

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación de la eficiencia depurativa de una mezcla de
bacterias y enzimas biodigestoras en aguas
residuales municipales - Huancayo**

Consuelo Priscila Alvarado Castillo

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jose Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 14 de Abril de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEPURATIVA DE UNA MEZCLA DE BACTERIAS Y ENZIMAS BIO DIGESTORAS EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES-HUANCAYO

Autores:

1. CONSUELO PRISCILA ALVARADO CASTILLO – EAP. Ingeniería Ambiental

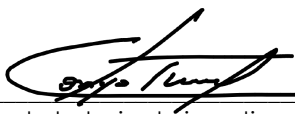
Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI NO
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**):
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Asesor de trabajo de investigación

ASESOR

Dr. Jose Vladimir Cornejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios, quien con su sabiduría nos guio a mi familia y a mí por un camino de aprendizaje.

Quiero expresar mis agradecimientos a la Universidad Continental por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesional y académicamente, permitirme realizar todo el proceso de investigación en sus instalaciones.

Quiero felicitar a mis padres por el apoyo, comprensión y paciencia, a lo largo del tiempo de universidad y profesional.

A mis amigas: Ericka Huaman y Alessandra Talavera por su apoyo, compañía y buenas vibras.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios, por brindarme la sabiduría y paciencia que han estado conmigo desde el principio de mi carrera universitaria.

A mi familia por estar en los momentos difíciles y saber comprenderme en cada etapa profesional, creer en mí desde el primer día. Por sus sacrificios y su apoyo incondicional que se convertido en la clave de mi éxito.

A docentes y mentores, por su pasión y dedicación por la educación brindada.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	13
1.1 Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1. Planteamiento del problema	13
1.1.2. Formulación del problema	14
1.1.2.1 Problema general	14
1.1.2.2 Problemas específicos.....	14
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo general.....	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Justificación e importancia	15
1.3.1. Justificación teórica.....	15
1.3.2. Justificación ambiental.....	16
1.3.3. Justificación práctica.....	16
1.4. Hipótesis y variables	17
1.4.1. Hipótesis general	17
1.4.2. Hipótesis específicas	17
1.4.3. Variables.....	17
1.4.3.1. Variable independiente	17
1.4.3.2. Variable dependiente.....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Antecedentes del problema	19

2.2.1 Antecedentes internacionales	19
2.2. Bases teóricas.....	22
2.2.1. Aguas residuales	22
2.2.2. Parámetros de calidad de agua residuales.....	26
2.2.3. Sustancias contaminantes de aguas residuales	29
2.2.4. Enzimas en la biodegradación de sustancias	31
2.2.5. Clasificación de las enzimas.....	31
2.2.6. Factores que afectan el desempeño de las enzimas	35
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	38
3.1. Método, tipo y nivel de investigación	38
3.1.1. Métodos de la investigación	38
3.1.2. Tipo de la investigación	38
3.1.3. Nivel de la investigación	38
3.2. Diseño de la investigación	39
3.3. Población y muestra	40
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	40
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1. Parámetros de calidad de muestras de agua	43
4.2. Datos colectados de pruebas de remoción de DQO	45
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del agua según su dureza	29
Tabla 2. Plan de experimentación	39
Tabla 3. Parámetros de calidad del agua	43
Tabla 4. Datos de DQO colectados a una dosis de 1.0 g/L.....	46
Tabla 5. Datos de DQO colectados a una dosis de 2.0 g/L.....	46
Tabla 6. Análisis de varianza aplicado al diseño factorial de la investigación	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Secuencia de la utilización del agua	23
Figura 2. Composición típica de las aguas residuales domesticas.....	24
Figura 3. Composición del agua residual municipal	25
Figura 4. Carga de contaminantes de residuos animales.....	25
Figura 5. Modelo llave-cerradura de Fischer	31
Figura 6. Ejemplos de las principales enzimas.....	34
Figura 7. Velocidad de reacción vs concentración de la enzima y sustrato.....	36
Figura 8. Velocidad de reacción vs temperatura	37
Figura 9. Velocidad de reacción vs pH.....	37
Figura 10. Biorreactor adaptado para pruebas de descontaminación	42
Figura 11. Representación gráfica de datos de DQO colectados, (dosis=1.0 g/L).....	46
Figura 12. Representación gráfica de datos de DQO colectados, (dosis=2.0 g/L).....	47
Figura 13. Representación de las DQO promedio diario	48
Figura 14. Grafica de Ln DQO contra tiempo para evaluar la cinética de primer orden	50
Figura 15. Eficiencia de remoción de DQO a dosis 1.0 g/L.....	51
Figura 16. Eficiencia de remoción de DQO a dosis 2.0 g/L.....	51
Figura 17. Eficiencia de remoción de DQO promedios.....	52
Figura 18. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	53

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto que ejerce la dosificación de bacterias y enzimas biodigestoras aerobias en la eficiencia de remoción de contaminantes de agua residual municipal en un biorreactor por lotes a condiciones ambientales de Huancayo. En los procesos biológicos destinados a la descontaminación aerobia de aguas residuales, los desempeños de los microorganismos se ven afectados por varios factores, entre ellos se encuentran las sustancias disueltas que son difíciles de biodegradar, y ante ello, una alternativa interesante es la utilización de enzimas. Para tal objetivo, se empleó datos procedentes de ensayos de descontaminación de muestras de agua residual municipal de la localidad de Cajas, en los que se adicionó un producto comercial compuesto por bacterias aerobias y enzimas amilolíticas, proteolíticas y lipolíticas. Cada ensayo se realizó durante 7 días dentro de un biorreactor por lotes, provisto de sistemas que permitieron controlar la temperatura y el oxígeno disuelto en el agua residual, a 18 °C y 2.5 ppm respectivamente. Las dosis de enzimas y bacterias a los que se llevaron a cabo las experiencias fueron de 1 y 2 g/L y durante cada tratamiento, diariamente, fue medido la demanda química de oxígeno (DQO) como indicador del nivel de descontaminación de las muestras sometidas a ensayo. La eficiencia de remoción de contaminantes fue calculada como la fracción que representa la reducción de DQO que se logra a un tiempo dado, respecto del DQO al inicio del proceso. Se obtuvo, después de 7 días de tratamiento, una eficiencia de 0.72 y 0.79 a las dosis de 1 y 2 g/L respectivamente. Se concluye que, al incrementar la dosis, la eficiencia de remoción también aumenta y, estadísticamente, a un nivel de confianza del 95 %, este incremento es significativo.

Palabras clave: aguas residuales, eficiencia depurativa, bacterias, enzimas

ABSTRACT

The main purpose of this study was to evaluate the effect of the dosage of aerobic biodegrader bacteria and enzymes on the efficiency of pollutant removal from municipal wastewater in a batch bioreactor at Huancayo environmental conditions. In biological processes for aerobic decontamination of wastewater, the performance of microorganisms is affected by several factors, including dissolved substances that are difficult to biodegrade, and therefore, an interesting alternative is the use of enzymes. For this purpose, data from decontamination tests of municipal wastewater samples from the town of Cajas were used, in which a commercial product composed of aerobic bacteria and amylolytic, proteolytic and lipolytic enzymes was added. Each test was carried out for 7 days in a batch bioreactor, equipped with systems that allowed control of temperature and dissolved oxygen in the wastewater, at 18 °C and 2.5 ppm, respectively. The doses of enzymes and bacteria at which the experiments were carried out were 1 and 2 g/L and, during each treatment, the chemical oxygen demand (COD) was measured daily, as an indicator of the level of decontamination of the samples tested. The pollutant removal efficiency was calculated as the fraction representing the COD reduction achieved at a given time with respect to the COD at the beginning of the process. After 7 days of treatment, an efficiency of 0.72 and 0.79 was obtained at the doses of 1 and 2 g/L respectively. And it is concluded that, as the dose increases, the removal efficiency also increases and, statistically, at a confidence level of 95 %, this increase is significant.

Key words: wastewater, purification efficiency, bacteria, enzymes.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Huancayo actualmente alberga a más de 600 mil habitantes y según el OEFA cada habitante genera 142 litros de agua residual por día, esto genera 85.200.000 litros aproximados al día en nuestra localidad. Dicha cantidad es vertida sin tratamiento previo sobre los cauces de ríos, lagunas, lagos, etc., causando contaminación de la flora y fauna de nuestra región.

Ante esta problemática resulta necesario e imprescindible la implementación de sistemas adecuados de descontaminación de aguas residuales en este sector, ya que, la cantidad de litros mencionada líneas arriba sobrepasa la capacidad auto depurativa de los ríos a donde son vertidos.

El proceso de descontaminación de las aguas residuales municipales se basa en un método biológico en el que se aprovechan bacterias. Estas bacterias tienen la particularidad de adquirir el oxígeno disuelto en el agua para respirar y con ello provocar la oxidación de las sustancias a nivel celular. Por esta razón, a este tipo de tratamiento se le conoce como tratamiento aerobio. Existen diversos tipos de microorganismos aerobios que, gracias a su metabolismo y respiración, permiten reducir la cantidad de contaminantes disueltos en el agua que son biodegradables. Por otro lado, las enzimas son agentes que permiten degradar sustancias no biodegradables, en otras que si son asimilables por los microorganismos aerobios.

En el tratamiento aerobio con microorganismos es necesario controlar ciertos factores para realizar una correcta depuración del agua y una buena multiplicación de los microorganismos; entre dichos factores tenemos: temperatura, tiempo de retención hidráulica, tipo de microorganismos, condiciones de oxigenación, carga contaminante y composición del agua residual.

Se tiene registro que en algunos sistemas de descontaminación de aguas residuales, el proceso previo al tratamiento biológico, presenta ciertos problemas o fallas que están ligados a contaminantes no biodegradables (trazas de aceite,

carbohidratos de cadena larga, etc.); es por este motivo que, en este trabajo de investigación se busca evaluar la eficiencia depurativa de una mezcla de bacterias y enzimas con el fin de eliminar o disminuir la carga de estos contaminantes, sobre todo los no biodegradables.

El presente informe está seccionado por capítulos. En el primer capítulo se expone la situación problemática del estudio. En el segundo capítulo se tiene a un recuento de los antecedentes más relevantes juntamente con las bases teóricas que fundamentan este estudio. En el tercer capítulo se exponen los detalles de la estrategia metodológica que se siguió para obtener la información que permitió dar respuesta al problema principal del estudio. En el capítulo cuatro se muestran los datos colectados de los experimentos y los resultados de cálculos con sus respectivos análisis. Para finalizar, se detallan las conclusiones alcanzadas.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La cantidad de aguas residuales que se generan en la ciudad de Huancayo es de 12,648,607 m³/año (34654 m³/día), y, prácticamente todo ello, son vertidos sin tratamiento a los ríos de esta ciudad (1). Es una cantidad bastante significativa y alarmante, dado que, está ocasionando un impacto negativo al medio ambiente. Esta situación, es a consecuencia de falta de infraestructura apropiada para el respectivo tratamiento de aguas residuales, que apliquen tecnologías eficientes y de bajo costo.

El tratamiento de aguas residuales se puede llevar a cabo aprovechando el metabolismo de bacterias que pueden ser aerobios o anaerobios. La elección del tipo de bacteria y tratamiento se relaciona con el nivel de contaminación que posee el agua. En general, las bacterias aerobias son apropiadas para aguas residuales domésticas y municipales, con niveles de contaminación en demanda química de oxígeno (DQO), alrededor de 800 a 1000 ppm. El tratamiento de este tipo de aguas es denominado también por lodos activos y las tecnologías que existen tienen ciertas variaciones, pero siempre están presentes las bacterias. En este tipo de tratamiento, el agua residual, previo a un acondicionamiento, es sometido a depuración por medio del metabolismo de las bacterias en presencia de oxígeno. Luego, en operaciones

posteriores es acondicionada para verterlo o reusarlo, según el objetivo del tratamiento (2).

Las bacterias juegan un rol importante en el tratamiento, pues por medio de su metabolismo es posible descontaminar las sustancias biodegradables disueltas en el agua. Los factores afectan el metabolismo y su crecimiento de las bacterias son varios, entre los cuales están: los tipos de contaminantes, la temperatura, la oxigenación, presencia de sustancias tóxicas, pH, entre otros (3). Existen, en el agua residual, sustancias disueltas que son resistentes a la biodegradación como las trazas de acetite, grasas, farmacéuticos, pesticidas, que ofrecen dificultad para degradarlos convencionalmente. Para estos casos, una alternativa que se puede aplicar son enzimas digestoras, las que permitirán la degradación a sustancias más simples que puedan ser metabolizadas por las bacterias.

Por todo lo expuesto, en esta investigación se plantea realizar la evaluación de una mezcla de bacterias y aditivos enzimáticos en la depuración de contaminantes de agua residual municipal a las condiciones de temperatura y presión medioambientales de la ciudad de Huancayo.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1 Problema general

¿Qué efecto ocasiona al modificar la dosis de bacterias y enzimas biodigestoras que se adicionan a un biorreactor por lotes sobre la eficiencia de remoción de contaminantes en el tratamiento aerobio de agua residual municipal a las condiciones ambientales de Huancayo?

1.1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué características de calidad presenta el agua residual que ingresa a la laguna de oxidación de la localidad de Cajas?

- ¿Cómo disminuye con el tiempo la DQO de muestras de agua residual municipal sometidas al proceso biológico de descontaminación en un biorreactor aerobio por lotes empleando bacterias y enzimas biodigestoras?
- ¿Existe relación entre la dosis de mezcla de bacterias y enzimas biodigestoras con la disminución de DQO del agua residual?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto que ejerce la dosis de bacterias y enzimas biodigestoras que se adicionan a un biorreactor por lotes sobre la eficiencia de remoción de contaminantes en el tratamiento aerobio de agua residual municipal a las condiciones ambientales de Huancayo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las características de calidad que presenta el agua residual que ingresa a la laguna de oxidación de la localidad de Cajas.
- Evaluar la disminución de la DQO con el tiempo, de muestras de agua residual municipal sometidas al proceso biológico de descontaminación en un biorreactor aerobio por lotes empleando bacterias y enzimas biodigestoras.
- Examinar la relación entre la dosis de mezcla de bacterias y enzimas biodigestoras con la disminución de DQO del agua residual.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación teórica

En la literatura revisada sobre nuevas teorías que fundamenten métodos de degradar sustancias que contaminan el agua, especialmente las no biodegradables por bacterias aerobias de acuerdo con el método clásico de tratamiento de agua, se encontró que una alternativa es utilizar enzimas. Estas enzimas que son selectivas para cada tipo de sustancia descomponen a las sustancias disueltas de estructura compleja en otras más sencillas con lo que las bacterias podrán metabolizarlo. Entre

las sustancias no biodegradables se tienen a los aceites y grasas, proteínas y carbohidratos de cadena larga. Según esto, utilizar de manera combinada bacterias y enzimas en el tratamiento biológico del agua, especialmente en el denominado tratamiento secundario, es una gran ventaja, dado que, al aplicar enzimas, estas no constituyen una amenaza contaminante. Pero en la literatura especializada, no se encontró información alguna sobre ¿cuánto? y ¿cómo? Debe ser el desempeño de mezclas de enzimas con bacterias en el tratamiento biodepurativo de aguas residuales municipales. Por esta razón, resulta importante disponer de esta información que cubra este vacío de conocimiento, con datos empíricos de gran confianza por el tipo nivel de rigurosidad del estudio. Esto también permitirá evaluar y comparar la velocidad de descontaminación biológica de aguas residuales, cuándo se emplea o no el producto comercial.

1.3.2. Justificación ambiental

El problema también responde a una posibilidad o alternativa de aplicarlo para descontaminar aguas residuales municipales y, otros semejantes, con alto contenido de sustancias no biodegradables. Esto es muy importante porque permite disminuir el impacto negativo al medio ambiente con vertimientos de efluentes líquidos sin previo tratamiento a cuerpos receptores de agua, que actualmente se viene realizando en esta ciudad. Por esto, ambientalmente, es muy relevante.

1.3.3. Justificación práctica

Con todo lo indicado anteriormente, al aplicar en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, esta mezcla de enzimas y bacterias biodigestoras permitirá constituir una técnica muy relevante que mejore la eficiencia de la descontaminación; pues, es una metodología adaptada al tratamiento aerobio, típico de aguas residuales con el empleo de productos biotecnológicos que son las enzimas. Todo esto, es posible empleando los recursos materiales y humanos disponibles en la actualidad, por lo que, también, la solución del problema es viable.

Sobre el producto denominado comercialmente “enzimas biodegestoras BST”, compuesto por enzimas y bacterias micro encapsuladas, en las referencias revisadas

a la fecha, la información técnica que se encontró en relación a su eficiencia depurativa de aguas residuales desarrolladas con muestras de aguas y condiciones medioambientales de Huancayo es nula. Por lo que, esta investigación permitirá conseguir resultados para poder estudiar, examinar y evaluar la aplicación apropiada de esta mezcla, en la descontaminación de aguas residuales dentro de sistemas biológicos.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis general

La modificación de la dosis de la mezcla de bacterias y enzimas biodigestoras, que se adicionan a un biorreactor por lotes, ejerce un efecto significativo en la eficiencia de remoción de contaminantes, en el tratamiento aerobio de agua residual municipal a las condiciones ambientales de Huancayo.

1.4.2. Hipótesis específicas

- El agua residual para los experimentos, tomada al ingreso de la laguna de oxidación de la localidad de Cajas, tiene características de calidad semejante al de aguas residuales domésticas.
- La disminución de la concentración de DQO del agua residual municipal en el proceso de remoción de contaminantes en un biorreactor aerobio por lotes empleando bacterias y enzimas biodigestoras se ajustan a la cinética de primer orden.
- La relación entre la dosis de mezcla de bacterias y enzimas biodigestoras, con el nivel de reducción de DQO del agua residual es de tipo lineal.

1.4.3. Variables

1.4.3.1. Variable independiente

variable	niveles
Dosis de bacterias y enzimas (producto)	1 y 2 g/L
Tiempo de tratamiento	1, 2, 3, 4, 5 y 6 días

1.4.3.2. Variable dependiente

- Eficiencia de remoción de contaminantes

1.5. Operacionalización de variables

Variable independiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Dosis de bacterias y enzimas	Cantidad de mezcla de bacterias y enzimas biodigestoras, adicionada por unidad de volumen de agua residual municipal, para su descontaminación biológica.	Concentración	g/L
Tiempo de tratamiento	Tiempo que dura el tratamiento biológico con las enzimas y bacterias biodigestoras	Duración del tratamiento	días
Variable dependiente			
Eficiencia de remoción de contaminantes	Fracción que representa la cantidad de DQO removida por biodepuración, respecto de la DQO inicial del agua residual sometida a tratamiento	Fracción de remoción por biodegradación	mg/L DQO removida/ mg/L DQO inicial

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.2.1 Antecedentes internacionales

- Investigación titulada: “*Roles and applications of enzymes for resistant pollutants removal in wastewater treatment*” fue desarrollada por Feng et al. (4). Se encuentra información orientada a la explicación de las funciones y aplicaciones de las enzimas dentro del tratamiento de aguas residuales. Los autores realizaron el análisis de la influencia de los tipos de enzimas, sus fuentes de obtención y los procesos enzimáticos que se dan para la degradación de contaminantes resistentes disueltos en aguas residuales. Indican que los contaminantes resistentes son aquellas sustancias que ofrecen dificultad para ser degradados por métodos tradicionales de lodos activos. Entre las sustancias que ofrecen esta dificultad están: grasas aceites, fármacos, microplásticos y agroquímicos. La presencia de todos ellos en aguas residuales es frecuente, provocando toxicidad a los entornos y organismos acuáticos. También, realizaron la identificación de sustancias susceptibles a degradación enzimática, así como, ensayos de ecotoxicidad de estas. Juntamente con ello, describen los sistemas enzimáticos que comúnmente se utilizan en procesos de biodepuración de aguas residuales. Finalmente, proponen a las enzimas como agentes de biodegradación de contaminantes resistentes, como un método de pretratamiento dentro de un proceso completo, que puede permitir una alta eficiencia para el tratamiento de

aguas residuales. Por lo que, recomiendan realizar más investigaciones de este tipo. Ok

- Sambaraju y Sree (5) desarrollaron un trabajo de investigación denominado: “*Eco-friendly treatment of dairy wastewater using garbage enzyme*” cuyo fin principal fue examinar la eficacia de un conjunto de enzimas preparadas a partir de residuos de basura, para disminuir sólidos suspendidos totales (SST) de aguas residuales procedentes de procesos de lácteos. Esto también, con el fin de utilizarlo como alternativa que permite reemplazar a los métodos de tratamiento biológico tradicionales. El preparado de enzimas lo obtuvieron por fermentación de una mezcla que prepararon mezclando 1kg de azúcar rubia, 3kg de cascaras de frutas, en 10 kg de agua. Según la descripción que realizan, este preparado de enzimas es una mezcla líquida compleja, que posee un olor agrí dulce, con color marrón oscuro. Además de la caracterización que realizaron de esta mezcla líquida, realizaron ensayos de degradación, mezclando 10 % de esta enzima obtenida, con agua residual de origen sintético, semejantes a los efluentes de procesos lácteos. Sus pruebas lo realizaron a pH de 4 y 6.5 durante cinco días de tratamiento. Consiguieron obtener a estas condiciones, la reducción porcentual de SST de 22% y 26% respectivamente. Después de su evaluación, concluyen que este producto enzimático procedente de la fermentación permite reducir de modo eficaz los SST. Además, sugieren realizar investigaciones que permitan optimizar la dosis y determinar la efectividad para reducir la DQO, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y otros indicadores.
- Meng et al. (6) publicaron una investigación titulada: “*Effects of dissolved oxygen on key enzyme activities during photosynthetic bacteria wastewater treatment*”. El objetivo de su estudio fue evaluar los efectos de la variación de niveles de oxígeno disuelto sobre las enzimas (hexoquinasa, HK; fosfofructoquinasa, PFK; y piruvato cinasa, PK) y la enzima fotosintética RuBisCO de PSB en la descontaminación de aguas residuales. El proceso de descontaminación de aguas residuales con bacterias fotosintéticas (PSB) es un método novedoso que puede lograr simultáneamente la purificación de aguas residuales y la restauración de recursos.

Además, indican que las condiciones de oxígeno pueden influir significativamente en el metabolismo de PSB y la depuración de aguas residuales; sin embargo, las funciones de las enzimas clave en este proceso aún no han sido claras. Sus resultados muestran que, la actividad de HK fue casi la más alta en condiciones anaeróbicas; la actividad de PFK fue la más alta (311 nmol / min g) y la PK alcanzó su pico más rápidamente en condiciones aeróbicas; y la actividad de RuBisCO fue la más alta (107 nmol / min g) en condiciones anaeróbicas. Resultados anteriores ilustraron que HK podría regular simultáneamente el crecimiento de PSB y la degradación de DQO, y su función principal podría ser la regulación del crecimiento de PSB. PFK y PK podrían funcionar en la degradación de DQO, mientras que RuBisCO podría funcionar en el crecimiento de PSB. Además, indican que el oxígeno fue beneficioso para la degradación de la DQO y perjudicial para el crecimiento de PSB. Finalmente manifiestan que este estudio proporciona una base teórica para desarrollar investigaciones sobre depuración de aguas residuales.

- Cammarota y Freire (7), desarrollaron un estudio titulado: “*A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content*”. En esta revisión indican que, las aguas residuales de lecherías y mataderos presentan elevados contenidos de grasas y proteínas, sustancias con baja biodegradabilidad. Además, mencionan que, en las plantas de tratamiento, es aplicado diversos sistemas de pretratamiento para eliminar los aceites y las grasas (A&G), con el objetivo de reducir las dificultades que podrían surgir en el proceso biológico a consecuencia de su presencia, y con ello, reducir la eficiencia de la estación de tratamiento. Las consecuencias que ocasiona el exceso de A&G incluyen la reducción en las velocidades de transferencia de la fase acuosa de la célula, un impedimento de sedimentación debido al desarrollo de microorganismos filamentosos, desarrollo y flotación de lodos con poca actividad, obstrucciones y la aparición de olores desagradables. De acuerdo a esto, manifiestan que, la aplicación de un pretratamiento para hidrolizar y disolver los lípidos puede mejorar la degradación biológica de las aguas residuales que contine grasas, acelerando el proceso y mejorando la eficiencia y disminuyendo tiempo de tratamiento. Sin

embargo, a la fecha de realización de su revisión, mencionaron que, solo unos pocos estudios que describen la degradación de grasas y aceites por hidrólisis alcalina /ácida /enzimática fueron publicados y, que, el tratamiento de efluentes de diversos orígenes es una nueva y prometedora para aplicación de las lipasas.

- Pérez et al. (8) llevaron a cabo una investigación que la titularon: “*Uso de enzimas de tipo ureasa en el tratamiento de aguas residuales con alto contenido en nitrógeno orgánico*”. El fin principal de su estudio fue investigar la eficiencia que presentan bacterias que generan enzimas tipo ureasa en la depuración de aguas residuales industriales que contienen urea. Para su estudio emplearon un efluente industrial que contenía nitrógeno orgánico, cuya concentración lo determinaron luego de la caracterización de un efluente industrial. También, aislaron bacterias que tenían la capacidad de generar enzimas tipo ureasa y las adaptaron en un ambiente adecuado. Con sus resultados demuestran que las bacterias *Klebsiella pneumoniae* y *Proteus mirabilis* generan enzimas que hidrolizan urea en amoníaco y agua, lo que permite degradar el nitrógeno orgánico. Encontraron que este segundo tipo de bacteria logró convertir el 90 % del nitrógeno orgánico. Realizaron el estudio cinético con esta segunda bacteria y establecieron que la biodegradación que presenta es de primer orden y la constante de velocidad específica a 37 °C es de 0,4185 h⁻¹.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales

Los efluentes de aguas residuales pueden contener desde unas pocas hasta varios compuestos distintos, incluyendo muchos subproductos tóxicos.

Por tal motivo, resulta crucial someterlas a tratamientos adecuados en función de su composición, esta acción se debe realizar antes de que pueda unirse a otras de corrientes de agua de mayor proporción. Este tratamiento tiene como objetivo variar algunas de las propiedades químicas, físicas y microbiológicas de este tipo de agua (9).

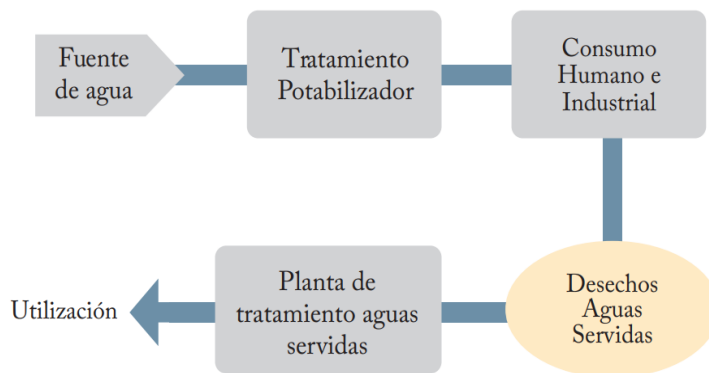


Figura 1. Secuencia de la utilización del agua Tomado de Valles (10)

Las aguas residuales son aquellas que se generan a consecuencia de diversas actividades que realiza el ser humano en el que utiliza agua. Estas aguas representan un riesgo, por lo que, deben ser descartadas, dado que, en ella están sustancias disueltas y no disueltas considerables sustancias y/o microorganismos nocivos para la salud.

La contaminación de los cuerpos de agua se puede dar de forma directa o indirecta, generalmente de manera artificial causado por las actividades del ser humano. Por lo tanto, es común analizar la contaminación considerando el origen de estas. En los siguientes párrafos se describen los tipos de agua residual más comunes.

2.2.1.1. Aguas residuales domesticas:

Hacen referencia a los desechos líquidos generados en la vida cotidiana que tienen su origen en las viviendas. Estas aguas comprenden tanto las aguas residuales fecales como las aguas utilizadas para actividades de limpieza. Entre los contaminantes primarios que se encuentran en ellas se incluyen:

- ✓ detergentes
- ✓ materia orgánica
- ✓ microorganismos patógenos
- ✓ sólidos
- ✓ fósforo
- nitrógeno

A partir de una perspectiva sanitaria, es crucial la consideración de los microorganismos de origen fecal que son arrastrados por el agua, ya que son capaces de causar enfermedades. Dentro de todos los microorganismos eliminados, una fracción proviene del sistema digestivo, y de estos, una parte puede ser potencialmente patógena. No obstante, la medición directa de los microorganismos patógenos resulta inviable motivado por la presencia de cepas o familias variables que podrían existir.

CONSTITUYENTE	CONCENTRACION		
	FUERTE	MEDIA	DEBIL
SÓLIDOS TOTALES	1200	720	350
Disueltos SD	850	500	250
SD fijos SDF	525	300	145
SD volátiles SDV	325	200	105
En suspensión SS	350	220	100
SS fijos SSF	75	55	20
SS volátiles SSV	275	165	80
SÓLIDOS SEDIMENTABLES ml/L	20	10	5
DBO5	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
NITROGENO (Total como N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
FOSFORO (Total como P)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
CLORUROS	100	50	30
ALCALINIDAD (como Co_3Ca)	200	100	50
GRASA	150	100	50

Figura 2. Composición típica de las aguas residuales domésticas
Tomado de Metcalf and Eddy (3)

2.2.1.2. Aguas residuales municipales

Se refiere a las aguas residuales domésticas que pueden estar combinadas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales industriales previamente tratadas, para luego ser conducidas hacia sistemas de alcantarillado de tipo combinado (11).

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN		
	ALTA	MEDIA	BAJA
Sólidos Totales	1000	500	200
Sólidos Suspendidos	500	300	100
Sólidos Sedimentables	12	8	4
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO5	300	200	100
Demanda Química de Oxígeno, DQO	1000	500	250
Nitrógeno total	80	50	25
Fósforo Total	20	15	5
Grasas y Aceites	40	20	0
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	10 ⁹	10 ⁷	10 ⁵

Figura 3. Composición del agua residual municipal
Tomada de Guía de gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales (12)

2.2.1.3. Aguas residuales pecuarias

Las aguas residuales de origen pecuario provienen de la actividad ganadera. En el caso de una ganadería intensiva, suele haber liberación directa de desechos en los cursos de agua. Estos vertidos son específicos, constantes y concentrados. Por otro lado, si la actividad ganadera es de tipo extensivo, la contaminación de los cauces de agua es más dispersa y difusa.

Cuando la contaminación es de carácter difuso, su propagación se encuentra vinculada a los fenómenos hidrológicos y su gestión se torna complicada.

ANIMAL	PESO MEDIO DEL ANIMAL (Kilos)	RESIDUOS TOTALES(Kg/cab.dia)	DBO5
Ganado bobino	363	18-27	0,45-0,68
Vacas	590	44	0,91
Pollos	-	0,050	0,0044**
Gallinas	-	0,059	0,0044**
Cabras y ovejas	-	7	0,160
Pavos	6,8	0,41	0,023
Patos	1,6	-	0,005-0,029
Caballos		37	0,0360

Figura 4. Carga de contaminantes de residuos animales
Tomado de Tejero et al. (13)

2.2.1.4. Aguas residuales agrícolas

Originadas por actividades agrícolas en áreas rurales, estas aguas a menudo comparten su origen con las aguas urbanas que son utilizadas, en muchos lugares, para el riego de tierras agrícolas, ya sea con o sin un tratamiento previo (14).

Las actividades agrícolas tienen el potencial de ocasionar dos tipos de contaminación notoriamente distintos, dependiendo de si los compuestos se emplean como fertilizantes o como pesticidas.

2.2.1.5. Aguas residuales industriales

Estas aguas residuales tienen su origen en los procesos llevados a cabo en fábricas y establecimientos industriales y su contenido abarca ácidos, aceites, detergentes, antibióticos, grasas, así como otros productos y subproductos de procedencia mineral, química, vegetal o animal. Su composición es sumamente diversa y está condicionada por la naturaleza de las diversas actividades industriales.

En las aguas residuales industriales es común que la materia orgánica se presente predominantemente en forma disuelta, representando una proporción más significativa (alrededor del 80 %) en comparación con las aguas residuales domésticas (que varían entre un 20 % y 40 %). Las concentraciones de materia orgánica tienden a ser considerablemente altas, fluctuando entre 1.000 y 100.000 mg/L de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).

2.2.2. Parámetros de calidad de agua residuales

A continuación, se describe de manera concisa los parámetros de calidad de las aguas residuales, así como los contaminantes críticos que influyen en el tratamiento del agua.

2.2.2.1. Parámetros físicos

- **Color**

A medida que el agua residual fluye a través de los sistemas de alcantarillado y las condiciones se vuelven más anaeróbicas, su color experimenta una transición

gradual de gris a un tono gris más oscuro y finalmente a negro. En este punto, el agua residual puede ser clasificada como séptica. Además, algunas aguas residuales industriales también pueden influir en el color de las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el matiz gris, grisáceo o negro del agua residual se debe a la formación de sulfuros metálicos (3).

- **Olor y sabor**

El olor y el sabor son dos aspectos del agua que están interrelacionados. En general, las aguas domésticas presentan un olor distintivo, el cual es el resultado de los gases generados debido a la degradación de la materia orgánica o de las sustancias añadidas a las aguas residuales. Si el agua se encuentra en un estado séptico, esto produce un olor característico similar a los huevos podridos, el cual está relacionado con la presencia de sulfuro de hidrógeno (15).

- **Temperatura**

La temperatura del agua residual generalmente se mantiene más alta en comparación con la del agua de suministro, principalmente debido a la introducción de agua caliente proveniente de hogares y diversas actividades industriales. Esta diferencia se debe al hecho de que el agua tiene una capacidad térmica mucho mayor que el aire. Como resultado, las temperaturas registradas en las aguas residuales son más altas que las temperaturas del aire durante la mayor parte del año, siendo solo más bajas que estas últimas durante los meses más calurosos del verano.

- **Sólidos totales**

Desde un enfoque analítico, el contenido de sólidos totales se define como la sustancia que permanece después de que el agua es sometida a un proceso de evaporación a una temperatura generalmente entre 103 y 105 grados Celsius. Se excluye de esta definición como "sólida" cualquier materia que se evapore debido a su alta presión de vapor.

2.2.2.2. Parámetros químicos

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Es una medida del disuelto de oxígeno que es utilizado por los microorganismos en el proceso de oxidación de la materia orgánica en el agua. Refleja la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua analizada. Para determinar la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), se lleva a cabo la prueba a una temperatura de 20°C, que es la temperatura a la cual la mayoría de la materia se encuentra en condiciones naturales. Esta prueba se realiza un período de 5 días, tiempo suficiente para que la mayoría de la materia orgánica presente alcance una disponibilidad.

Es un indicador ampliamente utilizado para evaluar la contaminación orgánica, aplicable tanto a aguas residuales como a cuerpos de agua superficiales.

- **Demanda química de oxígeno**

El análisis de la demanda química de oxígeno (DQO) se utiliza para cuantificar el contenido de materia orgánica tanto en aguas naturales como en aguas residuales. En este ensayo, se emplea un agente químico duro oxidante en un medio ácido para determinar la cantidad de oxígeno equivalente que la materia orgánica puede oxidar. El dicromato de potasio es un compuesto que brinda resultados efectivos para este propósito. Este análisis debe llevarse a cabo a temperaturas elevadas. Para facilitar la formación de ciertos tipos de compuestos orgánicos, es necesario utilizar un catalizador como el sulfato de plata.

- **Dureza**

La dureza del agua se debe a la presencia de iones de calcio y magnesio derivados de compuestos naturales, y esta cantidad está influenciada por la geología del área a través de la cual fluye el agua. A medida que el agua sigue su trayecto, ya sea al infiltrarse en el terreno para formar parte de un acuífero subterráneo o al recorrer dicho acuífero o un curso de agua, adquiere sales de calcio y magnesio provenientes de las rocas circundantes. Cuando el agua atraviesa zonas ricas en carbonato

cálcico, su contenido aumenta significativamente, lo que resulta en una mayor dureza del agua. Este efecto es menos pronunciado en terrenos graníticos.

La dureza del agua puede ser expresada en diversas unidades, siendo una de las más comunes la concentración de carbonato de calcio ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$). La clasificación del agua basada en su dureza, de acuerdo con la escala de Merk, se presenta a continuación:

Tabla 1. Clasificación del agua según su dureza

Rango	Tipo de agua
De 0 a 79 mgCaCO_3/L	Agua muy blanda
De 80 a 149 mgCaCO_3/L	Agua blanda
De 150 a 329 mgCaCO_3/L	Agua semidura
De 330 a 549 mgCaCO_3/L	Agua dura
Más de 550 mgCaCO_3/L	Agua muy dura

2.2.3. Sustancias contaminantes de aguas residuales

La materia orgánica disuelta o suspendida en el agua suele evaluarse de manera general mediante métodos conocidos como la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) o el contenido total de carbono orgánico (COT). Por otra parte, la biomasa o los componentes celulares presentes en el agua se miden a través de los sólidos suspendidos volátiles (SSV). Resulta relevante recordar en esta instancia que la pared celular de los microorganismos posee una densidad levemente mayor que la del agua, esta diferencia es usada para separar mediante el proceso de decantación y posteriormente someterlos a otro tratamiento.

2.2.3.1. Carbohidratos

Son compuestos a partir de los cuales los microorganismos obtienen la mayor parte de la energía necesaria para llevar a cabo sus procesos metabólicos y de reproducción. Su origen principal suele ser la materia vegetal e incluyen elementos como fibras, azúcares y almidones (lignina, celulosa y hemicelulosa). Los azúcares tienen una alta solubilidad en agua, lo que facilita su debilitamiento. Los almidones,

por su parte, son relativamente estables y levemente solubles; para que las bacterias los metabolicen, deben descomponerse previamente en azúcares. En contraste, las fibras no son solubles en agua y, a consecuencia de su estructura química, son resistentes a la destrucción por parte de las bacterias presentes en aguas residuales (AR).

2.2.3.2. Proteínas

Estos compuestos representan la principal fuente de nitrógeno para los microorganismos presentes en las aguas residuales. Son sustancias de naturaleza compleja e inestable, con un peso molecular considerablemente elevado. En términos químicos, comparten similitudes con los aminoácidos, los cuales están compuestos por grupos básicos (NH₂) y grupos ácidos (COOH).

2.2.3.3. Aceites y grasas (AG)

Son mezclas de alcohol y glicerol. En el contexto de las aguas residuales provenientes de hogares, estas sustancias derivan de mantequillas y aceites vegetales. En general si, los aceites y grasas reaccionan con sustancias alcalinas, se forma jabón. Debido a su estructura química, estas sustancias son ciertamente estables, lo que dificulta su deterioro mediante bacterias. Por este motivo, es necesario eliminarlas en etapas anteriores al tratamiento biológico de las aguas residuales o descomponerlas previamente mediante enfoques adecuados, como la acción de enzimas (lipasas). Si no se realiza este procedimiento, pueden generar complicaciones en el proceso biológico de tratamiento de las aguas residuales.

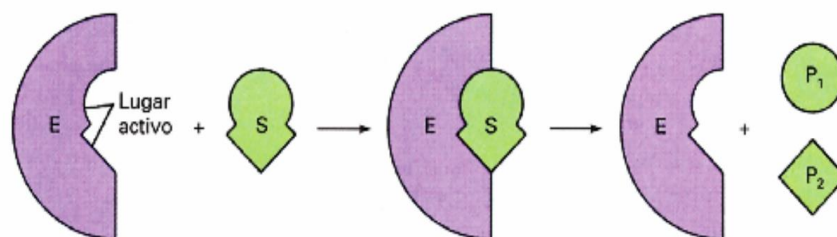
2.2.3.4. Surfactantes

También integran la fracción de materia orgánica contenida en las aguas residuales (AR). Tienen una solubilidad leve en agua y producen espuma. Sus moléculas son relativamente grandes y son utilizados como agentes de limpieza, tanto en entornos domésticos como industriales. El componente principal de los detergentes es el alquil-benceno-sulfonato (ABS), que es resistente a la biodegradación. Sin embargo, en la actualidad, este ha sido eliminado por el lineal-alquil-benceno-sulfonato (LSA), una sustancia que es biodegradable. Estos

compuestos, generan complicaciones en el proceso de aireación de las aguas residuales, lo cual implica la introducción de oxígeno disuelto en el AR. Por lo tanto, es crucial aplicar un tratamiento adecuado a estos compuestos.

2.2.4. Enzimas en la biodegradación de sustancias

Las enzimas son compuestos de naturaleza proteica con la capacidad de funcionar como agentes que estimulan y aumentan la velocidad de reacciones dentro de sistemas biológicos específicos. Debido a esta propiedad, se les conoce como catalizadores biológicos (10). La actividad catalítica de cada enzima es singular, lo que significa que una enzima solamente puede activar y catalizar una sustancia particular, desencadenando una reacción de destrucción en esa sustancia específica y no en otras. Este comportamiento es llamado por algunos investigadores como especificad.



*Figura 5. Modelo llave-cerradura de Fischer
Tomado de Ryde (16)*

2.2.5. Clasificación de las enzimas

De acuerdo a Zalduegui (17), enzimas, la categorización de las enzimas se divide en seis grupos principales.

2.2.5.1. Oxidorreductasas

Las oxidorreductasas desempeñan la tarea de fomentar las reacciones de reducción y oxidación. Dado que son proteínas, estas enzimas tienden a transferir electrones de un sustrato a otro mediante reacción química (18).

Las oxidorreductasas se dividen en subclases, dentro de las cuales se incluyen:

- a) Deshidrogenasas
- b) Oxidasas
- c) Peroxidasas
- d) Reductasas
- e) Monooxígenasas
- f) Desoxígenasas

En los últimos años, ha habido un creciente interés en la utilización de enzimas oxidorreductasas en los procesos de tratamiento de aguas residuales, debido a la amplia gama de aplicaciones que ofrecen estas enzimas. Esta clase de enzimas se emplea para la eliminación de compuestos fenólicos presentes en las aguas residuales. Para lograr esto, se utilizan proteínas con actividad peroxidasa para una eliminación efectiva de los compuestos fenólicos en el agua residual. Sin embargo, para lograr una remoción eficiente, es necesario inmovilizar las proteínas en diferentes soportes, además de llevar a cabo la optimización y caracterización cinética del sistema.

2.2.5.2. Hidrolasas

Las hidrolasas realizan la tarea de romper enlaces entre moléculas mediante un proceso conocido como hidrólisis. Estas enzimas son esenciales en el proceso de metabolismo, ya que facilitan la destrucción de moléculas complejas en moléculas más simples. A continuación, proporcionaremos ejemplos de algunas de estas enzimas

- a) Nucleotidasas: estas enzimas son responsables del deterioro de los nucleótidos presentes en los ácidos nucleicos.
- b) Lactasas: las lactasas se encargan de romper los enlaces de la lactosa dando lugar a la formación de galactosa y glucosa.

c) Peptidasas: al igual que las lipasas y nucleotidasas, las peptidasas tienen la función de degradación, y en este caso, se encargan de descomponer las proteínas en aminoácidos.

d) Lipasas: tienen la capacidad de degradar lípidos complejos en grasas simples.

De acuerdo con Giraldo y Díaz (19), en su investigación, se señala que las lipasas son empleadas utilizadas para llevar a cabo la hidrólisis de las grasas presentes en muestras de agua residual provenientes de diversos procesos, incluido el proceso de fabricación de queso. La utilización de esta enzima puede resultar en una remoción de hasta un 70% de las grasas totales presentes en el agua residual.

2.2.5.3. Transferasas

Las enzimas transferasas tienen el propósito de trasladar grupos químicos de una molécula a otra. Estas enzimas son capaces de transferir diversos grupos químicos, excluyendo el hidrógeno. Se incluyen en el metabolismo anabólico, un proceso que involucra la inversión de energía para sintetizar tanto moléculas simples como complejas.

Estas enzimas son empleadas frecuentemente para intervenir en la producción de aminoácidos.

2.2.5.4. Ligasas

Las enzimas ligasas desempeñan el papel de promover la formación de enlaces covalentes entre moléculas. Estos enlaces covalentes se fortalecen entre dos átomos, lo que implica una compartición de electrones, fortaleciendo significativamente la unión entre ellos. Entre las enzimas ligasas más reconocidas se encuentra la DNA ligasa (20).

2.2.5.5. Liasas

Las enzimas liasas comparten una característica distintiva con las enzimas hidrolasas, ya que tienen la capacidad de romper y formar enlaces químicos entre

moléculas. Debido a esta propiedad, estas enzimas desempeñan un papel fundamental en las reacciones catabólicas que ocurren en ausencia de agua. Las liasas promueven reacciones químicas reversibles.

Las enzimas liasas actúan como catalizadores en la destrucción y despolimerización del ácido algínico, lo que resulta en una reducción de su viscosidad (21).

2.2.5.6. Isomerasas

Las enzimas son clasificadas como proteínas que, mediante su actividad metabólica, tienden a modificar la composición química de un sustrato. Su función primordial consiste en promover la generación de isómeros.

Estas enzimas se encuentran aplicadas en diversas operaciones, por ejemplo, en la fabricación de jarabes. Esto se debe a su habilidad para alterar los isómeros presentes en carbohidratos.

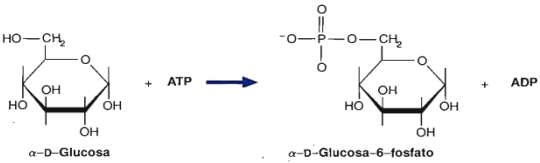

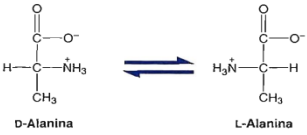
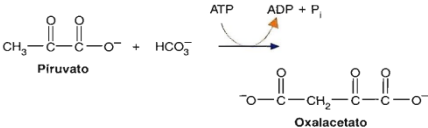
Clase enzimática	Ejemplo	Reacción catalizada
Oxidoreductasa	Deshidrogenasa alcohólica	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH} + \text{NAD}^+ \longrightarrow \text{CH}_3\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—H} + \text{NADH} + \text{H}^+$
Transferasa	Hexocinasa	 <p style="text-align: center;"> $\alpha\text{-D-Glucosa} + \text{ATP} \longrightarrow \alpha\text{-D-Glucosa-6-fosfato} + \text{ADP}$ </p>
Hidrolasa	Quimiotripsina	$\text{Polipéptido} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Péptidos}$
Liasa	Descarboxilasa de piruvato	 <p style="text-align: center;"> $\text{CH}_3\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—O}^- + \text{H}^+ \longrightarrow \text{CH}_3\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—H} + \text{CO}_2$ </p> <p style="text-align: center;"> Piruvato Acetaldehído Dióxido de carbono </p>
Isomerasa	Racemasa de alanina	 <p style="text-align: center;"> $\text{D-Alanina} \rightleftharpoons \text{L-Alanina}$ </p>
Ligasa	Carboxilasa de piruvato	 <p style="text-align: center;"> $\text{CH}_3\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—O}^- + \text{HCO}_3^- \xrightarrow{\text{ATP}} \text{Oxalacetato} + \text{ADP} + \text{P}_i$ </p>

Figura 6. Ejemplos de las principales enzimas
Tomado de Mckee (22)

2.2.6. Factores que afectan el desempeño de las enzimas

El rendimiento de las enzimas revela que tan efectiva es la aceleración de la reacción en la que el sustrato se transforma en producto. Según Sánchez (23), este rendimiento está completamente condicionado por los factores presentes en la reacción. Entre estos factores se incluyen la concentración del sustrato, la temperatura, la concentración de la enzima y el pH.

2.2.6.1. Preparación de la enzima

Para llevar a cabo la medición de la actividad enzimática, se parte de la obtención de un tejido que contenga dicha enzima. En general, se procede a la ruptura de las células y del tejido, utilizando diversos métodos en un medio líquido, manteniendo una temperatura específica que oscile entre 0 y 4 °C. La elección de esta temperatura es crucial para evitar la desnaturalización de las proteínas. A este proceso se le conoce como homogeneización, y su propósito radica en separar partículas subnucleares, así como purificar proteínas y enzimas.

2.2.6.2. Tipo de incubación

La manera más característica de evaluar la actividad enzimática implica la incubación, logrando una temperatura de 37°C durante intervalos variables, y se mide la cantidad de producto de la reacción en un punto determinado en el tiempo. Cuando la reacción sigue un patrón lineal en función del tiempo, la actividad enzimática se describe en términos de velocidad. Sin embargo, cuando la representación gráfica de los datos no es completamente lineal, esto puede deberse a varias razones, entre ellas, la reacción alcanza su equilibrio, lo que significa que el sustrato se ha agotado y ya no se forman más productos.

2.2.6.3. Concentración enzimática y sustratos

En una reacción que es catalizada, el sustrato tiende a unirse con la enzima, dando lugar a la formación del complejo enzima-sustrato. Cuando se mantiene constante la concentración del sustrato y se incrementa la concentración de enzima, la velocidad de la reacción catalizada aumenta. Por lo tanto, mayores concentraciones enzimáticas contribuyen a que haya más moléculas disponibles para interactuar con

el sustrato, facilitando así la canalización de la reacción. Cuando la concentración de sustrato supera la concentración de enzima, se establece una relación directa con la actividad enzimática.

Por ello, cuando la concentración de la enzima se mantiene constante, agregar más sustrato provoca un aumento en la velocidad de reacción. Sin embargo, si la concentración del sustrato es muy alta, es probable que las moléculas de la enzima se saturen.

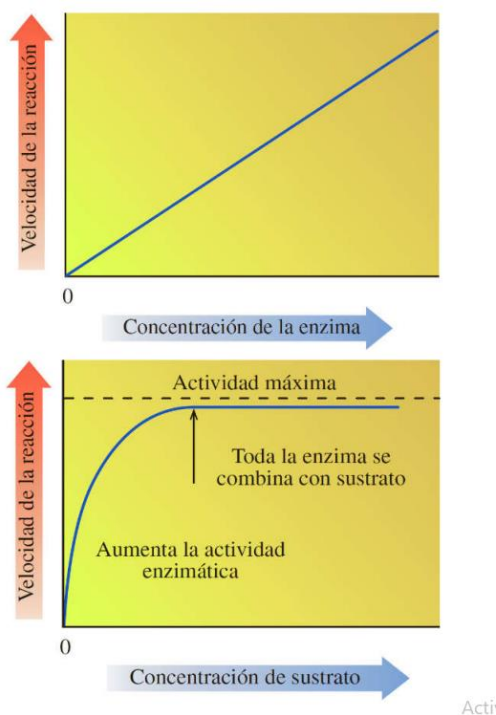


Figura 7. Velocidad de reacción vs concentración de la enzima y sustrato
Tomado de ITS Paysandú (24)

2.2.6.4. Temperatura

La temperatura juega un papel crucial, ya que las enzimas son altamente sensibles a este factor. A temperaturas bajas, las enzimas exhiben una actividad limitada debido a la falta de energía, lo que impide una reacción catalítica efectiva. En contraste, a temperaturas elevadas, la actividad enzimática se intensifica, pues las moléculas reactivas se desplazan rápidamente, resultando en un aumento de colisiones con las enzimas.

Por lo común, las enzimas muestran una mayor actividad en un rango de temperaturas entre 36 y 37 °C. Sin embargo, si la temperatura supera los 50°C, se observa una disminución en la actividad enzimática.

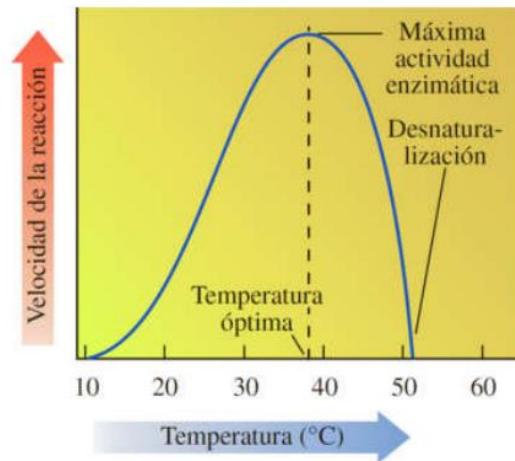


Figura 8. Velocidad de reacción vs temperatura
Tomado de ITS Paysandú (24)

2.2.6.5. pH

El pH juega un papel esencial en el funcionamiento de las enzimas. En un pH óptimo, las enzimas exhiben una mayor actividad, mientras que, si el pH se aleja de este punto, las interacciones entre los grupos R se ven afectadas, lo que puede llevar a la alteración de la estructura terciaria y la destrucción del sitio Activo. Como consecuencia, la enzima no logra establecer una unión adecuada con el sustrato, lo que resulta en la falta de reacciones químicas. Es importante destacar que el pH óptimo no debe ser ni excesivamente ácido ni alcalino.

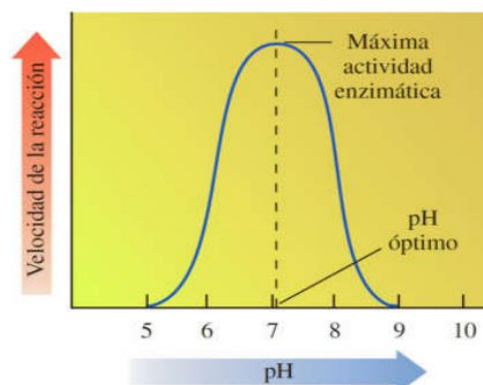


Figura 9. Velocidad de reacción vs pH
Tomado de ITS Paysandú (24)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

El enfoque general que se añade es el método científico-analítico, según lo explicado por Hernández et al. (25). Este método implica descomponer un objeto en sus componentes esenciales, lo que significa que nos brinda la capacidad de identificar los elementos que influyen en la eficacia de la eliminación de contaminantes de aguas residuales municipales.

3.1.2. Tipo de la investigación

La investigación es de tipo aplicada ya que, según Maya (26), esta se orienta hacia la búsqueda de aplicaciones con repercusiones prácticas, especialmente en el ámbito tecnológico, a partir de los conocimientos adquiridos. Este tipo de investigación está relacionado con nuestro estudio que aborda la eliminación de contaminantes de agua residual municipal empleando una novedosa mezcla de bacterias y enzimas.

3.1.3. Nivel de la investigación

De acuerdo a su nivel de profundidad, se considera como un enfoque explicativo, ya que la investigación no se limitará únicamente a la medición de las variables, sino que también examinará cómo se relacionan entre sí, con el propósito de comprender los factores que influyen en este proceso.

Según su carácter es cuantitativo, ya que la investigación tendrá se enfocará en los términos objetivos y palpables de cuantificación. En relación a su naturaleza es experimental, debido a que la investigación tiene como base la observación de los diversos fenómenos que tiene el proceso.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es experimental, dado que, en el estudio se manipularon intencionalmente dos variables independientes para analizar sus efectos en una variable dependiente. Y particularmente, de dentro de este tipo de diseño, el diseño es factorial A x B, donde A tiene dos niveles y B, 6 niveles. Los experimentos resultantes de la combinación de los niveles de estos factores se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2. Plan de experimentación

Dosis de bacterias y enzimas	Tiempo	Eficiencia de remoción de contaminantes		
		Repetición I	Repetición II	Repetición III
1 g/L	1 días	E _{1,1,I}	E _{1,1,II}	E _{1,1,III}
1 g/L	2 días	E _{1,2,I}	E _{1,2,II}	E _{1,2,III}
1 g/L	3 días	E _{1,3,I}	E _{1,3,II}	E _{1,3,III}
1 g/L	4 días	E _{1,4,I}	E _{1,4,II}	E _{1,4,III}
1 g/L	5 días	E _{1,5,I}	E _{1,5,II}	E _{1,5,III}
1 g/L	6 días	E _{1,6,I}	E _{1,6,II}	E _{1,6,III}
1 g/L	7 días	E _{1,7,I}	E _{1,7,II}	E _{1,7,III}
2 g/L	1 días	E _{2,1,I}	E _{2,1,II}	E _{2,1,III}
2 g/L	2 días	E _{2,2,I}	E _{2,2,II}	E _{2,2,III}
2 g/L	3 días	E _{2,3,I}	E _{2,3,II}	E _{2,3,III}
2 g/L	4 días	E _{2,4,I}	E _{2,4,II}	E _{2,4,III}
2 g/L	5 días	E _{2,5,I}	E _{2,5,II}	E _{2,5,III}
2 g/L	6 días	E _{2,6,I}	E _{2,6,II}	E _{2,6,III}
2 g/L	7 días	E _{2,7,I}	E _{2,7,II}	E _{2,7,III}

3.3. Población y muestra

Los elementos o unidad de análisis que constituyeron la población para esta investigación fueron las bacterias y enzimas biodigestoras, de acuerdo a la ficha técnica del producto que comercializa la empresa peruana BOSS TECH. Estas unidades de análisis son los que fueron sometidos a pruebas de biodepuración de agua residual municipal en un biorreactor a las condiciones medioambientales de Huancayo.

La muestra que se empleó para cubrir todos los ensayos básicos y sus repeticiones fue de 60 g del producto en cuestión.

La muestra de agua residual municipal para las pruebas fue de 40 L. Esta muestra fue tomada del afluente que ingresa a la laguna de oxidación del distrito de Cajas.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para obtener los datos de interés, fue adoptado la técnica de observación de pruebas de descontaminación de aguas residuales, con bacterias aerobias y enzimas digestoras. Los cuales fueron llevadas a cabo en un biorreactor por lotes. En las pruebas experimentales se siguió el procedimiento que a continuación se describe.

- **Instalación y pruebas de funcionamiento del biorreactor.**

El diagrama esquemático del biorreactor que se utilizó para las pruebas de descontaminación se muestra en la figura 10.

En principio fue instalado y verificado los ajustes correspondientes de cada componente del biorreactor (sensores de temperatura y oxígeno disuelto, difusor y regulador de aire, sistemas de control y conexiones eléctricas). También, fue realizado una prueba con agua potable para para determinar y subsanar fugas del tanque, además de verificar el buen funcionamiento de los sistemas de control de temperatura y oxígeno disuelto.

Con respecto a los sistemas de control, se ha configurado para que la temperatura del agua residual sea controlada a una temperatura de 17 °C y, en el caso del oxígeno disuelto, sea controlada a 3 mg/L.

- **Pruebas de descontaminación**

Verificado el buen funcionamiento de todos los componentes del biorreactor, en seguida fue llevado a cabo los ensayos de descontaminación biológica, para ello:

- ✓ Fue vertido 20 L de agua residual al tanque del biorreactor.
- ✓ Luego fueron activados todos los componentes eléctricos que incluyen los sensores, controladores y actuadores (electroválvula y contactores). Luego se esperó un breve tiempo para que se estabilicen los sistemas de control de temperatura y oxígeno disuelto.
- ✓ Culminado con esta acción, en seguida se procedió a adicionar la mezcla de bacterias y enzimas al agua residual contenida en el biorreactor según dosis establecida en el plan de experimentos.
- ✓ A partir de ese momento fue contabilizado el tiempo de tratamiento. Y, luego, cada 24 horas, se fue tomando una muestra de 50 ml para realizar la determinación (por triplicado) de la DQO, y con ello, evaluar la disminución que experimenta. Esta muestra fue tomada previa agitación del agua sometida a descontaminación en el biorreactor y, con la ayuda de un vaso de precipitado de 100 ml.
- ✓ Las muestras que se tomaron del biorreactor fueron almacenadas en recipientes de polietileno de 100 ml, a cada cual, fue adicionado el respectivo conservante (solución de ácido sulfúrico. Ver anexo), para luego ser enviados al laboratorio de análisis químico.

El biorreactor con sus componentes que se utilizó para desarrollar las pruebas de biodepuración aerobia se muestra en la figura 10.

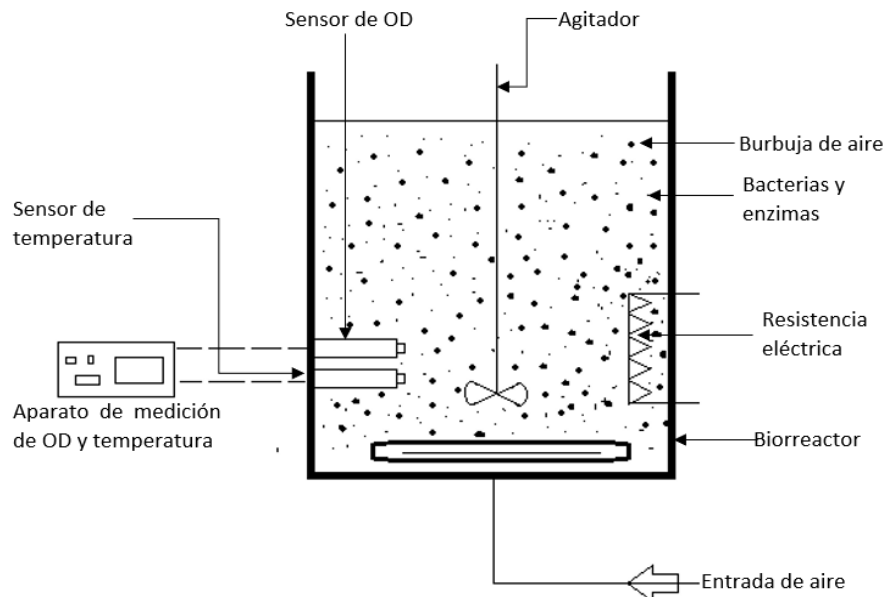


Figura 10. Biorreactor adaptado para pruebas de descontaminación

• Instrumentos empleados

En la toma de muestras de agua residual al ingreso de la laguna de oxidación del distrito de Cajas, se emplearon:

✓ pH-metro portátil

Marca: Hanna. Modelo: HI83141. Resolución 0.01 pH. Rango: de 0.00 a 14.00 pH (certificado de calibración en anexos)

✓ Conductímetro

Marca: Lutron. Modelo: YK-2005WA. Resolución 0.1 uS/cm. Rango: de 0.0uS/cm a 200.0 mS/cm pH (certificado de calibración en anexos)

✓ Vasos de precipitado

Material: vidrio pírex. capacidad: 200 ml, cantidad: 01

✓ Recipiente

Material: polietileno. Forma: cilíndrico con tapa. Capacidad: 20 litros. Cantidad 02.

En las pruebas de descontaminación, se utilizó:

✓ El biorreactor adaptado mostrado en la figura 10.

✓ Vasos de precipitado

✓ Material: vidrio pírex. Capacidad: 100 ml, cantidad: 02

✓ Frascos de plástico

✓ Material: polietileno. Capacidad: 100 ml, cantidad: 14

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se encuentran los datos que se han obtenido al realizar las experiencias de descontaminación biológica de muestras de aguas residuales municipales, según la metodología que se describió en el capítulo anterior. En principio, se encuentran los datos de parámetros de calidad de las muestras de agua residual. Luego, se tienen las mediciones diarias de DQO del agua residual llevadas a depuración en cada ensayo. Seguido a esto, se encuentran los resultados de eficiencia de remoción. Finalmente, se tiene el análisis de la significancia de variaciones por efecto de los factores evaluados (ANOVA).

4.1. Parámetros de calidad de muestras de agua

Los resultados que reportó el análisis fisicoquímico para determinar los parámetros de calidad de las muestras de agua se presentan en la tabla 3

Tabla 3. Parámetros de calidad del agua

Parámetro	Unidad	Muestra I	Muestra II
Dureza total	mg/L	314	336
Dureza cálcica	mg/L	96	91
Alcalinidad	mg/L	214	203
Cloruros	mg/L	36	41
Conductividad	uS/cm	748	764
Sólidos suspendidos	mg/L	1178	1213
Sólidos totales	mg/L	1914	1978
pH	pH	8.1	8.3

Oxígeno disuelto	mg/L	0.78	0.89
Turbidez	NTU	156	143
DQO	mg/L	448	426
Aceites y grasas	mg/L	84	90

Según los valores de esta tabla, los parámetros de calidad de las dos muestras están dentro de rangos típicos que corresponden a aguas residuales municipales encontrados en la literatura (3). En el caso de particular de la DQO, según las referencias, el rango típico de aguas residuales municipales va desde un nivel típico de 250 mg/L hasta un nivel alto de 1000 mg/L (12). En ambas muestras que se emplearon en los ensayos, el parámetro indicador de contaminación de DQO, está dentro de un nivel medio (448 y 426 mg/L).

Respecto a los parámetros físicos, en particular de dureza total, el agua se puede considerar como agua dura. Con relación a la alcalinidad y el pH, se concluye que en el agua existe más presencia de iones oxhidrilo, carbonatos y otros de naturaleza alcalina, pues los valores de alcalinidad de 214 y 203 mg/L, así como pH de 8.1 y 8.3 (por encima del neutro que es 7), indican a la inexistencia de iones y sustancias disueltas de naturaleza alcalina. Más aun, como el pH está por encima de 7, las dos muestras de agua tienen la capacidad de neutralizar cierta cantidad de ácidos. La presencia de cloruros a un nivel de 36 y 41 g/L, es porque las aguas residuales en cuestión son vertidos producto de actividades antropogénicas, que está asociada con el ion sodio.

En el caso del oxígeno disuelto a niveles bajos de 0.78 y 0.89 mg/L, indican la presencia de actividad microbiana que está en pleno consumo de oxígeno disuelto, y que está utilizando los contaminantes disueltos en el agua como fuente de carbono y proteínas. Esta situación es común en este tipo de aguas de tipo municipal, pues al colectarse desde los domicilios, el agua lleva consigo una carga bacteriana. Con relación a la turbidez, los valores de 156 y 143 NTU, indica que el agua en cuestión tiene muy baja transparencia, que está asociada a la presencia de los sólidos totales en suspensión (material particulado, colides, microorganismos, solidos no disueltos en general).

Con todo lo argumentado, se confirma que las muestras de agua residual empleadas corresponden a la categoría de aguas residuales municipales.

Por otro lado, contrastando la primera hipótesis específica que se formuló del siguiente modo: “El agua residual para los experimentos tomada al ingreso de la laguna de oxidación de la localidad de Cajas tiene características de calidad semejante al de aguas residuales domésticas”, se puede contrastar, comparando los valores de parámetros de calidad típicos de aguas residuales domésticas que se encuentra en la figura 2, que fue tomada de Metcalf and Eddy (3). La DQO, de acuerdo a la tabla 3, se encuentra entre 426 a 448 mg/L, lo que corresponde a una concentración media según Metcalf and Eddy (3). Los sólidos totales con concentraciones de 1914 a 1978 mg/L están por encima de una concentración fuerte. La alcalinidad, con valores de 203 a 214 mg/L, correspondería a un nivel de concentración fuerte. En función a estos parámetros y, particularmente de la DQO, que es un indicador del grado de contaminación de agua residual, se demuestra que el agua residual empleada en los experimentos corresponde al tipo doméstico. Y, si se compara con los niveles de concentración de agua residual municipal encontrado en la Guía de gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales (12), de acuerdo al DQO, también correspondería al de agua residual municipal

4.2. Datos colectados de pruebas de remoción de DQO

Reiterando lo indicado en la parte metodológica, estos datos fueron obtenidos de la observación y mediciones en los ensayos experimentales de descontaminación de las muestras de agua en un biorreactor aerobio por lotes.

De acuerdo con ello, las mediciones de DQO diarias que se realizaron en las pruebas con las dos dosis de enzimas y bacterias biodigestoras (1.0g/L y 2.0 g/L), se muestran en las tablas 4 y 5. También, para una mejor ilustración de estos datos, seguido a cada tabla, se encuentran representados gráficamente en un diagrama cartesiano, cuyo eje Y es la DQO diaria y, el eje X es el tiempo.

Tabla 4. Datos de DQO colectados a una dosis de 1.0 g/L

Tiempo	DQO (mg/L)		
	Replica I	Replica II	Replica III
0 días	448	445	451
1 día	426	418	423
2 días	388	374	376
3 días	331	339	341
4 días	250	239	235
5 días	192	183	186
6 días	143	133	152
7 días	134	122	125

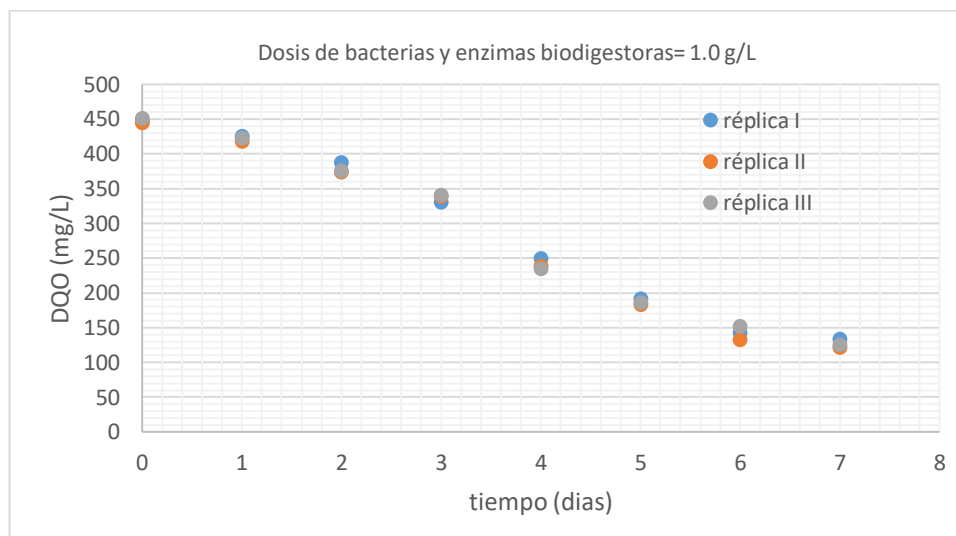


Figura 11. Representación gráfica de datos de DQO colectados, (dosis=1.0 g/L)

Tabla 5. Datos de DQO colectados a una dosis de 2.0 g/L

Tiempo	DQO (mg/L)		
	Replica I	Replica II	Replica III
0 días	429	425	435
1 día	411	415	419
2 días	371	375	381
3 días	281	284	274
4 días	184	179	177
5 días	139	146	131
6 días	103	109	104
7 días	96	93	87

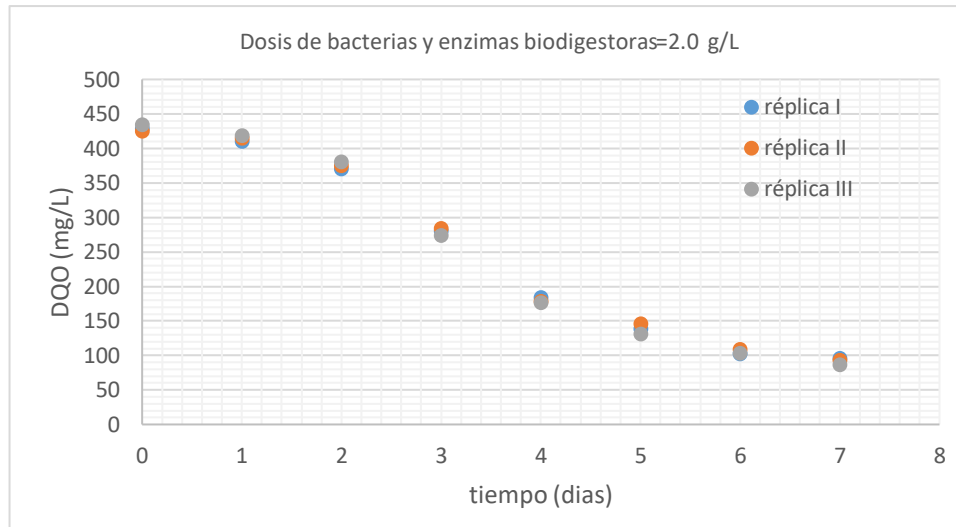


Figura 12. Representación gráfica de datos de DQO colectados, (dosis=2.0 g/L)

Según las figuras 11 y 12, se aprecian que la DQO del agua residual va disminuyendo diariamente, a consecuencia de la biodepuración. Este comportamiento del proceso biológico era esperado. Pero la particularidad en estos casos es que en el primer y segundo día, el descenso de la DQO fue menor, comparados con los descensos en los días tercero, cuarto, quinto y sexto. También se debe observar que, en el último día el descenso fue pequeño.

Con relación al descenso en los dos primeros días, se puede mencionar que, una vez inoculado las bacterias y enzimas biodigestoras en el día cero, las bacterias iniciaron su adaptación al medio, periodo en el que su metabolismo es muy reducido. La pequeña disminución de la DQO es a consecuencia del metabolismo de las bacterias que las muestras originalmente contenían, antes de dosificar las bacterias biodigestoras. Pues como se explicó con los parámetros de calidad de agua, el bajo nivel de oxígeno disuelto en las muestras, son indicadores que la presencia de microorganismos en actividad, e incluso que ya están adaptados. La presencia de estos microorganismos adaptados en las muestras ensayadas, con las condiciones de oxígeno disuelto y temperatura que se les acondicionó en los experimentos, comenzaron a realizar sus funciones metabólicas con mejor desempeño, y el efecto se aprecia en estos dos días iniciales.

En el último día, a pesar de que la presencia de bacterias es notable, el descenso de la DQO es pequeña, dado a que existe poco sustrato. Según lo revisado en la bibliografía Metcalf and Eddy (3), este fenómeno se manifiesta en este tipo de reactores, pues llegado a esta fase, la velocidad de depuración desciende para luego llegar al canibalismo bacteriano.

Si se hace la superposición de las gráficas que representan los promedios diarios de DQO, se puede comparar estas disminuciones que se consigue con cada una de las dosis de bacterias y enzimas biodigestoras empleadas. Esta representación se observa en la figura 13.

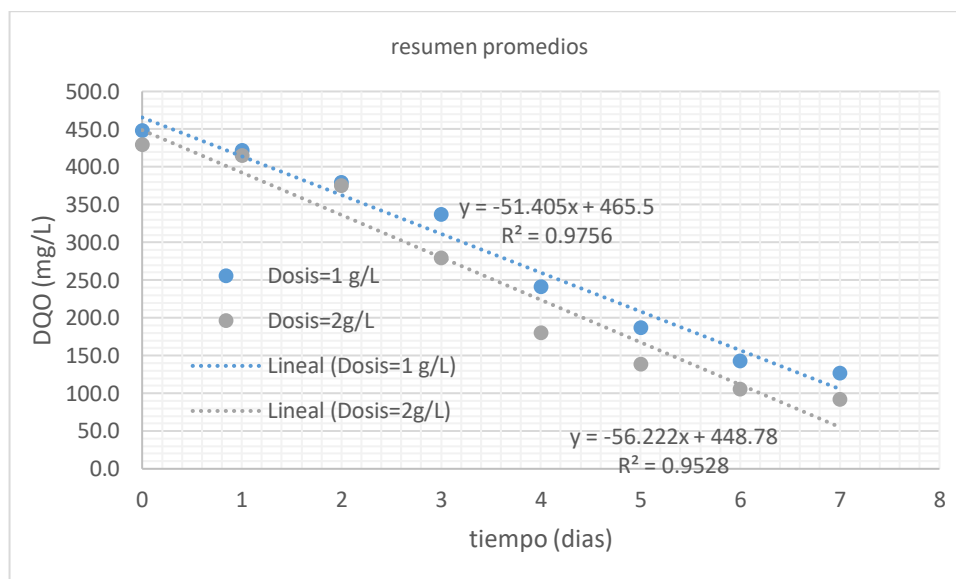


Figura 13. Representación de las DQO promedio diario

En la figura 13, se observa que, cuando la dosis de bacterias y enzimas biodigestoras aumenta de 1 a 2 g/L, entonces, eso provoca que la DQO del agua residual disminuye más, Este efecto es más notable a partir del segundo día, hasta el séptimo.

Si se utiliza las pendientes de cada ecuación lineal obtenida por regresión, entonces se puede decir que, a una dosis de 1 g/L, la disminución de DQO es de -51.405 mg/L de DQO por cada día de tratamiento. Mientras que, para la dosis de 2 g/L, la disminución fue de -56.22 mg/L de DQO por cada día de tratamiento. Con esto,

se afirma que, al incrementar la dosis de bacterias y enzimas biodigestoras de 1 a 2 g/L, entonces la disminución de DQO del agua residual es 4.8 mg/L de DQO por día de tratamiento. Esta relación entre dosis de bacterias y enzimas biodigestoras, con la reducción de DQO, no podría utilizarse para afirmar que la relación sea lineal. Para ello, sería necesario realizar más pruebas de biodepuración a niveles de dosis diferentes a 1 y 2 g/L. En esta investigación, una dificultad que no permitió realizar pruebas a más dosis fue la disponibilidad de un solo biorreactor y, que el agua residual empleada en las pruebas, varía en características cuando se toma en diferentes momentos. Por esta razón, con los resultados que se obtuvieron, no se podría demostrar la segunda hipótesis específica: “La relación entre la dosis de mezcla de bacterias y enzimas biodigestoras con el nivel de reducción de DQO del agua residual es de tipo lineal”.

La segunda hipótesis específica fue: “La disminución de la concentración de DQO del agua residual municipal en el proceso de remoción de contaminantes en un biorreactor aerobio por lotes, empleando bacterias y enzimas biodigestoras, se ajustan a la cinética de primer orden”. Para la comprobación si es verdadero o falso, se ha recurrido a considerar que la ecuación de la rapidez de disminución de DQO durante el tratamiento de agua residual en un biorreactor por lotes, empleando bacterias y enzimas biodigestoras, es proporcional a la concentración de DQO, de acuerdo a la siguiente ecuación diferencial (cinética de primer orden):

$$\frac{dDQO}{dt} = k DQO$$

Desarrollando mediante la integración:

$$\ln(DQO) = -kt + \ln(DQO_0)$$

Entonces, para verificar que la suposición anterior es cierta, se ha graficado los logaritmos naturales de DQO contra el tiempo en un plano cartesiano, tal como se muestra en la figura 14. Si los datos promedio de $\ln(DQO)$ obtenidos diariamente,

se ajustan a una recta, según la ecuación anterior, entonces, se confirma la hipótesis planteada.

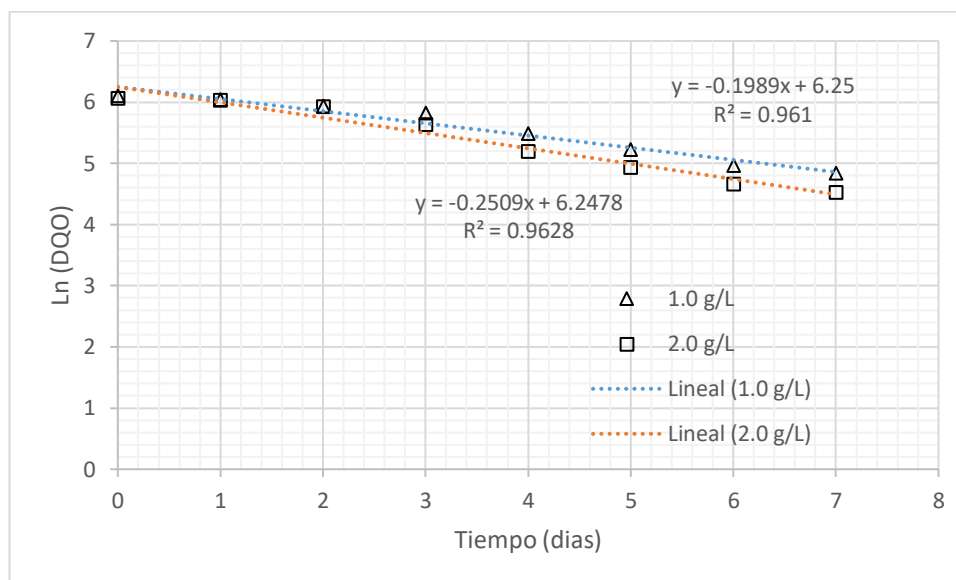


Figura 14. Grafica de Ln DQO contra tiempo para evaluar la cinética de primer orden

Con los valores de R^2 de las rectas ajustadas que están alrededor de 0.96, se puede afirmar que no tienen un buen ajuste a una recta. Por lo que, la disminución de concentración de DQO no siguen a una cinética de primer orden. Por ello, la disminución de la concentración de DQO se ve afectada por otros factores que no solo dependen de la DQO presente a cada instante de tiempo.

3.1 Resultados de eficiencia de remoción de DQO.

La eficiencia que se calculó como la fracción de la DQO eliminada, respecto de la DQO inicial, son presentadas en las figuras 15 y 16. En cada caso, se tiene que la eficiencia aumenta con el tiempo, pero, tiene una tendencia a estabilizarse a partir del día siete. En la figura 17 se superponen los promedios de las eficiencias obtenidos con las dos dosis. Con la dosis de 1.0 g/L la máxima eficiencia obtenida después de los siete días, fue de 0.72, mientras que con una dosis de 2.0 g/L, se obtuvo 0.79. Con esto se hace notar que, la eficiencia de remoción es afectado por la dosis de bacterias y enzimas biodigestoras.

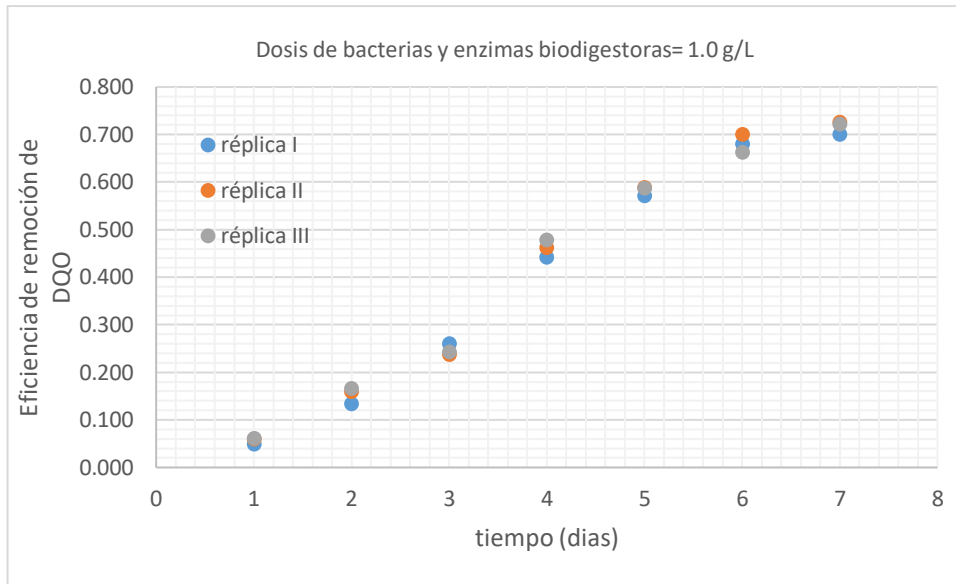


Figura 15. Eficiencia de remoción de DQO a dosis 1.0 g/L

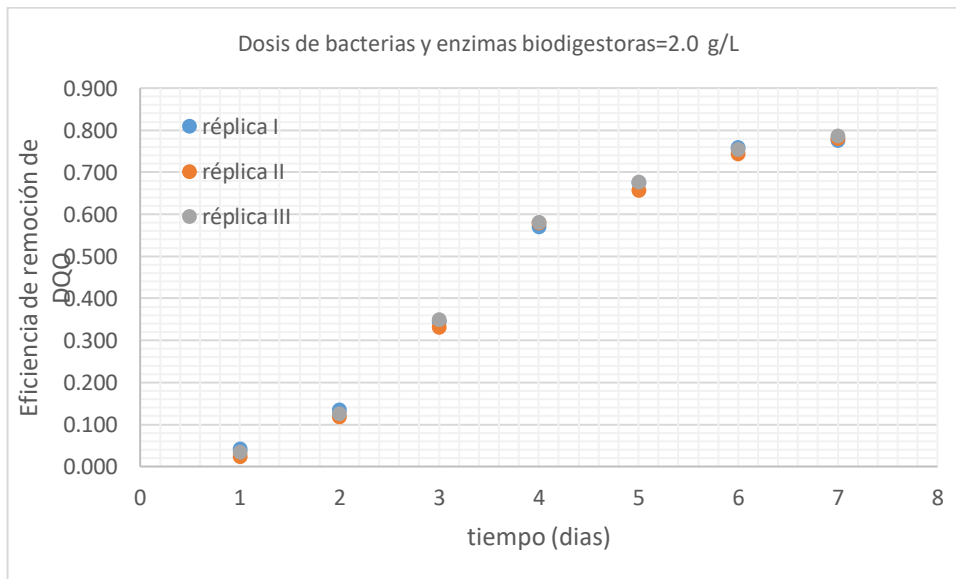


Figura 16. Eficiencia de remoción de DQO a dosis 2.0 g/L

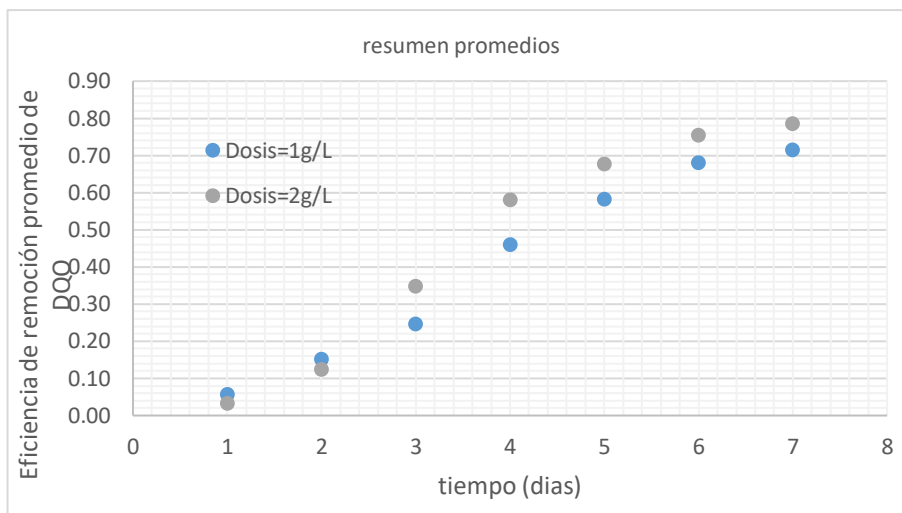


Figura 17. Eficiencia de remoción de DQO promedios

Resaltando lo indicado anteriormente, respecto a la figura 17, la eficiencia de remoción es afectada por la dosis de bacterias y enzimas biodigestoras. A mayor dosis, mayor es la eficiencia que se obtiene. Y la máxima diferencia del promedio de eficiencias es de 0.12, alcanzado en el día cuatro.

3.2 Análisis de varianza

La evaluación estadística de la significancia de los efectos que ocasionan las variables que se manipuló sobre la variable eficiencia de remoción, se realizó por medio del análisis de varianza de dos factores, a una confianza de 95 %. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 6. Además de evaluar el efecto de los factores de manera independiente, también este análisis permitió verificar el efecto de interacción de ambos factores, sobre la eficiencia de remoción.

Tabla 6. Análisis de varianza aplicado al diseño factorial de la investigación

Factor	Grados de libertad	Suma de cuadrados.	Cuadrado medio.	Valor F	Valor p
Dosis	1	0.03551	0.03551	174.52	0.0000
Tiempo	6	2.89581	0.482636	2372.04	0.0000
Interacción de 2 términos					
Dosis*tiempo	6	0.03193	0.005322	26.16	0.0000
Error	28	0.0057	0.000203		
Total	41	2.96895			

El criterio de evaluación que se emplea para la evaluación es: si los valores p son mayores que 0.05, entonces, se acepta que los efectos de los factores, o la interacción, no son estadísticamente significativos, sobre la eficiencia de remoción.

Realizada la verificación de los valores p de cada factor, y su interacción, se concluye que, los efectos son estadísticamente significativos. Es decir que, al modificar tanto la dosis, el tiempo o la interacción de ambos provocarán que la eficiencia de depuración cambie de valor, de manera significativa.

Mediante el diagrama de Pareto que se presenta en la figura 18 se confirma de manera gráfica estos efectos. Las barras horizontales según su tamaño muestran la magnitud de los efectos. De tal modo que, el efecto de la dosis es mayor, seguido por el efecto del tiempo y finalmente la interacción de ambos factores. Y, en general, todos ejercen un efecto significativo sobre la eficiencia de remoción.

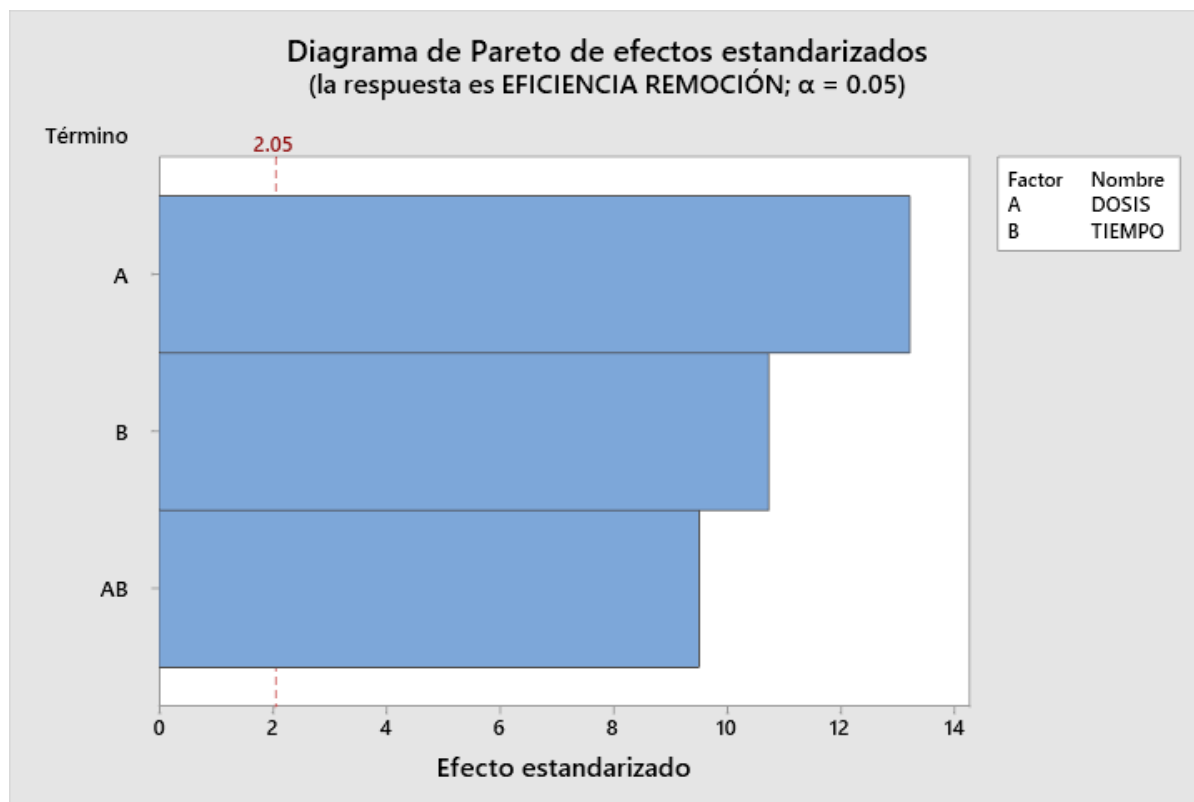


Figura 18. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados

3.3 Discusión de resultados

Con las características de calidad del agua residual municipal de la tabla 3 y dentro de la clasificación de aguas residuales, de acuerdo a la DQO que poseen, las muestras se encuentran con un nivel medio de contaminación. De acuerdo a los estándares de calidad ambiental, y atendiendo al parámetro de la DQO, las muestras de agua residual obtenida de la laguna de oxidación deberían ser depuradas por un tratamiento adecuado hasta que alcance una DQO por debajo de 40 mg/L para pueda ser utilizado como agente de riego o bebida de animales. Y, por debajo de 30 mg/L, para recibir un tratamiento avanzado que permita potabilizarlo. Después de los tratamientos depurativos que se les dio con las enzimas y bacterias, los promedios de DQO finales a ambas dosis fueron: de 127 mg/L para la dosis de 1 g/L y, de 92 mg/L para la dosis 2 g/L. Con este parámetro, aun por encima de las indicadas líneas arriba, el agua biodepurada debe de someterse a un tratamiento posterior aplicando técnicas o estrategias apropiadas para aguas con carga contaminante baja, menores a 100 ppm

Por otro lado, se observó la disminución de la DQO conforme aumenta el tiempo, que fue lo esperado. Esta disminución no sigue una relación lineal y en los dos primeros días es poco rápida, por la adaptación que los microorganismos experimentan. Del día dos al cinco, es rápida la disminución de DQO. Finalmente, el día 6 y 7 disminuye. Todo esto es típico de procesos depurativos en un biorreactor por lotes. Lo interesante en esta parte es la disminución de DQO de 448 ppm a 127 ppm (contaminación removida expresado en DQO igual a 321 ppm en 7 días, que equivale a 45.85 ppm de DQO/día aproximadamente) a una dosis de bacteria y enzimas de 1 g/L. Para la dosis de 2 g/L, la disminución fue de 429 ppm a 92 ppm (contaminación removida expresado en DQO igual a 337 ppm en 7 días, que equivale a 48.23 ppm de DQO/día aproximadamente). Se debe indicar que, este análisis se hace con los valores promedio de DQO al inicio y final del proceso. Los datos de disminución de DQO por día de tratamiento, indicados después de la figura 13 en la sección 4.2 fueron con las pendientes de las ecuaciones lineales mostrados en la figura 13.

Con estos datos cuantitativos de disminución de DQO, es posible dar respuesta a la pregunta sobre la relación que existe entre la dosis de enzimas y bacterias con el nivel de disminución de DQO. Y, en este caso, en el intervalo de 1 a 2 g/L se encuentra que, a mayor dosis la disminución de DQO del agua residual en tratamiento aumenta. Para determinar un nivel apropiado de dosis de bacterias y enzimas, se debe realizar más ensayos con niveles mayores a 2 g/L.

Esta comparación de procesos depurativos mediante la disminución de DQO y de la eficiencia de remoción de contaminantes se ha querido realizarlo con un proceso en el que no intervenga bacterias y enzimas exógenas; es decir, compararlo con un proceso donde no se use estos agentes. Pero, la gran dificultad que se presentó es que solo se disponía de un solo bioreactor adaptado. Para tal caso, es conveniente llevar a cabo los procesos de manera simultánea en varios bioreactores. Por otro lado, al realizar el proceso en solo bioreactor, la muestra debería conservarse en almacenamiento con sus mismas características para llevar a cabo el siguiente experimento después de 7 días, lo cual, fue muy dificultoso, pues se tenía que prever de un sistema de almacenamiento a temperatura baja. Por lo que se decidió coleccionar muestras directamente del mismo lugar, en diferentes días.

Realizando la comparación y/o comentario de los resultados que se han obtenido en esta investigación con los de otras investigaciones, consideradas como antecedentes, se tiene entre los más próximos, en primer lugar, a la revisión sobre las aplicaciones de las enzimas en la remoción de contaminantes resistentes a tratamientos convencionales, realizado por Feng et al. (4). En aquel estudio, recomiendan la aplicación de enzimas como pretratamiento para degradar a los contaminantes resistentes como aceites, grasas carbohidratos y proteínas de cadena larga que se encuentran presentes en el agua residual. Con los resultados obtenidos de este estudio, se confirma que la aplicación de bacterias y enzimas, en las dosis de 1 y 2 g/L, permitieron remover el 72 % y 78 % en promedio respectivamente de contaminantes medidos con el indicador de la DQO. Estos resultados son satisfactorios para una primera etapa de aplicación de las bacterias y enzimas que se pueden mejorar aun modificando las condiciones de operación del proceso.

Con respecto a la investigación que realizaron Sambaraju (5), emplearon enzimas preparadas con residuos de basura con el fin de reducir sólidos suspendidos totales (SST) de aguas residuales sintéticas semejantes a los de efluentes lácteos. No existiría punto de comparación en este caso, pues en la investigación que se desarrolló se utilizó una mezcla de bacterias y enzimas comerciales en agua residual real. Pero si se debe resaltar que las enzimas que emplearon procedentes de la basura, también les permitió degradar sólidos suspendidos, los que van a ser metabolizados fácilmente por bacterias en tratamiento convencional.

En la investigación que realizaron Meng et al (6) evaluaron los efectos de los niveles de oxígeno disuelto sobre la acción de varias enzimas en la descontaminación de aguas residuales. A pesar de que indican que la función de algunas enzimas no fue clara, algunas enzimas muestran mayor actividad a condiciones anaerobias. Comentando, con lo que se observó en esta investigación a las condiciones aerobias de los experimentos llevados a cabo, se consiguieron niveles de depuración aceptables, pues el nivel de oxígeno disuelto en el agua se mantuvo constante.

CONCLUSIONES

1. Fue evaluado el efecto que ejerce la dosis de bacterias y enzimas biodigestoras sobre la eficiencia de remoción de contaminantes de muestras de agua residual municipal en un biorreactor aerobio por lotes, y se concluye que, al incrementar la dosis y el tiempo de tratamiento, la eficiencia de remoción aumenta de manera significativa.
2. Se determinó las características de calidad de muestras de agua residual de la laguna de oxidación de la localidad de Cajas, y se concluye que, sus características lo clasifican como aguas residuales municipales con un nivel de contaminación medio.
3. Se evaluó los niveles de disminución de DQO del agua residual municipal en el proceso de remoción de contaminantes en un biorreactor aerobio por lotes, y se encontró que, a medida que el tiempo de tratamiento avanza, la DQO disminuye. Después de siete días de tratamiento, la DQO disminuyó de 448 a 127 ppm con una dosis de 1.0 g/L de bacterias y enzimas biodigestoras; mientras que, para una dosis de 2.0 g/L disminuyó de 429.67 a 92 ppm.
4. Fue examinado la relación entre la dosis de mezcla de bacterias y enzimas biodigestoras con la disminución de DQO del agua residual, y se encontró que, a mayor dosis de bacterias y enzimas, mayor es la disminución de DQO de modo tal que, a una dosis de 1g/L, la disminución de DQO fue de -51.405 mg/L de DQO por cada día de tratamiento; mientras que, para la dosis de 2 g/L, la disminución fue de -56.22 mg/L de DQO por cada día de tratamiento

RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas de biodepuración de agua residual empleando las bacterias y enzimas digestoras a más niveles de dosificación con el fin de obtener una dosis adecuada para el tratamiento aguas residuales según sus características particulares.
2. Evaluar la eficiencia de depuración de las bacterias y enzimas biodigestoras en la descontaminación de aguas a temperaturas por debajo de la temperatura ambiente (temperaturas bajas) para ser aplicado en estaciones depuradoras de agua en lugares con temperaturas frías.
3. Desarrollar los ensayos de biodepuración de manera simultánea, empleando más biorreactores, con el fin de comparar resultados a condiciones idénticas de los parámetros que se controlan en el proceso biodepurativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SUNASS. Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las Empresas Prestadoras. 2022, 278.
2. OROZCO, Álvaro. *Bioingeniería de aguas residuales: Teoría y diseño*. Segunda edición. 2014, 378.
3. METCALF AND EDDY. Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización. 1995. ISBN 0070416907.
4. FENG, Siran HAO, Wenshan GUO, Soon, WOONG, Dinh DUC, Dongle CHENG, Sunita VARJANI, Zhongfang LEI a Yi LIU. Roles and applications of enzymes for resistant pollutants removal in wastewater treatment. *Bioresource Technology* Setiembre, 2021, 335, ISSN 18732976.
5. SAMBARAJU, Susmitha a V. SREE LAKSHMI. Eco-friendly treatment of dairy wastewater using garbage enzyme. *Materials Today: Proceedings*. 2020, 33(1), 650–653. ISSN 22147853.
6. MENG, Fan, YANG, Guangming ZHANG, Jianzhen LI, Xuemei LI, Xu MA a Meng PENG. Effects of dissolved oxygen on key enzyme activities during photosynthetic bacteria wastewater treatment. *Process Biochemistry*. 2019, 76, 165–170. ISSN 13595113.
7. CAMMAROTA, M. C. a D. M.G. FREIRE. A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content. *Bioresource Technology* [2006, 97(17), 2195–2210. ISSN 09608524.
8. PÉREZ, Sergio, NIÑO, Sulay, HERNÁNDEZ, Carlos. Use of urease type enzymes for the treatment of wastewater with a high organic nitrogen content | Uso de enzimas de tipo ureasa en el tratamiento de aguas residuales con alto contenido en nitrógeno orgánico. *Información Tecnológica*. 2018, 18(5), 41–48.
9. GARCÍA, M Espigares, J A PÉREZ a López GENERALIDADES. Aguas Residuales. *Composición Nedatováno*.
10. QUISPE, Marcos, PIÑAS, Livia, DEL VALLE José AGUIRRE, Felipe. Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales. *B.m.: Voces de la Educación*, 2020. ISBN 9786079884055.

11. OEFA. Fiscalización ambiental en aguas residuales. Organismo de Evaluación y fiscalización ambiental. 2014, 36.
12. MINISTERIO DEL MEDIOAMBIENTE DE COLOMBIA. Guía de gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales. [en línea]2002. [Fecha de consulta: 13 de setiembre de 2023] Recuperado de: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/18911/43961_55723.pdf?sequence=1&isAllowed=y
13. TEJERO, Iñiqui, SUÁREZ, Alfredo JÁCOME, Javier, GONZALES. Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2001.
14. EDELIA, Juana, VIDALES, Alejandrina, MONTES, María, BAÑUELOS, José, BERNAL, Edgar, JIMÉNEZ, Brenda, LÓPEZ, Laura, ORTEGA, Pedro y GUADALUPE, Herminia. ECORFAN ® A-Books T-III *Guía didáctica Bioquímica Básica Química y Funciones de las Biomoléculas*. 2017. ISBN 9786078534234.
15. FALLAS, María. Análisis técnico de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de recubrimiento metálico. 2015.
16. RYDE, North. Enzimas I. 1972, 38(March), 72–81.
17. ZALDUEGUI, Pilar. Enzimas. *Complementos de Bioquímica*. 2001, 2, 367.
18. SALAZAR, Luz, HINOJOSA, Marilú, ACOSTA, Mónica, ESCOBAR, Alicia y SCRICH, Aldo. Caracterización, clasificación y usos de las enzimas lipasas en la producción industrial. Characterization, classification and uses of lipase enzymes in industrial production. 2020, 39 (4), 1–16. ISSN 08640300.
19. GIRALDO, Gloria y DÍAZ, Margarita. Pretreatment of wastewater from the dairy industry with an immobilized lipase. *Producción + Limpia*. 2013, 8(2), 51–59.
20. GONZÁLEZ, Jorge, MORENO, Víctor y MARTÍNEZ, Alberto. Lipases: enzymes having the potential for developing immobilised biocatalysts by interfacial adsorption. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 2010, 12 (1), 113–140. ISSN 0123-3475.
21. BALMORI, Saldaña. ENZIMAS: LIASAS. *Revista de Educación Bioquímica*. 2010, 29, 60–62.
22. MCKEE, Trudy. y MCKEE, James. Capítulo 6. Enzimas. *Bioquímica: la base molecular de la vida*. 2003, 177–179.

23. SANCHEZ, Pedro. Factores que afectan la actividad enzimática. *Bio-Orgánica*. 2020, 4–5.
24. ITS Paysandú. Factores que afectan la actividad enzimática. *Bio-Orgánica*. 2020, 4–5.
25. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la investigación*. B.m.: McGraw-Hill, 1991. ISBN 9684229313.
26. MAYA, Esther. *Métodos y técnicas de investigación Una propuesta ágil para la presentación de trabajos científicos en las áreas de arquitectura, urbanismo y disciplinas afines*. 2014. ISBN 9789703254323.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema general ¿qué efecto que ejerce la dosis de bacterias y enzimas biodigestoras, que se adicionan a un biorreactor por lotes, sobre la eficiencia de remoción de contaminantes, en el tratamiento aerobio de agua residual municipal a las condiciones ambientales de Huancayo?</p> <p>Problema específico</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué características de calidad presenta el agua residual que ingresa a la planta de tratamiento de la localidad de Cajas? • ¿Cómo es la disminución de los niveles de DQO del agua residual municipal, en el proceso de remoción de contaminantes en un biorreactor aerobio por lotes, empleando bacterias y enzimas biodigestoras? • ¿Existe relación entre la dosis de mezcla de 	<p><u>Objetivo general</u> Evaluar el efecto que ejerce la dosis de bacterias y enzimas biodigestoras, que se adicionan a un biorreactor por lotes, sobre la eficiencia de remoción de contaminantes, en el tratamiento aerobio de agua residual municipal a las condiciones ambientales de Huancayo.</p> <p><u>Objetivos específicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar las características de calidad que presenta el agua residual municipal que ingresa a la planta de tratamiento de la localidad de Cajas. • Evaluar la disminución de la DQO con el tiempo, de muestras de agua residual municipal, sometidas al proceso biológico de descontaminación en un biorreactor aerobio por lotes, empleando bacterias y enzimas biodigestoras. • Examinar la relación entre la dosis de mezcla de bacterias y enzimas biodigestoras, con el nivel de reducción de DQO del agua residual. 	<p><u>Hipótesis de investigación</u> “La dosis de la mezcla de bacterias y enzimas biodigestoras, que se adicionan a un biorreactor por lotes, ejerce un efecto significativo en la eficiencia de remoción de contaminantes, en el tratamiento aerobio de agua residual municipal a las condiciones ambientales de Huancayo”</p> <p><u>Hipótesis nula</u> “La dosis de la mezcla de bacterias y enzimas biodigestoras, que se adicionan a un biorreactor por lotes, NO ejerce un efecto significativo en la eficiencia de remoción de contaminantes, en el tratamiento aerobio de agua residual municipal a las condiciones ambientales de Huancayo”</p> <p><u>Hipótesis alterna</u></p> <p><u>Hipótesis específicas</u> “Las características de calidad presenta el agua residual que ingresa a la planta de tratamiento de la localidad de Cajas, se ubican dentro de los</p>	<p><u>Variable dependiente</u> Eficiencia de remoción</p> <p><u>Variable independiente</u> Dosis de bacterias y enzimas biodigestoras</p> <p>Tiempo de tratamiento</p>	<p><u>Metodo de investigación</u> Método científico</p> <p><u>Tipo de investigación</u> Experimental y aplicada</p> <p><u>Nivel de investigación</u> Explicativo</p> <p><u>Diseño de investigación</u> Diseño experimental factorial</p> <p><u>Población y muestra</u> Población: bacterias y enzimas biodigestoras, de acuerdo a la ficha técnica del producto que comercializa la empresa peruana BOSS TECH. Muestra: fue de 60 g bacterias y enzimas biodigestoras.</p>

bacterias y enzimas biodigestoras, con el nivel de reducción de DQO del agua residual?

típicos de aguas residuales domesticas”

“La disminución de los niveles de DQO del agua residual municipal, en el proceso de remoción de contaminantes en un biorreactor aerobio por lotes, empleando bacterias y enzimas biodigestoras, se ajustan a la cinética de primer orden”

“La relación entre la dosis de mezcla de bacterias y enzimas biodigestoras, con el nivel de reducción de DQO del agua residual es de tipo lineal”

Anexo 2.

Certificado de análisis de agua



LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-014-E

NOMBRE DEL CLIENTE	: PRISCILA ALVARADO CASTILLO.
DOMICILIO LEGAL	: P.J. VIRUS 190 - EL TAMBO.
SOLICITADO POR	: PRISCILA ALVARADO CASTILLO.
REFERENCIA DEL CLIENTE	: INVESTIGACIÓN-ENSAYOS DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES CON BACTERIAS Y ENZIMAS BIODIGESTORAS.
PROCEDENCIA	: HUANCAYO.
ORDEN DE SERVICIO N°	: AL/OS - 2023 - 14 - E.
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 2 MUESTRAS.
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 10/07/2023, 17/07/2023.
PERIODO DE ENSAYO	: 11/07/2023 - 27/07/2023.
TOMA DE MUESTRA	: POR EL CLIENTE.
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MONITOREO:

Código del Cliente	Código de Laboratorio	Coordenadas		Fecha de Monitoreo	Hora de Monitoreo	Producto Declarado
		Este	Norte			
MUESTRA I	M-23025-E	-----	-----	10/07/2023	10:00 am	AGUA RESIDUAL
MUESTRA II	M-23074-E	-----	-----	17/07/2023	10:00 am	AGUA RESIDUAL

II. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método de Referencia	Descripción
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 - H+ B, 23nd Ed.2017	pH Value. Electrometric Method.
Conductividad Eléctrica	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23nd Ed.2017	Conductivity, Laboratory Method
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23nd Ed. 2017	Turbidity, Nephelometric Method.
Dureza total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23nd Ed.2017	Hardness, EDTA Titulometric MethodM
Alcalinidad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23nd Ed.2017	Alkalinity, Titulometric Method.



AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.

Ing. David H. Castorena Colarza
JEFE DE LABORATORIO
CIP N° 175812

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 1 de 3

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 - Chilca - Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril S/N - Barrio Chanchas - Huayucachi
Cel.: 998900666 - 956000691 Email: ambiental.lab@ambientallaboratorios.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-014-E

METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método de Referencia	Descripción
Dureza Cálctica	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Ca D, 23nd Ed.2017	Calcium, EDTA Titrimetric Method
Cloruros	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-Cl ⁻ B, 23nd Ed.2017	Chloride, Argentometric Method
Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23nd Ed.2017	Total, Solids in Suspension Dried at 103-105 ° C
Sólidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23nd Ed.2017	Total, Solids Dried at 103–105°C
Oxígeno Disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 23nd Ed.2017	Oxygen (Dissolved), Membrane-Electrode Method
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23nd Ed.2017	Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method.
Aceites y Grasas	EPA-821-R-10-001 Method 1664 Rev. B, 2010	N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.



AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.

Ing. *[Firma]*
JEFE DE LABORATORIO
CP N° 175612

LAB-FR-004 VERSIÓN 02/ F.E.-01/2022

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 2 de 3

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril S/N – Barrio Chanchas - Huayucachi
Cel.: 998900666 - 956000691 Email: ambiental.lab@ambientallaboratorios.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-014-E

III. RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
MUESTRA I	pH	8.1	Unidad de pH
	Conductividad Eléctrica	748	µS/cm
	Turbidez	156	NTU
	Dureza total	314.0	CaCO ₃ mg/L
	Alcalinidad	214.0	mg/L
	Dureza Cálctica	96.0	mg/L
	Cloruros	36.0	mg/L
	Sólidos Totales en Suspensión	1178	mg/L
	Sólidos Totales	1914	mg/L
	Oxígeno Disuelto	0.78	mg/L
	Demanda Química de Oxígeno	448.0	mg/L
	Aceites y Grasas	84.0	mg/L
	MUESTRA II	pH	8.3
Conductividad Eléctrica		764	µS/cm
Turbidez		143	NTU
Dureza total		336.0	CaCO ₃ mg/L
Alcalinidad		203.0	mg/L
Dureza Cálctica		91.0	mg/L
Cloruros		41.0	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión		1213	mg/L
Sólidos Totales		1178	mg/L
Oxígeno Disuelto		0.89	mg/L
Demanda Química de Oxígeno		426.0	mg/L
Aceites y Grasas		90.0	mg/L



AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.

Huancayo, 01 de Agosto del 2023

Ing. Irving B. Espinoza Alarcza
C.E. DE LABORATORIO
CIP N° 175812

LAB-FR-004 VERSION 02/ F. E. 01/2022

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C., su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 3 de 3



LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-012-E

NOMBRE DEL CLIENTE	: PRISCILA ALVARADO CASTILLO.
DOMICILIO LEGAL	: P.J. VIRUS 190 - EL TAMBO.
SOLICITADO POR	: PRISCILA ALVARADO CASTILLO.
REFERENCIA DEL CLIENTE	: INVESTIGACIÓN-ENSAYOS DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES CON BACTERIAS Y ENZIMAS BIODIGESTORAS.
PROCEDENCIA	: HUANCAYO.
ORDEN DE SERVICIO N°	: AL/OS - 2023 - 12 - E.
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 24 MUESTRAS.
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 10/07/2023, 11/07/2023, 12/07/2023, 13/07/2023, 14/07/2023, 15/07/2023, 16/07/2023, 17/07/2023.
PERIODO DE ENSAYO	: 10/07/2023 - 22/07/2023.
TOMA DE MUESTRA	: POR EL CLIENTE.
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MONITOREO:

Código del Cliente	Código de Laboratorio	Coordenadas		Fecha de Monitoreo	Hora de Monitoreo	Producto Declarado
		Este	Norte			
ENSAYO-1-1-D1	M-23026-E	-----	-----	10/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-1-2-D1	M-23027-E	-----	-----	10/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-1-3-D1	M-23028-E	-----	-----	10/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-2-1-D1	M-23029-E	-----	-----	11/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-2-2-D1	M-23030-E	-----	-----	11/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-2-3-D1	M-23031-E	-----	-----	11/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-3-1-D1	M-23032-E	-----	-----	12/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-3-2-D1	M-23033-E	-----	-----	12/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-3-3-D1	M-23034-E	-----	-----	12/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-4-1-D1	M-23035-E	-----	-----	13/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-4-2-D1	M-23036-E	-----	-----	13/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-4-3-D1	M-23037-E	-----	-----	13/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-5-1-D1	M-23038-E	-----	-----	14/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-5-2-D1	M-23039-E	-----	-----	14/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-5-3-D1	M-23040-E	-----	-----	14/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-6-1-D1	M-23041-E	-----	-----	15/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-6-2-D1	M-23042-E	-----	-----	15/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-6-3-D1	M-23043-E	-----	-----	15/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-7-1-D1	M-23044-E	-----	-----	16/07/2023	10:00 am	Agua Residual



LAB-FR-004 VERSIÓN 02/ F.E. 01/2022

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.

[Firma]
Ing. Irwin J. Laureano Alvarado
JEFE DEL LABORATORIO

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública, está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-012-E

Código del Cliente	Código de Laboratorio	Coordenadas		Fecha de Monitoreo	Hora de Monitoreo	Producto Declarado
		Este	Norte			
ENSAYO-7-2-D1	M-23045-E	-----	-----	16/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-7-3-D1	M-23046-E	-----	-----	16/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-8-1-D1	M-23047-E	-----	-----	17/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-8-2-D1	M-23048-E	-----	-----	17/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-8-3-D1	M-23049-E	-----	-----	17/07/2023	10:00 am	Agua Residual

II. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método de Referencia	Descripción
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed.2017	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.

III. RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
ENSAYO-1-1-D1	Demanda Química de Oxígeno	448.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-1-2-D1	Demanda Química de Oxígeno	445.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-1-3-D1	Demanda Química de Oxígeno	451.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-2-1-D1	Demanda Química de Oxígeno	426.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-2-2-D1	Demanda Química de Oxígeno	418.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-2-3-D1	Demanda Química de Oxígeno	423.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-3-1-D1	Demanda Química de Oxígeno	388.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-3-2-D1	Demanda Química de Oxígeno	374.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-3-3-D1	Demanda Química de Oxígeno	376.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-4-1-D1	Demanda Química de Oxígeno	331.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-4-2-D1	Demanda Química de Oxígeno	339.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-4-3-D1	Demanda Química de Oxígeno	341.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-5-1-D1	Demanda Química de Oxígeno	250.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-5-2-D1	Demanda Química de Oxígeno	239.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-5-3-D1	Demanda Química de Oxígeno	235.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-6-1-D1	Demanda Química de Oxígeno	192.0	O ₂ mg/L



AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.

Ing. Iryán H. Latorre Galarza

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 2 de 3

LAB-FR-004 VERSIÓN 02/ F.E: 01/2022



LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-012-E

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
ENSAYO-6-2-D1	Demanda Química de Oxígeno	183.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-6-3-D1	Demanda Química de Oxígeno	186.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-7-1-D1	Demanda Química de Oxígeno	143.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-7-2-D1	Demanda Química de Oxígeno	133.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-7-3-D1	Demanda Química de Oxígeno	152.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-8-1-D1	Demanda Química de Oxígeno	134.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-8-2-D1	Demanda Química de Oxígeno	122.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-8-3-D1	Demanda Química de Oxígeno	125.0	O ₂ mg/L



Huancayo, 24 de Julio del 2023

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.

Ing. Jeyin H. Laurente Colarzo
JEFE DE LABORATORIO
CIP Nº 175912

LAB-FR-004 VERSIÓN 02/ F. E. 01/2022

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 3 de 3



LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-013-E

NOMBRE DEL CLIENTE	: PRISCILA ALVARADO CASTILLO.
DOMICILIO LEGAL	: P.J. VIRUS 190 - EL TAMBO.
SOLICITADO POR	: PRISCILA ALVARADO CASTILLO.
REFERENCIA DEL CLIENTE	: INVESTIGACIÓN-ENSAYOS DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES CON BACTERIAS Y ENZIMAS BIODIGESTORAS.
PROCEDENCIA	: HUANCAYO.
ORDEN DE SERVICIO N°	: AL/OS - 2023 - 13 - E.
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 24 MUESTRAS.
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 18/07/2023, 19/07/2023, 20/07/2023, 21/07/2023, 22/07/2023, 23/07/2023, 24/07/2023, 25/07/2023.
PERIODO DE ENSAYO	: 18/07/2023 - 27/07/2023.
TOMA DE MUESTRA	: POR EL CLIENTE.
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MONITOREO:

Código del Cliente	Código de Laboratorio	Coordenadas		Fecha de Monitoreo	Hora de Monitoreo	Producto Declarado
		Este	Norte			
ENSAYO-1-1-D2	M-23050-E	-----	-----	18/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-1-2-D2	M-23051-E	-----	-----	18/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-1-3-D2	M-23052-E	-----	-----	18/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-2-1-D2	M-23053-E	-----	-----	19/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-2-2-D2	M-23054-E	-----	-----	19/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-2-3-D2	M-23055-E	-----	-----	19/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-3-1-D2	M-23056-E	-----	-----	20/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-3-2-D2	M-23057-E	-----	-----	20/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-3-3-D2	M-23058-E	-----	-----	20/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-4-1-D2	M-23059-E	-----	-----	21/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-4-2-D2	M-23060-E	-----	-----	21/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-4-3-D2	M-23061-E	-----	-----	21/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-5-1-D2	M-23062-E	-----	-----	22/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-5-2-D2	M-23063-E	-----	-----	22/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-5-3-D2	M-23064-E	-----	-----	22/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-6-1-D2	M-23065-E	-----	-----	23/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-6-2-D2	M-23066-E	-----	-----	23/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-6-3-D2	M-23067-E	-----	-----	23/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-7-1-D2	M-23068-E	-----	-----	24/07/2023	10:00 am	Agua Residual



LAB-FR-004 VERSIÓN 02/ F. E.: 01/2/022

Ing. Irvin H. Laurente Salazar
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP N° 133912

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibida la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 1 de 3



LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-013-E

Código del Cliente	Código de Laboratorio	Coordenadas		Fecha de Monitoreo	Hora de Monitoreo	Producto Declarado
		Este	Norte			
ENSAYO-7-2-D2	M-23069-E	-----	-----	24/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-7-3-D2	M-23070-E	-----	-----	24/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-8-1-D2	M-23071-E	-----	-----	25/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-8-2-D2	M-23072-E	-----	-----	25/07/2023	10:00 am	Agua Residual
ENSAYO-8-3-D2	M-23073-E	-----	-----	25/07/2023	10:00 am	Agua Residual

II. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método de Referencia	Descripción
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed.2017	Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method.

III. RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
ENSAYO-1-1-D2	Demanda Química de Oxígeno	429.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-1-2-D2	Demanda Química de Oxígeno	425.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-1-3-D2	Demanda Química de Oxígeno	435.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-2-1-D2	Demanda Química de Oxígeno	411.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-2-2-D2	Demanda Química de Oxígeno	415.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-2-3-D2	Demanda Química de Oxígeno	419.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-3-1-D2	Demanda Química de Oxígeno	371.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-3-2-D2	Demanda Química de Oxígeno	375.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-3-3-D2	Demanda Química de Oxígeno	381.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-4-1-D2	Demanda Química de Oxígeno	281.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-4-2-D2	Demanda Química de Oxígeno	284.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-4-3-D2	Demanda Química de Oxígeno	274.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-5-1-D2	Demanda Química de Oxígeno	184.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-5-2-D2	Demanda Química de Oxígeno	179.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-5-3-D2	Demanda Química de Oxígeno	177.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-6-1-D2	Demanda Química de Oxígeno	139.0	O ₂ mg/L



LAB-FR-004 VERSIÓN 02/ F.E.: 07/2022

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.


 Mg. Irvin H. Laurente Galarza
 JEFE DE LABORATORIO

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 2 de 3

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril S/N – Barrio Chanchas - Huayucachi
Cel.: 998900666 - 956000691 Email: ambiental.lab@ambientallaboratorios.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-013-E

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
ENSAYO-6-2-D2	Demanda Química de Oxígeno	146.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-6-3-D2	Demanda Química de Oxígeno	131.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-7-1-D2	Demanda Química de Oxígeno	103.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-7-2-D2	Demanda Química de Oxígeno	109.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-7-3-D2	Demanda Química de Oxígeno	104.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-8-1-D2	Demanda Química de Oxígeno	96.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-8-2-D2	Demanda Química de Oxígeno	93.0	O ₂ mg/L
ENSAYO-8-3-D2	Demanda Química de Oxígeno	87.0	O ₂ mg/L



Huancayo, 01 de Agosto del 2023

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.

[Firma]
Ing. Irina H. Laurente Delarza
JEFE DE LABORATORIO
CIP N° 175912

LAB-FR-004 VERSIÓN 02/ F.E.: 01/2022

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C., su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 3 de 3

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril S/N – Barrio Chanchas - Huayucachi
Cel.: 998900666 - 956000691 Email: ambiental.lab@ambientallaboratorios.com.pe

Anexo 3 Fotografías

Identificando el lugar donde se tomó las muestras



Tomando la muestra de agua residual



Realizando las mediciones de campo



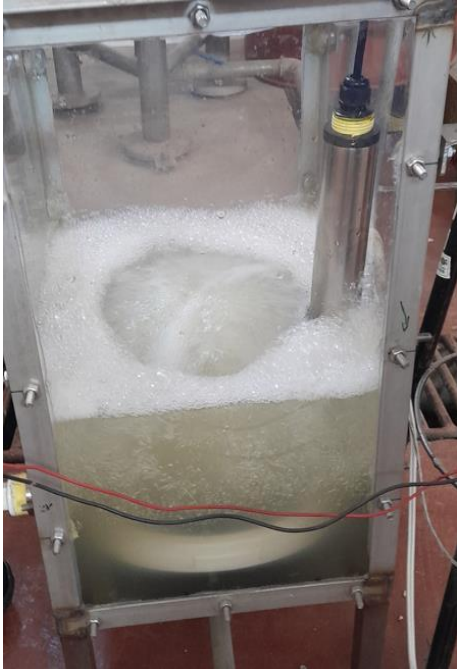
Culminada la limpieza y agregando la muestra de agua residual



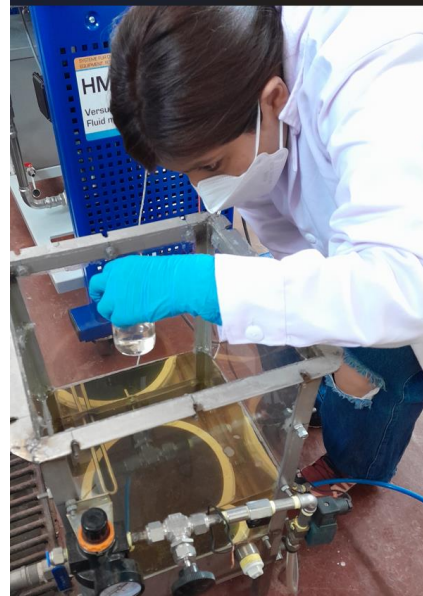
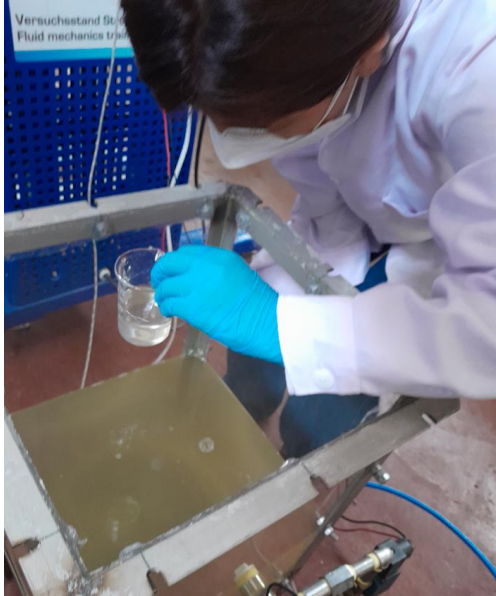
Agregando la dosis de bacterias y enzimas biodigestoras previa disolución



La unidad experimental en pleno funcionamiento



Realizando la colecta de muestras durante el proceso y al final de este



Enzimas y bacterias biodigestoras



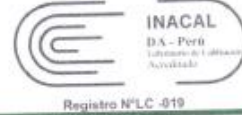
Anexo 4

Certificado de calibración del conductímetro



**GREEN
GROUP
PERÚ**

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC-019



Registro N° LC - 019

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LA-513-2022

Pág. 1 de 2

1. Solicitante : AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
2. Dirección : Av. Ferrocarril N° 661 - Chilca - Huancayo
3. OTI : 913C
4. Datos del Instrumento
 - Instrumento de medición : Medidor de Conductividad*
 - Marca : LUTRON
 - Modelo : YK-2005WA
 - Serie : A.J.48725
 - Resolución : 0,1uS /cm - 0,001mS/cm - 0,01mS/cm
 - Intervalo de indicación : 0,0 uS/cm a 200,0 mS/cm
 - Procedencia : Taiwan
 - Identificación / Código Interno : No indica
5. Lugar de Calibración : Laboratorio de Aguas - Green Group PE SAC.
6. Fecha de Calibración : 2022-12-13
7. Método de Calibración

La calibración se realizó por comparación del instrumento con valores asignados a materiales de referencia de conductividad específica certificados, según procedimiento "PC-022 Calibración de conductímetros" de INDECOPI.

- . La Incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$, de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.
- . Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento y sensor calibrado, en el momento de la calibración.
- . Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del instrumento.
- . La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.
- . Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones, sin firma y sello carecen de validez.
- . Esta prohibida toda reproducción parcial del presente certificado sin la autorización previa de GREEN GROUP PE S.A.C.



Fecha de Emisión

2022-12-14

ISAIAS CURÍ MELGAREJO
JEFE DE LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
GREEN GROUP PE S.A.C.



LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA (FIRMA DIGITAL, SEGÚN LEY N° 27269 LEY DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES)

Av. Aviación 4210 - Surquillo Central: (511) 273-3550 | (511) 560-8134 www.greengroup.com.pe

FM11

EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO BARRICADO CONFORME A LEY

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LA-513-2022

Pág. 2 de 2

8. Condiciones Ambientales.

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (% hr)
Inicial	25,4	60,0
Final	26,1	56,8

9. Trazabilidad

Patrón usado	Código interno	N° de lote o N° de certificado	F. Vencimiento
MRC 99,5 uS/cm	GGP-S-04.92	CC22354	2023-02-25
MRC 1411 uS/cm	GGP-S-05.89	CC22204	2023-01-14
MRC 9990 uS/cm	GGP-S-07.84	CC22291	2023-02-11

10. Resultados de medición

Indicación del instrumento	Valor del patrón	Error	Incertidumbre
103,2 uS/cm	99,5 uS/cm	3,7 uS/cm	2,2 uS/cm
1,412 mS/cm	1,411 mS/cm	0,001 mS/cm	0,005 mS/cm
9,88 mS/cm	9,99 mS/cm	-0,11 mS/cm	0,08 mS/cm

11. Observaciones

- a) Los resultados están dados a la temperatura de 25 °C.
 - b) Serie de sensor no aplica.
- * La calibración del medidor de conductividad se realizó en el Multiparámetro.



"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"



Anexo 5

Certificado de calibración del pH-metro



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC-019



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LA-389-2022

Pág. 1 de 2

1. **Solicitante** : AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
2. **Dirección** : Av. Ferrocarril N° 661 - Chilca - Huancayo
3. **OTI** : 777C
4. **Datos del Instrumento**
 - Instrumento de medición : pH metro
 - Marca : HANNA
 - Modelo : HI 83141
 - Serie : J0072757
 - Resolución : 0,01 pH
 - Intervalo de indicación : 0,00 pH a 14,00 pH
 - Procedencia : Rumania
 - Identificación / Código interno : EQ-001-LAB
5. **Lugar de Calibración** : Laboratorio de Aguas - Green Group PE SAC.
6. **Fecha de Calibración** : 2022-09-20
7. **Método de Calibración**

La calibración se realizó por comparación de la indicación del Instrumento con valores asignados a materiales de referencia de pH certificados, según procedimiento PC-020 Calibración de medidores de pH de INACAL 2 ed. 2017.

- La Incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$, de modo que la probabilidad de cobertura responde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.
- Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento y sensor calibrado, en el momento de la calibración.
- Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del instrumento.
- La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.
- Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones, sin firma y sello carecen de validez.
- Esta prohibida toda reproducción parcial del presente certificado sin la autorización previa de GREEN GROUP PE S.A.C.

"SI USO INTERIOR DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"



Fecha de Emisión

2022-09-21

Isaias Curi Melgarejo
 ISAIAS CURI MELGAREJO
 JEFE DE LABORATORIO DE CALIBRACION
 GREEN GROUP PE S.A.C.



LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA (FIRMA DIGITAL SEGÚN LEY N° 27269 LEY DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES)
 Av. Aviación 4210 - Surquillo Central: (511) 273-3550 | (511) 560-6134 www.greengroup.com.pe

FM11

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LA-389-2022

Pág. 2 de 2

8. Condiciones Ambientales.

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (% hr)
Inicial	23,5	60,2
Final	23,4	62,1

9. Trazabilidad

Patrón usado	Código Interno	N° Lote o N° Certificado	F. Vencimiento
MRC pH 4	GGP-S-01.71	CC734725	2023-10-07
MRC pH 7	GGP-S-02.73	CC735006	2023-11-03
MRC pH 10	GGP-S-03.74	CC735019	2023-09-09

10. Resultados de medición

Indicación del Instrumento (pH)	Valor del patrón (pH)	Error (pH)	Incertidumbre (pH)
4,02	4,011	0,009	0,015
7,02	7,003	0,017	0,015
9,99	10,009	-0,019	0,013

11. Observaciones

- Los resultados están dados a la temperatura de 25 °C.
- El coeficiente de correlación calculado es: 1.0000
- Serie de sensor 0488053N.



"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACION CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"



Anexo 7

Condiciones de almacenamiento de muestras para análisis de DQO

ANEXO VII
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
Químico-Físicos			
Oxígeno disuelto	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	Inmediatamente
	Botellas de vidrio Winkler	Fijar el oxígeno. Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	4 días
pH	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	24 horas
Temperatura	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	Inmediatamente
Conductividad eléctrica	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	24 horas
Turbiedad	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> . Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	24 horas
Bicarbonatos	Plástico o vidrio		14 días
Carbonatos	Plástico o vidrio		14 días
Cianuro libre	Plástico o vidrio	Agregar NaOH a pH>12. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	7 días (24 horas si está presente sulfuro)
Cianuro WAD			14 días (24 horas si está presente sulfuro)
Cianuro total	Plástico o vidrio	Agregar NaOH a pH>12. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	14 días (24 horas si está presente sulfuro)
Cloruros	Plástico o vidrio		1 mes
Color	Plástico o vidrio	Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	5 días
Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días	Plástico o vidrio	Llenar recipiente y sellar sin burbujas. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	24 horas
	Plástico	Congelar por debajo de -18° C. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	1 mes (6 meses si >50 mg/L)
Demanda química de oxígeno	Plástico o vidrio	Acidificar a pH 1 - 2 con H ₂ SO ₄	6 meses
	Plástico	Congelar por debajo de -18°C.	6 meses
Dureza	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO ₃ .	1 mes
Fluoruros	Plástico, pero sin PTFE		1 mes
Olor	Vidrio	Se puede realizar un análisis cualitativo <i>in situ</i> .	6 horas
Silicatos	Plástico		1 mes
Sólidos disueltos totales	Plástico o vidrio		7 días
Sólidos suspendidos totales	Plástico o vidrio		2 días
Sulfatos	Plástico o vidrio		1 mes
Sulfuros	Plástico	Fijar el sulfuro al agregar 2 ml de solución de acetato de zinc. Si el pH no está entre 8,5 y 9,0, agregar NaOH. Si se sospecha que el agua ha sido clorada, por cada 1000 ml de muestra agrega 80 mg de Na ₂ S ₂ O ₃ · 5H ₂ O al recipiente tras la recolección de la muestra (o tras el muestreo).	7 días
Sulfuro de hidrógeno			

