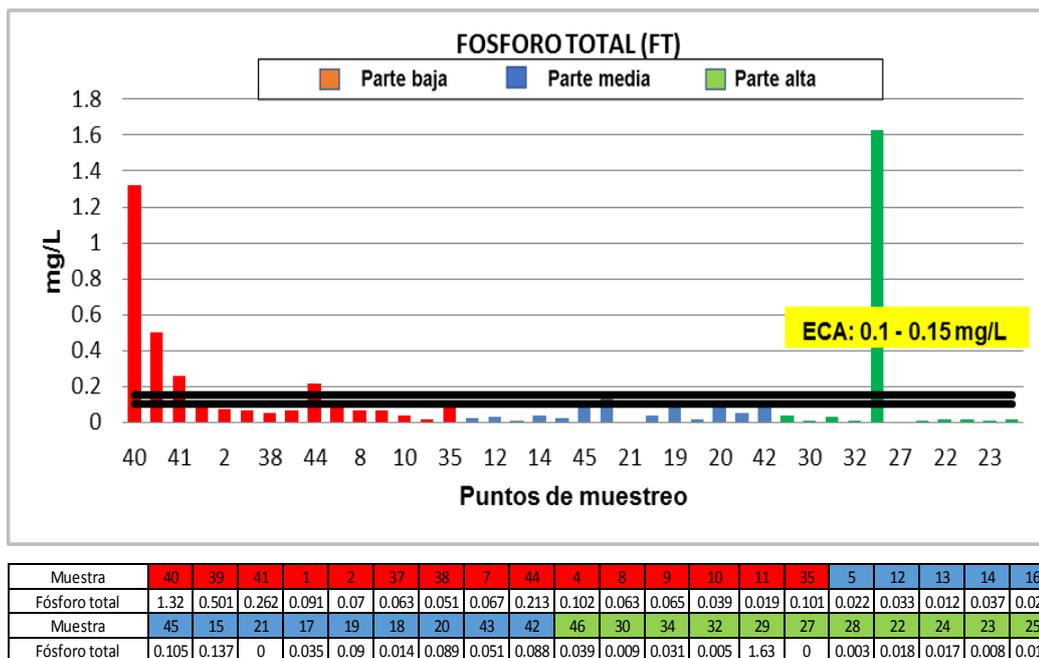


Figura 20. Valores de fósforo total obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

El fósforo total tuvo valores que superan el ECA ampliamente, durante las salidas de campo fue posible observar el uso de los ríos y las quebradas como lavaderos improvisados de ropa y hasta vehículos, los cuales hacían uso de detergentes, además la agricultura utiliza fertilizantes que por acción de las lluvias llegan a los cuerpos de agua, siendo también, aunque en menor medida, uno de los causantes de estos elevados valores de fósforo total. Al respecto Vargas (2013) menciona que el fósforo se origina habitualmente por aditivos en detergentes para el lavado de ropa o limpieza en general.

Sulfato (SO₄)

Para el sulfato se obtuvo un valor máximo de 198.6mg/L, un valor mínimo de 15.3mg/L y un promedio de 72.5mg/L.

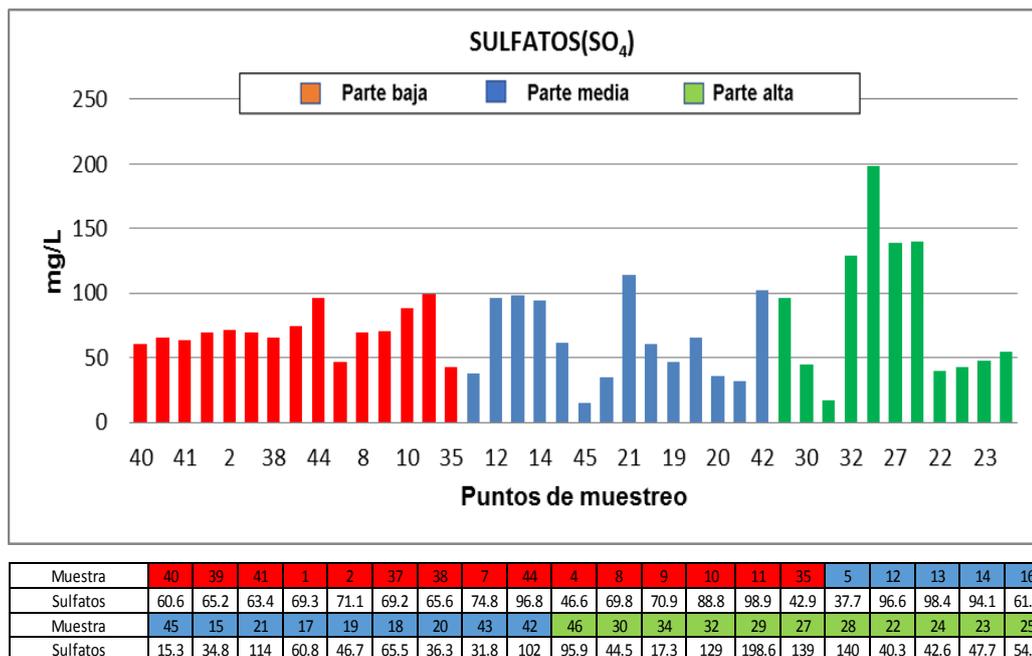


Figura 21. Valores de sulfatos obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

Los sulfatos presentaron valores muy similares en la zona baja y media, en la zona alta se presentó el valor más elevado. La presencia de sulfatos se debe fundamentalmente al uso de fertilizantes, los puntos de muestreo que presentaron mayores valores (27, 28, 29 y 32), se encuentran en un entorno dominado principalmente por las pasturas y plantaciones de pino, así como también agricultura familiar, dado que estas actividades requieren de fertilización, para mejorar su producción, asumimos que las actividades de fertilización en tierras adyacentes al curso del río son las causantes de los elevados valores registrados en esos puntos de muestreo, así también, existe la posibilidad de que parte de las concentraciones de sulfatos presentes en el punto 29, se deban a su cercanía a la mina y sea causada por sus actividades (ECO 2009).

Demanda biológica de oxígeno (DBO)

La demanda biológica de oxígeno presentó un valor máximo de 18.88mg/L registrado en el punto más bajo de la cuenca, un valor mínimo de 0mg/L y un promedio de 1.2mg/L debido a los bajos valores de la mayoría de los puntos de muestreo.

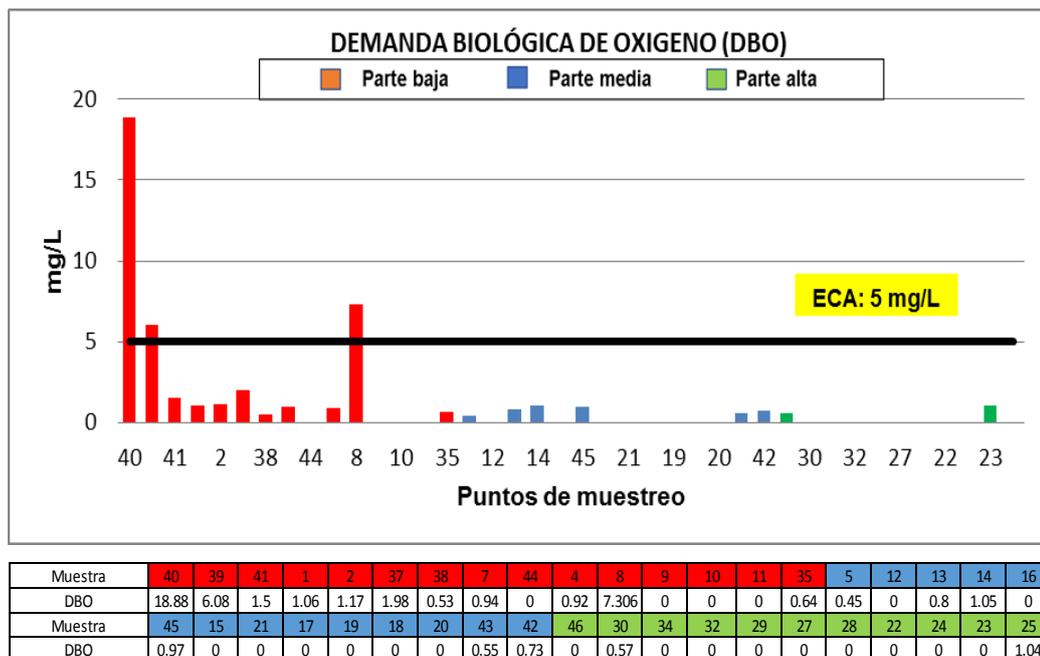


Figura 22. Valores de DBO obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

El resultado máximo obtenido fue 18.88mg/L registrado en el punto de muestreo 40, este superando los límites del ECA y ya antes ha sido mencionado por verse afectado en los parámetros como elevada temperatura y baja concentración de oxígeno disuelto, que tienen relación con la DBO, lo cual evidencia una contaminación proveniente de vertimientos de aguas residuales (desagües), contaminación orgánica por arrojado de restos de comida y acumulación de basura. La DBO se refiere a la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de materia orgánica por los organismos unicelulares, es un indicador muy usual y acertado de contaminación orgánica en aguas residuales (Aguá 2017).

Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO presentó un valor máximo de 48.9mg/L, mínimo de 0.712 mg/L y un valor promedio que fue de 7.2mg/L, estos resultados siguen la misma tendencia que la DBO, aumentando conforme se desciende en altitud.

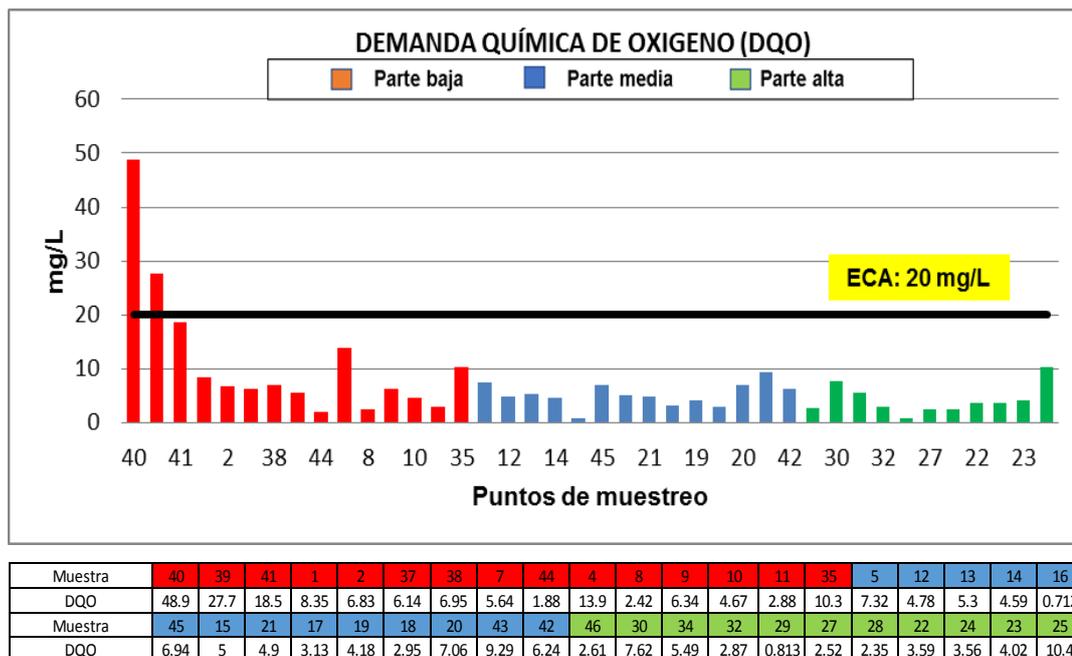


Figura 23. Valores de DQO obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

La DQO al igual que la DBO es un acertado indicador de la calidad del agua, el cual proporciona un índice para evaluar el efecto que tienen las aguas residuales vertidas en el ambiente que las recibe, es así que los resultados obtenidos que superan al ECA en este parámetro fueron nuevamente los puntos de muestreo más bajos de la cuenca (zona urbana), los cuales son fuertemente influenciados por la presencia y actividades humanas adyacentes a los cuerpos de agua, principalmente desagües que van a dar directamente a los ríos, contaminación por basura y restos de comida, uso de los ríos como lavaderos improvisados, además de las industrias existentes que aportan también vertidos que causan contaminación y reducen la calidad del agua. Al respecto, Agua (2017) nos indica que niveles más altos de DQO significan mayor cantidad de materia orgánica oxidable presente en la muestra, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto, que a su vez puede conllevar a que se generen condiciones anaeróbicas que perjudiquen a las formas de vida acuática.

Carbono orgánico total (COT)

El carbono orgánico total arrojó valores máximos de 17.4 mg/L, mínimos de 0mg/L y promedio de 4.2mg/L, viéndose claramente su tendencia a aumentar conforme se desciende en altitud, siendo mayor en la (zona urbana).

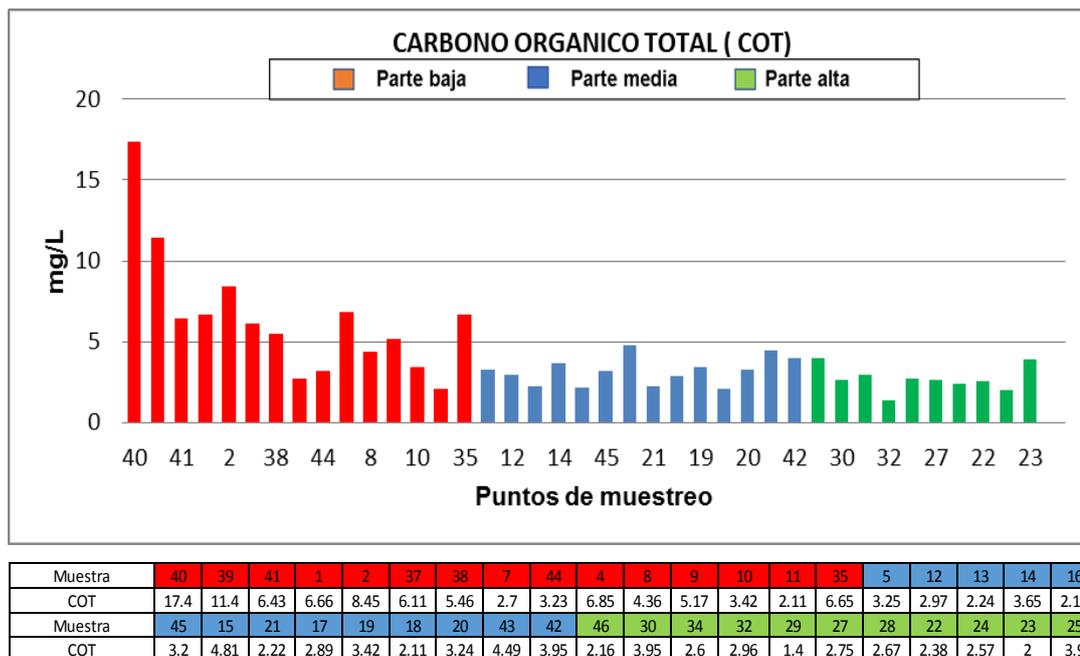


Figura 24. Valores de COT obtenidos en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca.

El Carbono Orgánico Total es un parámetro que se utiliza para valorar la calidad de las aguas de un determinado lugar. Generalmente esta sustancia se origina de forma natural en plantas y animales como resultado de su metabolismo, excreción y descomposición. No obstante, los efluentes de las industrias que utilicen compuestos orgánicos también son una fuente significativa de emisión de TOC al ambiente (Cisneros *et al.* 2008).

Correlación entre parámetros

Usando el índice de correlación, determinamos las relaciones existentes entre (altitud, distancia y los parámetros físico-químicos) donde la altitud está relacionada con el nivel de urbanización de la cuenca. El valor ($<.0001$) indica que la correlación no está influenciada por valores externos por lo que da seguridad en cuanto al grado de intensidad de la correlación, en el cual, para la altitud, se aprecia que tiene gran relación con la temperatura, pH, nitrógeno total y carbono orgánico total, considerando solo los valores de $+ - 0.5$, siendo una correlación directamente proporcional cuando el valor es positivo e inversamente proporcional cuando el valor es negativo, como en el caso de la temperatura que fue de -0.53098 , valor que indica que la relación es: “a mayor altitud, menor temperatura”, lo que no ocurre con el caso de la distancia que está relacionada directamente con la altitud.

Por otro lado fue la correlación de los parámetros físico químicos con la distancia el que arrojó mejores resultados, demostrando la gran relación que esta tiene sobre estos, siendo las correlaciones más significativas con los parámetros de temperatura, turbidez, pH, Nitritos, Nitrógeno total, Fosfatos, Demanda química de oxígeno y Carbono orgánico total, los cuales en su mayoría fueron inversamente proporcionales a la distancia que tomo como referencia al punto de muestreo 40 (con mayor nivel de urbanización) que es el más bajo de todos, demostrando que mientras los otros puntos de muestreo se encuentren más cerca de la ciudad, los valores de los parámetros indicados serán mayores.

El análisis de correlación, compara variables y da como resultados el tipo e intensidad de relación que éstas tienen, así como también el grado de significancia de las mismas, estando determinadas por los valores de “r”, donde si es igual a 0, es nula o no existe relación, y mientras más se acerque a 1, la relación será total, siendo los valores positivos o negativos se determina el tipo de relación ya sea inversa o directamente proporcional, y el valor $<.0001$ que es el máximo valor de significancia. Para la interpretación de la (tabla. 11). Se consideraron solo las variables que presentaron valores superiores a (+ - 0.5).

Para la variable altitud, se obtuvo una correlación de intensidad media con las variables (COT, NT, pH, T°, Distancia), de las cuales solo (NT y Distancia) fueron significativas y tuvieron un tipo de relación inversa y directamente proporcional respectivamente, siendo que, a menor altitud, mayor concentración de NT y a menor altitud, menor distancia, teniendo como referencia al punto de muestreo 40 el más bajo de todos.

Para la variable distancia, se obtuvo correlaciones de intensidad media-alta, con las variables (COT, DBO, DQO, PO₄, NT, NO₂, pH, Turbidez, Temperatura y Altitud), de las cuales solo (COT, DQO, PO₄, NT, NO₂, pH, Turbidez, Temperatura, Altitud) fueron significativas, las cuales tienen una relación inversamente proporcional con la distancia que tiene como referencia al punto de muestreo más bajo (zona urbana), siendo que a mayor lejanía de la ciudad menores serán los valores de (COT, DQO, PO₄, NT, NO₂, pH, Turbidez, Temperatura) siendo solo la altitud la que es directamente proporcional y que aumenta con forme se aleje de la ciudad.

De la significancia, intensidad y tipo de relación obtenidas, digamos espaciales ya que se trata del comportamiento de las otras variables físico químicas con respecto a la altitud y distancia, vemos una clara relación tomando como referencia solo la distancia ya que fue la que presentó más y mejores relaciones con las otras variables, las cuales fueron en su totalidad inversamente proporcionales. Las variables (COT, DQO, PO₄, NT, NO₂, pH, Turbidez, Temperatura) son indicadores de calidad de agua, según sus concentraciones, se ven aumentadas conforme se acerquen a la zona urbana, indicando que la calidad de agua presente en la zona urbana es mala o pésima, esto ha sido visto anteriormente en los Figuras realizados para cada variable, donde se aprecia también la tendencia que presentan con respecto a la altitud, siendo que la parte alta o zona rural y la parte media o zona peri

urbana son las que presentan mejor calidad de agua, donde las concentraciones de estas variables son estables y casi homogéneas para estas zonas, y muy pocas veces se obtuvo valores superiores al ECA. Siendo solo un caso especial el del pH, el cual presentó también valores muy bajos en la zona rural, estando estos posiblemente influenciados por factores externos y muy probablemente eventuales.

PRATI

El índice PRATI de calidad de agua tuvo como resultados, un 82.5% representado por 33 puntos de muestreo con calidad determinada como excelente, 6 puntos de muestreo (15%) calidad aceptable, y 1 punto de muestreo (2.5%) de calidad contaminada. Este último punto se encuentra en la parte más baja de la cuenca, dentro de la zona denominada “urbana”, dicha contaminación se demuestra porque presenta la más baja concentración de oxígeno disuelto de todos los puntos de muestreo (76.5mg/L), la más elevada concentración de NO₃ (Amonio) 3.775mg/L, así como de Demanda química de oxígeno (48.9mg/L), los puntos de muestreo con calidad aceptable se encuentran repartidos en las zonas (urbana y rural), mientras que los puntos de muestreo con calidad excelente se encuentran distribuidos a lo largo de toda la cuenca. Siendo el punto 22 el que obtuvo mejor calificación entre los clasificados como excelentes, que se encuentra en la denominada “zona rural”, y el único punto de muestreo calificado como contaminado, que se encuentra en la “zona urbana”, obtuvo el mayor puntaje de contaminación de todos los 40 puntos muestreados.

Tabla 12. Número de puntos de muestreo ubicados en las categorías de calidad de agua del índice PRATI.

CALIDAD	PUNTOS	% DEL TOTAL DE PUNTOS MUESTREADOS
Excelente	33	82.5%
Aceptable	6	15%
Ligeramente contaminado	0	0%
Contaminado	1	2.5%
Muy contaminado	0	0%
TOTAL	40	100%

Los resultados obtenidos coinciden en líneas generales, con un estudio similar realizado por Beeckam (2017) en la misma zona del Río Mashcón, el cual encontró que el 80% de sus puntos de muestreo presentaron un tipo de calidad de agua “excelente” según el índice Prati, observándose una tendencia negativa en cuanto a la calidad de agua, siendo los puntos de muestreo más bajos los que presentaron un paso de calidad tipificada como “contaminado”.

El índice de calidad de agua PRATI utiliza parámetros muy relacionados, los cuales son pH, oxígeno disuelto (OD), amonio (NH_4), nitratos (NO_3) y demanda química de oxígeno (DQO), los que en su mayoría tuvieron valores bajos para los puntos de muestreo de la parte baja (zona urbana), siendo principalmente los que se encontraron a menor altitud y no necesariamente todos los de la zona urbana, ya que con los valores obtenidos con el índice PRATI, se determinó que el único punto de muestreo que obtuvo la calificación “contaminado” fue el punto 40 el cual fue el peor punto en cuanto a los parámetros que se necesitan para el cálculo del índice. Ya que en su mayoría (33 puntos de muestreo) obtuvieron la clasificación tipificada como “Excelente”, esto fue debido a que los valores de cada parámetro para los puntos de muestreo que obtuvieron este resultado fueron muy homogéneos, solo con alteraciones leves en cuanto a sus valores máximos y mínimos.

Finalmente, en general se determinó que la cuenca en estudio presenta una calidad “Excelente a aceptable” ya que fueron estas dos calidades las que representan casi en su totalidad a los puntos de muestreo con excepción del punto 40 que presentó calidad “contaminado”.



Figura 25. Distribución de los puntos de muestreo con coloración de acuerdo al índice PRATI.

4.2.2. Parámetros Biológicos – Índice “Biological Monitoring Working Party” (BMWP)

Se encontraron 3778 individuos de macroinvertebrados distribuidos en 38 familias, yendo desde los más sensibles como Hydrobioscidae, hasta los más tolerantes a la contaminación como Chironomidae.

Los resultados obtenidos del índice BMWP para calidad de agua usando macroinvertebrados como indicadores determinan el “estado ecológico” cuyos resultados fueron un 43% (representado en 6 puntos de muestreo) que obtuvieron la clasificación “aceptable”, 45% (9 puntos de muestreo) la clasificación “regular”, 11% representado en 4 puntos la clasificación “mala” y 1 % representado por 1 punto la clasificación “pésima”.

El estado ecológico tipificado como “bueno” no se obtuvo en ningún punto de muestreo. El estado ecológico “aceptable” que se registró en 6 puntos de muestreo, tuvo como familias más comunes a Baetidae, Elmidae, Chironomidae, que presentan valores diversos, es decir desde familias más tolerantes a la contaminación como Chironomidae, hasta familias menos tolerantes como Hydrobioscidae, Baetidae o Chordodidae, Las cuales dieron un rango de valores de 61 a 84 para su evaluación y clasificación como estado aceptable (ver tabla 14).

Para el estado ecológico “regular”, el cual registro la mayor cantidad de puntos de muestreo (casi la mitad del total de puntos muestreados), estos tuvieron valores que van desde 37 hasta 58 que fueron dados por la presencia de familias como: Baetidae, Elmidae, Chironomidae que presentan mediana tolerancia a la contaminación de sus hábitats.

En cambio, para el estado ecológico “malo”, los valores obtenidos fueron en un rango de 19 a 33 los cuales están representados en su mayoría por familias de Macroinvertebrados muy tolerantes como Tubificidae, Tipulidae, limoniidae.

Finalmente, para el estado ecológico “pésimo”, se registró el valor de 5 que está representado únicamente por 3 familias: Chironomidae, Psychodidae, Tubificidae. Familias muy tolerantes a la contaminación y que son las que presentan menores valores (2-2-1 respectivamente) para la clasificación de los estados ecológicos.

Tabla 13. Número de puntos de muestreo ubicados en las categorías del índice BMWP.

Estado ecológico	N° de puntos	%
Buena	0	0%
Aceptable	6	43%
Regular	9	45%
Mala	4	11%
Pesima	1	1%
TOTAL	20	100%

Tabla 8. Valor total obtenido por punto de muestreo y familias de macroinvertebrados reportadas.

PM	VALOR	FAMILIAS
39	39	Dugesiiidae, Glossosomatidae, Hyallelidae, Simuliidae, Sphaeriidae, Tubificidae
41	33	Chironomidae, Glossiphoniidae, Hyallelidae, Physidae, Simuliidae, Sphaeriidae, Tubificidae
1	72	Baetidae, Chironomidae, Chordodidae, Elmidae, Hyallelidae, Hydrobioscidae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Leptohiphidae, Tubificidae
38	62	Baetidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Elmidae, Hyallelidae, Hydrobioscidae, Hydrobioscidae, Hydropsychidae, Hydropsychidae, Leptoceridae, Leptohiphidae, Tipulidae, Tubificidae
4	37	Baetidae, Chironomidae, Hyallelidae, Hydropsychidae, Limoniidae, Simuliidae, Tipulidae, Tubificidae
10	5	Chironomidae, Psychodidae, Tubificidae
11	58	Baetidae, Calamoceratidae, Elmidae, Helicopsychidae, Hyallelidae, Hydrobioscidae, Leptoceridae, Scirtidae, Tubificidae
12	46	Baetidae, Elmidae, Helicopsychidae, Hydropsychidae, Leptoceridae, Leptohiphidae, Limoniidae
13	61	Baetidae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Elmidae, Hyallelidae, Hydropsychidae, Leptoceridae, Tubificidae
45	48	Aeshnidae, Baetidae, Calamoceratidae, Chironomidae, Culicidae, Hyallelidae, Hydrophilidae, Physidae, Staphylinidae, Tipulidae, Tubificidae
15	76	Baetidae, Calamoceratidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Culicidae, Elmidae, Hyallelidae, Hydraenidae, Hydropsychidae, Physidae, Psephenidae, Simuliidae, Tipulidae, Tubificidae
19	23	Elmidae, Hydropsychidae, Scirtidae, Tabanidae, Tubificidae
18	67	Baetidae, Elmidae, Helicopsychidae, Hydrobioscidae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Leptohiphidae, Simuliidae
43	52	Baetidae, Chironomidae, Elmidae, Hyallelidae, Hydraenidae, Hydrophilidae, Libellulidae, Physidae, Simuliidae, Tipulidae, Tubificidae
30	84	Baetidae, Calamoceratidae, Chironomidae, Elmidae, Empididae, Glossosomatidae, Gripopterygidae, Helicopsychidae, Hyallelidae, Hydrobioscidae, Limoniidae, Scirtidae, Tipulidae, Staphylinidae
34	30	Chironomidae, Elmidae, Empididae, Gyrinidae, Hydropsychidae, Limoniidae, Tipulidae
28	19	Chironomidae, Elmidae, Gyrinidae, Limoniidae, Tipulidae
24	58	Baetidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Elmidae, Hyallelidae, Hydrobioscidae, Hydropsychidae, Lymnaeidae, Simuliidae
23	57	Baetidae, Calamoceratidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Elmidae, Gyrinidae, Helicopsychidae, Leptoceridae, Limoniidae, Scirtidae, Tubificidae
25	45	Ceratopogonidae, Chironomidae, Elmidae, Helicopsychidae, Hydrobioscidae, Limoniidae, Scirtidae, Sphaeriidae

La importancia del uso de macro-invertebrados en evaluaciones de calidad de agua, se ha generalizado, pues estos son ampliamente usados como bioindicadores en la actualidad (Resh 2008), ya que presentan una amplia distribución geográfica, su muestreo es sencillo y barato, poseen una taxonomía bien conocida a nivel de familia y género, así como su sensibilidad a diferentes tipos de contaminación (Bonada *et al.* 2006), Es por estas condiciones que los macro-invertebrados poseen tal importancia de la calidad del agua.

El nivel taxonómico más adecuado debería ser el de especie, pero esto requeriría mayores esfuerzos y costos (Puntí 2007) para su identificación, por lo cual se ha aceptado el nivel de familia, como el más utilizado para estudios de bioindicación.

Los macro-invertebrados proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua, y, al usarlos en el monitoreo, se puede entender claramente el estado en que ésta se encuentra, algunos de ellos requieren agua de buena calidad para sobrevivir, en cambio otros resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación (Carrera *et al*, 2001).

4.3 Comparación de la información digital del proyecto ZEE del Gobierno Regional con la obtenida en campo, para uso de la tierra en la zona de estudio

Las actividades humanas se clasificaron según su forma de obtención, ya sea por observación directa, observación y estimación de porcentajes en protocolos y los obtenidos del ZEE, con estos datos obtenidos se elaboró una matriz (ver anexo. 2) para su posterior procesamiento y descripción.

Para la investigación en cuanto al uso de tierras los resultados obtenidos de observación directa en campo para las zonas baja, media y alta de la cuenca del río Maschón en comparación con el protocolo (basado en “Australian River Assessment System: AUSRIVAS Physical Assessment Protocol”), y la data del ZEE del Gobierno Regional de Cajamarca se presentan en la tabla 10; en la cual se aprecian los criterios de uso de suelo para cada tipo de evaluación, considerando el uso más común y menos común en las tres zonas, los cuales en su mayoría guardan cierta relación en cuanto a lo establecido y lo real, con excepción del caso de la zona inferior que presenta como la menos común a la zona para conservación de fauna endémica como clasificación del ZEE, pero en la realidad presenta áreas residenciales y tierras cultivables.

Tabla 10. Criterios de evaluación de usos del suelo para cada zona en la cuenca.

Descripción		Criterios de evaluación para usos del suelo		
Partes de la cuenca		Observación Directa	Protocolo de muestreo	Gobierno Regional ZEE
Alta	Más común	Pastos, árboles, arbustos	Arbustos / grupos de árboles	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media, potencial Energético renovable y Turístico
	Menos común	Zona residencial, restaurant campestre, terrenos agrícolas	Áreas residenciales y tierra cultivable	Zonas para conservación de Fauna endémica
Media	Más común	Árboles, pastos, ganado	Arbustos / grupos de árboles	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero
	Menos común	Área urbana, lavado de vehículos, criadero de chanchos	Vegetación herbácea natural	Zonas de uso agrícola en Tierras para producción forestal
Baja	Más común	Árboles, pastos, urbanización	Pastizales	Zonas para pastos con calidad agrológica media asociadas a Tierras de protección y potencial Minero
	Menos común	Residencial, invernadero, agrícola, pasto	Tierra cultivable y áreas residenciales	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero

De la Tabla 10 elaborada para agrupar y comparar los criterios utilizados, se puede apreciar que las actividades de uso de suelo difieren en gran parte ya que fueron usadas 3 formas de obtención de los datos, la observación directa sirve para especificar las actividades humanas presentes en los puntos de muestreo, la clasificación según los protocolos, sirven a un nivel de clasificación predeterminada según el porcentaje de presencia observada en los puntos de muestreo, y por último el uso de la clasificación de zonas según el ZEE necesario pues esa zonificación está dada para el correcto uso de las tierras y así contribuir al adecuado desarrollo de la población de modo que esta aproveche sus recursos de la manera correcta, pues en este caso, se ha considerado solo las actividades más comunes y menos comunes por zona de la cuenca, las mismas que dan una visión más general de la variación de usos a lo largo de la cuenca, una de las razones es porque al ser propiedades privadas, los propietarios son quienes deciden los usos que les darán a sus tierras, las cuales no necesariamente serán las más adecuadas o las designadas por el estudio del ZEE, causando un desorden referente a los usos adecuados y no solo el uso en sí, sino también que las actividades que estos desarrollan afectan de manera directa e indirecta al cuerpo de agua, siendo principalmente contaminación de tipo orgánica e inorgánica, pues existen letrinas, desagües que dan directamente al curso del río, derrumbes, la caída de un puente, agricultura en media y gran extensión, presencia de invernaderos de rosas, población que usa las aguas como lavaderos improvisados de ropa y vehículos, extracción de madera al borde del río, industria chancadora de piedra, establecimientos de comida, urbanización sin un correcto orden, presencia de pastizales, ganadería, además del común arrojado de basura en las aguas del río. Estas son algunas de las actividades puntuales que se pueden apreciar y que causan impactos sobre la calidad del agua.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se identificaron 11 actividades antrópicas siendo las más importantes: Letrinas, desagües, derrumbe y construcción de puente, actividades agropecuarias, lavaderos, actividad forestal (extracción de madera), canteras, urbanización, criadero de animales y acumulación de basura.
- Los parámetros fisicoquímicos de acuerdo al índice PRATI, demostraron que en un 82.5% los puntos de muestreo presentaron una calidad de agua “excelente”, por lo cual podemos afirmar que el estado de la calidad del agua de la cuenca del río Mashcón, basado en estos parámetros es bueno en su mayoría. Asimismo, el parámetro biológico basado en el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), confirma el buen estado ecológico del agua de la cuenca del río Mashcón, con un 43% de los puntos de muestreo con calidad “aceptable” y un 45% con calidad “regular”, este 88% de puntos de muestreo con adecuada calidad, coinciden con los resultados del análisis de los parámetros físico-químicos.
- El uso de la información digital del proyecto de ZEE del Gobierno Regional de Cajamarca nos revela su clasificación de uso de las tierras difieren en gran medida con las encontradas en cada locación de muestreo determinadas por la observación directa y el protocolo de muestreo, siendo los usos más similares los presentes en la zona urbana donde se asienta la ciudad de Cajamarca y en la zona rural donde se conservan las tierras sin usos definidos aún en cierta medida.

5.2. Recomendaciones

- La información de la ZEE del Gobierno Regional sirvió como base para determinar el uso de la tierra, pero solo a un nivel macro, ya que da una visión muy general de la distribución de los usos aptos para las tierras, por lo que para un estudio más detallado o de mayor precisión sería necesario contar con información proporcionada por la ZEE pero a un nivel micro que contribuya a una mejor discriminación de los usos de las tierras para poder determinar mejor su impacto en su entorno o específicamente en la calidad del agua.

- Durante la aplicación del índice biológico BMWP para indicar la calidad del agua usando Macroinvertebrados bentónicos a nivel familiar, es posible apreciar que es un índice bastante útil y de rápida y fácil aplicación, por lo que considero que es de importancia hacer mayor uso de estos indicadores biológicos, ya que son muy acertados al momento de valorar la calidad ecológica de las aguas o sus hábitats.

Bibliografía:

- Acosta Vela, F. (8 de noviembre de 2016). El agua vital para la vida. El agua liquido vital para la vida. Obtenido de <http://consejosdefelipeyhernan.blogspot.com/2016/11/el-agua-vital-para-la-vida.html>
- Agua. 8 de octubre de 2016. Portal Chileno del Agua. Obtenido de Portal Chileno del Agua: <https://www.portalchilenodelagua.cl/indicadores-calidad-del-agua/>
- Alvarez Barajas, A. D. 2013. Contaminación generada por ganadería. Obtenido de <https://prezi.com/tycmbhezpsai/contaminacion-generada-por-la-ganaderia/>
- Angulo Zamora, F. 2017. Régimen del recurso hídrico:El Caso de Costa Rica. Global Water Partnership Centroamérica.
- Ascencio Sanchez, M. P. 2011. Impacto de la actividad humana en la calidad del agua del río Chia – Ingenio. Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de ciencias forestales y del ambiente, Huancayo.
- Astonitas Fernandez, Y. E. 2018. Propuesta de un sistema de tratamiendo de aguas residuales en la empresa Pevastar S.A.C. para disminuir el impacto ambiental. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Facultad de Ingeniería: Escuela de Ingeniería Industrial, Chiclayo.
- Aquilla, R. C., Astorga, Y., & Jiménez, F. 2005. Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente(48), 81-92.
- Beeckman, E. 2017. Ecological Impact Assessment of gold mining in a riverbasin in Cajamarca (PERU) based on Macroinvertebrate Community Traits. Universiteit Gent, Faculty of Bioscience Engineering, Gante.
- Benfield, E., & Niederlehner, B. 1987. Efecto de la polución sobre invertebrados de agua dulce. (Vol. 11). Water Science Technology.
- Bidault, O. 28 de Junio de 2016. ¿Qué factores determinan la calidad del agua? Water Logic.
- Bonada, N., Prat, N., & Resh, V. H. 2006. Developments In Aquatic Insect Biomonitoring: A Comparative Analysis of Recent Approaches.

- Brooks, K. N., Gregersen, H., & Thames, J., 1991. Hydrology and the management of watershed. Iowa, USA. 392 p.
- Bustamante Pesantes, K. 2015. Las actividades agrícolas (arroceras) y domésticas y sus relaciones con la calidad del agua del estero chiquito, Parroquia la Victoria, Cantón Salitre, Provincia Guayas. Universidad de Guayaquil, Unidad de postgrado investigación y desarrollo maestría en administración ambiental, Guayaquil.
- Cairns, J., & Dickson, K. 1971. A simple method for the biological assessment of the effects of the waste discharges on aquatic botton-dwelling organism.
- Cárdenas Calvachi, G. L., & Sánchez Ortiz, I. A. 2013. Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. Pasto, Colombia.
- Carrera, C. y Fierro, K. 2001. Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. EcoCiencia. Quito.
- Cisneros Marco, M. Y. 2008. Parámetros para evaluar o medir el grado de contaminación del agua.
- Cisterna Osorio, P., & Peña, D. (2017). Demanda química de oxígeno (DQO) frente a la demanda biológica de oxígeno (DBO). Oviedo. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>
- D'Angelo, M. (9 de setiembre de 2016). Recuperado el 4 de diciembre de 2018, de General Water Company Argentina web site: <https://gwc.com.ar/>
- Demarco, D. 2010. Impacto ambiental de la ciencia y la tecnología en sistemas agropecuarios y su relación con el desarrollo humano sustentable. Córdoba.
- Dorronsoró, C. 2001. Salinidad del agua de riego. Informe, Universidad de Granada, Granada. Documento en línea revisado en: <https://es.scribd.com/document/126947760/Salinidad-Del-Agua-de-Riego1>
- Durán Juárez, J. M., & Torres Rodríguez, A. 2006. Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad de Guadalajara., Departamento de Estudios Socio-Urbanos del Centro, Guadalajara. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/esprial/v12n36/v12n36a5.pdf>
- ECO-Sitio. 2009. Contaminación de la gua a causa de la minería. Argentina.

- Environmental Protection Agency (EPA). 1982. Environmental Monitoring and Support Laboratory. Handbook for Sampling and Sample Preservation for water and wastewater.
- Espinoza JC. Marengo JA. Ronchail J. Molina J., Noriega L., Guyot JL. (2014). The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: The role of tropical-subtropical south Atlantic SST gradient. *Environm. Res. Lett.* 9 124007 doi:10.1088/1748-9326/9/12/124007
- FAO. 2005. Impacto de la ganadería en la disponibilidad y la calidad del agua. Conferencia sobre Agua para Alimentos y Ecosistemas: ¡Para que sea una Realidad! .
- Gabriels, W; Lock, K; De Pauw, N; Goethals, P. 2010. Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF) for biological assessment of rivers and lakes in Flanders (Belgium). *Limnologica* 40 (3), 199–207.
- Glosario.término. (08 de Enero de 2007). Término: Bmwp (biological monitoring working party). Obtenido de Glosario.net: [http://ciencia.glosario.net/ecotropia/bmwp-\(biological-monitoring-working-party\)-9291.html](http://ciencia.glosario.net/ecotropia/bmwp-(biological-monitoring-working-party)-9291.html)
- Gonzales Ottos, M. L. 2002. Determinación Espectrofotométrico del fenol en diferentes tipos de aguas. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias: Escuela profesional de química, Lima.
- Guerrero Chuez, N. M. 2016. Evaluación del uso de suelo y su influencia actual en la calidad del agua de la microcuenca “El Sapanal” cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, Ecuador. Tesis de maestría, Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 91 p.
- Herrera, A; Heredia, E. 2017. Determinación de los niveles de concentración de metales pesados en la Cuenca Mashcón – Cajamarca en los meses de Setiembre y Diciembre, 2016. Tesis para optar por el título de Ingeniero Ambiental - Universidad de Lambeyque. Lambayequ. 24 p.
- Jaramillo Alvarado, J. 2013. La influencia de los cambios de los usos del suelo en la calidad de las aguas de la bahía Cullera. Trabajo final de máster, Universidad Politécnica de València, Escuela Politecnica Superior de Grandía, Valencia.
- Jerónimo, P., & Álvarez, C. 2016. El agua en la agricultura familiar campesina. *LEISA Revista Agroecologica*, 25 - 43.

- Jiménez, A. A., & Barba, Á. A. 2000. Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. Madrid. 12 p.
- Kunkle, S. H. (1974). Perspectivas de la madera en los Estados Unidos - Agua - su calidad suele depender del forestal. *Unasyuva*(105), 524. Obtenido de <http://www.fao.org/3/e7730s/e7730s02.htm>
- Loayza Quispe, J. L., & Cano Rojas, P. A. 2015. Impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua de la subcuenca del río Shullcas-Huancayo-Junín. Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de ciencias forestales y del ambiente, Huancayo.
- Loné Pérez, P. P. 7 de abril de 2016. ComunidadISM. Obtenido de <http://www.comunidadism.es/blogs/el-papel-actual-de-los-indicadores-hidromorfologicos-para-la-determinacion-del-estado-ecologico-de-los-rios>
- López Velasco, R., Barragán Mendoza, C., Paalacios Ortega, R., Rodríguez Herrera, A., Castellanos Meza, C., & Martínez García, M. (2012). Turismo y contaminación ambiental en la periferia urbana de Acapulco: Ciudad Renacimiento. *El Periplo Sustentable*, 141.
- Martínez Astudillo, F. A. (marzo de 2009). Tecnología en conservación y manejo de suelos y agua, 43. cali, Colombia.
- Matthews, C. 2006. La ganadería amenaza el medio ambiente. Food and Agriculture Organization (FAO), Roma.
- Melo, A. S. 2005. Effects of taxonomic and numeric resolution on the ability to detect ecological patterns at a local scale using stream macroinvertebrates.
- Menchaca Dávila, S. 2018. Las actividades humanas y el agua. Universidad Veracruzana, Dirección de comunicación de la ciencia, Veracruz.
- Mendoza, M., 1996. Impacto de la tierra, en la calidad del agua en la microcuenca río sábalos. Cuenca del rio san juan. Turrialba, CR, CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 81
- Organización mundial de la salud (OMS). 2018. Obtenido de Organización mundial de la salud (OMS): <http://www.who.int/topics/water/es/>
- Padilla Arzaluz, L. S. 2017. Variabilidad espacial de la salinidad en suelos del distrito de riego 014, mexicali baja california. Toluca, Mexico.

- Peña Pulla, E. 2007. Calidad de agua: Trabajo de investigación oxígeno disuelto (OD). Trabajo de investigación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Perevochtchikova, M. 2011. La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales de El Colegio de México, México D.F.
- Pizarro, R. 2001. La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina. Naciones Unidas, División de Estadística y Proyecciones Económicas, Santiago.
- Prati, L.; Pavanello, R. 1971. Assessment Of Surface Water Quality By A Single Index Of Contamination. *Water Resources Research*, Vol. 5, May 1971, Pp. 456 - 467.
- Puntí, T. 2007. Ecología de les comunitats de quironòmids en rius mediterranis de referència. Tesis Doctoral. Departament d'Ecologia. Universitat de Barcelona. Barcelona.
- Quispe Mogollón, A. (2017). Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial en Cajamarca. Gobierno Regional Cajamarca, ZEE-OT Cajamarca. Cajamarca: Grupo Propuesta Ciudadana.
- Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama, E. 03 de Abril de 2014. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, XVII(1), 71-80. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Resh, V. H. (15 de mayo de 2007). Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. 131-138. California, Estados Unidos. doi:10.1007/s10661-007-9749-4
- Rodríguez, C., Miranda del Fresno, M., Miguel, R., Ulberich, A., & Ruiz de Galarreta, V. 2013. Cambios de uso del suelo e impactos sobre el agua subterránea en un barrio al Sur de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 5, 75-90. Recuperado a partir de <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/517>
- Romero Bazán, W. O. 2017. Contaminación realizada por la actividad Humana: Fuentes de contaminación Antrópica.
- Romero, H., & Alexis, V. Diciembre de 2005. Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. *Revista eure*, XXXI(94), 97-117.

- Scarlet, J. (24 de agosto de 2017). PROBLEMAS QUE AFECTAN LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA. Colombia.
- Sela, G. (2017). La Calidad del Agua de Riego. Israel. Recuperado el 21 de noviembre de 2018, de <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/irrigation-water-quality>.
- Senior Galindo, W. J. 2015. Calidad de las aguas.
- Teixeira Correia, G., Sánchez Ortiz, I. A., Dib, G., Dall'Aglio Sobrinho, M., & Matsumoto, T. 2013. Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna. UNESP; Universidad de Nariño, Departamento de Engenharia Civil; Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Brasil; Mexico.
- Toro, C. G. 2011. Monitoreo de la calidad del agua- La turbidez. Revisado en línea el 12 de junio del 2018 en <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>. 11 p.
- Tualombo Robles, L. N. 2018. Concientizar sobre los daños que sufre el ambiente a través de las actividades antrópicas. Universidad de las Fuerzas Armadas , ESPE Ciencias Económicas Administrativas y de Comercio Protección del Ambiente, Sangolquí. Obtenido de <https://www.studocu.com/en/document/universidad-de-las-americas/metodologia-de-la-investigacion/essays/informe-ii-las-actividades-antropicas-se-refieren-a-cualquier-accion-realizada-por-el/4243220/view>
- Vargas Mora, A. M. 2013. Análisis fisico-químico del agua residual PTAR campus Cajica. Univesidad Militar Nueva Granada, Programa de Ingeniería civil, Bogotá. Novotny, V. (2003). Water Quality: Diffuse pollution y Watershed management. Boston, USA: Jhon Wiley y sons.
- Younger, P. L. and Wolkersdorfer, C. 2004. Mining Impacts on the Fresh Water Environment: Technical and Managerial Guidelines for Catchment Scale Management. Mine Water and the Environment, 23:s2,s80.

ANEXOS

Anexo 1. Puntaje de sensibilidad por familia de acuerdo al BMWP

Familias	Valor
Blepharoceridae, Chordodidae, Gripopterygidae, Psephenidae	10
Hydrobioscidae, Xiphocentrodidae	9
Calamoceratidae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Lymnaeidae, Planorbidae, Sphaeriidae	8
Baetidae, Glossosomatidae, Hyallelidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Pyralidae, Simuliidae	7
Aeshnidae, Dugesiidae, Elmidae, Staphylinidae	6
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Gyrinidae, Libellulidae, Tabanidae	5
Curculionidae, Dolichopodidae, Empididae, Ephydriidae, Muscidae, Scirtidae	4
Hydrophilidae, Limoniidae, Physidae, Tipulidae	3
Chironomidae, Psychodidae	2
Tubificidae	1

Anexo 2. Base de datos de identificación de actividades antrópicas.

PM	ACTIVIDADES ANTRÓPICAS		
	PROTOCOLOS	ZEE	OBSERVACIÓN DIRECTA
40	arbustos / grupos de árboles	Zonas para cultivo en limpio con calidad agrológica media, potencial Turístico y Energético renovable	zona residencial, restaurant campestre, terrenos agrícolas
39	arbustos / grupos de árboles	Centros urbanos	toma de agua, pastos
41	área urbana	Zonas para cultivo en limpio con calidad agrológica media y potencial Energético renovable	pastos, árboles (eucaliptos)
1	área urbana	Centros urbanos	árboles (eucaliptos)
2	áreas residenciales	Centros urbanos	actividad forestal - tala, pastos, árboles, arbustos
37	tierra cultivable	Zonas para cultivo en limpio con calidad agrológica media y potencial Energético renovable	pastos, árboles y arbustos en cercos
38	arbustos / grupos de árboles	Zonas para cultivo en limpio con calidad agrológica media y potencial Energético renovable	pastos, árboles y arbustos en cercos
7	arbustos / grupos de árboles	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media, potencial Energético renovable y Turístico	pastos, ganadería
44	arbustos / grupos de árboles	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media, potencial Energético renovable y Turístico	pastos, plantaciones forestales, árboles nativos
4	arbustos / grupos de árboles	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media, potencial Energético renovable y Turístico	arbustos, pastos
8	arbustos / grupos de árboles	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media, potencial Energético renovable y Turístico	pastos, árboles, arbustos
9	arbustos / grupos de árboles	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media, potencial Energético renovable y Turístico	pastos, árboles en cercos
10	arbustos / grupos de árboles	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media, potencial Energético renovable y Turístico	pastos, actividad forestal (tala), plantaciones

11	vegetación herbácea natural	Zonas para conservación de Fauna endémica	pastos
35	vegetación herbácea natural	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media, potencial Energético renovable y Turístico	plantaciones de pino
5	arbustos / grupos de árboles	Zonas de uso agrícola en Tierras para producción forestal	pastos, árboles y arbustos en cercos
12	arbustos / grupos de árboles	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero	pastos, árboles en cercos
13	vegetación herbácea natural	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero	árboles en cercos, pastos, ganado
14	pastizales	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero	pastos, ganado, árboles, zona residencial, cultivos
16	vegetación herbácea natural	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero	peri urbana, residencial, caminos, carreteras, agrícolas, árboles, arbustos, ganado
45	pastizales	Zonas de uso agrícola en Tierras para pastos y potencial Minero	pastos, casas, árboles, ganado
15	vegetación herbácea natural	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero	pasto, ganado
21	arbustos / grupos de árboles	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero	pasto, ganado, casas, árboles, desagües
17	arbustos / grupos de árboles	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero	casas, árboles, pasto, recolección de basura, letrinas
19	pastizales	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero	área urbana, lavado de vehículos, chanchos
18	arbustos / grupos de árboles	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero	árboles, letrinas, agricultura, desagües, urbana
20	pastizales	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero	agricultura, árboles, chancadora de piedras, crianza de cerdos, letrinas, casas, lavado de ropa
43	tierra cultivable	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero	árboles pastos, desmonte, zona residencial, terrenos agrícolas, invernadero

42	área urbana	Zonas para producción forestal con calidad agrológica media y potencial Minero	pastos, árboles, desmonte, piedras, tubos, modificación del curso del río
46	área urbana	Zonas para pastos con calidad agrológica media asociadas a Tierras de protección y potencial Minero	árboles, letrinas, pasto, ganado, cerdos
30	pastizales	Zonas para pastos con calidad agrológica media asociadas a Tierras de protección y potencial Minero	árboles, pastos, urbanización, movimiento de tierras
34	arbustos / grupos de árboles	Zonas para pastos con calidad agrológica media asociadas a Tierras de protección y potencial Minero	árboles, pastos, urbanización
32	arbustos / grupos de árboles	Zonas para pastos con calidad agrológica media asociadas a Tierras de protección y potencial Minero	árboles, pastos, urbanización
29	pastizales	Zonas para pastos con calidad agrológica media asociadas a Tierras de protección y potencial Minero	árboles, residencial, lavadero de ropa, desmonte, agricultura, pasto
27	tierra cultivable	Zonas para pastos con calidad agrológica media asociadas a Tierras de protección y potencial Minero	árboles, invernaderos, desmonte, agricultura, pasto, letrinas, reparación de puente-movimiento de tierras
28	áreas residenciales	Zonas para pastos con calidad agrológica media asociadas a Tierras de protección y potencial Minero	árboles, pastos, lavado de ropa, agricultura, residencial
22	pastizales	Zonas para conservación de cabeceras de cuenca, Fauna endémica y potencial Minero	pastos, ganado, árboles
24	pastizales	Zonas para conservación de cabeceras de cuenca, Fauna endémica y potencial Minero	residencial, invernadero, agrícola, pasto
23	pastizales	Zonas para conservación de cabeceras de cuenca, Fauna endémica y potencial Minero	árboles
25	pastizales	Zonas para conservación de cabeceras de cuenca, Fauna endémica y potencial Minero	árboles

Anexo 3. Coordenadas de las locaciones muestreadas.

CÓDIGO	E	N
25	773576	9222653
23	773637	9222425
27	771849	9221905
28	771825	9221848
29	771868	9221773
32	771945	9221566
30	771884	9221273
34	771867	9221279
46	771935	9220969
24	774336	9220666
22	774348	9220644
42	774600	9217969
43	774706	9216946
20	774098	9216542
19	773959	9216529
18	773933	9216537
17	773891	9216479
21	773449	9216377
16	773587.1	9216250.93
15	773664	9215852
14	773865	9215505
13	773847	9215478
12	773793	9215395
45	770530.8	9214667.03
5	770766	9214162
35	772562	9213707
4	772823	9213293
11	773471	9213688
9	773424	9213626
8	773424	9213616
44	773140.4	9212850.34
7	773119	9212807
38	773433	9210842
37	773820	9209672
2	774617	9209777
1	775204	9209782
39	777160	9209635
41	777738	9209742
40	778522	9207277