

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



TESIS:

**“EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARÁMETROS
BACTERIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU IMPACTO EN
EL RÍO LALICUCHO – CAJABAMBA”**

Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por el Bachiller:
JHENER JHONEL QUISPE ALCÁNTARA

Asesores:
Ing. MCs. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI
Ing. JORGE SILVESTRE LEZAMA BUENO

CAJAMARCA – PERÚ

2021

COPYRIGHT © 2021 by

JHENER JHONEL QUISPE ALCÁNTARA

Todos los derechos reservados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de febrero de 1,962
"Norte de la Universidad Peruana"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Secretaría Académica

-----000-----

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Celendín, a los ocho días del mes de junio del año dos mil veintiuno, se reunieron en la Plataforma Virtual de la Universidad Nacional de Cajamarca, a través del Google Meet, los miembros del Jurado, designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 150-2020-FCA-UNC, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: "**EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU IMPACTO EN EL RÍO LALICUCHO - CAJABAMBA**", ejecutado(a) por el Bachiller en Ciencias Ambientales, don JHENER JHONEL QUISPE ALCÁNTARA para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las OCHO horas y DIEZ minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la APROBACIÓN por UNANIMIDAD con el calificativo de **DIECISEIS (16)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para que inicie los trámites y se le otorgue el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

A las DIEZ horas y DIEZ minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Dr. Agustín Emerson Medina Chávez
PRESIDENTE

Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez
Horna
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas
VOCAL

Ing. M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
ASESOR

Ing. Jorge Silvestre Lezama Bueno
ASESOR

DEDICATORIA

A:

Dios, quien supo guiarme por el buen camino y brindarme la sabiduría para avanzar profesionalmente, dándome la fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Mi madre (Irmita), por su apoyo incondicional, por el ser el pilar de mi formación profesional y mi principal educadora, gracias por los sabios consejos impartidos y por depositar su confianza en mí al 100%, sin ella no hubiese podido sumar cada logro en mi formación profesional y como persona.

Pilar, más que mi hermana, mi amiga, por su constante motivación y mostrarme a lo largo de los años su respeto y resaltando siempre lo orgullosa que está de mí. Gracias por celebrar siempre conmigo cada logro por más pequeño que haya sido.

Mi hermano Juan Carlos, que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo, muchas veces poniéndose en el papel de padre.

Smith, Diego, Carlita y mi pequeño guerrero Liam, mis sobrinos queridos, este trabajo es por ellos y para ellos.

Finalmente, dedico este trabajo al amor de mi vida, Sam, por ser la fuerza motriz para seguir adelante y mi fortaleza en todo lo que hago, conocerte ha sido lo mejor que ha pasado en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca, mi alma máter, y a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, por haberme permitido ser parte de ella y abierto las puertas en su seno científico para poder estudiar mi carrera; de la misma manera, a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo en mi formación profesional.

Agradezco a mis asesores de tesis, el Ing. Darwin Díaz Mori, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, y tener predisponibilidad incondicional para guiarme durante el desarrollo de la tesis. Por otro lado, al Ing. Jorge Silvestre Lezama Bueno, por su tiempo y los conocimientos impartidos en cada decisión tomada dentro del proceso de ejecución de la tesis, gracias por el gran aporte profesional a este trabajo.

El apoyo de mi familia en cada decisión y proyecto fue en todo momento fundamental. No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a su motivación, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

Gratitud a mis mejores amigos: Meyner, por confiar siempre en mí y motivarme siempre en cada desafío y logro alcanzado; Carin, más que mi amiga una segunda madre, gracias por el apoyo incondicional y amistad en el trabajo. Finalmente, agradecer al ing. Tito Díaz por su apoyo y las facilidades en la recolección de muestras en la PTAR de la localidad de Cajabamba.

CONTENIDO

RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I.....	2
DEDICATORIA.....	10
AGRADECIMIENTOS.....	10
CONTENIDO.....	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	1
CAPÍTULO I.....	2
INTRODUCCIÓN	2
1.1. Problema de la investigación	4
1.2. Formulación del problema	6
1.3. Objetivos de la investigación	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Hipótesis de la investigación	6
CAPÍTULO II	7
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Bases teóricas.....	12
2.2.1. Calidad del agua.....	12
2.2.2. Agua residual	13
2.2.3. Clasificación de las aguas residuales	13
2.2.4. Caracterización biológica de las aguas residuales	14
2.2.5. Caracterización bacteriológica de las aguas residuales.....	15
2.2.6. Caracterización parasitológica de las aguas residuales.....	18
2.2.7. Métodos de tratamiento de las aguas residuales	21

2.2.8.	Sistema de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Cajabamba	24
2.2.9.	Procesos de tratamiento de la PTAR Cajabamba.....	26
2.2.10.	Tratamiento de aguas residuales con filtros percoladores.....	26
2.2.11.	Determinación de la eficiencia de remoción en el tratamiento de aguas residuales	28
2.2.12.	Límites Máximos Permisibles (LMP).....	29
2.2.13.	Estándares de Calidad del Agua (ECA-AGUA)	31
2.2.14.	Impacto de las aguas residuales sobre el cuerpo receptor	32
2.3.	Definición de términos básicos	33
CAPÍTULO III.....		36
MARCO METODOLÓGICO		36
3.1.	Ubicación del trabajo de Investigación.....	36
3.2.	Materiales.....	39
3.2.1.	Puntos de monitoreo - muestras	39
3.2.2.	Equipos	39
3.2.3.	Materiales de campo	39
3.2.4.	Indumentaria de protección.....	40
3.2.5.	Materiales de escritorio	40
3.3.	Metodología.....	41
3.3.1.	Etapas de Campo	41
3.3.2.	Etapas de Laboratorio.....	45
3.3.3.	Etapas de Gabinete	46
3.4.	Tipo de investigación.....	46
CAPÍTULO IV		47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		47
4.1.	Resultados de los parámetros bacteriológicos en la PTAR Cajabamba.....	47
4.1.1.	Concentración de coliformes termotolerantes en el afluente y efluente	47
4.1.2.	Eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes	49
4.1.3.	Concentración de coliformes termotolerantes en el río Lalicucho.....	50
4.1.4.	Concentración de <i>Escherichia coli</i> en el afluente y efluente de la PTAR	52
4.1.5.	Eficiencia de remoción de <i>Escherichia coli</i>	53
4.1.6.	Concentración de <i>Escherichia coli</i> en el río Lalicucho	54
4.2.	Resultados de los parámetros parasitológicos.....	57
4.2.1.	Concentración de huevos de helmintos en el afluente y efluente de la PTAR.....	57
4.2.2.	Eficiencia de remoción de huevos de helmintos	59

4.2.3. Concentración de huevos de helmintos en el río Lalicucho.....	60
CAPÍTULO V.....	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
5.1. Conclusiones.....	66
5.2. Recomendaciones	67
CAPÍTULO VI.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	69
APÉNDICES	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas

1. Caudales a ser drenados a la PTAR Cajabamba	25
2. Eficiencia de tratamiento de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales	28
3. Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR.....	30
4. Concentración de patógenos en el efluente de una PTAR para riego.....	31
5. Parámetros microbiológicos y parasitológicos de los ECA Agua: Categoría 3.....	32
6. Ubicación de los puntos de muestreo en la PTAR y río Lalicucho	37
7. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo	42
8. Conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro evaluado	43
9. Parámetros y metodología utilizada por el laboratorio	45
10. Comparación de la concentración de coliformes termotolerantes en el efluente y el río Lalicucho	51
11. Índice NMP y el 95% límites de confianza para varias combinaciones de resultados positivos cuando cinco tubos son usados por dilución (10 mL, 1.0 mL, 0.1 mL).....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras

1. Croquis de ubicación de la zona de estudio	38
2. Ubicación de los puntos de muestreo en la zona de estudio	38
3. Concentración de coliformes termotolerantes en el afluente y efluente de la PTAR Cajabamba.....	47
4. Concentración de coliformes termotolerantes en el efluente de la PTAR	48
5. Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes en la PTAR	49
6. Concentración de coliformes termotolerantes en el río Lalicucho (PC-01)	52
7. Concentración de <i>E. coli</i> en el afluente y efluente de la PTAR.....	53
8. Eficiencia de remoción de <i>E. coli</i> en el sistema de tratamiento de la PTAR.....	54
9. Concentración de <i>Escherichia coli</i> en el río Lalicucho	55
10. Huevos de Helmintos (HH/L) en el afluente y efluente de la PTAR.....	59
11. Porcentaje de remoción de Huevos de Helmintos (HH/L) en la PTAR	60
12. Huevos de Helmintos (HH/L) en el río Lalicucho.....	61
13. Distribución de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales de la localidad de Cajabamba (PTAR).....	78
14. Filtro percolador de la PTAR Cajabamba.....	78
15. Identificación del afluente (PT-01) de la PTAR para la toma de muestras	79
16. Toma de muestras en el afluente (PT-01) de la PTAR Cajabamba	79
17. Toma de muestras en el efluente (PT-01) de la PTAR Cajabamba	80
18. Toma de muestras en el Lalicucho, punto PC-01	80
19. Toma de muestras en el Lalicucho, punto PC-02	81
20. Supervisión de PRO-REGIÓN en la toma de muestras en la PTAR Cajabamba..	81
21. Refrigeración in-situ de las muestras tomadas en la PTAR.....	82
22. Análisis de las muestras en el Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca	82

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar la eficiencia de remoción de parámetros bacteriológicos y parasitológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales y su impacto en el río Lalicucho de la localidad de Cajabamba, durante el periodo de octubre de 2019 a marzo de 2020.

Los parámetros bacteriológicos evaluados fueron coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, además de huevos de helmintos dentro de los parámetros parasitológicos, siendo estos últimos muy resistentes a procesos de desinfección con cloro y su relevancia por ser indicadores con potencial de riesgo para la salud poblacional (Bitton 1994). Los puntos de monitoreo se ubicaron en el afluente y efluente de la PTAR, obteniéndose concentraciones promedio en el afluente de $1.95E+07$ NMP/mL, $1.06E+07$ NMP/mL y 19 HH/L respecto a coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y huevos de helmintos secuencialmente, por otro lado, en el efluente, las concentraciones fueron de $1.67E+06$ NMP/mL, $1.05E+06$ NMP/mL y 22 HH/L respectivamente. Por lo tanto, se determinó que la PTAR Cajabamba no es eficiente en la remoción de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y huevos de helmintos, presentando porcentajes del 67%, 71% y 35% respectivamente.

Finalmente, el río Lalicucho como cuerpo receptor de los efluentes de la PTAR Cajabamba, presentó, a 200 metros aguas arriba del efluente, concentraciones de $1.03E+04$ NMP/mL sobre coliformes termotolerantes, recuentos de $3.75E+04$ NMP/mL de *Escherichia coli*, y 5 HH/L, por otro lado, a 200 metros aguas abajo del punto de vertimiento del efluente con el cuerpo receptor, las concentraciones de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y huevos de helmintos fueron de $2.97E+04$ NMP/mL, $1.37E+04$ NMP/mL y 10 HH/L respectivamente. Estos valores superan considerablemente los LMP y ECAs (categoría 3), resultando ser no apto para el riego de vegetales.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the efficiency of removal of bacteriological and parasitological parameters in the wastewater treatment plant and its impact on the Lalicucho river in the town of Cajabamba, during the period from October 2019 to March 2020.

The bacteriological parameters evaluated were thermotolerant coliforms and *Escherichia coli*, in addition to helminth eggs within parasitological parameters, the latter being very resistant to chlorine disinfection processes and their relevance as indicators with potential for risk to public health (Bitton 1994). The monitoring points were located in the influent and effluent of the PTAR, obtaining average concentrations in the influent of $1.95E+07$ NMP/mL, $1.06E+07$ NMP/mL and 19 HH/L with respect to thermotolerant coliforms, *Escherichia coli* and helminths eggs sequentially, on the other hand, in the effluent, the concentrations were $1.67E+06$ NMP/mL, $1.05E+06$ NMP/mL and 22 HH/L respectively. Therefore, it was determined that the PTAR Cajabamba is not efficient in the removal of thermotolerant coliforms, *Escherichia coli* and helminth eggs, presenting percentages of 67%, 71% and 35% respectively.

Finally, the Lalicucho River, as the receiving body of the effluents of the PTAR Cajabamba, presented, 200 meters upstream of the effluent, concentrations of $1.03E+04$ NMP/mL on thermotolerant coliforms, counts of $3.75E+04$ NMP/mL of *Escherichia coli*, and 5 HH/L, on the other hand, 200 metres downstream of the effluent discharge point with the receiving body, concentrations of thermotolerant coliforms, *Escherichia coli* and helminth eggs were $2.97E+04$ NMP/mL, $1.37E+04$ NMP/mL and 10 HH/L respectively. These values significantly exceed the LMP and ECAs (category 3), and are not suitable for irrigation of vegetables.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El buen manejo de recursos hídricos y con ello la dotación de agua potable y saneamiento son fundamentales para el desarrollo de las ciudades, sin embargo, sin un saneamiento adecuado se puede generar dos tipos de problemas: de salud pública, particularmente importante en nuestra región por la alta incidencia de enfermedades infecto contagiosas, cuyos agentes patógenos se dispersan en el ambiente de manera eficiente a través de las excretas o las aguas residuales crudas, y los problemas ambientales, por afectar la conservación o protección de los ecosistemas acuáticos y del suelo, lo que contribuye a la pérdida de valor económico del recurso y del medio ambiente, lo que genera a su vez una disminución del bienestar para la población ubicada aguas abajo de las descargas, esto debido, entre otros problemas, en que el tratamiento y control de aguas residuales aun no alcanza el nivel de importancia que debería tener (Silva 2008).

La principal causa de afectación de los cuerpos de agua del país es el vertimiento de aguas residuales domésticas y municipales con un sistema de tratamiento deficiente, que modifica o altera la calidad de los cuerpos de agua con bacterias fecales, materia orgánica, amoníaco, nitritos y otros parámetros que no permiten su utilización para los usos agrícola, producción de agua potable y conservación del ambiente acuático, entre otros (Fernández 2015).

Un alto nivel de bacterias coliformes fecales (termotolerantes), por lo general, indica la presencia en el agua de una gran cantidad de heces y otros materiales orgánicos sin tratar, que pueden tener un serio impacto en el ambiente. La materia orgánica que acoge a las bacterias se descompone aeróbicamente, lo que puede disminuir seriamente los niveles de oxígeno y causar la muerte de peces y otros ejemplares de la vida silvestre que dependen del oxígeno (OMS 2006).

Según el diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento, en nuestro país existen 204 PTARs administradas por 51 Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS). Se determinó que el 26% de las PTAR realizan la disposición de sus efluentes en canales de regadío o canales de drenaje, por otro lado, en los resultados del monitoreo de efluentes de PTAR, se observó que el 32% de las PTAR cumplen con los LMP y el 68% superan dichos límites respecto a los parámetros de Coliformes Termotolerantes, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (Ministerio de Vivienda, 2016).

En la ciudad de Cajamarca hasta la fecha, son descargados 194 L/seg de aguas residuales a la cuenca del Mashcón y Chonta, sin recibir ningún tratamiento previo. La Administración Local del Agua, revela que el punto de monitoreo más crítico se ubica en el río Mashcón, cuyos resultados superan los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), por la masiva presencia de coliformes termotolerantes (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento 2015).

En la ciudad de Cajabamba, el cuerpo receptor de los efluentes generados por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) está determinado por el río Lalicucho, el mismo que descarga al río Cajabamba, tributario del Condebamba, y

este a su vez al río Crisnejas. La Autoridad Nacional del agua (ANA), ha calificado al río Cajabamba, como de clase III, es decir para uso agrícola (Aquino 2017).

Considerando que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la localidad de Cajabamba trata el 62% de las aguas residuales de la población cajabambina, resulta fundamental mencionar que aguas abajo del río Lalicucho al que se vierten las aguas residuales tratadas, existe una gran cantidad de parcelas de cultivos agrícolas sobre todo hortalizas de tallo bajo propios del valle Condebamba que son irrigadas con las aguas del cuerpo receptor, además, los vegetales y hortalizas de estas zonas agrícolas son comercializados en el mercado local de Cajabamba.

En tal sentido, el objetivo del trabajo de investigación consistió en determinar la eficiencia de remoción de parámetros bacteriológicos (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*) y parasitológicos (huevos de helmintos) de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Cajabamba. Para determinar dicha eficiencia, se tomaron muestras del afluente y efluente y se determinaron las características bacteriológicas y parasitológicas permitiendo obtener una correcta evaluación de su funcionamiento asociado al cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP), y su impacto en el río Lalicucho, cuyos resultados finalmente permitirán establecer mejoras técnicas en la operatividad de la PTAR y optimizar el tratamiento de las aguas residuales minimizando los impactos sobre el ambiente y la salud poblacional en la ciudad de Cajabamba.

1.1. Problema de la investigación

La planta de tratamiento de aguas residuales municipales de Cajabamba fue recientemente puesta en operación, en ella se realiza un tratamiento primario y secundario empleándose la tecnología de filtros percoladores, que permiten obtener efluentes de mayor calidad ya que permite una mayor estabilización de la materia

orgánica, y una reducción en el contenido de nutrientes, bacterias, coliformes y huevos de helmintos. Dichos efluentes son vertidos hacia el río Lalicucho, el cual se une con el río Cajabamba y conforman el río Lanla, desconociéndose a la fecha, la eficiencia del tratamiento de la PTAR referente a la remoción de parámetros bacteriológicos y parasitológicos en el efluente (aguas arriba y aguas abajo), así como del afluente y el impacto que tiene sobre el cuerpo receptor al que se vierten las aguas residuales tratadas.

Al respecto, considerando la carga elevada de contaminantes bacteriológicos y parasitológicos de las aguas residuales y su elevado potencial para afectar la salud poblacional, sobre un contexto local donde las aguas residuales tratadas son reutilizadas para el riego de vegetales de tallo bajo, pastos, forrajes y otros cultivos en parcelas aledañas de la PTAR y aguas abajo donde se encuentra el valle de Condebamba; resulta fundamental entonces, conocer la eficiencia de remoción de los parámetros bacteriológicos y parasitológicos de las aguas residuales municipales, dado el riesgo de enfermedades asociadas por la ingesta de agua y el consumo de vegetales contaminados con bacterias patógenas, parásitos, virus, protozoarios y helmintos, provenientes de las heces fecales de humanos y animales vertidos en las aguas residuales (OMS 2016).

En tal sentido, considerando la reciente operatividad de la PTAR en Cajabamba, se plantea evaluar la eficiencia de remoción de los parámetros bacteriológicos y parasitológicos en la PTAR, para lo cual se determinará la concentración de los parámetros de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y huevos de helmintos, a fin de medir el impacto en el río Lalicucho por sus características parasitológicas y bacteriológicas asociadas a 200 metros aguas arriba y 200 metros aguas abajo.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de remoción de parámetros bacteriológicos y parasitológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales y su impacto en el río Lalicucho - Cajabamba?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia de remoción de parámetros bacteriológicos y parasitológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales y su impacto en el río Lalicucho – Cajabamba.

1.3.2. Objetivos específicos

- Medir la concentración de parámetros bacteriológicos (coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*) en el afluente y efluente de la PTAR Cajabamba.
- Medir la concentración de parámetros parasitológicos (huevos de helmintos) en el afluente y efluente de la PTAR Cajabamba.
- Medir la concentración de los parámetros bacteriológicos y parasitológicos a 200 metros aguas arriba, así como a 200 metros aguas abajo del efluente que es vertido sobre el río Lalicucho como cuerpo receptor.

1.4. Hipótesis de la investigación

La planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba no es eficiente en la remoción de parámetros bacteriológicos y parasitológicos, impactando sobre la calidad del río Lalicucho presentando concentraciones que superan significativamente a los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs).

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes

- **Internacionales**

El 49% de la Región de América Latina y el Caribe tiene servicio de alcantarillado, colectándose diariamente 40 millones de metros cúbicos de aguas residuales que se vierten a los ríos, lagos y mares. Del volumen colectado por los sistemas de alcantarillado, menos del 10% recibe algún tipo de tratamiento previo a su descarga en un cuerpo de agua superficial o antes de su uso para el riego de productos agrícolas (OPS 2002).

En un estudio realizado por Febles-Patrón y Hoogesteyn (2010) evaluaron un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización en Mérida (Yucatán) con 4 lagunas en total, 2 lagunas anaerobias conectadas con 2 lagunas facultativas. Los resultados obtenidos mostraron que el sistema descrito presenta una remoción promedio de coliformes fecales arriba del 99%, de la DBO₅ del 87%, de sólidos sedimentables del 95% con una excepción en el 2008 y de sólidos suspendidos totales del 74% con la misma excepción del 2008. El pH del afluente de esta planta fue de 6,33 y el efluente de 7,19.

Hidalgo-Santana y Mejía-Álvarez (2010) realizaron un estudio que tuvo como objetivo evaluar la afectación del recurso hídrico por el vertimiento de las aguas residuales domésticas provenientes de descargas directas o de los sistemas de tratamiento integrado en la cuenca baja de la quebrada la Macana, en el corregimiento

de San Antonio de Prado, municipio de Medellín. Se muestrearon 7 puntos para parámetros indicadores de la calidad (DBO₅, DQO, coliformes totales, *E. Coli*, grasas y aceites y sólidos suspendidos) y se realizaron entrevistas dirigidas donde se encontró que el 62% de la carga total proviene de las viviendas con tanque séptico y el restante 38% de las que realizan el vertido directo. La relación DBO/DQO muestra que en el tramo estudiado (300 m), la quebrada ha degradado el 80% de la carga contaminante, debido a la alta capacidad de autodepuración de la corriente. El problema principal identificado de contaminación por aguas residuales domésticas fue por coliformes totales. Un análisis comparativo de los parámetros medidos en anteriores estudios realizados en la zona, durante los años 2001, 2005 y 2007, mostró que la calidad del agua de la fuente receptora ha mejorado, evidenciada en la disminución de los valores observados especialmente en coliformes totales.

Matsumoto y Sánchez (2010) evaluaron el desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ilha Solteira en Sao Paulo - Brasil, durante las diferentes épocas climáticas del año. Se realizó un levantamiento batimétrico de las lagunas facultativas primarias, un monitoreo de 24 horas y el seguimiento de su desempeño en 3 etapas de colecta de 3 meses de duración cada una. La planta tuvo cerca del 40% de su volumen efectivo ocupado por lodos. El efluente final registró una eficiencia media de remoción de la DBO₅ de 80,2%; únicamente 3 muestras reportaron valores de NMP de Coliformes Fecales menores al tope de 1000/100mL definidos por la legislación; en la tercera etapa, los valores de sólidos sedimentables superaron el límite permisible de 1,0 mL/L. La mayor parte del tiempo y pese a las variaciones climáticas, la planta cumplió con la normatividad ambiental brasilera en términos de remoción de DBO₅ y sólidos sedimentables, sin embargo, transgredió la norma en cuanto a NMP de coliformes fecales, evidenciando la necesidad de implementar un sistema de post tratamiento, que reduzca los eventuales impactos

ambientales producidos por los efluentes y los riesgos a la salud pública en la zona de descarga y aguas abajo del vertimiento.

- **Nacionales**

Martínez y Escobar (2008) realizaron una investigación para determinar la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales (BCF) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá” de la ciudad de Ayacucho, entre los meses de marzo a julio del 2005. Los análisis se realizaron en el laboratorio de microbiología de la misma planta, donde se analizaron 70 muestras de agua. Para la cuantificación de la población de BCF, se aplicó la técnica de Tubos Múltiples de Fermentación (NMP) y el método respirométrico para determinar la DBO₅. Con los resultados obtenidos, se calculó el porcentaje de remoción de BCF y DBO₅ aplicando la siguiente fórmula: % Remoción = [(C afluente – C efluente) / C afluente] x 100. La capacidad de remoción de BCF de la PTAR “La Totorá” fue del 99.9850%, evacuando efluentes con una cantidad en promedio de 1.29 x 10⁵ NMP/100 ml, siendo deficiente, pues para alcanzar una cantidad promedio de <10³ NMP/100 mL de BCF (agua de clase III, Ley General de Aguas D.L. 17752) se requiere que la PTAR tenga una capacidad de remoción del orden del 99.9999%; en tanto que la remoción de la DBO₅ fue de 86.2%, evacuando efluentes con 46.35 mg/l, proceso deficiente en relación a lo estipulado por la Ley General de Aguas D.L. 17752 para aguas de clase III, que establece una concentración máxima de 15 mg/l que para alcanzar esta concentración sería necesario una remoción del orden del 95.5947%.

Un estudio realizado en el año 2009 por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en 125 de las 159 cuencas hídricas del país, permitió conocer que todos los ríos analizados están contaminados, en diversos sectores con coliformes termotolerantes

(fecales) y metales pesados. La alteración de la calidad del agua destinada para el consumo humano y para actividades agrícolas e industriales se debe principalmente al vertimiento de aguas residuales y residuos sólidos de las poblaciones asentadas cerca de los cauces.

Chávez y Torres (2014) realizaron una investigación para determinar las probables concentraciones de metales pesados y coliformes, en el sistema agua-suelo-planta del cultivo de Rye Grass, ocasionado por las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca a los cuerpos de agua en los caseríos de la Victoria, Yanamarca y la Colpa, se realizaron análisis físicos (pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, temperatura, turbidez), químicas (cobre, cromo, aluminio, zinc, hierro, nitratos, sulfatos, nitritos), microbiológicos (coliformes totales y termotolerantes). En el sistema suelo se realizaron análisis de fósforo, potasio, materia orgánica, aluminio y textura, en el sistema planta se analizaron coliformes totales y termotolerantes, en el sistema cuerpos de agua se realizaron análisis físico químicos y biológicos, parámetros físicos del agua evaluados nos dan resultados ubicados dentro de los límites máximos permisibles establecidos para el país; los resultados químicos del agua nos indica que concentraciones de hierro, cobre y nitritos superan los LMP, con concentraciones de: 2,6 mg/L, en el sistema suelos los resultados obtenidos de fósforo, potasio y molibdeno se hallaron por encima de los niveles promedios para el valle de Cajamarca, los resultados microbiológicos de las concentraciones de coliformes totales y termotolerantes superaron los LMP en todos los puntos muestreados tanto en los cuerpos de aguas y plantas.

Juárez (2016) en su investigación determinó la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito el Parco, Bagua, Amazonas durante abril – octubre de 2013. Se colectaron muestras semanales durante 3 meses en dos puntos de muestreo: afluente y efluente, determinándose el pH, temperatura,

demanda química de oxígeno, DQO, demanda bioquímica de oxígeno, DBO₅, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas, coliformes totales y fecales y se calculó la eficiencia de la PTAR según el DS N° 003-2010-MINAM. Los valores promedios de los parámetros investigados en el afluente y efluente respectivamente fueron de 7,617 – 7,487 (pH); 27,5 – 26,4 °C (temperatura); 2750 – 210 mg/L (DQO); 1501,67 – 117,50 mg/L (DBO₅); 44,5 – 22,5 mg/L (sólidos totales en suspensión); 13,8 – 3,8 mg/L (aceites y grasas); 24,5 x 10¹⁰ – 22 x 10⁶ (coliformes totales) y 16 x 10¹⁰ – 14,5 x 10⁶ (coliformes fecales). La eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales fue de 99,99% (coliformes fecales); 92,36% (DQO); 92,14% (DBO₅); 72,46% de aceites y grasas, y 49,44% sólidos totales en suspensión. El valor de coliformes fecales (14,5 x 10⁶ CF/100mL) en el afluente de la PTAR el Parco superó el límite máximo permisible (10 x 10³ CF/100mL), de igual manera, en el efluente, la DQO (210 mg/L) y la DBO₅ (117,50 mg/L) superó los límites máximos permisibles, indicando que no se cumple con la normatividad vigente.

- **Locales**

Núñez (2019) en su investigación sobre la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cajabamba - Cajamarca. Alternativas para mejorar su tratamiento, desarrollada durante el periodo comprendido entre enero y junio del año 2018, tuvo como objetivo determinar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cajabamba, en la remoción de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas y coliformes termotolerantes. Se determinó que la Planta de tratamiento de aguas residuales no es eficiente en la remoción de sólidos suspendidos totales, el valor obtenido fue del 50%, así mismo no es eficiente en la remoción de materia orgánica, para lo cual se utilizaron los indicadores de DBO₅ y DQO cuyos valores fueron de 23,20% y 27,63% respectivamente, valores que se

encuentran muy por debajo de los aceptables para este tipo de tratamiento según la Norma Técnica de Edificación OS.090 (2006), la cual señala que la eficiencia de remoción de DBO debe encontrarse entre 50% a 90%. El afluente presentó concentraciones promedio de 256.1 mg/L y 196.7 mg/L el efluente.

La eficiencia en la remoción de aceites y grasas fue del 82,20%, encontrándose dentro del promedio de eficiencia para este tipo de tratamiento de aguas residuales, En cuanto a la remoción de coliformes termotolerantes fue del 65,62%, valor que se encontró por debajo del promedio de eficiencia de este parámetro, presentando concentraciones promedio de 3722 NMP/100 mL en el afluente y 805×10^4 NMP/100 mL en el efluente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Calidad del agua

La calidad, aún en relación con el agua, es un término abstracto y sólo tiene importancia universal si está relacionada al uso que se le va a dar. Por ejemplo, un agua suficientemente limpia que permite la vida, después puede ser demasiada poluída para ser usada en la producción de alimentos. Para decir si un agua es de calidad deseable para un propósito particular, su calidad debe ser especificada en términos de uso (Fernández 2015).

Muchos países han sido motivados a ejecutar programas especiales de vigilancia y control de calidad del agua como parte de las intervenciones de salud ambiental, para así prevenir las diferentes enfermedades transmitidas por el agua; y a causa de esta se han centrado en la calidad del agua por las consecuencias de la contaminación microbiana. Es por ello, que el control y vigilancia deberá ser siempre de primordial importancia (Castro 1992).

2.2.2. Agua residual

Se denomina agua residual a aquellas aguas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les ha denominado también aguas servidas, aguas negras o aguas cloacales (Arce 2007).

Según Pérez (2012) las aguas residuales pueden definirse como el conjunto de aguas que llevan elementos extraños bien por causas naturales y/o provocadas de forma directa o indirecta por la actividad humana, estando compuestas por una combinación de:

- Líquidos de desagüe de viviendas, comercios, edificios de oficinas e instituciones.
- Líquidos efluentes de establecimientos industriales.
- Líquidos efluentes de instalaciones agrícolas y ganaderas.
- Aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que discurren por calles, espacios libres y tejados y azoteas de edificios que pueden ser admitidas y conducidas por las alcantarillas

2.2.3. Clasificación de las aguas residuales

Las aguas residuales pueden clasificarse de acuerdo a su origen y composición según Pérez (2012):

- Aguas residuales domésticas: Proviene de viviendas, edificios públicos y otras instalaciones públicas, se incluyen aquí las aguas utilizadas para limpieza de calles y control de incendios y además las provenientes de pequeñas industrias locales conectadas al sistema de alcantarillado.
- Aguas Residuales Comerciales: Proviene de locales comerciales como rastros, pequeñas industrias que suelen estar conectadas a un sistema común de alcantarillado.

- Aguas Residuales Industriales: Producidas por las grandes plantas industriales de todo tipo.
- Aguas Residuales Agrícolas: Proviene de la cría de ganado y del procesamiento de productos animales y vegetales
- Agua de infiltración: Proviene de los sistemas de drenaje, tuberías de desagüe y del descenso artificial del nivel de las aguas subterráneas, así como de la infiltración de estas hacia el sistema de alcantarillado a través de tuberías y otras instalaciones defectuosas.
- Agua de Lluvia: Incluye todas las formas de precipitación (lluvia, granizo, niebla, nieve).
- Aguas superficiales: Proviene de aquellos cuerpos de agua superficiales que ingresan directamente en el sistema de alcantarillado.

2.2.4. Caracterización biológica de las aguas residuales

Una de las razones más importantes para tratar las aguas residuales es la eliminación de todos los agentes patógenos de origen humano presentes en las excretas con el propósito de evitar una contaminación biológica al cortar el ciclo epidemiológico de transmisión. Estos son, entre otros, según Marchand (2012): coliformes termotolerantes, coliformes fecales y *Escherichia coli*.

El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento de aguas residuales, es amplio y de gran importancia.

2.2.5. Caracterización bacteriológica de las aguas residuales

a. Bacterias

El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento, es amplio y de gran importancia. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismos y proceso de síntesis (Quiroz 2009).

Los coliformes también se emplean como indicadores de la contaminación de desechos humanos.

Más que caracterizar a cada organismo patógeno por separado se prefiere usar los microorganismos indicadores, los cuales no tienen necesariamente una relación directa con el número de patógenos sino que se dirige más a evaluar el grado en el que ha sido contaminado con heces humanas o de otros animales de sangre caliente (Castro 1992).

La realización de frecuentes exámenes para determinar si el agua contiene organismos indicadores de contaminación fecal sigue siendo el modo más sensible y específico de estimar la calidad de agua desde el punto de vista de la higiene. Para que los resultados obtenidos tengan sentido, las bacterias indicadoras han de responder a determinados criterios: deben estar universalmente presentes y en gran número en las heces de los seres humanos y los animales de sangre caliente, deben ser fáciles de detectar por métodos sencillos y no deben desarrollarse en el agua en condiciones naturales. Además, es indispensable que su persistencia en el agua y el grado en que se eliminan durante el tratamiento de esta sean similares a las de los patógenos. Los indicadores microbianos de la calidad del agua son principalmente: *Escherichia coli*, coliformes totales, coliformes termotolerantes coliformes fecales, mesófilos heterófilos viables y los enterococos (OMS 1993).

a.1. Coliformes

Grupos de bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas no esporógenas, baciliformes que fermenta la lactosa formando gas en un periodo de 48 h a 35 °C. Son un grupo de bacterias que suelen abundar en el tracto intestinal humano y de otros animales de sangre caliente, y que es utilizado como indicador (siendo medido el número de individuos encontrados por mililitro de agua (NMP)) para analizar las aguas residuales desinfectadas (OMS 2016).

Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura. Asimismo, su número en el agua es directamente proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces.

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana ya que los coliformes:

- Son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente.
- Están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades y permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas.
- Se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.

a.2. Coliformes Termotolerantes

Los coliformes fecales también denominados coliformes termotolerantes, llamados así porque soportan temperaturas hasta de 45°C, comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de

origen fecal. En su mayoría están representados por el microorganismo *E. coli*, pero se pueden encontrar, entre otros menos frecuentes, *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae* estos últimos hacen parte de los coliformes termotolerantes, pero su origen se asocia normalmente con la vegetación y solo ocasionalmente aparecen en el intestino (Hayes 1993).

Estas bacterias son propias del tracto digestivo del hombre y de animales de sangre caliente, utilizadas como indicadores de la calidad sanitaria del agua, relacionada con la transmisión de patógenos.

a.3. *Escherichia coli*

Es un bacilo gram negativo, oxidasa negativo, perteneciente a la familia de las Enterobacterias. Es capaz de crecer en medios aerobios y anaerobios, preferentemente a 37 °C; tiene formas sin movilidad y móviles, estas últimas con flagelos.

La escherichia es una bacteria que se encuentra normalmente en la flora intestinal del hombre y en el de otros animales de sangre caliente. Hay diversas cepas de escherichia; algunos no causan daño en condiciones normales y otros pueden incluso ocasionar la muerte (OMS 1996).

Según Hayes (1993), el aislamiento de esta bacteria en el agua da alto grado de certeza de contaminación de origen fecal, alrededor del 99 %. No es absoluta porque se han aislado cepas de *E. coli* que no tienen origen fecal, pero es un grado de certeza más que razonable para certificar contaminación con ese origen. Sin embargo, el aislamiento de este microorganismo no permite distinguir si la contaminación proviene de excretas humanas o animales, lo cual puede ser importante, puesto que la contaminación que se desea habitualmente controlar es la de origen humano. Esto no significa menospreciar la de origen animal, especialmente dada la existencia

de zoonosis, enfermedades que son comunes al hombre y animales, que también se pueden transmitir por el agua.

Además, la *Escherichia coli* puede causar infecciones intestinales y extra intestinales generalmente graves, tales como infecciones del aparato excretor, vías urinarias, cistitis, uretritis, meningitis, peritonitis, mastitis, septicemia y neumonía Gram-negativa.

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales y contaminadas en cantidades muy pequeñas y, además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ello se emplea el organismo coliforme como organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar. El tracto intestinal humano contiene innumerables bacterias con forma de bastoncillos, conocidas como organismos coliformes. Aparte de otras clases de bacterias, cada ser humano evacua de 100 000 a 400 000 millones de organismo coliformes cada día. Por ello, se considera que la presencia de coliformes puede ser un indicador de la posible presencia de patógenos, y que la ausencia de aquellos es un indicador de que las aguas están libres de organismos que puedan causar enfermedades (MetCalf y Eddy 1995).

2.2.6. Caracterización parasitológica de las aguas residuales

Las aguas residuales están contaminadas por una fuerte carga de organismos eliminados por la comunidad, entre estos agentes patógenos se encuentran los protozoos y los helmintos, que parasitan al hombre y son evacuados con las heces y esputo. En menos cantidad se encuentran parásitos propios de animales, pero que pueden ser una causa de importantes zoonosis parasitarias (Arcos 2005).

Shuval et al (1978), han estimado la posible concentración de huevos de helmintos en aguas residuales y se puede asumir que un área endémica en la cual el

10% de la población está infectada con ascaris, trichuris y ancylostoma, asumiendo que en un sistema convencional cada persona utiliza y evacúa 100 litros por día, y basándonos en una producción de huevos por los parásitos según Craing y Faust (1970), se ha calculado que por un litro de agua residual podría haber cerca de 200 huevos de ascaris, 25 huevos de ancylostoma y 6 huevos de trichuris.

Liebman (1965), reporta 62 huevos de helmintos por litro en aguas residuales de baravian. En el desagüe municipal de una zona endémica de la India, lakshminarayana y abdallupa (1972), reportan 200 huevos de Uncinaria por litro y cerca de 1, 000 huevos de Ascaris por litro.

En Perú, en desagües de Tacna, se detectaron los siguientes parásitos: *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Ascaris lumbricoides*, *Hymenolepis nana*, *Isospora hominis*, *Strongyloides stercoralis*, *Trichuris trichuria*, *S. stercoralis* y *Dyphyllobotrium* (Binnie 1971). En el desagüe de San Juan, Callao y San Martín de Porres se observó que los protozoarios más frecuentes fueron: *Giardia lamblia* (30.7%) y *Entamoeba coli* (41.3%) y entre los helmintos *Ascaris lumbricoides* (29.7%) (Castro 1990).

a. Huevos de helmintos

Los helmintos son una agrupación no taxonómica, que se refiere al conjunto de parásitos obligatorios del tracto intestinal y de órganos relacionados del hombre y otros vertebrados, asimismo, pertenecen al grupo de los nemátodos. En los seres humanos las helmintiasis intestinales representan colectivamente las infecciones parasitarias más predominantes. Los helmintos intestinales son diseminados por la contaminación del medio ambiente con excretas de los huéspedes infectados, éstas presentan las etapas infectivas o resistentes de los parásitos, ya sea en forma de huevos o larvas, que necesitan estar en contacto con el agua o suelo húmedo para su

desarrollo posterior, pudiendo llegar a infectar a un nuevo huésped por diferentes vías (Mehlhorn et al 1988).

Según la bibliografía existente, las siguientes especies de huevos de helmintos en aguas residuales: *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Toxocara sp.* y *Enterobius vermicularis*, su transmisión es por la ingestión de los huevos; *Strongiloides stercoralis* en etapa larvaria penetra por la piel y los huevos de uncinarias liberan una larva que penetra por la piel. Los céstodos (solitarias) son adquiridos a través de la ingestión de huevos o carne infectada (Genta 1996).

- **Características**

El huevo constituye la etapa contagiosa de los parásitos de Helmintos, los cuales son excretados en las heces y se vierten a las aguas residuales, en el suelo o en los alimentos. Es importante señalar que es muy resistente a las tensiones ambientales y a la desinfección con cloro en la planta de tratamiento de aguas residuales (Bitton 1994).

En la literatura revisada, los autores concuerdan en que los huevos de helmintos, particularmente el género *Ascaris spp*, son los indicadores más apropiados para estudios de inactivación de parásitos en agua y lodo residual, ya que a diferencia de las bacterias y otros organismos patógenos, como virus y protozoarios, éstas estructuras son capaces de permanecer en estado latente en suelos por períodos prolongados (por lo menos 7 años), bajo condiciones ambientales adversas (temperatura inferior a 10 °C), pueden conservar su viabilidad durante meses, además de ser resistentes a desinfectantes como el cloro y a pH extremos. Además, los huevos de *Ascaris spp*, generalmente se encuentran en altas concentraciones en aguas y lodos residuales (Rhyner et al 1995).

Los helmintos pertenecen al subreino de los metazoarios, lo que denota que son animales multicelulares, en los cuales las células se hayan diferenciadas formando órganos con funciones especiales, y además divididos en dos ramas, los platelmintos (gusanos planos) y los nematelmintos (gusanos redondos). Los platelmintos están subdivididos en dos clases, los tremátodos (duelas) y los céstodos (tenias). Los nematelmintos incluyen la clase nemátodo, de los cuales algunos son parásitos del hombre; mientras que la mayoría son formas de vida libre o parásitos de los animales y de las plantas (Lambert 1975).

Los más importantes parásitos helmintos que pueden encontrarse en aguas residuales son las lombrices intestinales, como la lombriz estomacal *Ascaris lumbricoides*, la taenia solitaria *Taenia saginata* y *Taenia solium*, los gusanos intestinales *Trichuris trichuria*, la lombriz intestinal *Ancylostoma duodenale* y el *Necator americanus*, y la lombriz filiforme *Strongyloides stercoralis*.

Las infecciones por helmintos intestinales y protozoos, están entre las infecciones más comunes alrededor del mundo. La Organización Mundial de la Salud (OMS 2016) ha estimado que las helmintiasis transmitidas por el suelo afectan a más de 2000 millones de personas en todo el mundo. Según cálculos recientes, *Ascaris lumbricoides* infesta a 1221 millones de personas, *Trichuris trichiura* a 795 millones y los anquilostomas (*Ancylostoma duodenale* y *Necator americanus*) a 740 millones. El agente causal de las helmintiasis transmitidas por el suelo puede ser cualquiera de las siguientes especies de helmintos: *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura* y los anquilostomas (o uncinarias); por otro lado 200 millones con *Giardia lamblia*.

2.2.7. Métodos de tratamiento de las aguas residuales

Según Rojas (2002), la selección del proceso de tratamiento depende del uso al cual se le destinará al efluente tratado, la naturaleza del agua residual, la

compatibilidad de las distintas operaciones y procesos, los medios disponibles de evacuación de los contaminantes finales y la posibilidad económica de las distintas combinaciones. Las clasifica de la siguiente manera:

a. Tratamiento preliminar

Está destinado a la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales con el objetivo específico de proteger las instalaciones, el funcionamiento de las obras de tratamiento y eliminar o reducir sensiblemente las condiciones indeseables relacionadas principalmente con la apariencia estética de las plantas de tratamiento.

b. Tratamiento primario

Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. Es decir, el tratamiento primario es capaz de remover no solamente la materia que incomoda, sino también una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos. Entre los tipos de tratamiento primario se citan:

- Sedimentación primaria.
- Flotación.
- Precipitación química.
- Filtros gruesos.
- Oxidación química.
- Coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

c. Tratamiento secundario

La reducción de los compuestos orgánicos presente en el agua residual, acondicionada previamente mediante tratamiento primario, se realiza exclusivamente

por procesos biológicos. Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculentos que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Los procesos biológicos más utilizados son los lodos activados y filtros percoladores. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento. Asimismo, dentro de este grupo se incluyen a las lagunas de estabilización y aeradas, así como el tratamiento biológico empleando oxígeno puro y el tratamiento anaeróbico. Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia remocional de la DBO entre el 85% al 95%, y están compuestos por:

- Filtración biológica.
- Lodos activados.
- Lagunas, entre otros.

d. Tratamiento avanzado o terciario

Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc. las sustancias o compuestos comúnmente removidos son:

- Fosfatos y nitratos.
- Huevos y quistes de parásitos.
- Sustancias tenso activas.
- Algas.
- Bacterias y virus (desinfección).
- Radionúclidos.
- Sólidos totales y disueltos.

e. Desinfección

Se emplea para reducir principalmente el contenido de bacterias, virus y quistes amebianos en las aguas residuales tratadas, previo a su disposición final. La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades. La desinfección suele realizarse mediante agentes químicos, físicos, mecánicos y radiación. De ellos el más utilizado es la desinfección química con cloro.

f. Manejo de lodos

Según la clasificación de Rojas (20002), el tratamiento de las aguas residuales produce una serie de subproductos como son los residuos de las rejillas, desarenadores y sedimentadores. Este caso específico se refiere a los productos retenidos en los sedimentadores tanto primario como secundario y que vienen a conformar la parte más importante de los subproductos.

Los lodos antes de su disposición final deben ser acondicionados a causa del alto contenido de materia orgánica putrescible y que de ninguna manera pueden ser dispuestos libremente.

Los procesos típicos de manejo de lodos son: concentración (espesamiento, digestión, acondicionamiento, deshidratación o secado, incineración y oxidación). De éstos, la digestión, incineración u oxidación por vía húmeda son los más empleados para la reducción de la materia orgánica, y la concentración, acondicionamiento y deshidratación para la eliminación de la humedad (Rojas 2002).

2.2.8. Sistema de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Cajabamba

a. Bases de diseño

La nueva planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba (PTAR) está dirigida a tratar aproximadamente el 62% del total de los desechos líquidos a ser

producidos en la ciudad de Cajabamba. El saldo de las aguas residuales, serán tratadas en la segunda planta de tratamiento de aguas residuales y en dos tanques sépticos existentes en la localidad (NJS 2009).

Tabla 1. Caudales a ser drenados a la PTAR Cajabamba

Año		Población total	Caudal Promedio		Caudal Máximo	
		hab	m ³ /d	L/s	m ³ /d	L/s
0	2007	7,454	901	10.4	1,867	21.64
1	2008	8,193	680	7.9	1,483	17.15
5	2012	8,655	719	8.3	1,555	18.00
10	2017	9,208	767	8.8	1,642	19.03
15	2022	9,731	812	9.4	1,724	19.94
20	2027	10,203	853	9.9	1,800	20.83

Fuente: Estudio de Alcantarillado, GORE Cajamarca. 2009

Por la poca diferencia de caudal entre los años 10 y 20 del proyecto, y la geomorfología natural del terreno reservado para la construcción del sistema de aguas residuales, se ha considerado que el diseño y construcción del sistema de tratamiento debe ejecutarse para el horizonte del proyecto y definitivo para el año 2027.

De esta manera, los dos tanques imhoff, los filtros percoladores y sedimentadores secundarios tendrán capacidad para tratar el caudal correspondiente al año 2027 y equivale a 9.9 L/s. Con respecto al diseño de los procesos de pre-tratamiento, así como de los conductos de alimentación y drenaje, el diseño se ha ejecutado para el caudal máximo horario del año 20 y estimado en 20.83 L/s.

De acuerdo con las autoridades del lugar, el río Lalicucho a donde se descarga las aguas residuales tratadas de Cajabamba, en época de estiaje conduce un mínimo de 200 L/s que comparado con los 19.94 L/s de aguas residuales tratadas para el 2022, representa una dilución de diez veces. Considerando las posibles condiciones que se presentarían al horizonte del proyecto, así como las condiciones establecidas para el

curso receptor indicado líneas arriba, se tiene que la planta de tratamiento de aguas residuales debiera estar en condiciones de remover el 69.0 % de la carga orgánica y el 99.99% de la carga microbiana además de los parásitos presentes en las aguas residuales crudas (NJS 2009).

En resumen, la calidad del agua residual tratada debiera cumplir con los siguientes requisitos:

- Demanda bioquímica de oxígeno (menor a 180 mg/L).
- Coliformes termotolerantes (menor a 1.0E+03 NMP/100 mL).
- Oxígeno disuelto (mayor a 3.0 mg/L).

2.2.9. Procesos de tratamiento de la PTAR Cajabamba

Los procesos de tratamiento de la PTAR Cajabamba son los siguientes:

- Reja media.
- Canal de alimentación.
- Tanque Imhoff.
- Filtros percoladores.
- Sedimentadores secundarios.
- Desinfección.
- Canal de recolección y disposición final.
- Estación de bombeo de lodos.
- Lechos de secado.

2.2.10. Tratamiento de aguas residuales con filtros percoladores

Los filtros percoladores son un sistema en el que se aplica el agua residual sedimentada sobre un medio filtrante de piedra gruesa o material sintético. La película

de microorganismos que se desarrolla sobre el medio filtrante estabiliza la materia orgánica del agua residual (Norma técnica OS.090).

Un filtro percolador es una cama de grava o un medio plástico sobre el cual se rocían las aguas negras pre tratadas. En este sistema de filtro percolador, los microorganismos se apegan al medio del lecho y forman una capa biológica sobre éste. A medida que las aguas negras se percolan por el medio, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua, y tienen la labor de remover la materia orgánica mediante la metabolización que está a cargo de una población bacteriana adherida a un medio filtrante, traduciéndose esto en un efluente con una menor concentración de DBO_5 (demanda bioquímica de oxígeno).

Las aguas negras que se dosifican a un filtro percolador deben recibir pretratamiento, tal como el que se da en un tanque séptico. Los sólidos y las grasas deben eliminarse antes de rociar las aguas negras sobre el filtro percolador. Si no se sacan estos materiales, pueden cubrir la capa fina de microorganismos que crecen en el medio y matarlos.

Un filtro percolador puede reducir:

- La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), que es la medición de la cantidad del oxígeno disuelto que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica. El nivel alto de DBO_5 por lo general indica agua de mala calidad; un nivel bajo de DBO_5 normalmente indica agua de buena calidad. El sacar los sólidos disueltos de las aguas negras permite bajar el nivel de DBO_5 .
- Los patógenos, u organismos que causan enfermedades.
- Los coliformes fecales o bacterias de los desechos humanos o animales

Tabla 2. Eficiencia de tratamiento de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales

PROCESO DE TRATAMIENTO	REMOCIÓN (%)		REMOCIÓN ciclos log ₁₀	
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helmintos
Sedimentación primaria	25-30	40-70	0-1	0-1
Lodos activados (a)	70-95	70-95	0-2	0-1
Filtros percoladores (a)	50-90	70-90	0-2	0-1
Lagunas aeradas (b)	80-90	(c)	1-2	0-1
Zanjas de oxidación (d)	70-95	80-95	1-2	0-1
Lagunas de estabilización	70-85	(c)	1-6	1-4

- (a) Seguidos de sedimentación
- (b) Incluye laguna secundaria
- (c) Dependiente del tipo de lagunas
- (d) Seguidas de sedimentación
- (e) Dependiendo del número de lagunas y otros factores como: temperatura, periodo de retención y forma de las lagunas.
 - 1 ciclo de log₁₀ = 90% remoción
 - 2 ciclos de log₁₀ = 99%
 - 3 ciclos de log₁₀ = 99.9%; etc.

Fuente: Norma Técnica OS. 090

2.2.11. Determinación de la eficiencia de remoción en el tratamiento de aguas residuales

El objetivo principal del tratamiento de las aguas residuales municipales, es generar un efluente con determinadas características que pueda ser vertido en el medio ambiente sin causar impactos significativos. Dicho propósito supone alcanzar determinados rendimientos o tasas de eliminación de los contaminantes (Jover 2015).

La eficiencia de remoción en la depuración que se define como la diferencia entre los valores de la concentración del afluente a la entrada y a la salida de un proceso concreto, o a la salida de una planta depuradora. La eficiencia se puede expresar tanto en términos porcentuales como absolutos, siendo S_0 la concentración

del sustrato en el afluente y S es la concentración en el efluente, por lo tanto, la Eficiencia (E) del tratamiento de aguas residuales se expresará en términos porcentuales (Gutiérrez et al 2014). La expresión matemática se define en la siguiente ecuación:

Ecuación 1: Eficiencia

$$r (\%) = E(\%) \frac{(S_o - S)}{S_o} * 100$$

Donde:

S_o : Valor del parámetro al ingreso de la PTAR

S : Valor del parámetro a la salida de la PTAR

E : Eficiencia

Múltiples son los factores que afectan la eficiencia de remoción de la carga contaminante en este tipo de tratamiento, debido que la anaerobiosis es un proceso complejo sobre cuya naturaleza constantemente se hacen nuevos descubrimientos y se reevalúan teorías. Entre estos factores se puede citar: el medio de soporte (área superficial, porosidad, altura del lecho), el tiempo de residencia hidráulico (TRH), la configuración de los reactores, la temperatura, pH, nutrientes (Gálvez 2013).

2.2.12. Límites Máximos Permisibles (LMP)

De acuerdo con el Decreto Supremo N° 003-2010 del Ministerio del Ambiente (MINAM), el LMP es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al

ambiente. Los LMP definen la calidad del efluente de las PTAR cuando se vierte a un cuerpo natural de agua.

Los LMP son obligatorios para todas las PTAR sin distinción de tamaño ni de nivel de tratamiento, en la Tabla 4 se muestran los LMP vigentes, asimismo, en la tabla 4 se detalla la concentración de patógenos en el efluente destinado a riego.

Tabla 3. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP de Efluentes para Vertidos a Cuerpos de Agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10 000
DBO	mg/L	100
DQO	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
T°	°C	150
SST	mL/L	< 35

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

Actualmente no existen límites máximos permisibles para el agua residual tratada que será reutilizada para el riego, ni para otros tipos de reúso.

Los ECA-Agua de la categoría 3 definen estándares de la calidad para un cuerpo natural de agua superficial que será utilizado para riego, lo cual no implica que estos valores también puedan ser considerados como LMP para efluentes de una PTAR.

En el artículo 150 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos se señala que, para la evaluación de las solicitudes de autorización de reúso de efluentes tratados, se deben tomar en cuenta los valores que establezca el sector correspondiente a la actividad a la cual se destinara el reúso del agua o que en su defecto se utilicen las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Se advierte la necesidad de que el país cuente con una guía de buenas prácticas de riego y manejo adecuado de suelos con aguas residuales tratadas por parte de los

agricultores. En relación con este tema, las guías de la OMS de 1989 y 2006 dan recomendaciones sobre las medidas de protección de la salud, sistemas de monitoreo, prevención de los riesgos ambientales y desarrollo de una política nacional para el manejo de los beneficios y riesgos del reúso de aguas residuales tratadas.

A continuación, se muestra la concentración de patógenos en el efluente de una PTAR para riego, establecido por la OMS (2006):

Tabla 4. Concentración de patógenos en el efluente de una PTAR para riego

TIPO DE RIEGO	OPCIÓN 1)	Concentración de organismos patógenos y huevos de helmintos en el efluente del tratamiento de aguas residuales	
		OMS (2006)	
		<i>Escherichia coli</i>	Huevos de helmintos
CULTIVO DE CONSUMO DIRECTO	A	$\leq 10^3$	≤ 1
	B	$\leq 10^4$	≤ 1
	C	$\leq 10^5$	≤ 1
	D	$\leq 10^3$	≤ 1
	E	$\leq 10^3, \leq 10^1, O \leq 10^0$, DEPENDIENDO DE LA NORMA NACIONAL	SIN RECOMENDACIÓN
OTROS CULTIVOS	F	$\leq 10^4$	≤ 1
	G	$\leq 10^5$	≤ 1
	H	$\leq 10^6$	SIN RECOMENDACIÓN

Fuente: OMS, 2006

2.2.13. Estándares de Calidad del Agua (ECA-AGUA)

Los Estándares de Calidad del Agua (ECA-Agua) establecen el nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor, que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente.

Cuando se vierte el efluente de la PTAR al cuerpo receptor de agua, se origina una zona de mezcla, luego de la cual, el cuerpo receptor de agua debe cumplir los valores del ECA-Agua, que dependen de la categoría de uso del cuerpo receptor.

La tabla 5 muestra los parámetros microbiológicos y parasitológicos del ECA-Agua para la categoría 3, establecidas en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 5. Parámetros microbiológicos y parasitológicos de los ECA Agua: Categoría 3

Categorías		ECA AGUA: Categoría 3		
PARÁMETRO	UNIDAD	D1: RIEGO DE VEGETALES		D2: BEBIDA DE ANIMALES
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Coliformes termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100 mL	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1 000	**	**
Huevos de helmintos	Huevos/L	1	1	**

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

2.2.14. Impacto de las aguas residuales sobre el cuerpo receptor

Las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser diseñadas, construidas y operadas con el objetivo de convertir el líquido cloacal proveniente del uso de las aguas de abastecimiento, en un efluente final aceptable, y para disponer adecuadamente de los sólidos ofensivos que necesariamente son separados durante el proceso. Esto obliga a satisfacer ciertas normas o reglas capaces de garantizar la preservación de las aguas tratadas al límite de que su uso posterior no sea descartado.

El Río Lulichuco, nace de las vertientes de la laguna de Quengococha (a 25 Km de la ciudad de Cajabamba) con el nombre de Huayunga, lugar por donde atraviesa.

Siguiendo su recorrido, al sur de la ciudad de Cajabamba se le conoce como Lulichuco para luego ingresar al valle de Condebamba, al oeste, donde se le llama Lanla antes de desembocar en el río Condebamba. Es el más crecido de todos los afluentes del río Condebamba y lleva agua todo el tiempo.

El impacto ambiental es la alteración positiva o negativa de la calidad ambiental, provocada o inducida por cualquier acción del hombre. Es un juicio de valor sobre un efecto ambiental. Es un cambio neto (bueno o malo) en la salud del hombre o en su bienestar. Se dice que hay impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del medio (Sánchez 2016).

En el presente estudio para determinar el impacto de la eficiencia de remoción de los parámetros bacteriológicos y parasitológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba sobre el río Lalicucho, se ha monitoreado la concentración de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y huevos de helmintos a 200 metros aguas arriba, asimismo, a 200 metros aguas abajo del cuerpo receptor, permitiendo evaluar la variación de la concentración y su comparación con los estándares de calidad ambiental para evaluar dicho impacto.

2.3. Definición de términos básicos

- **Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento (Norma OS. 090).
- **Aguas residuales:** Son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales).

- **Coliformes:** microorganismos propios del tracto digestivo del hombre y de animales de sangre caliente, utilizadas como indicadores de la calidad sanitaria del agua e índice de contaminación fecal, relacionadas con la transmisión de patógenos.
- **Contaminación:** Es la alteración de las características físicas, químicas o biológicas del agua, resultantes de la incorporación deliberada o accidental en la misma de productos o residuos que afectan los usos del agua.
- **Cuerpo Receptor:** Se denomina cuerpo receptor, en forma genérica, a un curso de agua, río o arroyo; un lago, o un ambiente marino, bahía, estuario, golfo, al cual se descarga un efluente de aguas servidas, ya sea de áreas urbanas, de industrias, o de sistemas de riego (Norma OS. 090).
- **ECA:** Estándar de Calidad Ambiental, son indicadores de calidad ambiental. Miden la concentración de elementos, sustancias u otros en el aire, agua o suelo. Su finalidad es fijar metas que representan el nivel a partir del cual se puede afectar significativamente el ambiente y la salud humana.
- **Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento (Norma OS. 090).
- **Fase confirmativa:** Es un procedimiento por el cual una reacción negativa excluye la presencia de coliformes, mientras que una reacción positiva indica su presencia inequívocamente. Se emplea como medio de cultivo caldo lactosado bilis verde brillante el cual es selectivo y solo permite el desarrollo de aquellos microorganismos capaces de tolerar tanto las sales biliares como el verde brillante.
- **Fase presuntiva:** Consiste en un procedimiento de criba en el que una reacción negativa excluye la presencia del grupo coliforme y una reacción positiva indica su posible presencia.

- **Helmintos:** agrupación no taxonómica, que se refiere al conjunto de parásitos obligatorios del tracto intestinal y de órganos relacionados del hombre y otros vertebrados, asimismo, pertenecen al grupo de los nemátodos.
- **Límite Máximo Permisible (LMP):** Es la medida de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.
- **MINAM:** Ministerio del Ambiente.
- **NMP/100 mL:** Unidad o número probabilístico en que se determina la presencia estadística de organismos coliformes determinados como *Escherichia coli* en aguas contaminadas, pueden ser totales o fecales.
- **Parámetros Microbiológicos:** Son los microorganismos indicadores de contaminación y/o microorganismos patógenos para el ser humano, analizados en el agua de consumo humano y aguas residuales.
- **PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, conjunto de sistemas y operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es que a través de los equipamientos elimina o reduce la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación del trabajo de Investigación

La investigación se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales ubicada al margen derecho (en una posición con dirección al norte) del río Lalicucho, distrito y provincia de Cajabamba, región Cajamarca, a una altitud de 2654 m.s.n.m. y una superficie de 1 808 Km².

Los límites del área en estudio son los siguientes:

- Por el Norte: con el distrito de Condebamba delimitado por el río Ponte y la Quebrada Honda.
- Por el Sur: con el distrito de Marcabalito de la provincia de Huamachuco, delimitado por el río Negro.
- Por el Este: con el distrito de Sitacocha.
- Por el Oeste: con el distrito de Cachachi, delimitado por el río Condebamba.

Los puntos de monitoreo fueron cuatro (dos dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales PTAR y dos sobre el río Lalicucho).

El primer punto de monitoreo se ubicó en el ingreso del agua residual cruda a la PTAR, después de la combinación de los distintos colectores de agua residual que descargan a la obra de llegada a la PTAR. En todos los casos, el punto de monitoreo debe ubicarse en un lugar que evite la interferencia de sólidos de gran tamaño en la

toma de muestras, por lo que se ubicó después del proceso de cribado de las aguas residuales, en las coordenadas UTM 9155718 Sur y 824758 Norte.

El segundo punto de monitoreo se ubicó en el dispositivo de salida del agua residual tratada (efluente) de la PTAR, en las coordenadas 824697 Norte y 9155690 Sur.

Los puntos de control en el río Lalicucho como cuerpo receptor se ubicaron fuera de la zona de mezcla, un punto aguas arriba a una distancia de 200 metros del vertimiento (en las coordenadas 824734 Este y 9155653 Sur) y el segundo punto aguas abajo, a una distancia de 200 metros desde donde se realiza el vertimiento de las aguas residuales tratadas, con las siguientes coordenadas: 824467 Este y 9155877 Sur. Cabe resaltar que, el monitoreo en los puntos sobre el cuerpo receptor y en el afluente y efluente de la PTAR fue realizado en las mismas fechas.

Los puntos de monitoreo fueron identificados y reconocidos claramente, de modo que permitiesen su ubicación exacta en los muestreos. En la determinación de la ubicación se utilizó el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS), en coordenadas UTM, sistema WGS84 zona 17S. Una vez establecidos los puntos de monitoreo se colocó una placa de identificación para el reconocimiento de su ubicación.

Tabla 6. Ubicación de los puntos de muestreo en la PTAR y río Lalicucho

Punto	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m)	Descripción
	Sur (m)	Este (m)		
PT - 01	9155718	824758	2542	Afluente
PT - 02	9155690	824697	2538	Efluente
PC - 01	9155653	824734	2539	Río Lalicucho (200 m aguas arriba)
PC - 02	9155877	824467	2515	Río Lalicucho (200 m aguas abajo)

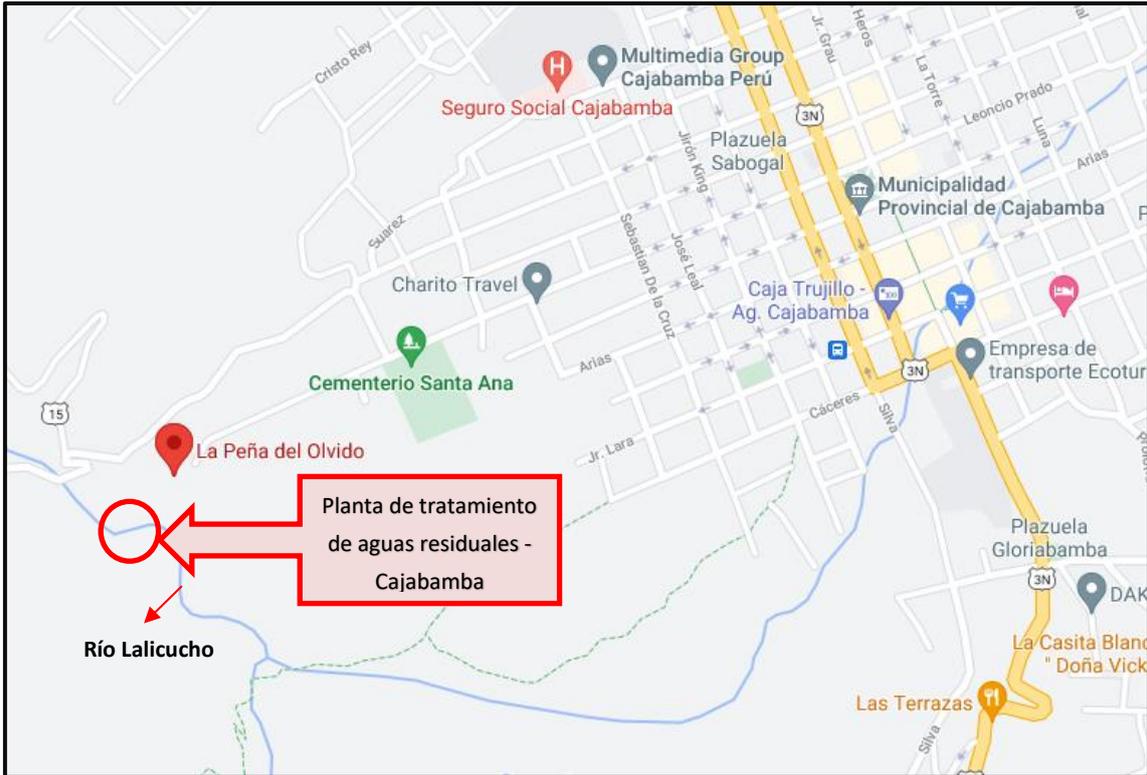


Figura 1. Croquis de ubicación de la zona de estudio



Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo en la zona de estudio

3.2. Materiales

3.2.1. Puntos de monitoreo - muestras

- Río Lalicucho (200 m aguas arriba y 200 m aguas abajo)
- Agua residual (afluente).
- Agua residual (efluente).

3.2.2. Equipos

- GPS Garmin Map 64S marca CivilTEC.
- Cámara fotográfica Marca: Canon Elph 160 8X.

3.2.3. Materiales de campo

- Ficha de registro de campo.
- Cadena de custodia.
- Papel secante.
- Cinta adhesiva.
- Plumón indeleble.
- Cooler.
- Frascos de Polietileno (estéril).
- Frascos de vidrio (estéril).
- Termómetro -50 °C – 70 °C marca Control Company.
- Etiquetas (rotular muestras).
- Lápices.
- Gel pack refrigerante.
- Bolsas de poliburbujas u otro material de embalaje adecuado.

- Preservante químico (tiosulfato) para la preservación de las muestras para la determinación de Coliformes termotolerantes.
- Pipeta.
- Cronómetro digital marca Max Electronics.
- Reloj manual marca Omega.
- Cinta métrica.
- Vaso o probeta graduado de 1L.

3.2.4. Indumentaria de protección

- Botines de seguridad
- Gafas de seguridad
- Guantes de jebe antideslizantes con cubierta de antebrazo
- Guantes de látex descartables
- Casco
- Mascarilla descartable.

3.2.5. Materiales de escritorio

- Papel bond A4.
- Folders manila A4.
- Lapiceros.
- Copias fotostáticas.
- Resaltadores.
- Laptop (marca Acer Corel i5) e internet.
- Impresora marca Canon E402.
- Memoria portátil USB 4 Gb marca Kingston.

3.3. Metodología

El presente trabajo de investigación se realizó en tres fases: fase de campo, fase de laboratorio y fase de gabinete.

Según el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales – PTAR (del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento), se realizó el monitoreo de la siguiente manera:

3.3.1. Etapa de Campo

- **Recolección de información:** Se recopiló información de la Municipalidad Provincial de Cajabamba, del Área Técnica Municipal (ATM) sobre la infraestructura y los componentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, información que permitió conocer su funcionamiento y el tipo de tratamiento en cada componente, así como ubicar los puntos de monitoreo en la PTAR y en el cuerpo receptor de la misma.
- **Frecuencia de Monitoreo:** La frecuencia de monitoreo permite medir los cambios sustanciales que ocurren en determinados periodos de tiempo, en ese sentido, en el presente estudio se realizó el seguimiento periódico respecto a las concentraciones de los parámetros bacteriológicos y parasitológicos ligados al agua residual cruda y tratada de la PTAR Cajabamba, así como sobre cuerpo receptor (río Lalicucho).
Según el protocolo de monitoreo del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento señala que para caudales promedios anuales > 10 L/s a 300 L/s, se debe realizar un (01) monitoreo semestral; en la investigación se estableció ejecutar un (01) monitoreo semestral con cinco (05) repeticiones mensuales, estableciéndose monitorear mensualmente en el periodo de octubre de 2019 a marzo de 2020.

El monitoreo y la frecuencia de los parámetros bacteriológicos y parasitológicos del río Lalicucho, así como del agua residual cruda y tratada (afluente y efluente) fue realizado en las mismas fechas.

- **Toma de muestras:** Se tomaron muestras simples del afluente, efluente y en el río Lalicucho como cuerpo receptor (aguas arriba y aguas abajo del punto de vertimiento) de la PTAR, a fin de analizar los parámetros establecidos.

Cada punto de monitoreo fue debidamente identificado. Se tomó la muestra a un tercio del tirante de la superficie, evitándose tomar muestras cerca de la superficie o del fondo, asimismo, evitándose partículas grandes, sedimentos y/o material flotante que se haya acumulado en el punto de muestreo (MVCS 2013).

Las muestras recolectadas fueron preservadas teniendo en cuenta cada uno de los parámetros considerados tal como se describe a continuación:

Tabla 7. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo

Determinación/ Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra	Preservación y concentración	Tiempo máximo de duración
Coliformes termotolerantes (NMP)	V, esterilizado	250 ml	Refrigerar a 4 °C. Agregar tiosulfato en plantas con cloración	6 horas
<i>Vibrio cholerae</i>	V, estéril	Variable, dependiendo del método	Refrigerar a 4 °C.	6 horas
<i>Escherichia coli</i>	V, estéril	Variable, dependiendo del método	Refrigerar a 4 °C.	6 horas
<i>Salmonella sp.</i>	V, estéril	Variable, dependiendo del método	Refrigerar a 4 °C.	6 horas
Huevos de helminetos	V	Variable, dependiendo del método	Refrigerar a 4 °C.	6 horas

Nota: P= frasco de plástico o equivalente V= frasco de vidrio

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition, 2012.

Tabla 8. Conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro evaluado

Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
Coliformes termotolerantes Coliformes Totales Enterococos fecales <i>Escherichia coli</i> <i>Giardia duodenalis</i> <i>Salmonella sp.</i> <i>Vibrio cholerae</i>	Vidrio esterilizado	Dejar un espacio para aireación y mezcla de 1/3 del frasco de muestreo. Almacenar a ≤ 6 °C y en oscuridad	24 horas
Formas parasitarias Huevos de helmintos	Plástico, con boca ancha	Almacenar a ≤ 6 °C y en oscuridad	24 horas

Fuente: Parámetros microbiológicos: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition, 2012.

Se hizo uso de guantes descartables antes del inicio de la toma de muestras de agua residual y se los desechó luego de culminado el muestreo en cada punto.

Una vez tomada la muestra, para el caso del parámetro de coliformes termotolerantes en agua residual, se adicionó tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) con fines de preservación de la muestra.

Los frascos fueron rotulados antes de la toma de muestras de agua, con letra clara y legible, conteniendo la siguiente información:

- Nombre de PTAR y denominación del punto de monitoreo.
- Número de muestra (referido al orden de toma de muestra).
- Fecha y hora de la toma de muestra.
- Preservación realizada, tipo de reactivo de preservación utilizado.
- Operador del muestreo.

En todo momento se evitó tomar la muestra tomando el frasco por la boca, para evitar riesgo de contaminación. Para las muestras de agua residual y del cuerpo receptor, no se realizó ningún enjuague de los recipientes, fueron sumergidos directamente en el afluente, efluente y cuerpo receptor, dejándose un espacio de 10 % del volumen del recipiente para asegurar un adecuado suministro de oxígeno para las bacterias. Cada frasco se cerró completamente evitando algún contacto con objetos u cosas que puedan alterar los resultados.

Posteriormente, se llenó el formato de cadena de custodia indicando la identificación y localización de la muestra, fecha y hora de muestreo, tipo de muestra, N° de recipiente, parámetros a ser evaluados y datos del colector de la muestra.

Las muestras de agua residual y del cuerpo receptor recolectadas, preservadas y rotuladas, se colocaron en una caja de almacenamiento térmica con refrigerante, para cumplir con la recomendación de temperatura indicada en la tabla 7 y en la tabla 8 antes descritas, y con las precauciones del caso por tratarse de envases de vidrio. Dichas muestras fueron transportadas inmediatamente para su respectivo análisis al laboratorio regional del agua en la ciudad de Cajamarca (acreditado con la ISO/IEC 17025). Cabe resaltar que se tuvo cuidado con los tiempos establecidos desde el inicio hasta la llegada de las muestras al laboratorio, según lo mencionado en la tabla 8.

Los parámetros bacteriológicos considerados en el presente estudio fueron: coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, por otro lado, dentro de los parámetros parasitológicos considerado por su relevancia y la normativa vigente para aguas residuales en nuestro país, se consideró a los huevos de helmintos.

3.3.2. Etapa de Laboratorio

Las muestras recolectadas en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba y de los puntos de control sobre el río Lalicucho, fueron analizadas en el laboratorio regional de Cajamarca a nivel microbiológico considerando los parámetros establecidos en el presente estudio, de acuerdo a los protocolos y estándares de calidad establecidos por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL), cuyo análisis para el caso de los efluentes se basó de acuerdo a los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales contempladas en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, cuyas consideraciones se encuentran detalladas en la Tabla 3.

A continuación, se detalla la metodología empleada para el análisis de cada parámetro establecido en cada una de las muestras recolectadas (aguas residuales y aguas superficiales de río):

Tabla 9. Parámetros y metodología utilizada por el laboratorio

Parámetro	Metodología
Coliformes Termotolerantes (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E. 23 nd Ed. 2017: Fecal Coliform Procedure.
Escherichia coli	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, G 23 nd Ed. 2017: Other <i>Escherichia coli</i> Procedures
Parásitos en aguas (Huevos y Larvas de Helmintos)	NMX-AA-113-SCFI. 2012: Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba

Fuente: Laboratorio Regional del Agua, 2019

3.3.3. Etapa de Gabinete

Los resultados obtenidos en el laboratorio, fueron contrastados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), de agua para riego de vegetales, determinándose si son superados o están dentro del rango establecido, permitiendo evaluar la eficiencia en la remoción de cada parámetro bacteriológico (coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*) y parasitológico (huevos de helmintos) en la PTAR Cajabamba, así como su impacto sobre el río Lalicucho que es el cuerpo receptor de los efluentes descargados.

El tipo de diseño de la presente investigación fue aplicada, de campo, descriptiva, de fuente primaria, transversal y no experimental, realizándose la observación y muestreo directo en campo, posteriormente, se desarrolló un sistema teórico, esbozando definiciones operacionales de las proposiciones y conceptos de la teoría, y luego se aplicó empíricamente a un conjunto de datos.

3.4. Tipo de investigación

Básica – descriptiva: Básica, ya que la principal contribución es generar nuevos conocimientos sobre la eficiencia de remoción de parámetros bacteriológicos y parasitológicos en el tratamiento de las aguas residuales, y descriptiva, porque no hubo la manipulación de variables.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos y la interpretación respectiva:

4.1. Resultados de los parámetros bacteriológicos en la PTAR Cajabamba

4.1.1. Concentración de coliformes termotolerantes en el afluente y efluente

La concentración de coliformes termotolerantes fue en promedio de $1.95E+07$ NMP/100 mL en el afluente, y de $1.67E+06$ NMP/100 mL en el efluente, mostrándose una disminución relativamente significativa por el sistema de tratamiento en la PTAR Cajabamba, superando a los $1.0E+03$ NMP/100 mL según las bases de su diseño.

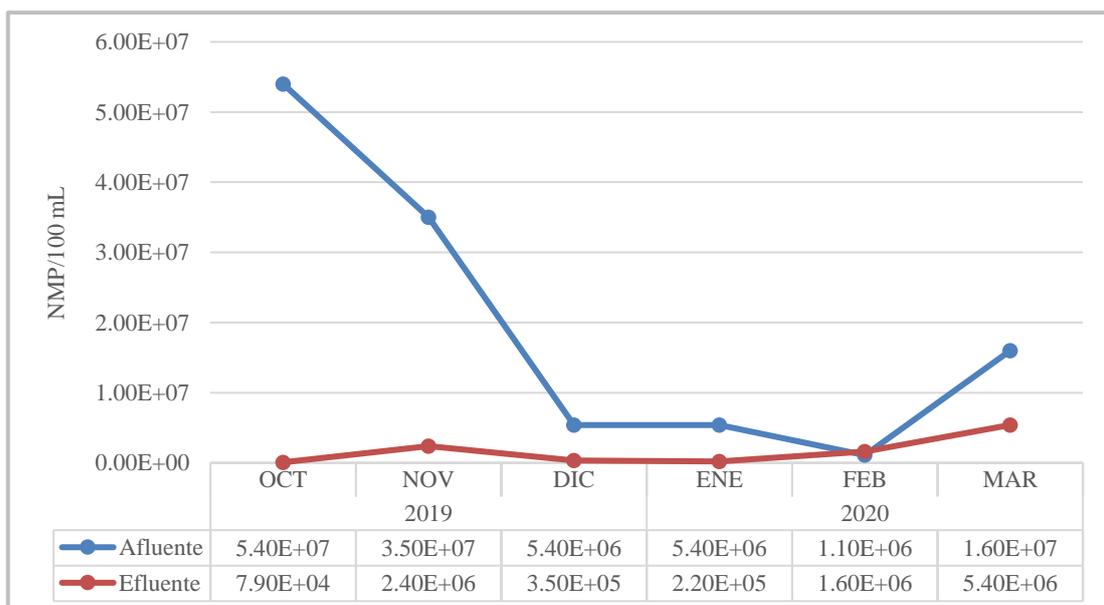


Figura 3. Concentración de coliformes termotolerantes en el afluente y efluente de la PTAR Cajabamba

Referente a los LMP, según las concentraciones registradas en el efluente, estos fueron considerablemente superados en todos los meses de monitoreo.

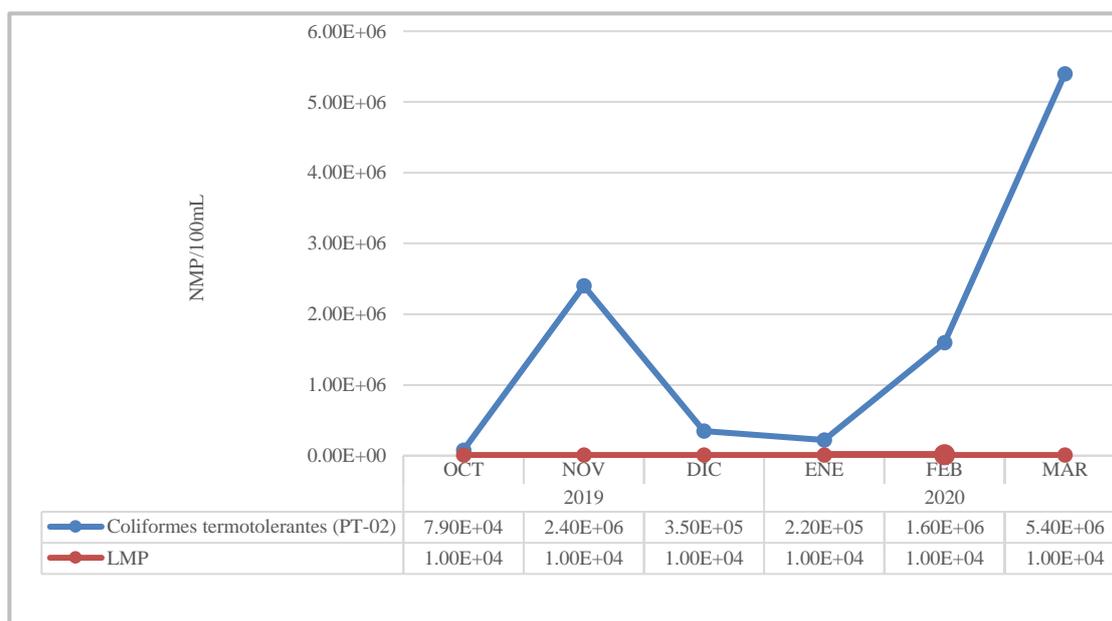


Figura 4. Concentración de coliformes termotolerantes en el efluente de la PTAR

Tal como se observa en la figura 4, el mes con el menor registro de concentración de bacterias coliformes termotolerantes es el mes de octubre con un valor de $7.9E+04$ NMP/100 mL, superando en casi 8 veces los LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Los meses de noviembre y diciembre del año 2019 así como los meses de enero, febrero y marzo del año 2020 presentan registros elevados, esto debido a que a partir del mes de noviembre no se realizó la cloración de los efluentes de la PTAR Cajabamba, además, la cámara de bombeo de lodos hacia los biofiltros en la etapa de sedimentación, no estaba funcionando por falta de mantenimiento.

Por otro lado, cabe mencionar que los registros elevados en el mes de noviembre del 2019, y marzo del 2020, presentaron valores de $2.4E+06$ NMP/100 mL y $5.40E+06$ NMP/100 mL respectivamente, evidenciando un sistema deficiente en la remoción bacteriológica de las aguas residuales en la PTAR Cajabamba.

4.1.2. Eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes

El porcentaje de remoción promedio de bacterias coliformes termotolerantes en la PTAR Cajabamba es de 67%, valor que se encuentra debajo del rango de 99,86 – 99,99% reportado por Matsumoto y Sánchez (2016), Martínez y Escobar (2008), Febles-Patrón y Hoogestegin (2010), por otro lado, es superior al 59,27% registrado por Martínez y Guzmán (2003) y similar al 65.62% registrado por Núñez (2019).

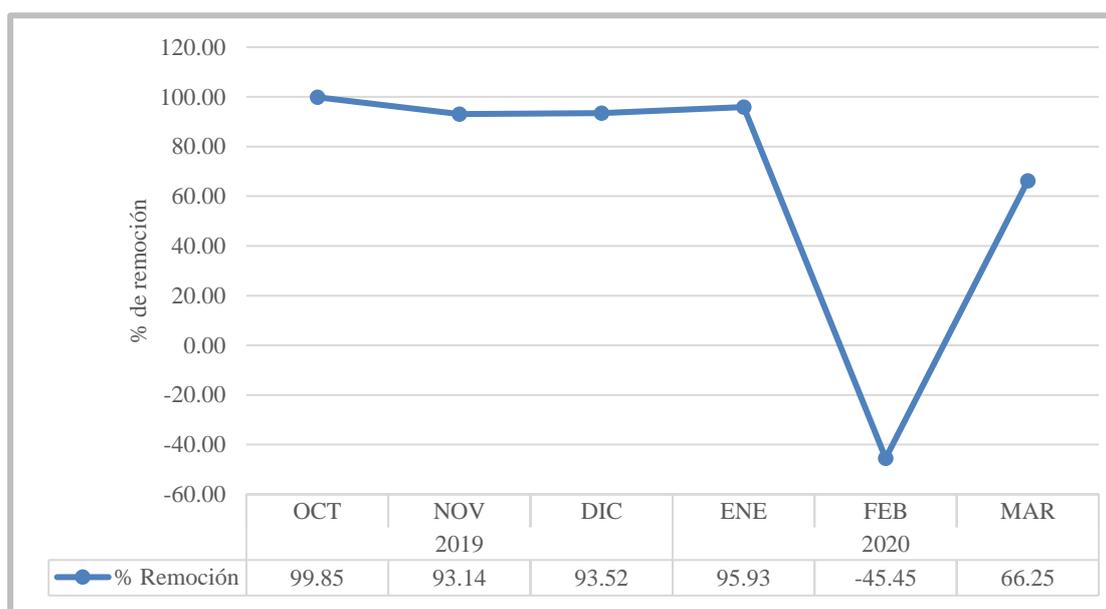


Figura 5. Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes en la PTAR

Tal como se observa en la figura 5, existe una remoción mensual de coliformes termotolerantes superior al 90% en los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2019, así como en el mes de enero del 2020, sin embargo, dicho porcentaje de remoción resulta insuficiente para que los efluentes de la PTAR estén por debajo de los 10 000 NMP/100 mL, valor que corresponde a los Límites Máximos Permisibles. Asimismo, se observa que, en el mes de febrero, el valor del porcentaje de remoción fue -45.45%, esto debido a la época de lluvia (durante el mes de monitoreo) y en segunda instancia a la carga contaminante acumulada por la inoperatividad de la cámara de bombeo de lodos

en los sedimentadores de la PTAR, que dificulta la remoción de las bacterias termotolerantes.

4.1.3. Concentración de coliformes termotolerantes en el río Lalicucho

En la Figura 6, podemos apreciar que en los resultados de las concentraciones de coliformes termotolerantes en el río Lalicucho como cuerpo receptor de las aguas residuales tratadas en la PTAR Cajabamba, la diferencia entre el mes de octubre con los siguientes meses es muy notoria, se puede visualizar que no existe variación entre ambos puntos de monitoreo aguas arriba y aguas abajo del efluente de la PTAR (PC-01 y PC-02), presentando concentraciones de $3.50E+04$ NMP/100 mL en ambos casos, esto debido a una mayor capacidad de mezcla por la presencia de lluvias y a la eficiencia en la remoción bacteriológica del sistema de cloración, sin embargo, en el punto de monitoreo 200 m aguas abajo del efluente (PC – 02), en los meses de noviembre y diciembre del 2019 así como en los meses de enero, febrero y marzo del 2020, se observa que el impacto de la ineficiencia en el tratamiento y remoción de las bacterias coliformes termotolerantes de la PTAR sobre el río Lalicucho es muy significativa. Se registraron valores de $3.50E+03$ NMP/100 mL, $1.60E+04$ NMP/100 mL, $2.80E+04$ NMP/100 mL, $3.50E+03$ NMP/100 mL y $9.20E+04$ NMP/100 mL respectivamente, debido a la falta de cloración en la PTAR durante esos meses.

Tal como se observa en la Tabla 10, durante todos los meses de monitoreo, el vertimiento del efluente hacia el río Lalicucho con una remoción bacteriológica ineficiente, está impactando negativamente sobre la calidad del mismo, debido al incremento que está generando sobre la concentración de coliformes termotolerantes que es aproximadamente en promedio de $1.94E+03$ NMP/100 mL. Se observa que todas las concentraciones de termotolerantes en el punto de monitoreo PC – 02 son superiores a las registradas aguas arriba del río Lalicucho, haciendo de sus aguas por sus

características bacteriológicas, no aptas para consumo humano, bebida de animales y de uso restringido para riego de vegetales de tallo corto.

Tabla 10. Comparación de la concentración de coliformes termotolerantes en el efluente y el río Lalicucho

Parámetros bacteriológicos Coliforme termotolerantes	Concentraciones de parámetros bacteriológicos					
	2019			2020		
	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo
PC - 01	3.50E+04	1.60E+03	3.50E+03	3.50E+03	1.30E+03	1.70E+04
PT - 02 (Efluente)	7.90E+04	2.40E+06	3.50E+05	2.20E+05	1.60E+06	5.40E+06
PC - 02	3.50E+04	3.50E+03	1.60E+04	2.80E+04	3.50E+03	9.20E+04

Cabe mencionar que en el punto de monitoreo PC-01 (200 m aguas arriba del efluente) las concentraciones de coliformes termo tolerantes son elevadas y superan las 1 000 NMP/100 mL, esto debido a que aguas arriba del punto de vertimiento de las aguas residuales tratadas en la PTAR Cajabamba, el río Lalicucho presenta altos niveles de contaminación de origen antrópico y sobre todo por el vertimiento de las aguas residuales tratadas ineficientemente en la PTAR 2 que vierte sus efluentes sobre la quebrada El Padre que confluye hacia el río Lalicucho.

Realizando una comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, tal como se observa en la Figura 6, observamos que en el punto de monitoreo PC-02, a 200 m aguas abajo del efluente, en el mes de marzo del 2020 se registró una concentración de 9.20E+04 NMP/100 mL, siendo el mayor registro durante los seis meses de monitoreo, superando en casi 10 veces a los ECA, asimismo, las concentraciones registradas en los meses de octubre y diciembre del 2019 así como en el mes de enero del 2020, superan de manera significativa los Estándares de Calidad

Ambiental para agua, categoría 3. Todos los registros en los puntos de monitoreo PC-01 y PC-02 sobre el río Lalicucho superan los estándares de calidad ambiental para agua categoría 3.

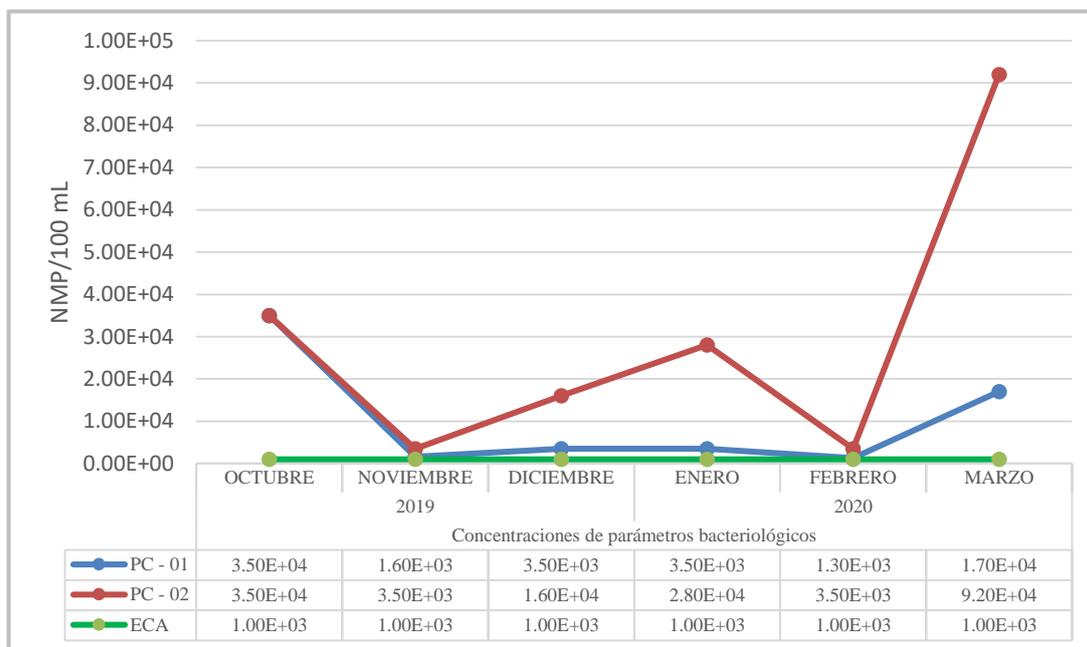


Figura 6. Concentración de coliformes termotolerantes en el río Lalicucho (PC-01)

4.1.4. Concentración de *Escherichia coli* en el afluente y efluente de la PTAR

La bacteria *Escherichia coli* es el parámetro bacteriológico más importante a determinar dada su condición de ser el principal indicador bacteriano en agua, así como también ser el indicador de contaminación fecal más preciso, esto de acuerdo a los estudios realizados por Arcos (2005). Aproximadamente entre 10¹¹ y 10¹³ bacterias *E. coli* son evacuadas en las aguas residuales diariamente por una persona.

En el presente estudio, la concentración de *E. coli* fue en promedio 1.03E+07 NMP/100 mL en el afluente, y 1.05E+06 NMP/100 mL en el efluente.

Según la Figura 7, se puede observar una fuerte contaminación fecal de las aguas residuales recolectadas del sistema de alcantarillado de la localidad de Cajabamba, se observan registros en el afluente (PT-01) que superan el 1.00E+07 NMP/100 mL

durante el último trimestre del 2019 y el primer trimestre del 2020 que se realizó el presente estudio, presentándose picos en el mes de octubre de 2019 y en el mes de marzo del 2020 con valores de $3.50E+07$ NMP/100 mL y $1.60E+07$ NMP/100 mL respectivamente. Además, se puede observar que los niveles de concentración de *E. coli* en el efluente (PT-02) son menores a los del afluente (PT-01) indicando claramente que la PTAR Cajabamba si logra remover la elevada carga bacteriológica de las aguas residuales tratadas, sin embargo, dicha eficiencia de remoción resulta insuficiente para cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

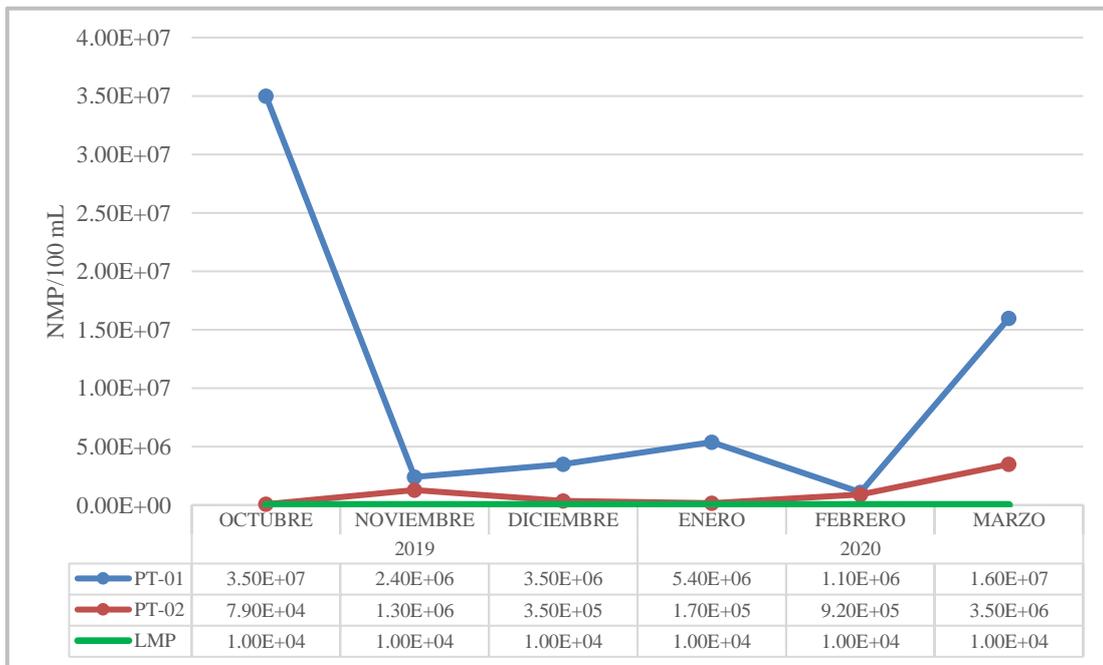


Figura 7. Concentración de *E. coli* en el afluente y efluente de la PTAR

4.1.5. Eficiencia de remoción de *Escherichia coli*

El porcentaje de remoción promedio de *E. coli* en la PTAR Cajabamba es de 71%, valor que está por debajo del valor mínimo equivalente a un ciclo \log_{10} (equivalente al 90%) según lo establecido en la Norma OS.090.

Tal como se observa en la figura 8, el porcentaje de remoción de *E. coli* de la PTAR en el mes de octubre de 2019 es del 99.77%, valores muy cercanos a los establecidos en las bases de diseño de la planta, y al sistema de tratamiento de los filtros percoladores así como de los sedimentadores, sin embargo, se puede observar que en los meses de noviembre y diciembre del 2019 y en el primer trimestre del 2020, el porcentaje de remoción es variable, presentando valores de 45.83%, 90 %, 96.83 %, 16.36 % y 78.13 % respectivamente. Aparentemente en los meses de diciembre del 2019 y enero del 2020 se observa una remoción mayor al 89 %, sin embargo, los efluentes de la PTAR en ambos meses, presentan una concentración de *E. coli* con valores de 3.50E+05 NMP/100 mL y 1.70E+05 NMP/100 mL, que exceden considerablemente a los Límites Máximos Permisibles (LMP).

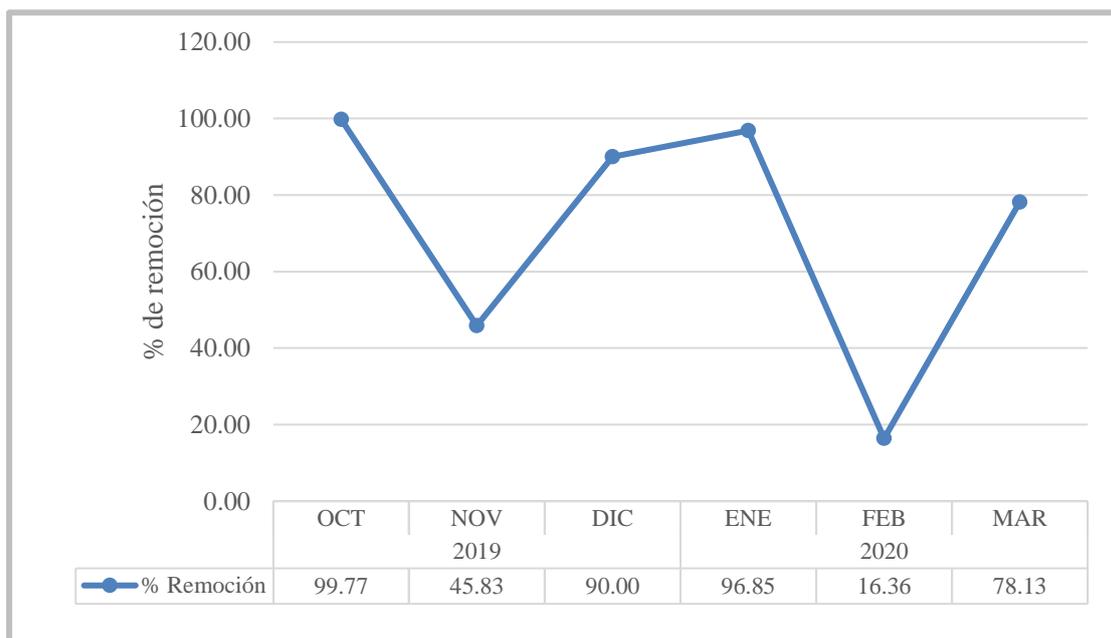


Figura 8. Eficiencia de remoción de *E. coli* en el sistema de tratamiento de la PTAR

4.1.6. Concentración de *Escherichia coli* en el río Lalicucho

La concentración de *E. coli* en el río Lalicucho como cuerpo receptor de las aguas residuales tratadas de la PTAR Cajabamba, supera en ambos puntos de monitoreo (PC -

01 y PC - 02) a los ECA Agua Categoría 3 (1 000 NMP/100 mL), excepto en el mes de noviembre del 2019 que se registró un valor de 920 NMP/100 mL correspondiente al punto de monitoreo PC-01. En los meses de noviembre y diciembre del 2019 y los meses de febrero y marzo del 2020 según la figura 9, se observa que en el punto PC-02, a 200 metros aguas abajo del punto de vertimiento del efluente de la PTAR Cajabamba, se obtuvieron registros de 3.50E+03 NMP/100 mL, 9.20E+03 NMP/100 mL , 2.40E+03 NMP/100 mL y 3.50E+04 NMP/100 mL, que superan a los registrados en el PC - 01, lo cual indica que la ineficiencia de la remoción del tratamiento de las aguas residuales en la PTAR y la elevada carga bacteriológica del efluente, principalmente por la falta de cloración de los efluentes, impactando negativamente sobre la calidad del río Lalicucho, generando un incremento promedio sobre la concentración de 7.57E+03 NMP/100 mL. Por otro lado, se evidenció una fuerte contaminación de origen fecal, por lo tanto, las aguas del río Lalicucho que son destinadas para riego aguas abajo, son insalubres dadas las características de patogenicidad de esta especie.

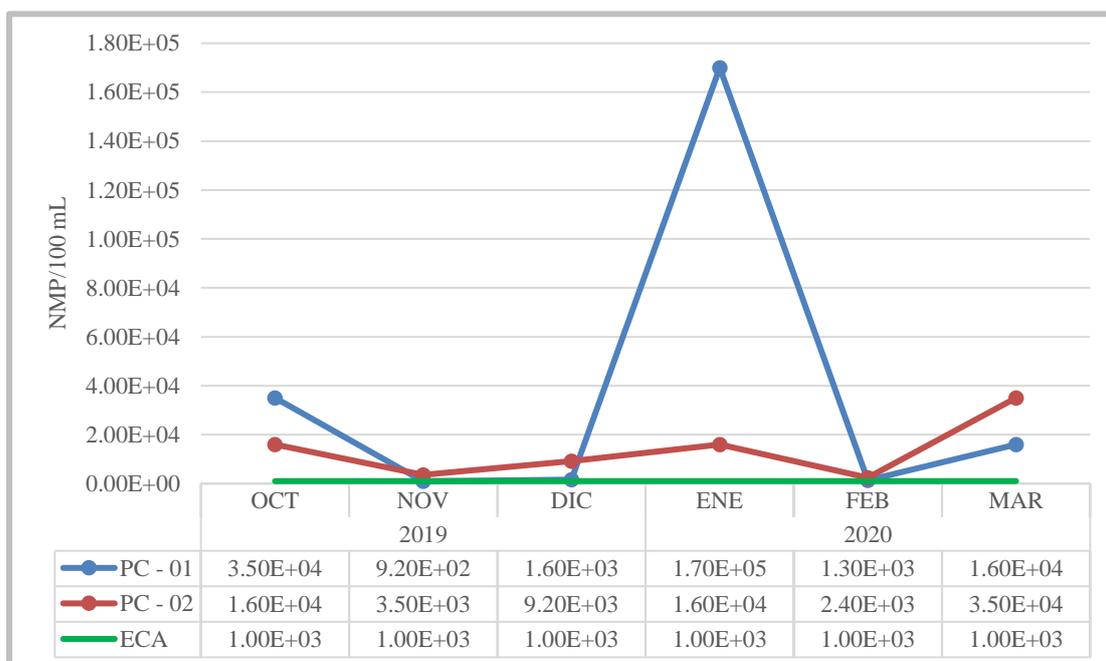


Figura 9. Concentración de *Escherichia coli* en el río Lalicucho

Las bacterias coliformes son un grupo de bacterias que se utilizan como indicadores de contaminación. El grupo está compuesto por *Escherichia coli*, enterobacter, citrobacter y klebsiella, son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente. Están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades y permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas, además, se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección (Del Villar 2010).

En cuanto a los efectos de coliformes en la salud humana, cabe mencionar que uno de los principales problemas de salud que ocasionan son las enfermedades infecciosas y parasitarias del aparato digestivo, según las estadísticas del 2014, en el Perú, fueron la segunda causa de consultas al centro de salud (Fernández 2015).

Considerando la carga elevada de contaminantes bacteriológicos y parasitológicos que contienen las aguas residuales y su elevado potencial para afectar la salud poblacional, sobre un contexto local donde las aguas residuales tratadas son reutilizadas para el riego de vegetales de tallo bajo, pastos, forrajes y otros cultivos en parcelas aledañas de la PTAR, y aguas abajo donde se encuentra el valle de Condebamba, conocer la eficiencia de remoción de los parámetros bacteriológicos y parasitológicos en la PTAR Cajabamba, así como su impacto sobre el río Lalicucho resulta fundamental, dado el riesgo de enfermedades asociadas a la ingesta de agua y el consumo de vegetales contaminados con bacterias patógenas, parásitos, virus, protozoarios y helmintos provenientes de las heces fecales de humanos y animales vertidas en las aguas residuales (WHO 2003).

Según la Dirección Regional de Salud de Cajamarca una de las principales causas de mortalidad en la niñez de la región Cajamarca, son las enfermedades infecciosas intestinales, que ocupa el séptimo lugar y representa el 3.3% de las 181 muertes

presentadas (DIRESA 2015), asimismo, aún más preocupante, las enfermedades infecciosas intestinales se constituyen como la segunda causa de morbilidad de consulta externa en la región Cajamarca durante el año 2015. En la provincia de Cajabamba, se notificaron 1,171 atenciones por enfermedad diarreica aguda (acuosa + disentérica), siendo la séptima provincia a nivel de la región Cajamarca con mayor incidencia. Registros de este tipo indican que la afección de salud poblacional de la provincia de Cajabamba puede estar ligada al consumo de vegetales de tallo corto que son regados con aguas residuales tratadas ineficientemente o por los malos hábitos de higiene de la población misma.

En tal sentido, el impacto negativo de los efluentes de la planta en el tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la localidad de Cajabamba sobre el río Lalicucho, por la ineficiencia en la remoción de parámetros bacteriológicos (coliformes termotolerantes y *E. coli*) así como de parámetros parasitológicos (huevos de helmintos) es un factor importante en la afectación de la salud poblacional según los antecedentes citados.

4.2. Resultados de los parámetros parasitológicos

4.2.1. Concentración de huevos de helmintos en el afluente y efluente de la PTAR

La presencia de estos microorganismos parasitológicos en aguas residuales es de gran preocupación con respecto a la salud humana. El huevo constituye la etapa contagiosa de los parásitos de helmintos, que son excretados en las heces y se extienden a las aguas residuales, en el suelo o en los alimentos. Según Bitton (1994) el huevo es muy resistente a las tensiones ambientales y a la desinfección con cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los huevos y larvas cuyo tamaño oscila entre 10 μm y 100 μm , resisten condiciones ambientales desfavorables y pueden sobrevivir a los tratamientos convencionales de desinfección de aguas residuales, aunque algunos huevos pueden ser removidos mediante procesos convencionales de tratamiento como sedimentación, filtración y lagunas de estabilización. (Bitton 1994).

En el presente estudio de investigación, la concentración de huevos de helmintos en el efluente y el afluente de la PTAR Cajabamba durante los seis meses de monitoreo se logró observar la variabilidad en la cuantificación de huevos de helmintos tal como se observa en la figura 10, en los meses de noviembre del 2019 y marzo del 2020 la carga parasitológica del afluente (PT - 01) disminuye por el tratamiento recibido en la PTAR respecto del efluente (PT - 02), se registran concentraciones en el punto PT - 01 de 22 HH/L y 21 HH/L respectivamente, presentando un descenso a concentraciones en el PT - 02 de 10 HH/L y 17 HH/L; sin embargo, en el mes de octubre de 2019 y los meses de enero y febrero del 2020 la eficiencia en la remoción de la carga parasitológica no es similar, incluso aun cuando en el mes de octubre de 2019, donde el sistema de cloración ha funcionado adecuadamente, no se observa una disminución en la remoción de huevos de helmintos, se observa en el punto PT - 01 un valor de 60 HH/L y en el efluente una concentración de 86 HH/L. Dichos resultados está acorde a lo que manifiesta Bitton (1994), que los huevos de helmintos son muy resistentes al proceso de desinfección con cloro.

El mismo resultado se puede apreciar en los meses de enero y febrero de 2020 donde el afluente ingresó a la planta de tratamiento con valores de 5 HH/L y 3 HH/L, y después del tratamiento recibido, registró valores de 7 HH/L y 9 HH/L, esto debido a la inoperatividad del sistema de bombeo en los sedimentadores secundarios y la falta de cloración a los efluentes de la PTAR Cajabamba.

Dada la preocupación sanitaria existente por la resistencia de los huevos de helmintos en los procesos de desinfección, el marco normativo que regula los Límites Máximos Permisibles (LMP) para plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, no tiene implementado la concentración que deberían tener los efluentes respecto a este parámetro, significando un alto riesgo para la salud de la población que se abastece de las aguas del río Lalicucho para consumo humano y el riego de cultivos agrícolas.

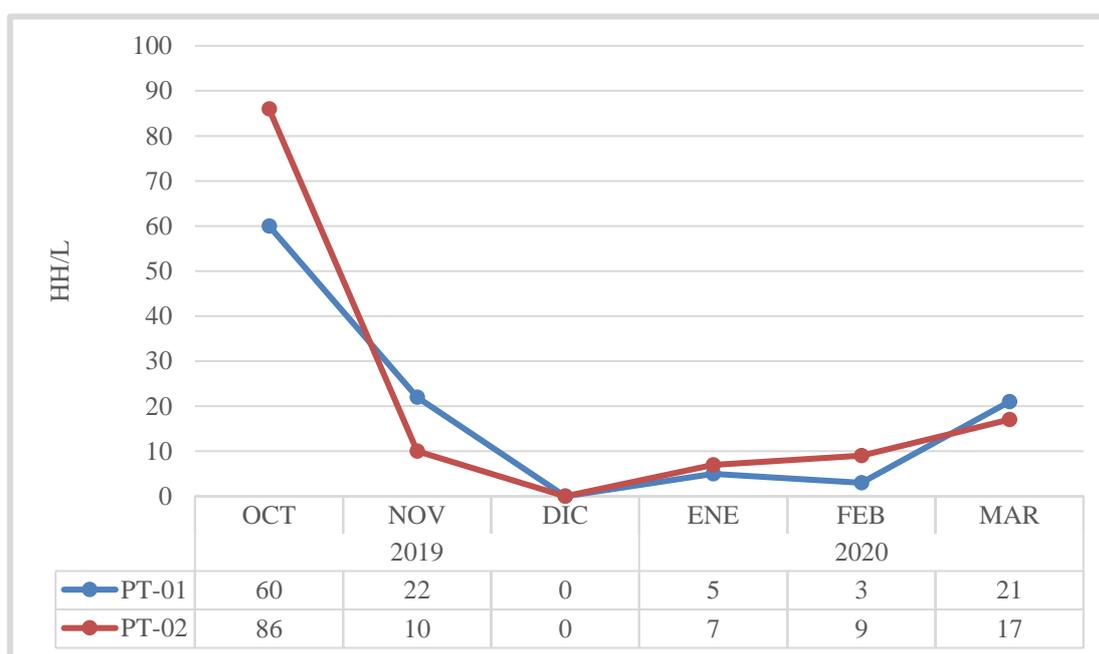


Figura 10. Huevos de Helmintos (HH/L) en el afluente y efluente de la PTAR

4.2.2. Eficiencia de remoción de huevos de helmintos

Respecto a la eficiencia en el tratamiento de la PTAR Cajabamba sobre la remoción de la carga parasitológica, el porcentaje de remoción promedio de huevos de helmintos es de 35%, resultando menor a lo establecido por Feachem que es de 50 – 95 %. Al respecto, se puede observar en la Figura 11, que el porcentaje de remoción de huevos de helmintos en todos los meses de monitoreo es menor del 90% según lo establecido por la Norma Técnica OS. 090 para el sistema de filtros percoladores. En los

meses de noviembre (2019) y marzo (2020) el porcentaje de remoción de huevos de helmintos es de 54.55 % y 19.05 % respectivamente. En los meses de octubre del 2019 y los meses de enero y febrero del 2020, el porcentaje de remoción es de carácter negativo, esto debido a que la carga bacteriológica del efluente se ha incrementado por la falta de bombeo de los lodos de los sedimentadores secundarios a los biofiltros de la PTAR, así como a la falta de cloración durante esos meses.

Por otro lado, en el mes de diciembre (2019) se observa una remoción de huevos de helmintos del 0%, que se amerita a la hora de muestreo realizado durante la tarde y a la época de lluvia, condiciones en las que las aguas residuales tienen una menor carga orgánica y parasitológica, siendo mayor la dilución por el drenaje del agua de lluvia en el sistema de alcantarillado. Los resultados evidencian que la eficiencia en la remoción de parámetros parasitológicos respecto a huevos de helmintos es mala e insuficiente para alcanzar valores menores a 1 HH/L.

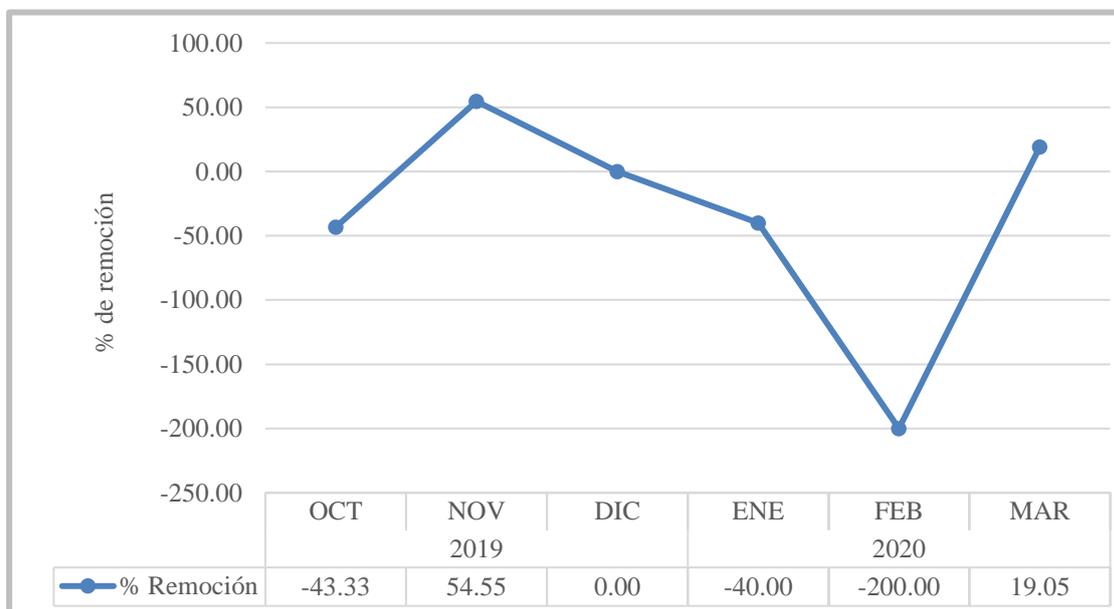


Figura 11. Porcentaje de remoción de Huevos de Helmintos (HH/L) en la PTAR

4.2.3. Concentración de huevos de helmintos en el río Lalicucho

El análisis cuantitativo de huevos de helmintos realizado en el primer punto de monitoreo (PC - 01) ubicado en el río Lalicucho, a 200 metros del efluente de la PTAR, podemos observar la constante variación que se presenta durante los seis meses evaluados, registrándose concentraciones de 5 HH/L, 7 HH/L, 17 HH/L en los meses de octubre, noviembre y enero (2020) respectivamente. Tal como se observa en la Figura 12, dichos resultados son indicios de la presencia de vertimiento de aguas residuales y excretas portadoras de huevos de helmintos aguas arriba del río Lalicucho, convirtiéndose en un problema sanitario, debido a su gran capacidad para sobrevivir por largos periodos, pues son extremadamente resistentes a los tratamientos de desinfección del agua. Tal resistencia está dada por la composición química de las capas de estos huevos, principalmente, formadas por lípidos y proteínas (Escobar 2014).

Por otro lado, en los meses de diciembre (2019) y febrero y marzo del 2020, se observan registros de 0 HH/L, esto debido al incremento del caudal del río Lalicucho por lluvias registradas en dichos meses, lo cual incrementa el nivel de dilución y el arrastre de la carga contaminante.

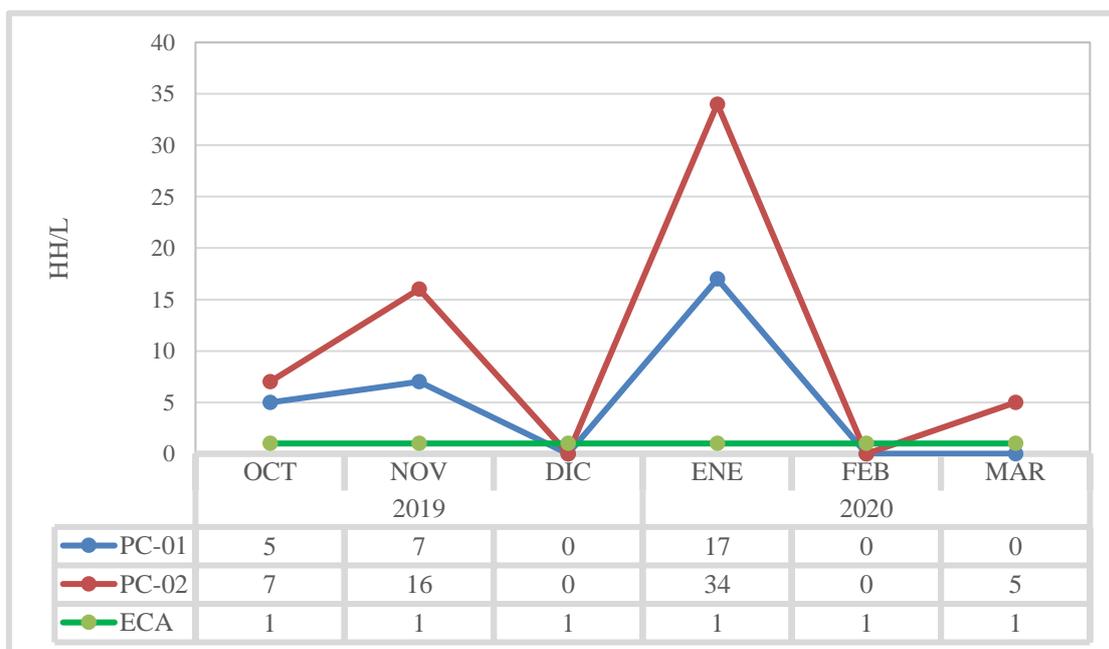


Figura 12. Huevos de Helmintos (HH/L) en el río Lalicucho

En el punto de monitoreo PC - 02 ubicado a 200 metros del efluente de la PTAR sobre el río Lalicucho, en el mes de octubre de 2019, se obtuvo una concentración de 7 HH/L, incrementándose en el mes de noviembre de 2019 a 16 HH/L. A partir del mes de enero (2020), la presencia de helmintos se ha incrementado considerablemente presentando concentraciones de 34 HH/L, sobrepasando considerablemente los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 3, que corresponde a agua para riego de vegetales (agua para riego no restringido). Cabe mencionar que la PTAR aplica un proceso de desinfección de las aguas residuales tratadas con el objetivo de eliminar los microorganismos microbiológicos, sin embargo, el proceso de cloración no resulta efectivo para eliminar huevos de helmintos (Gutiérrez 2014), motivo por el cual los efluentes de la PTAR presentan concentraciones elevadas de huevos de helmintos, tal como se observa en el mes de octubre de 2019, donde sí se aplicó con cloración al sistema de salida del efluente, sin embargo, en los cinco meses consecutivos, no se realizó la desinfección con por cuestiones de logística, según lo manifestado por el operador técnico de la PTAR. Dicho panorama significa un riesgo latente para la salud poblacional, por la impregnación de bacterias coliformes y huevos de helmintos en los vegetales de tallo corto.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció que el principal riesgo en el empleo de agua residual para riego agrícola es la diseminación de parásitos. En el Instituto Nacional de Salud Pública de México, se demostró que la principal diseminación presente en sus aguas residuales es de helmintos (lombrices parasitarias). En muchos países, fue necesario modificar la normativa de manera que los estándares de calidad fueran orientados al control de microorganismos patógenos. Hoy, la nueva normativa establece que para riego en todo tipo de cultivos se puede reusar el agua negra tratada que contenga < 1000 NMP/100 mL de Coliformes Fecales y < 1 HH/L

(huevos de helmintos por litro). Adicionalmente, para el caso del riego de cultivos que no se consumen crudos es posible aceptar hasta 5 HH/L junto con <1000 NMP/100 mL; al respecto, según los resultados obtenidos, la concentración de coliformes termotolerantes, *E. coli* y huevos de helmintos en los efluentes de la PTAR Cajabamba superan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (2006).

En la mayoría de los países, sólo se realizan análisis de bacterias coliformes fecales para el control de patógenos en efluentes, sin embargo, hay estudios que demuestran que no existe relación entre la presencia de bacterias y huevos de helmintos, por lo tanto, el riesgo potencial de adquirir enfermedades con parásitos intestinales humanos es mayor que con bacterias, considerando que éstas sufren una desactivación progresiva en los sistemas de tratamiento, puesto que son más susceptibles a la cloración y son menos persistentes en el ambiente.

En 1989, un grupo científico de la OMS formuló nuevas directrices sobre el uso de aguas residuales en la agricultura y la acuicultura. En cuanto al uso agrícola, estas directrices introdujeron un enfoque nuevo y más severo referente a la necesidad de reducir el número de huevos de helmintos (especies de ascaris y trichuris y anquilostoma) en efluentes a un nivel de 1 huevo/litro, esto significa que alrededor del 99.9 % de los huevos de helmintos deben ser eliminados con procesos adecuados de tratamiento en zonas donde las enfermedades helmínticas son endémicas y presentan riesgos efectivos para la salud.

La importancia de la eliminación de helmintos se observa en un estudio realizado por Cifuentes y colaboradores (1992), en el que demostraron que el empleo del agua negra en riego es la causa principal de la transmisión de enfermedades diarreicas ocasionadas por helmintos. En lo que respecta a la eficiencia de remoción de patógenos

de las aguas residuales, el número de los que sobreviven es más importante que el número de los que mueren. Cifras como 99% o 99,9% de remoción de agentes patógenos pueden parecer impresionantes, pero representan el 1% y el 0,1% de sobrevivientes, respectivamente; dadas las altas concentraciones de patógenos que se pueden encontrar en las aguas residuales, estas proporciones pueden ser importantes.

Numerosos estudios sobre reducción de parásitos en lagunas de estabilización sugieren que el principal mecanismo de remoción es la sedimentación. Se conoce que huevos de protozoarios y helmintos sedimentan efectivamente en períodos de 3 a 6 días, pero que huevos de *Ancylostoma*, *Duodenale* y *Schistosoma* pueden desarrollar larvas móviles y aparecer en el efluente. Se ha reportado que la larva miracidia del *Schistosoma* no puede sobrevivir en condiciones de motilidad por más de 10 horas (Shuval 1988). De los datos existentes se ha recomendado un período de retención mínimo de 8 a 10 días para asegurar una remoción efectiva de huevos de helmintos (WHO 1988).

Según Feachem et al (1981) el porcentaje de remoción de huevos de helmintos en filtros percoladores es de 50 – 95 %, asimismo que la supervivencia de patógenos (helmintos) en lodos fecales es de 2-3 años, en zonas con temperaturas de 10-15 °C.

Por otro lado, la presencia de huevos de helmintos es uno de los principales problemas de salud pública al reutilizar el agua residual. Los resultados de este estudio muestran la presencia de huevos de helmintos en el 100% de las muestras de agua residual analizadas. La presencia de huevos de helmintos en el efluente de la PTAR Cajabamba es explicable, y considerando que se esperaba obtener mayor concentración de huevos de helmintos a la entrada que en el efluente de la PTAR, en tres de los muestreos del efluente final, las concentraciones de huevos de helmintos fueron

mayores que en la entrada, esto se explica por la gran cantidad de materia en suspensión presente en las muestras de la entrada, lo que dificulta la observación de los huevos de los parásitos ya que estos, debido a su color, similar al de los detritos, se mimetizan fácilmente (Rose 1986), mientras que en las muestras del efluente las observaciones se hacen con relativa mayor facilidad al no haber gran cantidad de detritos que dificulten la visualización de los huevos.

Otros aspectos a considerar, es el hecho de que los huevos de Ancylostomideos son livianos y esto hace que no sean eficientemente removidos, lo cual explicaría la presencia de mayor número de estos organismos a la salida que a la entrada del sistema, y el alto tiempo de supervivencia de los huevos de helmintos en el ambiente (1 a 3 meses), el cual es mayor que el tiempo de retención de este sistema de filtros de percolación que es de 10 días.

En Perú no existe una normativa en relación con la presencia de huevos de helmintos en los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, y, por lo tanto, se siguen los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que establecen que el número de huevos viables de helmintos por litro de agua residual tratada deberá ser < 1 huevo/litro. Como se aprecia en este trabajo, los valores obtenidos de huevos de helmintos son muy altos en comparación a lo establecido por la OMS.

Finalmente, es importante destacar que el tratamiento de lodos activados no altera la viabilidad de los huevos de helmintos, debido a que las condiciones del medio no son desfavorables, asimismo, los huevos de helmintos que tienden a sedimentar, se acumulan en los lodos residuales, donde pueden permanecer en estado de latencia conservando su viabilidad; y aunque en las aguas tratadas se observe una reducción significativa de estas estructuras parasitarias, los lodos residuales contienen los huevos de helmintos inicialmente presentes en el agua residual cruda (Rhyner et al 1995).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La planta de tratamiento de aguas residuales mediante el sistema de filtros percoladores no es eficiente en la remoción de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, y huevos de helmintos, cuyos valores en cada parámetro bacteriológico y parasitológico evaluado fue de 67%, 71% y 35% respectivamente, los cuales se encuentran por debajo del promedio requerido en las bases de diseño y lo establecido en la normativa vigente para estos parámetros.
- La concentración de coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* en el afluente de la PTAR Cajabamba fue de 1.95E+07 NMP/100 mL y 1.06E+07 NMP/mL, por otro lado, el efluente registró concentraciones de 1.67E+06 NMP/mL, 1.05E+06 NMP/mL respectivamente.
- La planta de tratamiento de aguas residuales durante los seis meses de monitoreo presentó concentraciones de 19 HH/L en el afluente y de 22 HH/L en sus efluentes.
- El río Lalicucho como cuerpo receptor de los efluentes de la PTAR Cajabamba presentó a 200 metros aguas arriba del efluente concentraciones de 1.03E+04 NMP/mL en cuanto a coliformes termotolerantes, 3.75E+04 NMP/mL de *Escherichia coli*, y 5 HH/L (huevos de helmintos), por otro lado, a 200 metros aguas abajo del punto de vertimiento del efluente, las concentraciones de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y huevos de helmintos fueron de

2.97E+04 NMP/mL, 1.37E+04 NMP/mL y 10 HH/L respectivamente. Evidenciándose claramente que los efluentes generan un impacto negativo reflejado en el incremento de las concentraciones de los parámetros evaluados.

- El río Lalicucho se encuentra contaminado y amenazado debido a la deficiencia en la remoción de los parámetros bacteriológicos y parasitológicos en el proceso de tratamiento que actualmente reciben las aguas residuales en la PTAR Cajabamba, las concentraciones de coliformes termotolerantes, *E. coli* y huevos de helmintos superan considerablemente a los ECA para agua destinada a riego de vegetales (agua para riego no restringido – categoría 3); siendo sus aguas no aptas para el consumo humano ni para riego de vegetales.

5.2. Recomendaciones

- Asegurar la logística y los insumos químicos (cloro) necesarios para el adecuado funcionamiento de la PTAR hasta su etapa final de cloración, a fin de garantizar la eliminación de las bacterias residuales presentes en el afluente.
- Si bien es cierto, el cloro es el producto químico más comúnmente utilizado para la desinfección de agua, debido a su habilidad para inactivar bacterias y virus; sin embargo, no es efectivo para eliminar los Huevos de Helmintos (HH), ante ello, se recomienda la construcción aguas debajo de una laguna de estabilización de baja profundidad, para favorecer que la incidencia de la radiación ultravioleta logre inactivar y destruir la pared celular de los parásitos presentes. Además, se sugiere la implementación de filtros lentos para optimizar la remoción bacteriológica y parasitológica.
- Se sugieren métodos no convencionales que se pueden implementar dependiendo de la capacidad adquisitiva de la Municipalidad Provincial de Cajabamba, los

cuales han obtenido altas eficiencias de remoción de huevos de helmintos, estos son: la vía ácida, la cual es un tratamiento que utiliza ácidos para la eliminación de huevos de helmintos, como el ácido peracético; la fotocátalisis homogénea, que involucra una reacción química y absorción de luz, con ayuda de un catalizador para acelerar la reacción; la fotocátalisis solar con TiO_2 , que es el resultado de una reacción causada con luz solar y un catalizador TiO_2 , y la ozonización, sin embargo, las investigaciones continúan siendo escasas.

- Realizar muestreos constantes a fin de evaluar el cumplimiento de los LMP y los ECA en la PTAR, asimismo, investigar las posibles fuentes de contaminación aguas arriba y las causas del tratamiento inadecuado o alteraciones de la integridad del sistema de tratamiento y distribución de la PTAR Cajabamba.
- Controlar el manejo e irrigación de cultivos del valle Condebamba con las aguas del río Lalicucho, por presentar altas concentraciones de coliformes termotolerantes, *E. coli* y huevos de helmintos, de tal modo que se asegure la inocuidad de los productos agrícolas en los centros de abastecimiento locales.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2020. Resolución Jefatural N° 084-2020-ANA. Metodología para la determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS). Lima, Perú. 17 p. Consultado 22 may. 2020. Disponible en: <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/Metodolog%c3%ada%20ICARHS.pdf>.
- APHA (Asociación Americana de la Salud). 2006. APHA Method 9221: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (en línea). Washington, Estados Unidos. 53 p. Consultado 19 oct. 2016. Disponible en http://web.iitd.ac.in/~arunku/files/CEL212_Y13/9221%20TC%20MPN.pdf.
- Arce M. 2007. Estudio bacteriológico del afluente y efluente de la Planta de Tratamiento de Chilpina de la Ciudad de Arequipa, en comparación al estudio bacteriológico de dos estaciones “Puente Grau” y “Congata” de las aguas del río Chili. Tesis Blgo. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú. 93 p.
- Arcos et al. (2005) Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Colombia. 80 p.
- Bitton, G. 1994. Transport of pathogens through soils and aquifers: In environmental microbiology. 19 th Edited by Ralph Mitchell. New York, US, s.e. p. 103-123.

- Castro de Esparza, ML; Sáenz, R. 1990. Evaluación de los riesgos para la salud por el uso de las aguas residuales en agricultura. Lima, Perú. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del Ambiente), Lima. Perú. 10 p.
- CCME. CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT WINNIPEG. Obtenido de Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0 (en línea, sitio web). Consultado 30 ene. 2019. Disponible en <http://www.ccme.ca/sourcetotap/>.
- CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 1978. Guía para la evaluación de laboratorios bacteriológicos de análisis de agua. Serie documentos técnicos N° 3. (en línea). Lima, Perú. 61 p. Consultado 18 oct. 2016). Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Coliforme>.
- Chávez, G; Torres, E. (2018). Estudio de tratabilidad biológica de aguas residuales domésticas en biorreactores aerobios a escala piloto en el distrito de Celendín (*Tesis de maestría*). Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.
- Del Villar, A. (2010). Guía de tratamientos avanzados de aguas residuales urbanas. Consultado 08 mar. 2020. Disponible en http://www.consolider-tragua.com/documentos%20/guia_tratamientos_avanzados.pdf.
- DIRESA (Dirección Regional de Salud). 2015. Análisis de Situación de Salud Cajamarca (disco compacto). Cajamarca, Perú. 1 disco compacto.
- Escobar, S; Sánchez L; Nájera, H; Gutiérrez, J; Rojas, M. 2014. Destrucción de Huevos de Helminos mediante procesos no convencionales. Chiapas, México. 66 p.
- Febles-Patrón, J; Hoogesteyn, A. (2010). Evaluación preliminar de la eficiencia en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán, (*tesis de maestría*).

- Universidad Autónoma de México. Consultado 02 ene. 2020. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/467/46715068006.pdf>.
- Fernández, A. (2015). Aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura. Perú. *Informe técnico*. Consultado 12 abr. 2020. <http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4516/ANA0003016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- FONAM (Fondo Nacional de del Ambiente – Perú). 2010. Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú. (en línea). Lima, Perú. 37 p. Consultado 15 oct. 2016. Disponible en [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/\\$FILE/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/$FILE/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf).
- Genta, R, 1996. The immune regulation of intestinal helminthiases. Plinium Press. New York, USA. 89 p.
- Gutiérrez, Nelson; Valencia, Aragong, Renso. (2014). Eficiencia de remoción en sistemas de tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (*Coffea arabica*). *Revista Colombia Forestal*, 17(2), 151. Consultado 08 ene. 2021. Disponible en https://doi.org/10.14483/udistrital_jour.colomb.for.2014.2.a02.
- Hayes, R. 1993. Microbiología e Higiene de los Alimentos. Zaragoza, España. ACRIBIA. 376 p.
- Hidalgo-Santana, M; Mejía-Álvarez, E. (2010). Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada La Macana, San Antonio de Prado. Municipio de Medellín, Colombia. *Informe Técnico*. Consultado 15 ene. 2020. Disponible en <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1304/1/DiagnosticoContaminacionAguasResidualesDomesticas.pdf>.

- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual). NTP ISO 5667-3:2001. Calidad del Agua. Muestreo parte 3: Guía para la preservación y manejo de muestras. 2001. Lima, Perú. 2 ago. 38 p.
- Jover, M. (2015). Estudio sobre los rendimientos de las decantaciones con aguas residuales con diferentes concentraciones de contaminación, 340. *Informe Técnico*. Consultado el 15 de mar. 2021. Disponible en <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/50505#vpreview>.
- Juárez, J. (2016). Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, Bagua, Amazonas (tesis de maestría), (5), 1–4. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Lambert, A. 1975. "Parasitología" identificación de helmintos. México, México. Editorial Manual Moderno. 82 p.
- León Suematsu, G. 1995. Tratamiento y uso de aguas residuales: Estrategia para la gestión de los recursos hídricos de América Latina. Lima, Perú. CEPIS. 10 p.
- León Suematsu, G; CEPIS/OPS. 1996. Procesos de tratamiento de aguas residuales, objetivos y selección de tecnologías en función al tipo de reutilización. (en línea). Lima, Perú. 27 p. Consultado 10 oct. 2016. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/032236/032236-05.pdf>.
- Martínez, A; Guzmán, N. (2003). Estudio y evaluación de las lagunas de estabilización como tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Base militar No. 10 de Jutiapa, Colonia militar de Jutiapa, Base aérea del sur en Retalhuleu y Escuela Politécnica en San Juan Sacatepéquez, 1–139 (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Martínez, S; Escobar, C. (2008). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y Demanda Bioquímica de Oxígeno de la planta de

- tratamiento de aguas residuales “La Totorá”, Ayacucho, Perú. *Revista Ecología Aplicada*, 7(1–2), 165–171. Consultado 15 feb. 2020. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34111584020>.
- Matsumoto, T; Sánchez, I. (2016). Desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de São João de Iracema (Brasil). *Revista Ingeniería*, 21(2), 176–186. Consultado 11 feb. 2020. Disponible en <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/9970>.
- MetCalf y Eddy. 1995. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. 3 ed. Madrid, España. Editorial MacGraw Hill Interamericana. p. 126 – 138.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2010. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. (en línea). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Lima, Perú. 10 p. Consultado 23 oct. 2016. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. (en línea). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Lima, Perú. 07 p. Consultado 17 oct. 2016. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/Decreto-Supremo-N%C2%B0-015-2015-MINAM.pdf>.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Norma de Saneamiento S.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Lima. Perú. Editora Perú. 23 may. 21 p.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Resolución Ministerial N°273-VIVIENDA. 2013. Aprueban Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o

- Municipales – PTAR (en línea). Lima, Perú. 35 p. Consultado 22 oct. 2016. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/23087/RM-273-2013-VIVIENDA.pdf>.
- Núñez, M. (2019). Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cajabamba, Cajamarca. Alternativas para mejorar su tratamiento, (*tesis de doctorado*). 138 pp. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). 2014. Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. (en línea, póster). Consultado 23 oct. 2016. Disponible en http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y agricultura. Ginebra, Suiza. Serie de Informes Técnicos, 778 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. (en línea). Ginebra, Suiza. 76 p. Consultado el 15 oct. 2016. Disponible en http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/39401/1/WHO_TRS_778.pdf.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2016. Enfermedades tropicales desatendidas. (en línea, sitio web). Consultado 22 de oct 2016. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2006/pr60/es/index1.html>.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2016. Helmintiasis Transmitida por el suelo. (en línea, sitio web). Consultado 22 oct. 2016. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs366/es/>.
- Orbegoso et al. 2009. Contaminación fecal en hortalizas que expenden en mercados de la ciudad de Cajamarca. Cajamarca, Perú. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. p 45-48.

- Organización Panamericana de La Salud (OPS). 1987. Guías para la calidad del agua Potable: Criterios relativos a la salud y otra información base. Washington, Estados Unidos. OMS (Organización Mundial de la Salud). 52 p.
- Pérez A. 2012. Utilización con fines de riego del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad universitaria - USAC. Tesis Mtra. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 96 p.
- Rhyner, C; Schwartz, L, Wenger, R; Kohrell, M. 1995. Wastewater Management and Resource Recovery. Lewis Publishers, USA. 103 p.
- Robartaigh, P. El efecto de las bacterias coliformes fecales en el medio ambiente (en línea, sitio web). Consultado 09 oct. 2016. Disponible en http://www.ehowenespanol.com/efecto-bacterias-coliformes-fecales-medio-ambiente-info_291092/.
- Rojas, R. 2002. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (en línea). In Curso Internacional “Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales”. Lima, Perú. CEPIS/OPS - OMS. Consultado 22 oct. 2018. Disponible en https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41228623/2002_Sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWY YGZ2Y53UL3A&Expires=1540255587&Signature=TA4mNwJRo9COns4MrjVyUv0PWgw%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSistema_de_tratamiento_de_aguas_residual.pdf.
- Romero, J. 2005. Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales. 1 ed. Bogotá, Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 300 p.
- Ros, J. 1986. Microbial aspect of wastewater reuse for irrigation. Critical Rev. Environ. Control 6. p. 231-256.

- Sánchez, I; Matsumoto, T. (2016). Desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de São João de Iracema (Brasil). *Revista Ingeniería*, 21(2), 176–186. Consultado 11 feb. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2016.2.a04>.
- Shuval, H.I. et al. 1978. Wastewater Irrigation in Developing Countries: Health Effects and Technical Solutions, Technical Paper No. 51, The World Bank, Washington, US. 74 p.
- Silva, J; Torres, P; Madera, C. 2008. Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. Cali, Colombia. *Agronomía Colombiana*. Vol. 26. p. 347-359.

APÉNDICES

APENDICE N° 1

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Figura 13. Distribución de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales de la localidad de Cajabamba (PTAR)



Figura 14. Filtro percolador de la PTAR Cajabamba



Figura 15. Identificación del afluente (PT-01) de la PTAR para la toma de muestras



Figura 16. Toma de muestras en el afluente (PT-01) de la PTAR Cajabamba



Figura 17. Toma de muestras en el efluente (PT-01) de la PTAR Cajabamba



Figura 18. Toma de muestras en el Lalicucho, punto PC-01



Figura 19. Toma de muestras en el Lalicucho, punto PC-02



Figura 20. Supervisión de PRO-REGIÓN en la toma de muestras en la PTAR Cajabamba



Figura 21. Refrigeración in-situ de las muestras tomadas en la PTAR



Figura 22. Análisis de las muestras en el Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca

APENDICE N° 2

Procedimiento para la determinación de Coliformes Termotolerantes y *E. coli*

Para la determinación de coliformes totales se utilizó la técnica de Fermentación de Tubos Múltiples para Miembros del Grupo Coliforme: Multiple – Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, la cual consta de dos fases: la fase presuntiva y la fase confirmativa; y para la determinación de *E. coli* se hizo uso del *Escherichia coli* Procedure (PROPOSED) (9221 G), métodos aprobados por el Asociación Americana de la Salud – APHA (2006), las mismas que se detallan a continuación:

a. Prueba presuntiva

- Se dispusieron tubos de fermentación en filas de cinco cada uno en un bastidor de tubo de ensayo. Se homogenizó el frasco con la muestra, agitando un número no menor de 25 veces, inclinado el frasco y formando un ángulo de aproximadamente 45° entre el brazo y el antebrazo.
- Con una pipeta estéril, se sembró 10 mL, 1 mL y 0.1 mL de muestra en cada uno de los cinco tubos de caldo lauril triptosa estéril de doble concentración, colocándose además un tubo de Durham invertido en cada tubo.
- Después de la inoculación de todos los volúmenes de muestra, se agitó la gradilla con los tubos inoculados, de forma horizontal y evitando que el medio sembrado llegue a la tapa de los tubos.
- Luego se colocó la gradilla en la incubadora a 35 ± 0.5 °C durante 24 ± 3 horas.
- Después de la incubación por 24 ± 3 horas, se retiraron los tubos de la incubadora para efectuar la primera lectura y examinar la producción de gas.

- Se retiraron los tubos con resultado positivo (producción de gas en el tubo de Durham) y se anotaron los resultados.
- Se devolvieron a la incubadora (35 ± 0.5 °C) todos los tubos con resultados negativos, por un periodo adicional de 24 ± 1 hora. La segunda lectura (a las 48 ± 3 horas) fue hecha en las mismas condiciones, después de la última lectura.
- Los tubos con resultado positivo fueron separados para continuar la marcha analítica y los que resultaron negativos fueron descartados.

b. Prueba confirmativa para Coliformes termotolerantes

- La prueba confirmativa para coliformes Termotolerantes se realizó sembrando todos los tubos positivos de la prueba presuntiva en tubos de 10, 1 y 0.1 mL de caldo EC.
- Después de la siembra, se agitó la gradilla con los tubos inoculados, de forma horizontal y evitando que el medio sembrado llegue a la tapa de los tubos.
- Se incubó todos los tubos de caldo EC inoculados (no más de 30 minutos) en baño María a 44.5 ± 0.2 °C durante 24 horas ± 2 horas.
- Posteriormente se realizó la lectura considerando como resultado positivo para la prueba todos los tubos que presentaron formación de gas en el tubo de Durham.
- Con los datos obtenidos en la prueba confirmativa, se calculó el NMP de coliformes termotolerantes.

c. Prueba confirmativa para *Escherichia coli*

- La prueba confirmativa para *E. coli* se realizó sembrando todos los tubos positivos de la prueba presuntiva en tubos de 10, 1 y 0.1 mL de caldo EC-MUG.

- Después de la siembra, se agitó la gradilla con los tubos inoculados, de forma horizontal y evitando que el medio sembrado llegue a la tapa de los tubos.
- Se incubaron todos los tubos de caldo EC-MUG inoculados (no más de 30 minutos) en baño María a 44.5 ± 0.2 °C durante 24 horas \pm 2 horas, manteniéndose una suficiente profundidad, para sumergir a los tubos hasta un nivel superior del medio.
- Se examinaron todos los tubos que presentan un crecimiento de fluorescencia utilizando una lámpara de UV de longitud de onda larga (preferentemente 6W). La presencia de fluorescencia azul brillante se consideró como una respuesta positiva para E. coli (evitándose confundir las débiles fluorescencia como pruebas positivas).
- Con los datos obtenidos en la prueba confirmativa, se calculó el NMP de Escherichia coli.

d. Cálculo del número más probable

Para la siembra de una serie de 5 tubos con 10, 1 y 0.1 mL de muestra, el NMP se calculó utilizando la siguiente tabla:

Tabla 11. Índice NMP y el 95% límites de confianza para varias combinaciones de resultados positivos cuando cinco tubos son usados por dilución (10 mL, 1.0 mL, 0.1 mL)

Combination of Positives	MPN Index/ 100 mL	Confidence Limits		Combination of Positives	MPN Index/ 100 mL	Confidence Limits	
		Low	High			Low	High
0-0-0	<1.8	—	6.8	4-0-3	25	9.8	70
0-0-1	1.8	0.090	6.8	4-1-0	17	6.0	40
0-1-0	1.8	0.090	6.9	4-1-1	21	6.8	42
0-1-1	3.6	0.70	10	4-1-2	26	9.8	70
0-2-0	3.7	0.70	10	4-1-3	31	10	70
0-2-1	5.5	1.8	15	4-2-0	22	6.8	50
0-3-0	5.6	1.8	15	4-2-1	26	9.8	70
1-0-0	2.0	0.10	10	4-2-2	32	10	70
1-0-1	4.0	0.70	10	4-2-3	38	14	100
1-0-2	6.0	1.8	15	4-3-0	27	9.9	70
1-1-0	4.0	0.71	12	4-3-1	33	10	70
1-1-1	6.1	1.8	15	4-3-2	39	14	100
1-1-2	8.1	3.4	22	4-4-0	34	14	100
1-2-0	6.1	1.8	15	4-4-1	40	14	100
1-2-1	8.2	3.4	22	4-4-2	47	15	120
1-3-0	8.3	3.4	22	4-5-0	41	14	100
1-3-1	10	3.5	22	4-5-1	48	15	120
1-4-0	10	3.5	22	5-0-0	23	6.8	70
2-0-0	4.5	0.79	15	5-0-1	31	10	70
2-0-1	6.8	1.8	15	5-0-2	43	14	100
2-0-2	9.1	3.4	22	5-0-3	58	22	150
2-1-0	6.8	1.8	17	5-1-0	33	10	100
2-1-1	9.2	3.4	22	5-1-1	46	14	120
2-1-2	12	4.1	26	5-1-2	63	22	150
2-2-0	9.3	3.4	22	5-1-3	84	34	220
2-2-1	12	4.1	26	5-2-0	49	15	150
2-2-2	14	5.9	36	5-2-1	70	22	170
2-3-0	12	4.1	26	5-2-2	94	34	230
2-3-1	14	5.9	36	5-2-3	120	36	250
2-4-0	15	5.9	36	5-2-4	150	58	400
3-0-0	7.8	2.1	22	5-3-0	79	22	220
3-0-1	11	3.5	23	5-3-1	110	34	250
3-0-2	13	5.6	35	5-3-2	140	52	400
3-1-0	11	3.5	26	5-3-3	170	70	400
3-1-1	14	5.6	36	5-3-4	210	70	400
3-1-2	17	6.0	36	5-4-0	130	36	400
3-2-0	14	5.7	36	5-4-1	170	58	400
3-2-1	17	6.8	40	5-4-2	220	70	440
3-2-2	20	6.8	40	5-4-3	280	100	710
3-3-0	17	6.8	40	5-4-4	350	100	710
3-3-1	21	6.8	40	5-4-5	430	150	1100
3-3-2	24	9.8	70	5-5-0	240	70	710
3-4-0	21	6.8	40	5-5-1	350	100	1100
3-4-1	24	9.8	70	5-5-2	540	150	1700
3-5-0	25	9.8	70	5-5-3	920	220	2600
4-0-0	13	4.1	35	5-5-4	1600	400	4600
4-0-1	17	5.9	36	5-5-5	>1600	700	—
4-0-2	21	6.8	40				

Fuente: APHA Method 9221: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1999

Procedimiento para la determinación de Huevos de Helmintos

a. Concentración y separación de los huevos de helminto

El método utilizado fue la observación microscópica según la NMX-AA-113-SCFI.2012, la misma que se menciona de manera simplificada a continuación:

- Se dejó reposar la muestra al menos 3 h.
- Luego se aspiró por vacío cuidando siempre la integridad del sedimento, se desechó el sobrenadante y se filtró el sedimento a través del tamiz (150 μm -170 μm).
- Se lavó el tamiz con 5 L de agua (potable o destilada), y se recuperó el agua de lavado junto con el sedimento filtrado.
- Se colocó el filtrado y el agua de enjuague en los recipientes utilizados para la centrifugación.
- Se dejó reposar la muestra al menos 3 h y se decantó con cuidado todo el sobrenadante para desecharlo.
- Se depositó el sedimento en los recipientes para la centrífuga.
- Se enjuagó 3 veces el garrafón perfectamente con suficiente agua destilada, y se colocaron en los recipientes para centrifugación.
- Se centrifugó a 400 G de 3 min a 5 min, y se decantó nuevamente el sobrenadante por vacío, asegurándonos que en el fondo del recipiente se encuentre el paquete sólido (sedimento).
- Se suspendió nuevamente el sedimento en 150 mL de la disolución de sulfato de zinc, y se homogenizó. Posteriormente se centrifugó a 1000 G de 3 min a 5 min, y se recuperó el sobrenadante vertiéndolo en un recipiente de plástico, para diluirlo en 1 000 mL de agua destilada, y dejarlo sedimentar al menos 3 h.

- Se decantó con cuidado todo el sobrenadante, y se resuspendió el paquete sólido por agitación utilizando suficiente agua destilada.
- Se vertió la suspensión resultante en un tubo de centrifuga, incluyendo el agua de enjuague del recipiente y se centrifugó a 400 G durante 3 min, se decantó el sobrenadante y nuevamente se volvió a resuspender el paquete sólido con agua destilada en un tubo y se centrifugó a 400 G durante 3 min.
- Se realizó la decantación del sobrenadante para resuspender el paquete sólido en 15 mL de la disolución de alcohol-ácido por medio de un agitador de tubos, se agregó 10 mL de acetato de etilo.
- Se agitó suavemente los tubos para dejar escapar el gas que se desprenda, se centrifugó a 660 G durante 3 min y se aspiró el sobrenadante, dejando menos de 1 mL del mismo y evitando la pérdida del paquete de sólidos.
- Finalmente, se homogeneizó el paquete sólido, y se procedió a la cuantificación.

b. Cuantificación de los huevos de helmintos

- Para evitar la superposición de las estructuras y de residuos no eliminados, se repartió el paquete obtenido en 9.1, en alícuotas de 0,1 mL a 1,0 mL con el fin de facilitar el conteo.
- Se distribuyó cada alícuota en una celda de Sedgwich-Rafter para examinar la totalidad del paquete obtenido.
- Se identificó visualmente mediante la ayuda de un microscopio los huevos de helmintos presentes en la muestra, expresándose el resultado en número de huevos por litro (números enteros), según la siguiente fórmula:

$$H_L = H/S$$

Donde:

H es el número de huevos contados en la muestra;

H_L es el número de huevos por litro,

S es el volumen de la muestra.

Nota: En el caso de que el resultado de la fórmula anterior sea menor de 1, se debe reportar 1 H/L.

APENDICE N° 3

INFORMES DE ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR CAJABAMBA - CAJAMARCA



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



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

INFORME DE ENSAYO N° IE 1019868

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario	JHENER QUISPE ALCÁNTARA
Dirección	
Persona de contacto	Correo electrónico

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	24.10.19	Hora de Muestreo	12:05 a 12:34
Tipo de Muestreo	Puntual	Número de Muestras	04 Muestras
Ensayos solicitados	Microbiológicos	N° Frascos x muestra	01
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.		
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el personal usuario		
Procedencia de la Muestra:	CAJABAMBA		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC - 1133	Cadena de Custodia	CC - 868 - 19
Fecha y Hora de Recepción	24.10.19	16:35	Inicio de Ensayo 24.10.19 17:00
Reporte final Resultado	06.11.19	08:00	



Ing. Edder Miguel Neyra Jaico
Responsable del Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 06 de Noviembre de 2019.

Página: 1 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



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

INFORME DE ENSAYO N° IE 1019868

ENSAYOS			BIOLÓGICOS			
Código Cliente	PT 01		PT 02	PC 01	PC 02	
Código Laboratorio	1019868-01		1019868-02	1019868-03	1019868-04	
Matriz	RESIDUAL		RESIDUAL	NATURAL	NATURAL	
Descripción	Municipal		Municipal	Subterránea	Subterránea	
Localización de la Muestra	Cajabamba		Cajabamba	Cajabamba	Cajabamba	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	54 x 10 ⁶	79 x 10 ³	35 x 10 ³	35 x 10 ³
Escherichia coli	NMP/100mL	1.8	35 x 10 ⁶	79 x 10 ³	35 x 10 ³	16 x 10 ³
(*) Huevos y Larvas de Helminthos	HHL	1.0	60	86	5	7

Nota: Los Resultados <1.0, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
Escherichia coli	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E,G. 23rd Ed. 2017: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures.
Huevos y Larvas de Helminthos	N° HHL	NMX-AA-113-SCFI. 2012: Medición del número de huevos de helminthos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

"Fin del documento"

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev:N°06 Fecha : 02/01/2019

Cajamarca, 06 de Noviembre de 2019.





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



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

INFORME DE ENSAYO N° IE 1119949

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **JHENER JHONEL QUISPE ALCÁNTARA**
Dirección -
Persona de contacto - Correo electrónico **jquispea@unc.edu.pe**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **22.11.19** Hora de Muestreo **08:15 a 08:50**
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de Muestras **04 Muestras** N° Frascos x muestra **01**
Ensayos solicitados **Microbiológicos**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de Volumen y Preservación**
Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el Usuario**
Procedencia de la Muestra: **CAJABAMBA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 1256** Cadena de Custodia **CC - 949 -19**
Fecha y Hora de Recepción **22.11.19 15:50** Inicio de Ensayo **22.11.19 16:15**
Reporte Resultado **03.12.19 16:30**

Ing. Edder Miguel Neyra Jaico
Responsable de Oficina
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 03 de Diciembre de 2019.

Página: 1 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



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

INFORME DE ENSAYO N° IE 1119949

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			PT - 01	PT - 02	PC -01	PC -02	-	-
Código Laboratorio			1119949-01	1119949-02	1119949-03	1119949-04	-	-
Matriz			RESIDUAL	RESIDUAL	NATURAL	NATURAL	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Superficial	Superficial	-	-
Localización de la Muestra			PTAR Cajabamba	PTAR Cajabamba	Río Lalicucho	Río Lalicucho	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	35 x 10 ⁶	24 x 10 ⁵	16 x 10 ²	35 x 10 ²	-	-
Escherichia coli	NMP/ 100mL	1.8	24 x 10 ⁶	13 x 10 ⁵	920	35 x 10 ²	-	-
(*) Huevos y Larvas de Helminetos	HH/L	1.0	22	10	7	16	-	-

Nota: Los Resultados <1.8 significa que el resultado es equivalente a cero; <1: no observaron estructuras parasitarias

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
Numeración de Escherichia coli	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E,G. 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures.
Huevos y Larvas de Helminetos	N° HH/L	NMX-AA-113-SCFI. 2012. Medición del número de huevos de helminetos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

"Fin del documento"

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev:N°06 Fecha : 02/01/2019

Cajamarca, 03 de Diciembre de 2019.

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Página: 2 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

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



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 12191045

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **JHENER QUISPE ALCÁNTARA**
Dirección **-**
Persona de contacto **ORDÓÑEZ CHAVEZ MEYNER** Correo electrónico **iquispea@unc.edu.pe**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **23.12.19** Hora de Muestreo **16:45 a 17:25**
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de Muestras **04 Muestras** N° Frascos x muestra **01**
Ensayos solicitados **Biológicos**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de Volumen y Preservación**
Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el Usuario**
Procedencia de la Muestra: **CAJABAMBA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 1350** Cadena de Custodia **CC - 1045 -19**
Fecha y Hora de Recepción **24.12.19 08:55** Inicio de Ensayo **24.12.19 09:20**
Reporte Resultado **03.01.20 14:30**


Ing. Edder Miguel Neyra Jaico
Responsable de Oficina
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 03 de Enero de 2020.

Página: 1 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



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

INFORME DE ENSAYO N° IE 12191045

ENSAYOS			BIOLÓGICOS					
Código Cliente	PT - 01		PT - 02	PC - 01	PC - 02	-	-	
Código Laboratorio	12191045-01		12191045-02	12191045-03	12191045-04	-	-	
Matriz	RESIDUAL		RESIDUAL	NATURAL	NATURAL	-	-	
Descripción	Municipal		Municipal	Superficial	Superficial	-	-	
Localización de la Muestra	PTAR - Cajabamba		PTAR - Cajabamba	Río Lalicucho - Cajabamba	Río Lalicucho - Cajabamba	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	54 x 10 ⁵	35 x 10 ⁴	35 x 10 ²	16 x 10 ³	-	-
Escherichia coli	NMP/ 100mL	1.8	35 x 10 ⁵	35 x 10 ⁴	16 x 10 ²	92 x 10 ²	-	-
(*) Formas Parasitarias	N° Org/L	1.0	<1	<1	<1	<1	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
Escherichia coli	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E,G. 23rd Ed. 2017: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures.
Formas Parasitarias	N° Org/L	Concentración por centrifugación – Flotación: Método de Faust. Evaluación de riesgos para la salud por el uso de aguas residuales en agricultura. Manual de metodologías para el análisis microbiológico de aguas residuales y productos agrícolas. OPS/CEPIS. Margarita Aurazo. Lima, Perú. 1993.

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA, o el parámetro para dicha matriz no esta dentro del alcance de acreditación.
- (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditacion otorgada por INACAL-DA.

"Fin del documento"

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev:N°05 Fecha : 02/01/2019

Cajamarca, 03 de Enero de 2020.

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



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

INFORME DE ENSAYO N° IE 12191045

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **JHENER QUISPE ALCÁNTARA**
 Dirección **-**
 Persona de contacto **ORDOÑEZ CHAVEZ MEYNER** Correo electrónico **jquispea@unc.edu.pe**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **23.12.19** Hora de Muestreo **16:45 a 17:25**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestras **04 Muestras** N° Frascos x muestra **01**
 Ensayos solicitados **Biológicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de Volumen y Preservación**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el Usuario**
 Procedencia de la Muestra: **CAJABAMBA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 1350** Cadena de Custodia **CC - 1045 -19**
 Fecha y Hora de Recepción **24.12.19 08:55** Inicio de Ensayo **24.12.19 09:20**
 Reporte Resultado **03.01.20 14:30**

Ing. Edder Miguel Neyra Jaico
Responsable de Oficina
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 03 de Enero de 2020.



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



INFORME DE ENSAYO N° IE 0120029

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS			
Código de la Muestra	PT - 1	PC - 1	PT - 02	PC - 02	-	-
Código Laboratorio	0120029-01	0120029-02	0120029-03	0120029-04	-	-
Matriz	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-	-
Localización de la Muestra	PTAR Cajabamba	Río Lalicucho Cajabamba	PTAR Cajabamba	Río Lalicucho Cajabamba	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	54 x 10 ⁵	35 x 10 ²	22 x 10 ⁴	28 x 10 ³
Escherichia coli	NMP/ 100mL	1.8	54 x 10 ⁵	28 x 10 ²	17 x 10 ⁴	16 x 10 ³
(*) Formas Parasitarias	N° Org/L	1.0	5	17	7	34

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra.

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
Escherichia coli	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E,G. 23rd Ed. 2017: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures.
Formas Parasitarias	N° Org/L	Concentración por centrifugación – Flotación: Método de Faust. Evaluación de riesgos para la salud por el uso de aguas residuales en agricultura. Manual de metodologías para el análisis microbiológico de aguas residuales y productos agrícolas. OPS/CEPIS. Margarita Aurazo. Lima, Perú. 1993.

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos y/o matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.



"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°01 Fecha : 02/01/2020 Cajamarca, 24 de Enero de 2020.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA



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



INFORME DE ENSAYO N° IE 0120029

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **JHENER JHONEL QUISPE ALCÁNTARA**
 Dirección **-**
 Persona de contacto **-** Correo electrónico **jquispea@unc.edu.pe**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **15.01.20** Hora de Muestreo **13.26 a 13:49**
 Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° **-**
 Procedimiento de Muestreo **-**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de puntos de muestreo **04**
 Ensayos solicitados **Microbiológicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
 Referencia de la Muestra: **CAJABAMBA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 003** Cadena de Custodia **CC - 029 - 20**
 Fecha y Hora de Recepción **16.01.20 16:22** Inicio de Ensayo **16.01.20 16:40**
 Reporte Resultado **24.01.20 15:30**

Edder Neyra Jaico

Responsable de Laboratorio
 CIP: 147028

Enver Zulueta Santa Cruz

Especialista de Biología
 CBP: 9778



Cajamarca, 24 de Enero de 2020.

Página: 1 de



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



INFORME DE ENSAYO N° IE 0220076

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICO				
Código de la Muestra	PT - 01		PT - 02	PC - 01	PC - 02	-	-
Código Laboratorio	0220076-01		0220076-02	0220076-03	0220076-04	-	-
Matriz	RESIDUAL		RESIDUAL	NATURAL	NATURAL	-	-
Descripción	Municipal		Municipal	Superficial	Superficial	-	-
Localización de la Muestra	PTAR-Cajabamba		PTAR-Cajabamba	Río Lalicucho	Río Lalicucho	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	11 x 10 ⁵	16 x 10 ⁵	13 x 10 ²	35 x 10 ²	-
Escherichia coli	NMP/ 100mL	1.8	11 x 10 ⁵	92 x 10 ⁴	13 x 10 ²	24 x 10 ²	-
(*) Huevos y Larvas de Helmintos	HH/L	1.0	3	9	<1	<1	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
Escherichia coli	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E,G. 23rd Ed. 2017: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures.
Huevos y Larvas de Helmintos	N° HH/L	NMX-AA-113-SCFI. 2012: Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

NOTAS FINALES

(*) Los métodos y/o matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.

✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

"Fin del documento"



Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°01 Fecha : 02/01/2020

Cajamarca, 19 de Febrero de 2020.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

INFORME DE ENSAYO N° IE 0320128

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **JHENER JHOEL QUISPE ALCANTARA**
 Dirección -
 Persona de contacto - Correo electrónico iquispea@unc.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **02.03.20** Hora de Muestreo **08:32 a 09:08**
 Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
 Procedimiento de Muestreo -
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de puntos de muestreo **04**
 Ensayos solicitados **Microbiológicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**
 Referencia de la Muestra: **CAJABAMBA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 183** Cadena de Custodia **CC - 128 - 20**
 Fecha y Hora de Recepción **02.03.20 14:50** Inicio de Ensayo **02.03.20 15:20**
 Reporte Resultado **10.03.20 08:00**



Edder Neyra Jaico
 Responsable de Laboratorio
 CIP: 147028



Enver Zulueta Santa Cruz
 Especialista de Biología
 CBP:9778

Cajamarca, 10 de Marzo de 2020.

INFORME DE ENSAYO N° IE 0320128

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICO					
Código de la Muestra			PT - 01	PT - 02	PC - 01	PC - 02	-	-
Código Laboratorio			0320128-01	0320128-02	0320128-03	0320128-04	-	-
Matriz			RESIDUAL	RESIDUAL	NATURAL	NATURAL	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Superficial	Superficial	-	-
Localización de la Muestra			PTAR-Cajabamba	PTAR-Cajabamba	Río Lalicucho	Río Lalicucho	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	16 x 10 ⁶	54 x 10 ⁵	17 x 10 ³	92 x 10 ³	-	-
Escherichia coli	NMP/ 100mL	1.8	16 x 10 ⁶ (*)	35 x 10 ⁵ (*)	16 x 10 ³	35 x 10 ³	-	-
(*) Huevos y Larvas de Helminthos	HH/L	1.0	21	17	<1	5	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE; valor estimado

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
Escherichia coli	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E,G. 23rd Ed. 2017: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures.
Huevos y Larvas de Helminthos	N° HH/L	NMX-AA-113-SCFI. 2012: Medición del número de huevos de helminthos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

NOTAS FINALES

(*) Los métodos y/o matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

"Fin del documento"



Cajamarca, 10 de Marzo de 2020.

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°01 Fecha : 02/01/2020