



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



**Evaluación de la cinética de la desoxigenación producida por descarga de  
aguas residuales en la quebrada Trancayacu**

**Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario**

**AUTOR:**

Christian Barnard López Cruz

**ASESOR:**

Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález

**Código N° 6052821**

**Moyobamba – Perú**

**2022**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

## FACULTAD DE ECOLOGÍA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

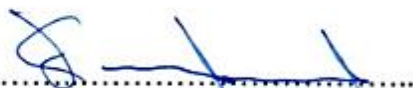


**Evaluación de la cinética de la desoxigenación producida por descarga de aguas residuales en la quebrada Trancayacu**

#### AUTOR:

Christian Barnard López Cruz

**Sustentada y aprobada el 27 de diciembre del 2022, por los siguientes jurados:**



**Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia**

**Presidente**



**Ing. M.Sc. Gerardo Cáceres Bardález**

**Secretario**

  
.....  
**Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación**

**Miembro**

  
.....

**Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález**

**Asesor**



ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

Siendo las **3: 00 pm** de la tarde del día **martes 27 de diciembre del 2022** en la ciudad de Moyobamba, según la Directiva N° 01-2020-UNSM-T, aprobado con Resolución N 367-2020-UNSM/CU-R de fecha 29 de mayo del 2020, sobre Sustentación de Tesis de Pregrado según la Modalidad No Presencial (forma virtual) de la Facultad de Ecología, se reunieron virtualmente los miembros de jurado de tesis integrado por:

Lic. Dr. **FABIÁN CENTURIÓN TAPIA**

**PRESIDENTE** Ing. M.Sc. **GERARDO CÁCERES BARDÁLEZ**

**SECRETARIO** Blgo. M.Sc. **ALFREDO DÍAZ VISITACIÓN**

**MIEMBRO** Ing. M.Sc. **ALFONSO ROJAS BARDÁLEZ**

**ASESOR**

Para evaluar la sustentación de la tesis titulado: **"Evaluación de la cinética de la desoxigenación producida por descarga de aguas residuales en la quebrada Trancayacu**, presentado por el Bachiller en Ingeniería Sanitaria: **Christian Barnard López Cruz** según Resolución Decanal N° 015-2021-UNSM/CFT/FE Moyobamba, 15 de julio del 2021. Los señores miembros del jurado, después de haber escuchado la sustentación virtual, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran: **APROBADO** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de: **BUENO** y nota **QUINCE (15)**

En fe de la cual se firma la presente acta, siendo las 17: 10 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el presente acto de sustentación.

Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia  
Presidente

Ing. M.Sc. Gerardo Cáceres Bardález  
Secretario

Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación  
Miembro

Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález  
Asesor



## **Declaratoria de autenticidad**

**Christian Barnard López Cruz**, con DNI N° 73240248, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Evaluación de la cinética de la desoxigenación producida por descarga de aguas residuales en la quebrada Trancayacu.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 27 de diciembre del 2022.



.....  
**Christian Barnard López Cruz**

DNI N° 73240248

## **Dedicatoria**

A mis padres por ser mi fuente de inspiración para lograr mis objetivos, por encaminarme bien, por sus consejos y su apoyo incondicional en todo momento a lo largo de mi formación académica.

**Christian Barnard.**

## **Agradecimientos**

Al concluir este proceso académico de mucha importancia en mi vida, agradezco a Dios por su gracia, misericordia y fortaleza que permitieron concluir con éxito mi carrera profesional.

A mis padres por el amor y apoyo incondicional brindado, ante las adversidades que se presentaron durante este largo proceso y permitieron lograr la meta trazada.

A los docentes de la universidad nacional de San Martín por cada una de las enseñanzas inculcadas, que servirán para encaminar mi vida profesional.

A todas y cada una de las personas que formaron parte del cumplimiento de este gran sueño.

¡Gracias a Todos!

## Índice general

	Pág.
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Índice general.....	viii
Índice de tablas .....	x
Índice de figuras .....	xi
Resumen .....	xii
Abstract.....	xiii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Bases teóricas.....	7
1.3. Definición de términos básicos.....	19
CAPÍTULO II MATERIAL Y MÉTODOS .....	20
2.1. Material.....	20
2.2. Métodos .....	20
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
3.1. Caracterizar el agua de la quebrada Trancayacu en función de la concentración de DBO <sub>5</sub> .....	25
3.1.1. Caracterización de la DBO <sub>5</sub> del agua de la quebrada Trancayacu en función de número de muestreo .....	25
3.1.2. Caracterización de la DBO <sub>5</sub> del agua de la quebrada Trancayacu en función de números de muestreo.....	30
3.1.3. Comparación de los resultados de DBO <sub>5</sub> del agua de la quebrada Trancayacu con los estándares de calidad para agua .....	35
3.2. Determinar los coeficientes de desoxigenación K <sub>1</sub> en función a la temperatura en cada punto de muestreo.....	36
3.3. Determinar la demanda bioquímica de oxígeno ejercida en función de la demanda bioquímica remanente .....	41



3.4. Discusión de resultados .....	45
CONCLUSIONES .....	46
RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
ANEXOS .....	51
Anexo 1. Ubicación de área de estudio y puntos de muestreo .....	52
Anexo 2. Registro fotográfico .....	53

## Índice de tablas

Tabla 1. Valores típicos de $K_1$ (base e, 20°C) .....	8
Tabla 2. Escala de clasificación del agua .....	18
Tabla 3. Ubicación de puntos de muestreo .....	22
Tabla 4. Método de análisis de parámetro de estudio.....	22
Tabla 5. Estándares de calidad de agua para comparación con resultados obtenidos .....	22
Tabla 6. Concentración de $DBO_5$ en la primera toma de muestra.....	25
Tabla 7. Concentración de $DBO_5$ en la segunda toma de muestra .....	26
Tabla 8. Concentración de $DBO_5$ en la tercera toma de muestra .....	26
Tabla 9. Concentración de $DBO_5$ en la cuarta toma de muestra .....	27
Tabla 10. Concentración de $DBO_5$ en la quinta toma de muestra .....	27
Tabla 11. Concentración de $DBO_5$ en la sexta toma de muestra .....	28
Tabla 12. Concentración de $DBO_5$ en la séptima toma de muestra.....	29
Tabla 13. Concentración de $DBO_5$ en la octava toma de muestra.....	29

## Índice de figuras

Figura 1. Concentración de oxígeno residual .....	11
Figura 2. Curva de demanda bioquímica de oxígeno .....	13
Figura 3. Diferentes formas de n presentes en las aguas naturales.....	14
Figura 4. Distribución de mg DBO <sub>5</sub> /L en el primer punto de muestreo.....	30
Figura 5. Distribución de mg DBO <sub>5</sub> /L en el segundo punto de muestreo .....	30
Figura 6. Distribución de mg DBO <sub>5</sub> /L en el tercer punto de muestreo.....	31
Figura 7. Distribución de mg DBO <sub>5</sub> /L en el cuarto punto de muestreo.....	32
Figura 8. Distribución de mg DBO <sub>5</sub> /L en el quinto punto de muestreo .....	32
Figura 9. Resumen de la distribución de mg DBO <sub>5</sub> /L en los cinco puntos de muestreo..	33
Figura 10. Distribución de las concentraciones promedios de mg DBO <sub>5</sub> /L en los cinco puntos de muestreo .....	34
Figura 11. Comparación de las concentraciones de mg DBO <sub>5</sub> /L de los cinco puntos de muestreo con los estándares de calidad para agua.....	35
Figura 12. Comparación de las concentraciones promedios de mg DBO <sub>5</sub> /L de los cinco puntos de muestreo con los estándares de calidad para agua.....	36
Figura 13. Coeficiente de desoxigenación ( $K_1 \text{ d}^{-1}$ ) en el primer punto de muestreo.....	37
Figura 14. Coeficiente de desoxigenación ( $K_1 \text{ d}^{-1}$ ) en el segundo punto de muestreo .....	38
Figura 15. Coeficiente de desoxigenación ( $K_1 \text{ d}^{-1}$ ) en el tercer punto de muestreo .....	38
Figura 16. Coeficiente de desoxigenación ( $K_1 \text{ d}^{-1}$ ) en el cuarto punto de muestreo .....	39
Figura 17. Coeficiente de desoxigenación ( $K_1 \text{ d}^{-1}$ ) en el quinto punto de muestreo .....	40
Figura 18. Coeficiente de desoxigenación ( $K_1 \text{ d}^{-1}$ ) promedios en los puntos de muestreo .....	41
Figura 19. DBO ejercida en el primer punto de muestreo en 1, 5 y 20 días.....	42
Figura 20. DBO ejercida en el segundo punto de muestreo en 1, 5 y 20 días .....	42
Figura 21. DBO ejercida en el tercer punto de muestreo en 1, 5 y 20 días .....	43
Figura 22. DBO ejercida en el cuarto punto de muestreo en 1, 5 y 20 días .....	44
Figura 23. DBO ejercida en el quinto punto de muestreo en 1, 5 y 20 días .....	44

## Resumen

La investigación se desarrolló en el distrito de Calzada, específicamente en la quebrada Trancayacu que es donde se evacuan las aguas residuales tratadas por la planta de tratamiento, contemplándose como objetivo principal “Evaluar la cinética de la desoxigenación producida por descarga de aguas residuales en la quebrada Trancayacu”, para lo cual se establecieron cada 50 metros 5 puntos de muestreo desde el punto de descarga de las aguas residuales tratadas, donde se recolectaron 8 muestras para el análisis de la DBO<sub>5</sub> y midiendo in situ la temperatura, con lo cual se logró determinar los coeficientes de desoxigenación en cada punto de muestreo, como también la demanda bioquímica ejercida, encontrándose como resultados mayores concentraciones de DBO<sub>5</sub> en el primer punto de muestreo y las menores concentraciones en el último punto ubicado a 200 m aguas abajo del punto de descarga cuya concentración promedio fue en el primer y último punto de 63,2 y 8,4 mg DBO<sub>5</sub>/L respectivamente, asimismo, se determinó que a mayores temperaturas se presentan mayores coeficientes de desoxigenación  $K_1$  y viceversa, siendo el  $K_1$  promedio de  $0,24 \text{ d}^{-1}$ , por otro lado, se determinó que entre los 5 puntos de muestreo los porcentajes de oxidación de la materia fue al día 1 entre 18,60 y 21,62%, al día 5 entre 64,26 y 70,40% y al día 20 entre 98,36 y 99,23%, cuyos menores y mayores porcentajes corresponden al último y primer punto de muestreo, respectivamente.

**Palabras clave:** Cinética, coeficientes de desoxigenación, demanda bioquímica de oxígeno.

## Abstract

The research was carried out in the district of Calzada, specifically in the Trancayacu stream, the place where the wastewater treated by the treatment plant is discharged. The main objective was to "Evaluate the kinetics of deoxygenation produced by wastewater discharge in the Trancayacu stream". For this purpose, 5 sampling points were established every 50 meters from the discharge point of the treated wastewater, where 8 samples were collected for BOD5 analysis and in situ temperature measurement; this made it possible to determine the deoxygenation coefficients at each sampling point, as well as the biochemical demand exerted. The highest BOD5 concentrations were found at the first sampling point and the lowest concentrations at the last point located 200 m downstream of the discharge point, reaching an average concentration of 63.2 and 8.4 mg BOD5/L at the first and last points, respectively. It was also determined that the higher the temperature, the higher the deoxygenation coefficient  $K_1$  and vice versa, with an average  $K_1$  of 0.24 d<sup>-1</sup>. It was determined that among the 5 sampling points, the percentages of oxidation of the substances at day 1 were between 18.60 and 21.62%, at day 5 between 64.26 and 70.40% and at day 20 between 98.36 and 99.23%, with the lowest and highest percentages corresponding to the last and first sampling points, respectively.

**Key words:** Kinetics, deoxygenation coefficients, biochemical oxygen demand.



## Introducción

A nivel mundial, en estos últimos años la población enfrenta un gran problema con las descargas de sus aguas residuales, sabemos que muchas veces no se da un adecuado tratamiento de sus aguas servida, ya que esto ocasiona serios problemas sociales, ambientales y económicos. Las aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado que son vertidas sin ningún tipo de tratamiento a los cuerpos de agua natural, terrenos, o son empleados en prácticas inadecuadas como riego de cultivo, causando un impacto en el hábitat de los seres vivos y representando un riesgo para la salud y el medio ambiente, mirándose afectada por el incremento de DBO y DQO.

Sette (1996), refiere que “el problema de la contaminación del agua no es técnicamente un problema difícil, el campo es de gran amplitud, y de suficiente complejidad como para justificar el que diferentes disciplinas deben conjuntarse para conseguir óptimos resultados con un coste mínimo”. Según Cruz (2013), “Las aguas residuales albergan microorganismos que causan enfermedades (patógenos), incluyendo virus, protozoos y bacteria. Los microorganismos patogénicos pueden originarse en los individuos infectados o en animales domésticos o salvajes, de los cuales pueden o no presentar señales de enfermedad”. Las enfermedades diarreicas y gastrointestinales forman parte de 3 principales causas de fallecimientos a nivel mundial y en Latinoamérica. El agua que no presenta condiciones para beber y la polución mediante la descarga inadecuada de aguas negras tienen gran responsabilidad en estos casos de decesos. Esta problemática guarda relación directa con las enfermedades infecciosas como gastroenteritis, disentería, hepatitis, cólera y otros (Reynolds, 2002).

En la región latinoamericana, hay una distribución bien marcada entre las sociedades con elevados y escasos recursos, en relación al acceso al servicio de saneamiento básico. Alrededor del 18% de pobladores de recursos escasos tiene agua entubada en sus viviendas en comparación al 80% de pobladores con niveles de recursos altos (Reynolds, 2002).

El Perú es un país con elevada vulnerabilidad a los efectos que genera el cambio climático, donde la escasez del recurso hídrico es uno de los impactos principales y que sumado a la calidad hídrica incita a que los entes estatales se planteen un conjunto de retos y desafíos a abordar y que la no toma de claves decisiones continuará amenazando la sostenibilidad del desarrollo económico, la pérdida de ecosistemas, la seguridad alimentaria y la salud

pública (Aquino, 2017), es así que de acuerdo a la “Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos – 2016”, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) realizó la identificación de un total de 41 unidades hidrográficas, cuyos parámetros de calidad evaluados sobrepasan los respectivos ECAs para agua, donde la principal causa es la descarga de aguas residuales municipales, domésticas e industriales.

La laguna de oxidación del distrito de Calzada fue construida en el año 2006 y hasta la actualidad en el lugar no se realizaron monitoreos del agua residual a fin de verificar la eficiencia de la laguna y con ello evaluar las concentraciones de los parámetros que se descargan en la quebrada Trancayacu que es la fuente de agua superficial donde tampoco analizaron los parámetros exigidos por las normativas, ante ello y ante el incremento de la población y por ende del sistema de alcantarillado del distrito que a la vez genera un incremento en el caudal de descarga a la quebrada es que se pretende evaluar la cinética de la desoxigenación en la quebrada Trancayacu, es decir la tasa o velocidad de degradación de la materia orgánica, a raíz de lo cual se planteó como problemática ¿Cuál es la cinética de la desoxigenación producida por descarga de aguas residuales en la quebrada Trancayacu?, cuyo objetivo general fue “Evaluar la cinética de la desoxigenación producida por descarga de aguas residuales en la quebrada Trancayacu”, contemplándose como objetivos específicos, caracterizar el agua de la quebrada Trancayacu en función de la concentración de  $DBO_5$ ; determinar los coeficientes de desoxigenación  $K_1$  en función a la temperatura en cada punto de muestreo, y, determinar la demanda bioquímica de oxígeno ejercida en función de la demanda bioquímica remanente.

En primer capítulo, se dan a conocer un resumen de los antecedentes de la investigación relacionados al tema estudiado, presentando también las bases teóricas, y, por último, la definición de términos básicos. En el capítulo II, se describen los materiales empleados para recolectar los datos, así como la metodología utilizada, donde se describe todo el procedimiento realizado para dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados. En el tercer capítulo, se da a conocer los resultados del trabajo de investigación tomando en consideración a cada uno de los objetivos específicos planteados, se presentan también las discusiones analizando y comparando los resultados obtenidos con los antecedentes de investigación, además de las conclusiones y recomendaciones.



# CAPITULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Antecedentes de la investigación

#### A nivel internacional

Benjumea (2018), en su trabajo de investigación titulado “Determinación de coeficientes de degradación de materia orgánica en el río Negro (Municipio de Rionegro, Colombia)”, determinó en el río Negro en cinco estaciones diferentes los coeficientes de desoxigenación, haciendo uso de cuatro diversas metodologías, como son: i) mínimos cuadrados, ii) diferencias logarítmicas, iii) puntos de Rhame y iv) método de Thomas. Como resultados encontró que por la diferencia logarítmica determinó altos coeficientes de variación de valores amplio, en tanto con los métodos puntos de Rhame y de mínimos cuadrados encontró óptimos ajustes en forma de la constante K, resultados que a la vez forman parte de la categorías de fuentes hídricas superficiales de niveles bajos de carga orgánica encontrado por otros autores; asimismo, evaluó valores en laboratorio e in situ, cuyos resultados generales fueron altos de oxígeno disuelto, temperaturas bajas, carga de sólidos en disolución baja y sistema acuático tendiente a neutro. Asimismo, de la evaluación de parámetros en laboratorio e in situ encontró niveles bajos de oxígeno disuelto, temperaturas bajas, sólidos en disolución en cargas bajas y un sistema acuático con tendencia de neutralidad. Concluye que la asociación entre  $DBO_5/DBO_u$  resulto baja, lo que demuestra la existencia de niveles bajos de material orgánico vulnerable a la oxidación de microorganismos de vía aerobia.

Yustiani et al., (2018), mediante su investigación de título “El estudio de la tasa de desoxigenación del agua del río Rangkui durante la estación seca” determinó el coeficiente real de desoxigenación del agua del río Rangkui, particularmente en la época seca. El muestreo fue desarrollado en dos puntos, los mismos que fueron considerados como representativos del estado de los ríos en zonas urbanas. Empleó el método de la pendiente y de Winkler para determinar la tasa de desoxigenación, en tanto, la fórmula empírica empleada fue el de la ecuación de la Hidrociencia para flujo normal. Como resultados encontró valores de la tasa de desoxigenación ( $K_1$ ) en el río Rangkui en un rango entre 0,14 y 0,41 por día, en tanto la DBO última ( $L_a$ ) se encontró

en rango entre 8,53 y 70,64 mg/L; por otro lado, con respecto a la tasa de desoxigenación ( $K_1$ ) con la fórmula empírica, los valores determinados se encontraron en rango de 0,49 y 0,55 por día. Concluye que los resultados mediante la fórmula empírica más elevados de la tasa de desoxigenación presentan características de los habituales ríos urbanos contaminados.

Rivera (2015), desarrolló un estudio titulado “Evaluación de la cinética de oxidación y remoción de materia orgánica en la auto purificación de un río de montaña”, basado en determinar tasas cinéticas y evaluar la auto purificación del río Frío, dado a la captación de carga orgánica. Aplicó métodos logarítmicos y diferenciales para calcular las tasas cinéticas sobre niveles de los determinantes de calidad hídrica presentes en los 7 tramos de la fuente superficial en estudio. Como resultados determinó que el sistema hídrico recobra de manera fácil la cantidad de oxígeno,  $k = 0,4$ ,  $k = 3,2$ , recibiendo carga orgánica de 27,7 Ton. d-1, manteniendo de esta manera elevados niveles de amonio, carbono y sedimentos. La longitud de incidencia de los vertimientos (LIV- DBO) generó una media por tramo de 10 Km, el cual, al compararlo con 3 Km por cada tramo, resulta que la fuente hídrica superficial no tiene la capacidad de auto purificarse debido a que necesita mayor longitud de recorrido.

### **A nivel nacional**

Carrasco (2020), en su estudio titulado “Modelamiento y simulación de los procesos de desoxigenación y reoxigenación de los cuerpos de agua por presencia de carga orgánica”, modeló la demanda nitrogenada y carbonácea de las fuentes de agua, debido a la presencia de carga orgánica, para régimen estacionario como para un régimen no estacionario, tomando en consideración los modelos de reacción, difusión y advección. Como resultados determinó que las curvas muestran ingresos inmediatos de la carga contaminante aguas abajo del vertimiento, lo que resulta ser de tipo gaussiano y curvas hiperbólicas para el ingreso del contaminante. Concluye que los modelos propuestos son empleados para la determinación de las concentraciones de carga orgánica y el desplazamiento del contaminante, de la misma manera, para determinar la carencia crítica de oxígeno del agua y parámetros esenciales para analizar la calidad hídrica.

Díaz (2019), en su estudio que lleva por título “Caracterización e impacto de la descarga de aguas residuales vertidas en el río San Lucas zona urbana de Cajamarca”, determinó y clasificó los puntos de polución del río San Lucas debido al vertido de aguas residuales. Como resultados encontró en total 543 puntos de polución, de los cuales 473 son de agua residual doméstica, cantidad que representa el 87,11% del total, en tanto, con respecto a las aguas residuales municipales, con un número 66 puntos representan el 12,15%, por último, en menor cantidad determinó a los puntos de descarga de aguas industriales cuya cantidad es de 4 y representa 0,74%. Determinó que la mayor cantidad de agua vertido es de 101,82 l/s ubicado después del vertido del colector de la PTAR de Cajamarca. Determinó también el índice de calidad del agua (ICA), cuyo mayor valor encontrado fue 42 (calificación “Mala”) y que en base al rango de clasificación el agua resultó no estar en condiciones para regar vegetales y tampoco para ser bebida por animales, siendo necesario un tratamiento antes de la descarga.

Alva y Rojas (2019), en su estudio “Estimación del déficit de oxígeno disuelto usando el modelo Streeter y Phelps en la cuenca baja del río Moche, 2019”, estableció 17 estaciones de monitoreo en 2 tramos, donde analizaron parámetros hidromorfológicos, oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ). Los valores encontrados de las tasas cinéticas fueron ajustados a través de “Nash-Sutcliffe (NSE)”, el coeficiente de determinación ( $R$ ) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE); en tanto, para validar el modelo emplearon el porcentaje de error. Encontraron un valor de 2,32 mg/L de oxígeno disuelto como el más crítico y un valor de  $DBO_5$  de 224,78 mg/L; por otro lado, encontraron valores entre 12,35  $d^{-1}$  y 30,86  $d^{-1}$  de tasa de oxigenación ( $K_a$ ) y entre 0,69  $d^{-1}$  y 0,98  $d^{-1}$  para la tasa de desoxigenación, 2,43 % fue el porcentaje de error, superiores a 0,98 los valores del  $R^2$  y 0,94 del NSE, y menores a 0,5 el RMSE, lo que indica una adaptación perfecta entre los datos simulados. Concluyeron que a través del uso del modelo Streeter y Phelps fue posible determinar la ausencia de oxígeno disuelto en el área en estudio, siendo el déficit más alto de 5,92 mg/L en la semana 2 entre los meses de abril y junio del 2019.

### **A nivel regional y local**

Oblitas y Rengifo (2019), en su investigación denominado “Evaluación de la calidad de efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales municipales de la localidad

de Awajún, Rioja – San Martín”, evaluó la calidad del cuerpo receptor y del efluente del sistema de tratamiento de efluentes residuales del ámbito municipal. Encontraron dentro de los “límites máximos permisibles” referidos en el “D.S. 003-2010-Ministerio del Ambiente” a las concentraciones de los parámetros del efluente, calificándolo de calidad “buena” por el tratamiento las lagunas facultativas que forman parte del sistema; las concentraciones de los parámetros analizados fueron: 302,83 NMP/100mL para coliformes termotolerantes, 98,3 mg/L de sólidos totales en suspensión, 7,83 para pH, 25,78 °C de temperatura y 31,0 mg/L de DBO<sub>5</sub>; por otro lado, en el cuerpo de agua superficial receptor determinó que los parámetros que excedieron los ECAs para agua fueron coliformes termotolerantes (4509,16 NMP/100ml) y DBO<sub>5</sub> (23,4 mg/L), en tanto, los resultados para los otros parámetros fueron: 8,2 de pH, 15,5 mg/L de sulfatos, nitratos 23,9 mg/L, turbidez 68,06 UNT, alcalinidad total 93 mg/L y fosfatos con 2,16 mg/L.

Díaz (2018), en su estudio “Determinación de la calidad del agua del río Naranjos mediante el uso de los coeficientes cinéticos de auto depuración, distrito de Pardo Miguel – San Martín, 2017”, mediante coeficiente cinéticos de autodepuración en la fuente superficial de Naranjos logro determinar la calidad hídrica, evaluando parámetros fisicoquímicos y biológicos, estableció 3 puntos de monitoreo y además muestreó características hidrológicas del del recurso hídrico. Encontró en el mes de setiembre tasas de desoxigenación ( $K_1$ ) de 0,37 día<sup>-1</sup> y 0,38 día<sup>-1</sup> en el primer y segundo tramo, resultando la tasa de reoxigenación ( $K_2$ ) de 0,598 día<sup>-1</sup> y 0,61 día<sup>-1</sup> para el tramo I y II; en diciembre los valores de  $K_1$  fueron de 0,31 día<sup>-1</sup> y 0,32 día<sup>-1</sup> en el tramo I y II, y los valores de  $K_2$  para el primer y segundo tramo de 0,598 día<sup>-1</sup> y 0,55 día<sup>-1</sup>. Concluye que la calidad hídrica estimada a través de coeficientes cinéticos de autodepuración en los puntos de muestreo de El Diamante y CC.PP. San Agustín, además del tramo El Diamante – Naranjos y San Agustín y El Diciembre, presentaron valores positivos de oxígeno crítico en los dos meses de estudio, en tanto en el punto de muestreo perteneciente a la localidad de Naranjos determinó oxígeno crítico con valores negativos, por lo que en dicho punto de muestreo hubo contaminación orgánica y que la autodepuración no cumple en restablecer la calidad hídrica estudiado post descarga del agua residual tratada.

## 1.2. Bases teóricas

### 1.2.1. Cinética de la desoxigenación

El principal efecto ecológico de la polución orgánica en un curso hídrico es minimizar las concentraciones de oxígeno disuelto. Por una cuestión de normalización, con frecuencia se utiliza el concepto de la DBO estándar, expresada por DBO 20°C. Sin embargo, el consumo de oxígeno en la muestra varía al largo del tiempo, o sea, el valor de la DBO, en días distintos, es diferente (Von, 2012).

La biodegradación empieza al ingresar la materia orgánica en el cuerpo de agua, replicando así las bacterias en el sustrato orgánico, empleando oxígeno disuelto en el cuerpo hídrico para lograr su metabolización, resultando de esta forma a partir de la saturación una minimización de la cantidad de oxígeno disuelto (Gil, 2006).

### 1.2.2. Constante de desoxigenación:

Para Díaz (2018), la desoxigenación es conocido como aquel proceso en el que el agua minimiza o elimina la cantidad de oxígeno disuelto, para temas ambientales, la principal inquietud en la desoxigenación es la inserción de aguas residuales y sus contaminantes en un cuerpo de agua.

Wright & Mcdonell (1979) afirma: “La constante de desoxigenación puede ser evaluada en función del caudal el valor de la constante para caudales entre 0,3 y 24 m<sup>3</sup> es evaluada con la ecuación:  $K_1 = 1.796 \times Q^{-0.49}$ ”.

### 1.2.3. Coeficiente de la desoxigenación:

Solís (1977) refiere que el coeficiente de desoxigenación “indica la velocidad con que se consume el oxígeno disuelto en el tramo de estudio, como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica carbonosa que contiene y se calcula con el objetivo de conocer la cantidad de oxígeno que perderá el cuerpo”.

Por otro lado, Von (2012), afirma que el coeficiente  $k_1$  depende de las características de la materia orgánica, además de la temperatura y de la presencia de sustancias inhibidoras. Efluentes tratados, por ejemplo, poseen una tasa de

degradación más lenta, por el hecho de que la mayor parte de la materia orgánica más fácilmente asimilable ya ha sido removida, restando tan solo la fracción de estabilización más lenta. Valores medios de  $k_1$  se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Valores típicos de  $K_1$  (base e, 20°C)*

<b>Origen</b>	<b><math>K_1</math> (día<sup>-1</sup>)</b>
Aguas residuales brutas concentradas	0,35 - 0,45
Aguas residuales brutas de baja concentración	0,30 - 0,40
Efluente primario	0,30 - 0,40
Efluente secundario	0,12 - 0,24
Curso de agua con aguas limpias	0,08 - 0,20

Fuente: (Fair et al, 1973, Arceivala, 1981, citado por Von Sperling, 1996).

#### 1.2.4. La influencia de la temperatura

Von (2012), refiere que “la temperatura ejerce una gran influencia en el metabolismo microbiano, afectando, por consiguiente, las tasas de conversión de la materia orgánica, siendo la relación empírica entre la temperatura y la tasa de desoxigenación que puede expresarse de la siguiente forma:” (p. 168).

$$K_{1T} = K_{120} \cdot \theta^{(T-20)}$$

Donde:

$K_{1T}$  =  $K_1$  a una temperatura T cualquiera (d<sup>-1</sup>).

$K_{120}$  =  $K_1$  a una temperatura T = 20 °C (d<sup>-1</sup>).

T = Temperatura del líquido (°C).

$\theta$  = Coeficiente de temperatura (-).

Asimismo, la EPA (2012, como se citó en Von, 2012) refiere que “un valor usualmente empleado de para  $K_1$  es 1,047” (p. 169), cuya interpretación del valor es que este aumenta 4,7% por cada aumento de 1 °C en la temperatura del agua (Von, 2012).

Por otro lado, Von (2012) menciona que “otro aspecto a ser comentado es que el incremento de la temperatura aumenta  $K_1$ , pero no altera el valor de la demanda última  $L_0$ , que pasa a ser satisfecha más rápidamente” (p. 169).

### **1.2.5. Aguas residuales**

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2017), refiere que las aguas residuales son elementos cruciales en el ciclo del agua, los mismos que deben ser considerados en todo el ciclo de la gestión del agua, es decir, desde la captación, tratamiento, distribución, utilización, recolección y posterior tratamiento hasta su reusó y regreso final su ambiente natural, donde se restablece la fuente para las posteriores captaciones del agua.

Para Raschid-Sally y Jayakody (2008, como se citó en UNESCO, 2017), las aguas residuales son consideradas como una mezcla ya sea de uno o más de los siguientes efluentes: domésticos que implica a las aguas negras como orina, excremento y lodos fecales, y las aguas grises como las aguas del baño o del lavado; también se encuentran los efluentes de instituciones y establecimientos comerciales, incluyendo a los hospitales; asimismo, se encuentran los efluentes industriales, escorrentías urbanas y aguas pluviales; y la escorrentía acuícola, hortícola y agrícola.

#### **1.2.5.1. Fuentes de aguas residuales**

Entre las cuatro fuentes fundamentales de aguas residuales se encuentran: i) aguas domésticas o urbanas, ii) aguas residuales industriales, iii) escorrentías de usos agrícolas, iv) pluviales, la contaminación por las dos últimas mencionadas han venido adquiriendo una gran importancia, es así que las escorrentías de usos agrícolas debido al arrastre de pesticidas y fertilizantes constituyen una de las principales y mayores causas de eutrofización de pantanos y lagos; así también las aguas pluviales pueden causar efectos de contaminación significativa. Normalmente sean o no tratadas las aguas residuales, son descargadas como proceso final en un cuerpo de agua superficial como, río, mar, lago, etc., los mismos que son considerados como cuerpo receptor (Sette, 1996, p. 10).

### **1.2.6. Demanda bioquímica de oxígeno**

Raffo y Ruiz (2014), menciona que las aguas superficiales son, fuertemente vulnerables a la polución; siendo el depósito habitual tradicional durante toda la



historia de las poblaciones y la industria. Para el caso de los residuos contaminantes que demandan oxígeno, influyen en los flujos de agua como en las aguas que son estancadas.

Sánchez et al. (2007), mencionan que “la demanda bioquímica de oxígeno representa una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente” (p. 124).

Es empleada para estimar la polución de las aguas, es así que cuando las concentraciones de la DBO son elevadas, serán bajos las cantidades de oxígeno, a raíz de que las bacterias consumen en gran cantidad ese oxígeno, es así que, al existir menor oxígeno en el cuerpo de agua, los animales acuáticos como peces y otros cuentan con menor probabilidad de subsistir (Sánchez et al., 2007).

Asimismo, para López (2016), “la demanda bioquímica de oxígeno corresponde a la cantidad de oxígeno consumido por la degradación bioquímica de la materia orgánica contenida en la muestra, durante un intervalo de tiempo específico y a una temperatura determinada” (p. 75).

#### **1.2.6.1. Indicador de contaminación**

Raffo y Ruiz (2014) manifiestan que Dupre a fines del siglo XIX determinó que había relación entre la cantidad de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua y su nivel de polución. Es así que, mientras en una muestra de agua más sea la concentración de materia orgánica, los microorganismos presentes requieren de mayor cantidad de oxígeno para degradarla u oxidarla.

Asimismo, Raffo y Ruiz (2014) refieren que “la actividad biológica es provocada por los microorganismos en condiciones aeróbicas, dando como consecuencia que la materia orgánica pierda sus propiedades contaminantes. Aquí existe el intercambio del oxígeno del aire con el agua” (p. 76).

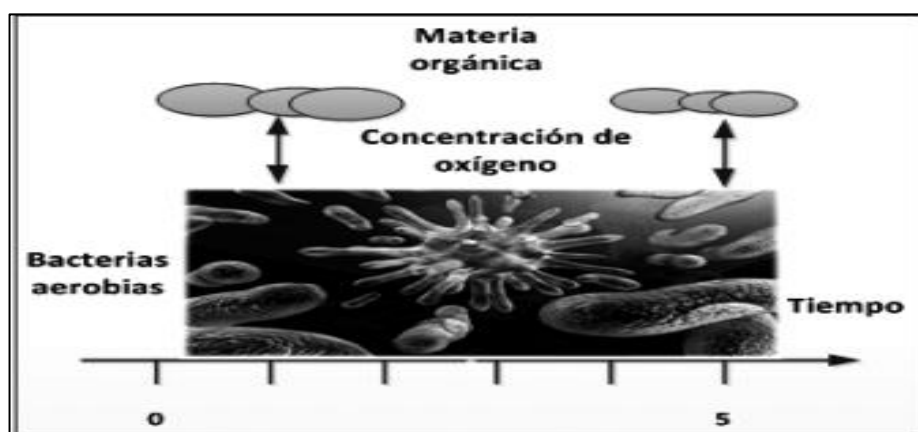
Al mismo tiempo Raffo y Ruiz (2014) manifiestan que “la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar residuos

orgánicos de modo aerobio se denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno” (p. 76).

Ramalho (2013, como se citó en Raffo y Ruiz, 2014) refiere que la DBO representa a la medida de la concentración de oxígeno necesario para oxidar el material orgánico biodegradable, que se encuentra la muestra hídrica, como consecuencia del proceso de oxidación aerobia.

La demanda bioquímica de oxígeno es determinada a una temperatura de 20 °C durante un tiempo de 5 días y a condiciones normales de laboratorio, cuyo valor determinado es obtenido en mg/L O<sub>2</sub> y comúnmente se conoce como la DBO<sub>5</sub>. El proceso mencionado fue adoptado por la “Asociación de Salud” en el año 1936, que desde aquel año se ha conservado como una señal de la contaminación (Raffo y Ruiz, 2014).

Por otro lado, Raffo y Ruiz (2014), mencionan que “La DBO es uno de los indicadores más importantes en la medición de la contaminación en aguas residuales (AR), como también en el control del agua potable” (p. 76).



**Figura 1.** Concentración de oxígeno residual. Fuente: Raffo y Ruiz, 2014.

Para que las bacterias de tipo aerobias consuman el material orgánico degradable en el efluente residual necesitan de oxígeno. El oxígeno consumido, es medido como la diferencia que existe entre el oxígeno inicial y final de la prueba realizada (Raffo y Ruiz, 2014, p. 76).

### **1.2.7. Materia orgánica en aguas residuales**

Las sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales domésticas e industriales están constituidas en su mayor parte por materia fecal, siendo esta la contribución diaria de DBO5. En otras palabras, según Ramalho (1996) la materia orgánica en las aguas residuales se constituye principalmente de proteínas (40% - 60%), carbohidratos (25% - 50%) y grasas y aceites (8% - 12%). Al mismo tiempo Crites & Tchobanoglous (2000) aseguran que la materia orgánica presente en las aguas residuales se mide por las pruebas de Demanda Química de Oxígeno, Demanda Biológica de Oxígeno y/o Carbono Orgánico Total.

La materia orgánica requiere oxígeno para ser degradada en un curso de agua. El alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica, consume el oxígeno utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática. Entre los efectos al ecosistema, se encuentra el cambio en la calidad del agua, y la posible elevación del pH, provocando la desaparición de peces y plantas (Raffo y Ruiz, 2014, p. 75).

### **1.2.8. Componentes consumidores de oxígeno disuelto**

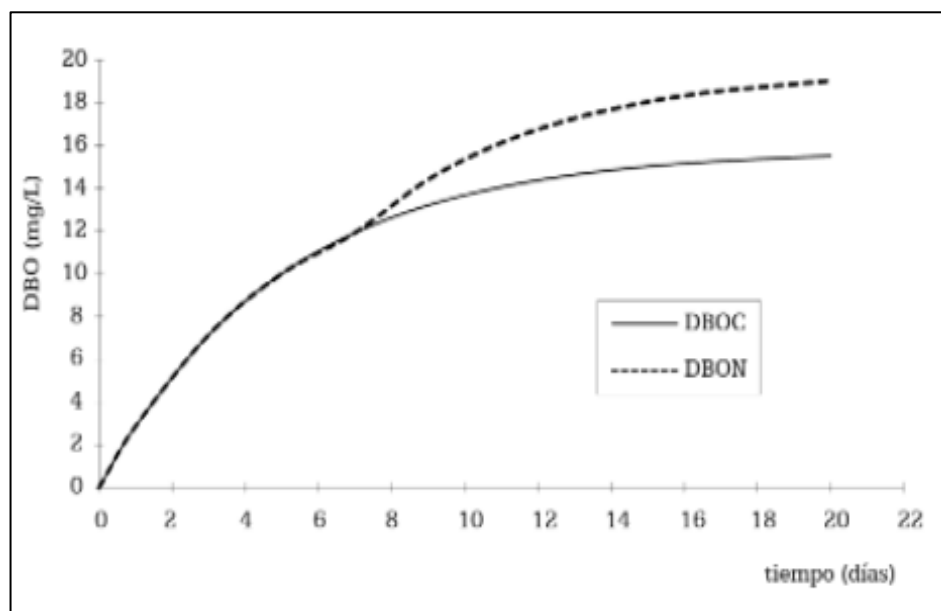
Principalmente las acciones que inciden en los niveles de oxígeno disuelto son los vertimientos de aguas residuales domésticas y de escorrentía sin un tratamiento previo. Estas descargas cuentan con materiales que generan DQO, además de DBO nitrogenada y carbonácea (Sierra, 2011).

#### **1.2.8.1. Demanda bioquímica de oxígeno carbonácea**

La demanda bioquímica de oxígeno es obtenida en dos etapas, siendo el primero donde la materia orgánica carbonácea es establecida, proceso que es conocido como la etapa primera de la desoxigenación. La DBO es ejercida por la existencia de organismos heterotróficos que tienen la capacidad de conducir la energía que requieren del carbono orgánico con el que cuenta la materia orgánica. Este tipo de organismos se encuentran presentes en gran cantidad en los ríos, lagos y estuarios. La DBOC es

ejercida inmediatamente en caso de que el agua cuente con sustancias tóxicas (Sierra, 2011, p. 262).

Los compuestos nitrogenados son oxidados durante la segunda etapa de la descomposición de la materia orgánica. Durante esta etapa se hidroliza el nitrógeno orgánico para formar nitrógeno amoniacal que debido a la existencia de oxígeno es transformado a nitritos y estos luego a nitratos. Las dos fases de la degradación de la materia orgánica pueden llevarse a cabo de manera simultánea, aunque es habitual separarlas y asumir que la oxidación de la materia orgánica carbonácea es casi total cuando casi es posible evidenciar la conversión de los compuestos nitrogenados (Sierra, 2011).



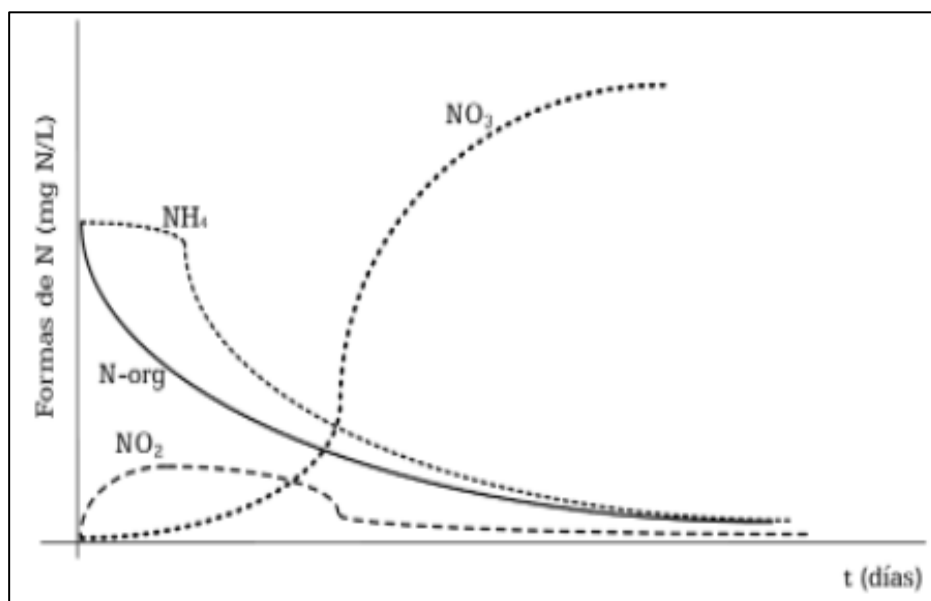
**Figura 2.** Curva de demanda bioquímica de oxígeno. Fuente: Sierra, 2011.

#### **1.2.8.2. Demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada (DBON)**

La DBOC es seguida por una segunda etapa en la cual se oxidan los compuestos nitrogenados, a esta etapa comúnmente se le conoce como *nitrificación*. Algunos desechos industriales, por ejemplo, los de la industria de la pulpa y el papel, son deficitarios en compuestos nitrogenados, por lo tanto, estos efluentes no presentan la segunda etapa de descomposición de la materia orgánica. Por el contrario, existen situaciones donde prácticamente toda la demanda de oxígeno es debida

a la presencia de compuestos nitrogenados. Este último caso se presenta en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales cuando no incluyen el proceso de nitrificación (Sierra, 2011, p. 267).

Los compuestos nitrogenados presentes en las aguas residuales contenidos en la materia orgánica son generalmente proteínas, urea, amoníaco y, en algunos casos, nitratos. También, es normal encontrar los productos intermedios de la degradación de los anteriores tales como amino-ácidos, amidas y aminas. Las proteínas se desdoblan por hidrólisis en una serie de amino-ácidos; en este proceso intervienen enzimas exocelulares y endocelulares. La descomposición de amino-ácidos es endocelular y libera amonio. A esta última etapa se le denomina desasimilación (Sierra, 2011, p. 267).



**Figura 3.** Diferentes formas de n presentes en las aguas naturales.

Fuente: Sierra, 2011.

La figura muestra los cambios que ocurren cuando los compuestos nitrogenados entran en un cuerpo de agua natural. Las aguas residuales domésticas contienen altas cantidades de proteínas y urea, compuestos ricos en nitrógeno orgánico. El nitrógeno una vez en forma amoniacal, es oxidado en condiciones aeróbicas a nitritos por las bacterias del género nitrosomonas (Sierra, 2011, p. 267).

### **1.2.8.3. Demanda bentónica de oxígeno**

Es el consumo de oxígeno requerido para la estabilización del material orgánico presente en los sedimentos e implica a procesos anaeróbicos y aeróbicos. Casi toda la estabilización sucede en condiciones anaerobias, debido a la ausencia de productos primarios y por la difícil penetración de oxígeno al sedimento (Roldán y Ramírez, 2008, p. 195).

La descarga del material sedimentable en una fuente superficial hídrica forma una capa de lodos o sedimentos en la superficie del fondo. Conforme incrementa la profundidad de estos depósitos de sólidos, el material orgánico presente comienza su descomposición anaeróbica. Si se producen cantidades suficientes de gases, estos son emitidos al medio atmosférico generando problemas serios de salud pública y estética. La parte superficial de la capa de los sedimentos que se encuentra en contacto de forma directa con el agua puede llegar a padecer un proceso de descomposición aerobia y hacer consumo del oxígeno presente en la columna hídrica. El mencionado consumo de oxígeno es conocido como demanda béntica de oxígeno o SOD (Sierra, 2011, p. 267).

### **1.2.9. Componentes aportantes de oxígeno**

Para el crecimiento de los organismos aeróbicos resulta fundamental la presencia en el agua de oxígeno disuelto, debido a que este ingresa en el agua como resultado del proceso de fotosíntesis de las plantas acuáticas y los macrófitos, como también por la acción del viento al mover las aguas. A la vez es excluido del agua por la acción de organismos acuáticos con respiración aerobia, para de esa manera pertenecer a las reacciones de descomposición de la materia orgánica. Habitualmente en el contenido de oxígeno existe un decrecimiento a partir de la superficie, que es donde se genera el cambio con la atmósfera, hasta llegar a la zona más honda del lago, aunque la mezcla y agitación del agua por acción del viento, tiende a asegurar una repartición más uniforme en la columna de agua (Arche, 2010).

#### **1.2.9.1. Reaireación**

El fenómeno de reaireación es uno de los factores que proporciona oxígeno al agua, fenómeno que consiste en la reacción química a través del cual el agua toma oxígeno del aire del ambiente. Esta cantidad de oxígeno que entra por el fenómeno de reaireación se encuentra

relacionado a la deficiencia que tiene el agua, entrando hasta que alcanza una situación de estabilidad entre la presión y la temperatura (Sierra, 2011).

La tasa o coeficiente de reaireación está asociado a diversos fenómenos físicos tales como, los cambios de temperatura, viento, mezcla y turbulencia interna debida a los gradientes de velocidad y sus fluctuaciones, etc.; también depende de las características hidráulicas del flujo como la velocidad, altura media de escurrimiento, pendiente del fondo, etc. En la literatura se encuentra que el coeficiente de reaireación puede estimarse adecuadamente en función de la velocidad y la profundidad (Osina, 2011, p. 63).

#### **1.2.9.2. Fotosíntesis**

Otro de los factores que aportan oxígeno a un cuerpo de agua y contribuye a balancear el déficit de oxígeno es la fotosíntesis de las plantas acuáticas y las algas. Durante el proceso de fotosíntesis, las plantas toman CO<sub>2</sub> de la atmósfera y en presencia de luz solar y clorofila liberan oxígeno de acuerdo con la siguiente expresión (Sierra, 2011, p. 275):



La reacción anterior solamente se realiza en la zona fótica, zona hasta donde penetra la luz. El rango visible de la luz se encuentra entre 4000 y 7000 Å de longitud de onda, por lo tanto, si la radiación se encuentra en ese rango se podrá presentar la fotosíntesis (Sierra, 2011, p. 275).

#### **1.2.10. Vertidos de aguas residuales en ríos**

Según Boluda (2011), cuando se produce un vertido de agua residual en un río se puede observar variaciones de los niveles de algunos parámetros químicos y especies biológicas aguas abajo del punto de vertido.

Asimismo, el MVCS (2007), “hace referencia a las aguas residuales como aquellas que han sido usadas por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico, disuelto o en suspensión”.



De la misma forma Benítez (2013), afirma que “las aguas residuales pueden definirse como las provenientes de las diversas actividades humanas y que poseen materiales que no son propios de un agua en condiciones normales, denominados contaminantes, que provocan el deterioro de los cuerpos de agua y la contaminación de aquellos que puedan llegar a ser vertidas sin un tratamiento previo”.

### **1.2.11. Calidad del agua**

La calidad del agua es conocida como la aptitud para satisfacer distintos usos en función de sus características químicas, físicas y biológicas. La calidad del agua depende principalmente del uso que se le va a dar, determinadas generalmente por los parámetros físico-químicos con límites de concentración asociados. Según Gonzales & Gutiérrez (2005), afirma: “El enfoque de las directivas europeas aprobadas en los años 70 con el objetivo de garantizar una calidad del agua óptima para satisfacer cada uno de los usos como aguas para el consumo humano, zonas de baño, aguas destinadas a la protección de la vida piscícola”.

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: Una lista de concentraciones especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua (Sierra, 2011).

#### **1.2.11.1. Calidad del agua, según el criterio de la DBO<sub>5</sub>, o de la contaminación orgánica**

El Ministerio del Medio Ambiente (2000), menciona que, desde el punto de vista de la contaminación orgánica, generada directamente por los vertidos urbanos, resulta ser un buen indicador general el parámetro DBO<sub>5</sub> (demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días). Valores de DBO<sub>5</sub> por encima de 10 mg/L son característicos de aguas muy contaminadas, y por debajo de 3 mg/L la contaminación puede considerarse débil (p. 216).

**Tabla 2***Escala de clasificación del agua*

<b>Criterio</b>	<b>K1 (día<sup>-1</sup>)</b>
DBO <sub>5</sub> < 3,0	Excelente: No contaminada
3,0 < DBO <sub>5</sub> < 6,0	Buena calidad: Aguas superficiales con bajos contenidos de materia orgánica biodegradable
6,0 < DBO <sub>5</sub> < 30,0	Aceptable: Con indicio de contaminación, con capacidad de dilución o con descargas biotratadas
30 < DBO <sub>5</sub> < 120	Contaminada: Aguas superficiales con descargas de aguas contaminadas no tratadas
DBO <sub>5</sub> > 120	Fuertemente contaminada: Aguas superficiales con fuertes descargas de aguas contaminadas municipales y no municipales

Fuente: (Conagua, 2006, como se citó en Díaz, 2018).

**1.2.12. La contaminación del agua**

Los principales contaminantes del agua para Calderón (2004), son las aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno, en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua.

Entre los principales contaminantes de ríos, lagos y zonas costeras, don las descargas de plantas de tratamiento ya sea urbanas o industriales, también los efluentes industriales, escorrentías superficiales, aguas residuales urbanas sin tratamiento como desechos cloacales, desechos de la industria minera, lixiviado de suelos, entre otros tipos de residuos que demandan de oxígeno, que en gran parte es materia orgánica (que al descomponerse produce la desoxigenación del agua), agentes infecciosos (disentería, cólera) los cuales pueden ocasionar trastornos gastrointestinales, productos químicos que cada vez suelen ser más numerosos y de moléculas complejas, e inclusive los pesticidas empleados en la agricultura, diferentes productos de origen industrial, sustancias tensioactivas de los detergentes, jabones y otros productos de la desintegración de otros componentes orgánicos, y otros (Comisión Nacional de los Derechos Humanos [CNDH], 2018, p.52).

**1.2.13. Protección del agua**

El uso y gestión de los recursos hídricos, comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta, extendiéndose al agua

marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable, finalmente, autoriza solo vertimientos que cumplan los ECAs prohibiendo y sancionando cualquier otro vertimiento no autorizado (ECA-Agua) (Ley de recursos hídricos N° 2938).

### **1.3. Definición de términos básicos**

#### **Afluente**

Líquido que ingresa a un componente.

#### **Impacto ambiental**

Alteración positiva o negativa de uno o más componentes del ambiente provocada por la acción de un proyecto.

#### **Efluente**

Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

#### **Desoxigenación**

Es el proceso en el cual se consume oxígeno para degradar la materia orgánica presente en el cuerpo de agua.

#### **Materia orgánica biodegradable**

El vertido de aguas residuales con elevada DBO y DQO en el entorno acuático puede llevar el agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas (Sans & Ribas, 1989).

#### **Parámetros**

Dato que se considera como imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación (Pezo, 2018).

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **2.1. Material**

- Medios de transporte : Vehículos para transporte terrestre como motooocar para acceder al área de estudio y auto para trasladar las muestras a agencia de viaje para su entrega al laboratorio para su respectivo análisis.
- Equipos : GPS GARMIN Etrex 10, equipo H.W. Kessel S.A. para medición de temperatura in situ, laptop, cámara fotográfica/celular, calculadora científica.
- Formatos : Cadena de custodia y ficha de recolección de datos.
- Indumentaria de protección: : Guardapolvo, zapatos de seguridad, botas de jebe, capota, pantalón largo, camisa manga larga, guantes y mascarillas.
- Materiales para muestreo : Cooler, frascos de plástico de 1 L, ice pack.
- Otros materiales : USB, tablero acrílico, folder, materiales de escritorio como: plumones, lapiceros, papel A4, entre otros.

#### **2.2. Métodos**

##### **2.2.1. Técnicas de recolección de datos**

Se realizó lo siguiente.

- Acopio, análisis y recolección de información de la investigación a realizar.
- Reconocimiento en campo del área de estudio y de la quebrada Trancayacu donde es descargado el agua residual.
- Determinación de los puntos de muestreo en la quebrada Trancayacu siguiendo las normativas para medición de calidad de agua de fuentes superficiales.

- La técnica principal empleada fue la toma de muestra in situ tomando en consideración al protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N° 010 – 2016 – ANA), recomendaciones como: i) Recojo de volumen pertinente de agua en un balde limpio evitando la remoción de sedimentos, ii) se cogió el depósito de 1 litro, se retiró la tapa y contratapa evitando hacer contacto con la superficie interna del frasco, iii) los frascos fueron enjuagados, iv) el frasco con la muestra de agua fue llenado de manera lenta en su totalidad evitando en lo posible la formación de burbujas, v) se evitó juntar suciedad, películas de la superficie o sedimentos del fondo, vi) las muestras posteriormente fueron rotulados y colocados en cooler y luego enviados a un laboratorio acreditado por INACAL, el mismo que fue Analytical Laboratory E.I.R.L. tal y como se muestra en los documentos correspondientes.
- Los datos obtenidos de los resultados de demanda bioquímica de oxígeno fueron utilizados para calcular el coeficiente cinético de desoxigenación ( $K_1$ ), el mismo que se desarrolló a nivel de gabinete. Se calcularon 8 coeficientes cinéticos por cada punto de muestreo, teniendo en cuenta las 8 mediciones de DBO realizadas.
- Los resultados del coeficiente cinético ( $K_1$ ) fueron utilizados para analizar la variación del comportamiento del oxígeno a lo largo del periodo de estudio.

### **2.2.2. Caracterizar el agua de la quebrada Trancayacu en función de la concentración de DBO**

La metodología de monitoreo de la calidad de agua de desarrollo de acuerdo al “Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”, aprobado mediante RJ. N° 010-2016 por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Para desarrollar este objetivo se tomaron 8 muestras en diferentes fechas desde octubre de 2021 a marzo de 2022, de la misma manera, se muestreo en 5 puntos diferentes a lo largo de la quebrada Trancayacu, puntos de muestreo que son descritos a continuación:

**Tabla 3***Ubicación de puntos de muestreo*

<b>Puntos de muestro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Coordenada X</b>	<b>Coordenada Y</b>
PM-01	Punto de descarga a la quebrada Trancayacu.	271035	9331487
PM-02	50m aguas abajo del punto de descarga.	271042	9331452
PM-03	100m aguas abajo del punto de descarga.	270999	9331429
PM-04	150m aguas abajo del punto de descarga.	270963	9331415
PM-05	200m aguas abajo del punto de descarga.	270913	9331407

Obtenidas las muestras en campo, se procedió a la rotulación y empaquetado del cooler, para su envío a un laboratorio acreditado por el INACAL de nombre “ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L. (ALAB)”, para el respectivo análisis de DBO<sub>5</sub>, cuyo método de análisis se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 4***Método de análisis de parámetro de estudio*

<b>Parámetros</b>	<b>Método de análisis</b>
DBO <sub>5</sub>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017

*Fuente:* ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L. (ALAB).

Obtenido los datos fueron analizados según fecha de muestreo y según puntos de muestreo, además de ello se realizó una evaluación con respecto a los estándares de calidad para agua señalados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, con los estándares de la categoría 4: Conservación del ambiente acuático, subcategoría E2: Ríos de la selva, el cual es descrito a continuación:

**Tabla 5***Estándares de calidad de agua para comparación con resultados obtenidos*

<b>Parámetros</b>	<b>Subcategoría E2: Ríos de la selva</b>
DBO <sub>5</sub>	10

*Fuente:* Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

### 2.2.3. Determinar los coeficientes de desoxigenación $K_1$ en función a la temperatura en cada punto de muestreo.

En base a los datos de temperatura medidos in situ fue posible calcular los coeficientes de desoxigenación  $K_1$  en cada punto de muestreo, par lo cual se empleó la siguiente formula (Von, 2012, p. 168):

$$K_{1T} = K_{120} \cdot \theta^{(T-20)}$$

Donde:

$K_{1T} = K_1$  a una temperatura T cualquiera ( $d^{-1}$ ).

$K_{120} = K_1$  a una temperatura T = 20 °C ( $d^{-1}$ ).

T = Temperatura del líquido (°C).

$\theta$  = Coeficiente de temperatura (-) = 1,047.

Asimismo, se realizó una comparación con los valores típicos de  $K_1$  (base e, 20 °C) de acuerdo a la categoría de origen de las aguas, establecidos en la tabla 1 del presente informe.

### 2.2.4. Determinar la demanda bioquímica de oxígeno ejercida en función de la demanda bioquímica remanente.

En base a los resultados promedios de  $DBO_5$  obtenidos del laboratorio se procedió primeramente a calcular la demanda bioquímica de oxígeno última, haciendo uso de la siguiente formula:

$$L = \frac{Y}{(1 - e^{-(K_d \cdot t)})}$$

Donde:

L = Cantidad total de materia orgánica remanente en t, mg/L.

Y =  $DBO_5$ .

$K_d$  = Constante de desoxigenación, 1/día.

t = Tiempo.

Obtenido el resultado, se procedió a calcular la DBO ejercida para 1, 5 y 20 días, haciendo uso de la siguiente formula:

$$Y = L (1 - e^{-K_d t})$$

Donde:

Y = DBO ejercida en un tiempo.

L = Cantidad total de materia orgánica remanente en t, mg/L.

$K_d$  = Constante de desoxigenación, 1/día.

t = Tiempo.



## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Caracterizar el agua de la quebrada Trancayacu en función de la concentración de DBO<sub>5</sub>.

Se realizó 8 toma de muestras en los 5 puntos diferentes de la quebrada Trancayacu y su respectivo análisis por parte del laboratorio, cuyos resultados son presentados a continuación

##### 3.1.1. Caracterización de la DBO<sub>5</sub> del agua de la quebrada Trancayacu en función de número de muestreos.

**Tabla 6**

*Concentración de DBO<sub>5</sub> en la primera toma de muestra*

Punto de muestreo	mg DBO <sub>5</sub> /L
1	104,0
2	18,3
3	11,3
4	10,3
5	8,7

En la primera toma de muestra se determinó una mayor concentración de DBO<sub>5</sub> de 104,0 mg/L en el primer punto de muestreo que es el punto de descarga de las aguas residuales en la quebrada Trancayacu, asimismo, la segunda mayor concentración de 18,3 mg/L fue determinado 50 m abajo del punto de descarga en el segundo punto de muestreo, en tanto la menor concentración de 8,7 mg/L se determinó en el último punto de muestreo ubicado a 200 m aguas abajo del punto de descarga, resultados que demuestran una disminución en las concentraciones conforme aumenta la distancia con respecto al punto de descarga de las aguas residuales de la planta a la quebrada.

**Tabla 7***Concentración de DBO<sub>5</sub> en la segunda toma de muestra*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>mg DBO<sub>5</sub>/L</b>
1	41,6
2	31,0
3	19,4
4	14,8
5	4,6

De igual manera en la segunda toma de muestra la mayor concentración de DBO<sub>5</sub> de 41,6 mg/L fue determinado en el punto de descarga de las aguas residuales en la quebrada Trancayacu, asimismo, la segunda mayor concentración de 31,0 mg/L fue determinado 50 m abajo del punto de descarga en el segundo punto de muestreo, en tanto la menor concentración de 4,6 mg/L se determinó en el último punto de muestreo ubicado a 200 m aguas abajo del punto de descarga, resultados que demuestran una disminución en las concentraciones conforme aumenta la distancia con respecto al punto de descarga de las aguas residuales de la planta a la quebrada.

**Tabla 8***Concentración de DBO<sub>5</sub> en la tercera toma de muestra.*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>mg DBO<sub>5</sub>/L</b>
1	37,4
2	15,9
3	6,7
4	3,0
5	<2,0

En la tercera toma de muestra, al igual que en las dos primeras tomas la mayor concentración de DBO<sub>5</sub> de 37,4 mg/L también fue determinado en el punto de descarga de las aguas residuales en la quebrada Trancayacu, asimismo, la segunda mayor concentración de 15,9 mg/L fue determinado 50 m abajo del punto de descarga en el segundo punto de muestreo, en tanto la menor concentración de <2,0 mg/L se determinó en el último punto de muestreo ubicado a 200 m aguas abajo del punto de muestreo, de igual manera, los resultados demuestran una disminución en las concentraciones conforme

aumenta la distancia con respecto al punto de descarga de las aguas residuales de la planta a la quebrada.

**Tabla 9**

*Concentración de DBO<sub>5</sub> en la cuarta toma de muestra*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>mg DBO<sub>5</sub>/L</b>
1	15,0
2	6,0
3	3,0
4	<2,0
5	<2,0

En la cuarta toma de muestra, al igual que en las tres primeras tomas la mayor concentración de DBO<sub>5</sub> de 15,0 mg/L también fue determinado en el punto de descarga de las aguas residuales en la quebrada Trancayacu, asimismo, la segunda mayor concentración de 6,0 mg/L fue determinado 50 m abajo del punto de descarga en el segundo punto de muestreo, en tanto la menor concentración de <2,0 mg/L se determinó en dos puntos de muestreo que son el cuarto y último ubicados a 150 m y 200 m aguas abajo del punto de descarga respectivamente, de igual manera, del muestreo realizado los resultados demuestran una disminución en las concentraciones conforme aumenta la distancia con respecto al punto de descarga de las aguas residuales de la planta a la quebrada.

**Tabla 10**

*Concentración de DBO<sub>5</sub> en la quinta toma de muestra*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>mg DBO<sub>5</sub>/L</b>
1	96,6
2	29,5
3	14,8
4	26,0
5	10,0

En la quinta toma de muestra, al igual que en las cuatro primeras tomas la mayor concentración de DBO<sub>5</sub> de 96,6 mg/L también fue determinado en el punto de descarga de las aguas residuales en la quebrada Trancayacu, asimismo, la segunda mayor concentración de 29,5 mg/L fue determinado 50 m abajo del punto de descarga en el segundo punto de muestreo, en tanto la menor concentración de 10,0 mg/L se determinó en el último punto de muestreo ubicado a 200 m aguas abajo del punto de descarga, del muestreo realizado, los resultados demuestran una disminución en las concentraciones entre el primer y tercer punto, siendo en el cuarto punto de muestro donde la concentración se muestra mayor al tercero, resultando nuevamente menor en el último punto de muestreo.

**Tabla 11**

*Concentración de DBO<sub>5</sub> en la sexta toma de muestra*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>mg DBO<sub>5</sub>/L</b>
1	89,0
2	32,0
3	28,0
4	40,0
5	34,0

En la sexta toma de muestra, al igual que en las cinco primeras tomas la mayor concentración de DBO<sub>5</sub> de 89,0 mg/L también fue determinado en el punto de descarga de las aguas residuales en la quebrada Trancayacu, asimismo, la segunda mayor concentración de 40,0 mg/L fue determinado 150 m aguas abajo del punto de descarga en el cuarto punto de muestreo, en tanto la menor concentración de 28,0 mg/L se determinó en el tercer punto de muestreo ubicado a 100 m aguas abajo de la descarga, en el último punto de muestreo ubicado a 200 m aguas abajo la concentración fue de 34,0 mg/L, resultados que demuestran que descenso de concentraciones hasta el tercer punto, siendo en el cuarto punto de muestreo donde con respecto a este ultimo la concentración se muestra mayor, encontrándose menor nuevamente en el quinto punto de muestreo.

**Tabla 12***Concentración de DBO<sub>5</sub> en la séptima toma de muestra.*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>mg DBO<sub>5</sub>/L</b>
1	66,6
2	13,7
3	6,0
4	5,0
5	4,0

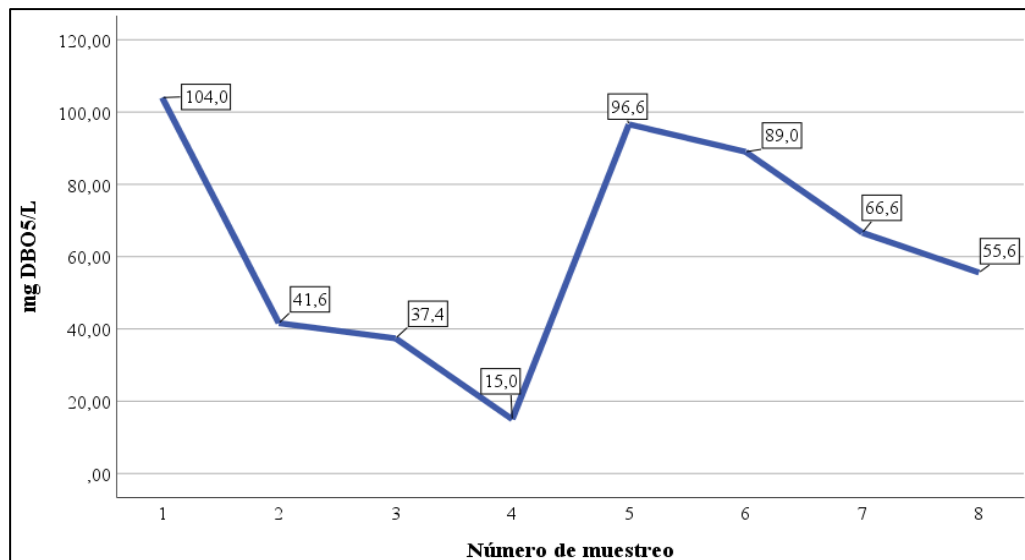
En la séptima toma de muestra, al igual que en las seis primeras tomas la mayor concentración de DBO<sub>5</sub> de 66,6 mg/L también fue determinado en el punto de descarga de las aguas residuales en la quebrada Trancayacu, asimismo, la segunda mayor concentración de 13,7 mg/L fue determinado 50 m abajo del punto de descarga en el segundo punto de muestreo, en tanto la menor concentración de 4,0 mg/L se determinó en el último punto de muestreo ubicado a 200 m aguas abajo del punto de descarga, del muestreo realizado los resultados demuestran una disminución en las concentraciones conforme aumenta la distancia con respecto al punto de descarga de las aguas residuales de la planta a la quebrada.

**Tabla 13***Concentración de DBO<sub>5</sub> en la octava toma de muestra.*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>mg DBO<sub>5</sub>/L</b>
1	55,6
2	14,2
3	30,5
4	3,0
5	2,0

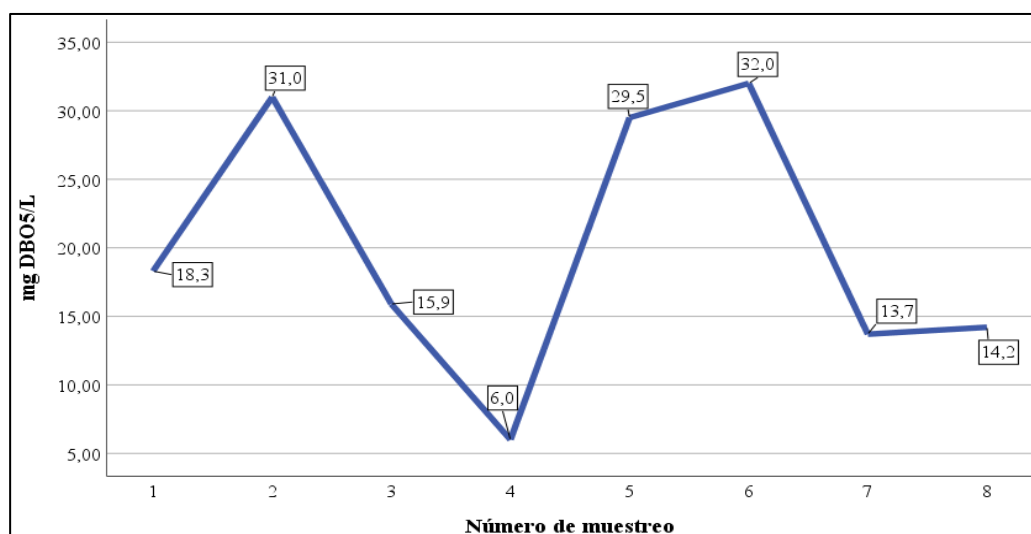
En la octava toma de muestra, al igual que en las siete primeras tomas la mayor concentración de DBO<sub>5</sub> de 55,6 mg/L también fue determinado en el punto de descarga de las aguas residuales en la quebrada Trancayacu, asimismo, la segunda mayor concentración de 30,5 mg/L fue determinado 100 m abajo del punto de descarga en el tercer punto de muestreo, en tanto la menor concentración de 2,0 mg/L se determinó en el último punto de muestreo ubicado a 200 m aguas abajo del punto de descarga, de los resultados obtenidos, se evidencia una disminución entre las concentraciones del primer y segundo punto de muestreo, siendo la concentración en el tercer punto mayor con respecto al segundo, en tanto las concentraciones del cuarto y quinto punto se muestran mucho menores con respecto al tercer punto.

### 3.1.2. Caracterización de la DBO<sub>5</sub> del agua de la quebrada Trancayacu en función de números de muestreo.



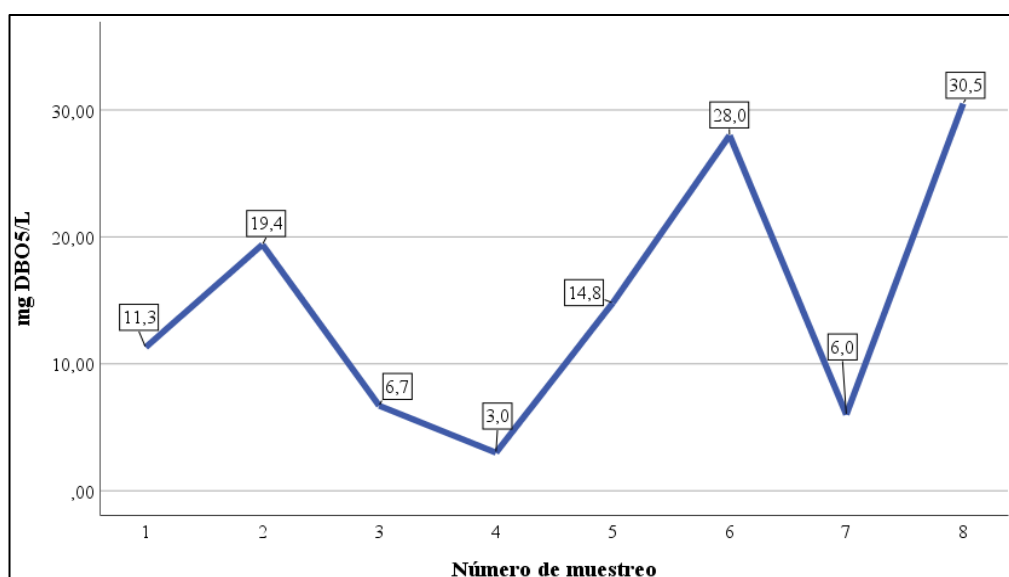
*Figura 4.* Distribución de mg DBO<sub>5</sub>/L en el primer punto de muestreo.

En el primer punto de muestreo ubicado en el punto de descarga de las aguas residuales tratadas a la quebrada Trancayacu, se determinó una mayor concentración de DBO<sub>5</sub> en el primer muestreo con un valor de 104,0 mg/L, seguido de 96,6 y 89,0 mg/L, determinados en el quinto y sexto muestreo, la menor concentración de 15,0 mg/L fue registrado en el cuarto muestreo, que de acuerdo al momento y tiempo esta muestra fue tomada en un día de lluvia, del mismo modo, el rango entre el máximo y mínimo valor es de 89,0 mg/L y la concentración promedio de las 8 muestras es de 63,2 mg/L en este primer punto de muestreo.



*Figura 5.* Distribución de mg DBO<sub>5</sub>/L en el segundo punto de muestreo.

En el segundo punto de muestreo ubicado a 50 m aguas abajo del punto de descarga de las aguas residuales tratadas a la quebrada Trancayacu, se determinó una mayor concentración de  $\text{DBO}_5$  en el sexto muestreo con un valor de 32,0 mg/L, seguido de 31,0 y 29,5 mg/L, determinados en el segundo y quinto muestreo, la menor concentración de 6,0 mg/L fue también registrado en el cuarto muestreo, que al igual que en el primer punto y en referencia al momento y tiempo esta muestra fue tomada en un día de lluvia, del mismo modo, el rango entre el máximo y mínimo valor es de 26,0 mg/L y la concentración promedio de las 8 muestras es de 20,1 mg/L en este segundo punto de muestreo.

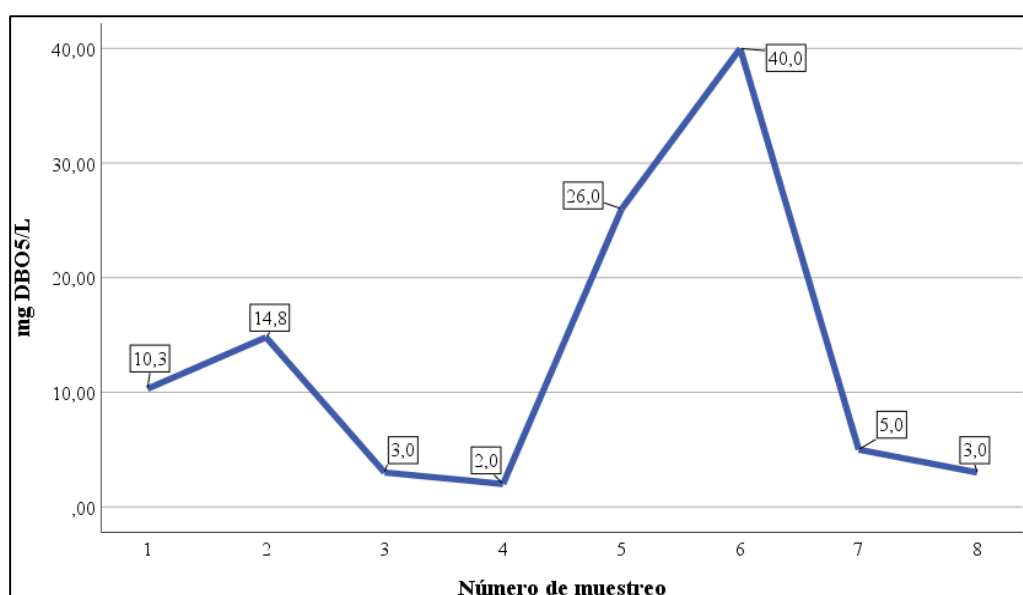


**Figura 6.** Distribución de mg  $\text{DBO}_5/\text{L}$  en el tercer punto de muestreo.

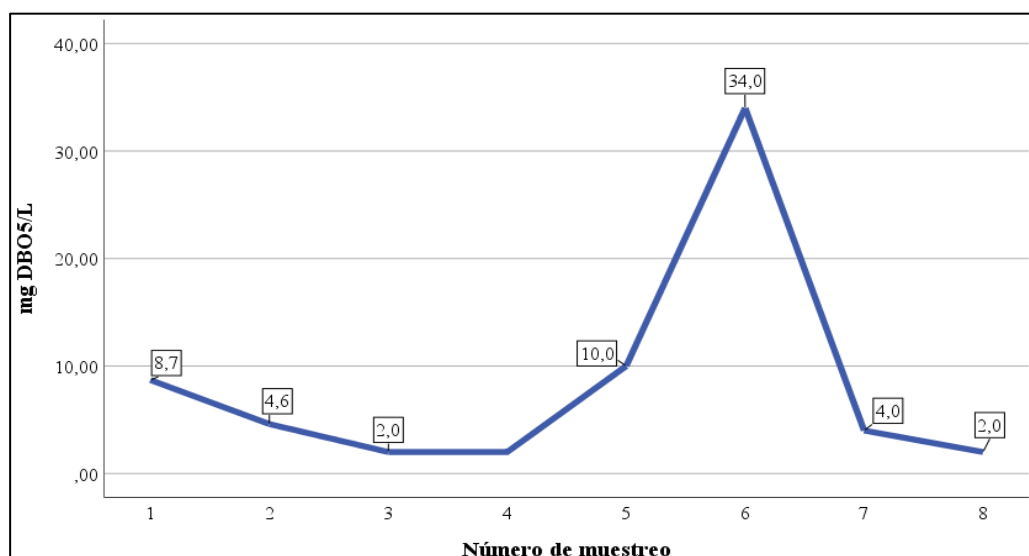
En el tercer punto de muestreo ubicado a 100 m aguas abajo del punto de descarga de las aguas residuales tratadas a la quebrada Trancayacu, se determinó una mayor concentración de  $\text{DBO}_5$  en el octavo muestreo con un valor de 30,5 mg/L, seguido de 28,0 determinado en el sexto muestreo, la menor concentración de 3,0 mg/L fue también registrado en el cuarto muestreo, que al igual que en el dos primeros puntos y en referencia al momento y tiempo esta muestra fue tomada en un día de lluvia, las otras menores concentraciones fueron de 6,0 y 6,7 mg/L en el séptimo y tercer muestreo respectivamente, del mismo modo, el rango entre el máximo y mínimo valor es de 27,5 mg/L y la concentración promedio de las 8 muestras es de 15,0 mg/L en este tercer punto de muestreo.

De acuerdo a lo presentado en la figura 7, en el tercer punto de muestreo ubicado a 150 m aguas abajo del punto de descarga de las aguas residuales tratadas a la

quebrada Trancayacu, se determinó una mayor concentración de  $\text{DBO}_5$  en el sexto muestreo con un valor de 40,0 mg/L, seguido de 26,0 determinado en el quinto muestreo, la menor concentración de 2,0 mg/L fue también registrado en el cuarto muestreo, seguido del tercer y octavo muestreo donde se determinó 3,0 mg/L y del séptimo donde se encontró una concentración de 5,0 mg/L, valores que se ven influenciados con respecto a la distancia existente con respecto al punto de descarga de las aguas residuales tratadas a la quebrada, del mismo modo, el rango entre el máximo y mínimo valor es de 38,0 mg/L y la concentración promedio de las 8 muestras es de 13,0 mg/L en este cuarto punto de muestreo.



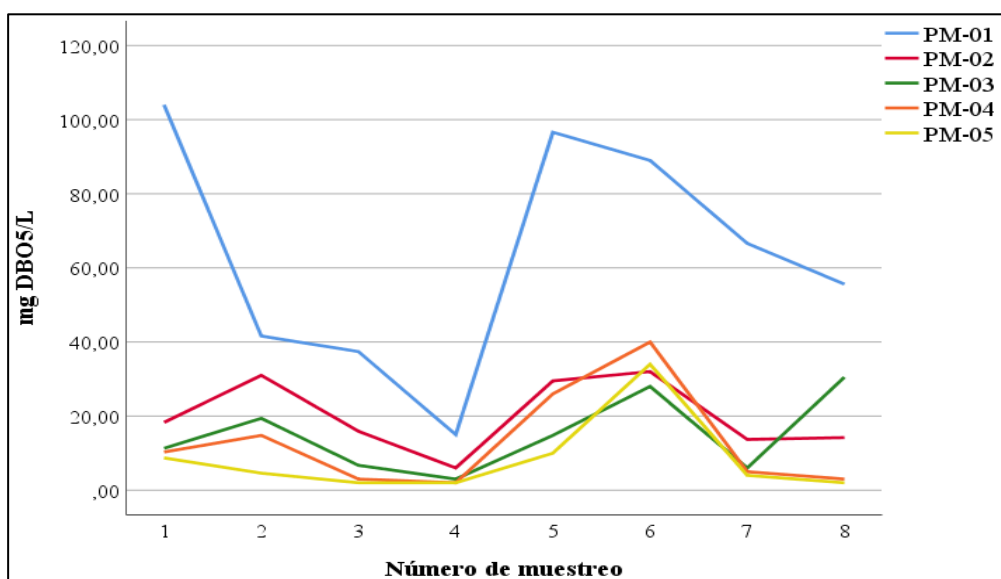
**Figura 7.** Distribución de mg  $\text{DBO}_5/\text{L}$  en el cuarto punto de muestreo.



**Figura 8.** Distribución de mg  $\text{DBO}_5/\text{L}$  en el quinto punto de muestreo.

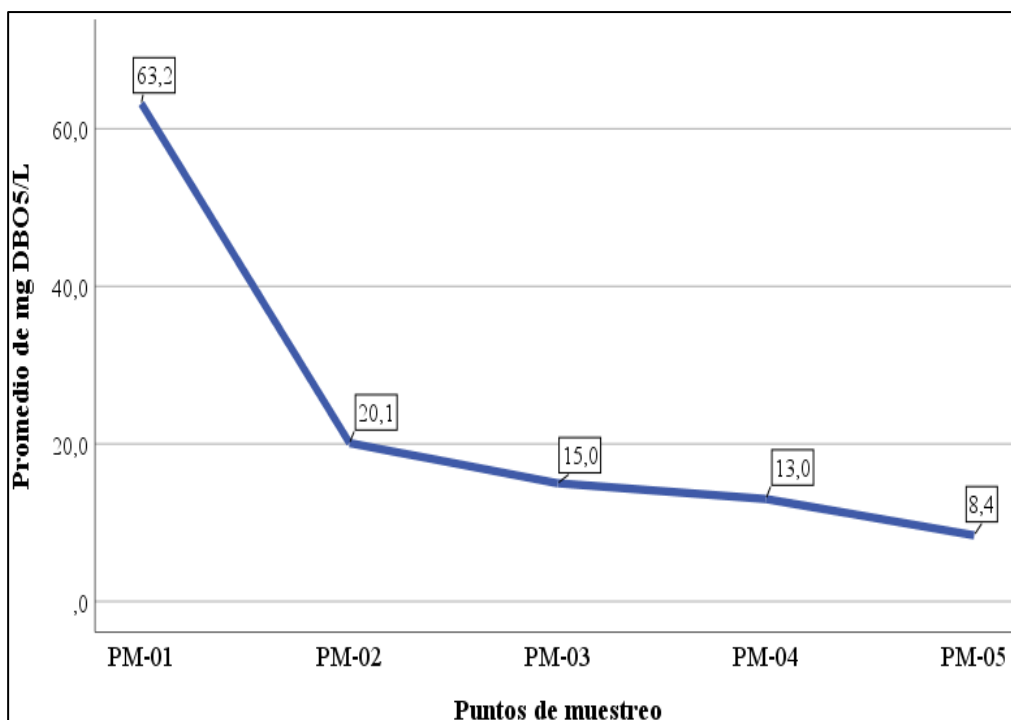


En el quinto punto de muestreo ubicado a 200 m aguas abajo del punto de descarga de las aguas residuales tratadas a la quebrada Trancayacu, se determinó una mayor concentración de  $\text{DBO}_5$  en el sexto muestreo con un valor de 34 mg/L, seguido de 10,0 determinado en el quinto muestreo, en este punto generalmente se encontró una mayor cantidad de muestreos donde las concentraciones fueron relativamente bajas, entre los cuales se tiene a 2,0 mg/L en el tercer, cuarto y octavo muestreo, 4,0 y 4,6 mg/L encontrados en séptimo y segundo muestreo respectivamente, concentraciones bajas que principalmente se deben al factor distancia con respecto al primer punto de muestreo donde las aguas residuales tratadas son vertidas, el rango entre el máximo y mínimo valor es de 32,0 mg/L y la concentración promedio de las 8 muestras es de 8,4 mg/L en este quinto y último punto de muestreo.



**Figura 9.** Resumen de la distribución de mg  $\text{DBO}_5$ /L en los cinco puntos de muestreo.

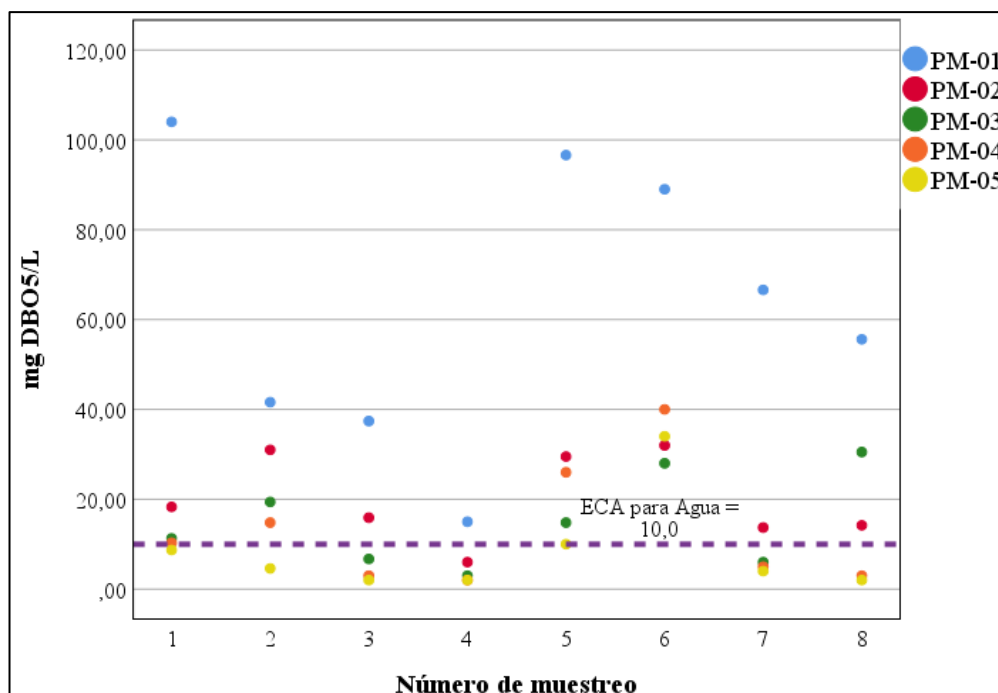
En la figura se observa que a nivel general en el primer punto de muestreo se registraron las mayores concentraciones de las ocho muestras realizadas, punto de muestreo que se encuentra ubicado en el lugar de descarga de las aguas residuales tratadas en la PTAR del distrito de Calzada a la quebrada Trancayacu, relativamente a ello, se observa también que las menores concentraciones de  $\text{DBO}_5$  fueron registradas en el último punto de muestreo, ubicado a 200 m del primer punto, lo que demuestra en base a estos resultados la disminución de la concentración de  $\text{DBO}_5$  a medida que aumenta la distancia en el cuerpo de agua superficial con respecto al punto de descarga.



**Figura 10.** Distribución de las concentraciones promedios de mg DBO<sub>5</sub>/L en los cinco puntos de muestreo.

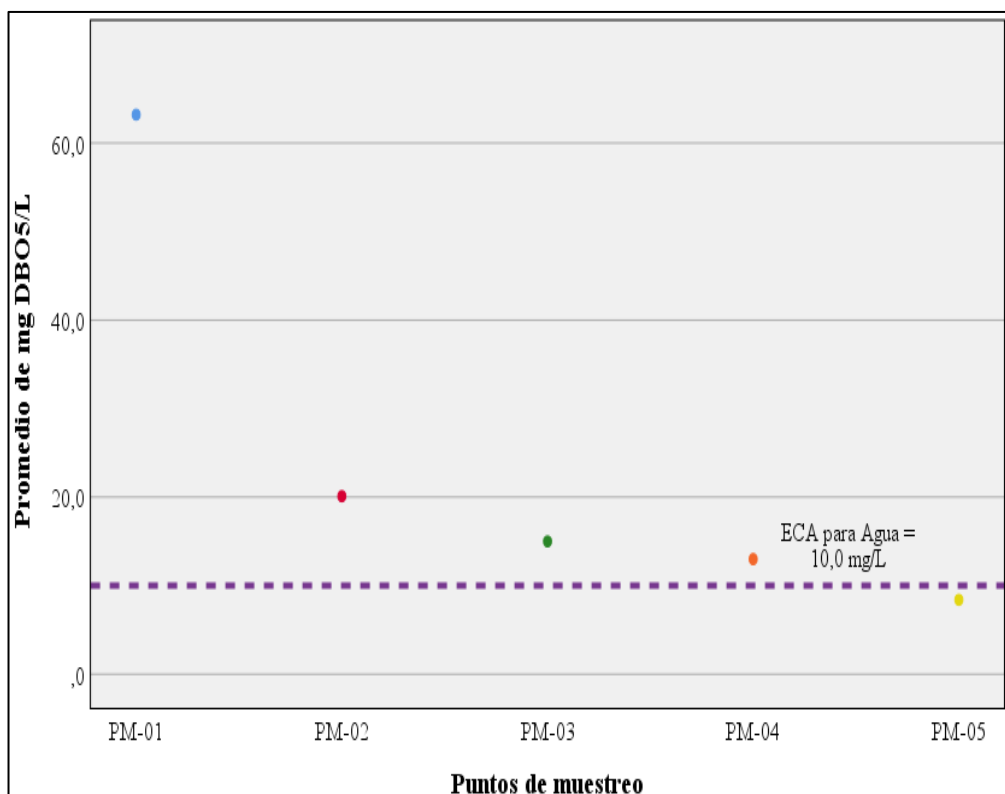
En la figura presentada, es posible evidenciar que conforme aumenta la distancia en la quebrada con respecto al punto de descarga, las concentraciones de DBO<sub>5</sub> van disminuyendo, como se muestra en el primer punto o punto de descarga, se obtuvo una concentración promedio de 63,2 mg/L, disminuyendo considerablemente en una cantidad de 43,1 mg/L en el segundo punto de muestreo ubicado a 50m del punto de descargo donde la concentración promedio resulto ser de 20,1 mg/L, a partir de este punto se muestra también una disminución pero mucho menor en las concentraciones de los tres puntos 3, 4 y 5, las cuales son de 15,0, 13,0 y 8,4 respectivamente, atribuyendo ello a las propiedades características del agua de la quebrada que permiten la disminución de la DBO<sub>5</sub>.

### 3.1.3. Comparación de los resultados de DBO<sub>5</sub> del agua de la quebrada Trancayacu con los estándares de calidad para agua.



**Figura 11.** Comparación de las concentraciones de mg DBO<sub>5</sub>/L de los cinco puntos de muestreo con los estándares de calidad para agua.

Del total de muestreos realizados en los 5 puntos se determinó que el 37,5% de los resultados de DBO<sub>5</sub> se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental para agua de la categoría 4, subcategoría E2: ríos de la selva, el cual es de 10,0 mg/L, en tanto una cantidad mayor de resultados representados por el 62,5% exceden el estándar permitido, de la misma manera, se determinó que todos los resultados de las muestras del primer punto de muestreo exceden el estándar, siendo en el segundo punto que solo un resultado se encuentra dentro de lo permitido y 3 resultados en el tercer punto de muestreo, por otro lado, en el cuarto punto de muestreo el 50,0% de resultados se encuentra dentro de lo permitido y el otro 50,0% excede el estándar, porcentaje que en el quinto punto de muestreo es mucho menor, debido a que solo un resultado excede el estándar, encontrándose los demás 7 muestreos dentro de lo permitido, resultados que demuestran que en el quinto punto de muestreo las concentraciones en su mayoría no exceden el estándar de la categoría 4, subcategoría E2: ríos de la selva.

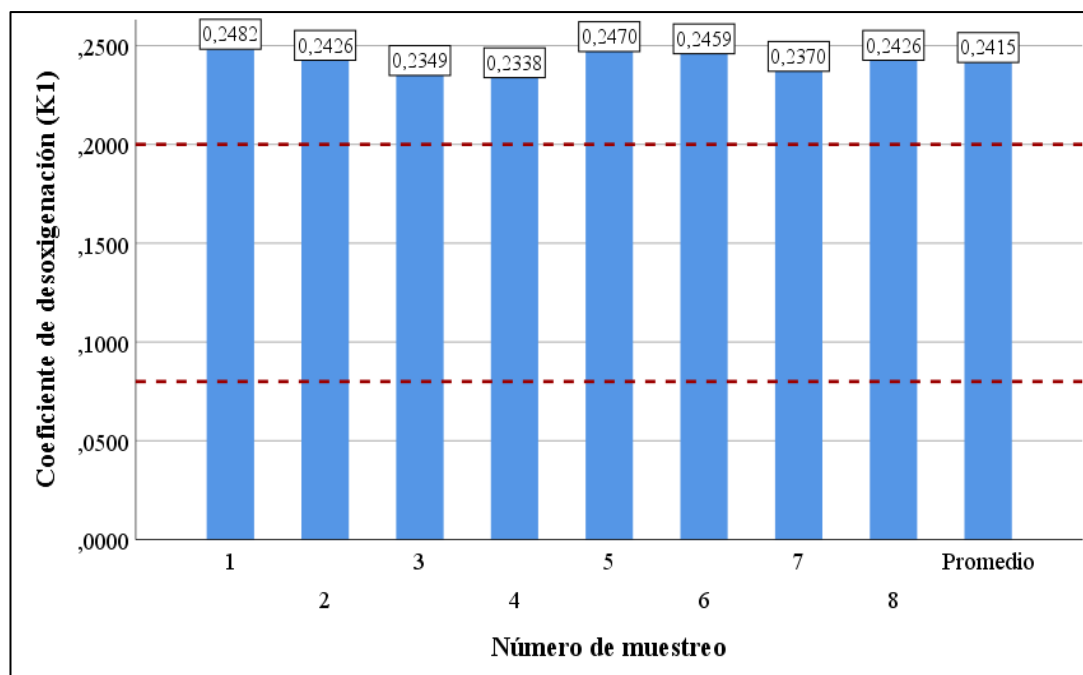


**Figura 12.** Comparación de las concentraciones promedios de mg DBO<sub>5</sub>/L de los cinco puntos de muestreo con los estándares de calidad para agua.

Al realizar la comparación de los resultados de concentraciones promedios de DBO<sub>5</sub> con los estándares de calidad ambiental para agua de la categoría 4, subcategoría E2: ríos de la selva, que es de 10,0 mg/L, se evidencia que en los cuatro primeros puntos de muestreo el promedio excede el pertinente estándar de calidad ambiental, siendo solamente la concentración promedio del quinto punto de muestreo la que se encuentra dentro de lo permitido, lo cual demuestra que a 200m del punto de descarga, a nivel general las concentraciones de DBO<sub>5</sub> se encuentran de acuerdo a lo establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, para el caso de la categoría y subcategoría analizada.

### **3.2. Determinar los coeficientes de desoxigenación $K_1$ en función a la temperatura en cada punto de muestreo.**

En base a los datos de temperatura medidos in situ fue posible calcular los coeficientes de desoxigenación  $K_1$  en cada punto de muestreo, cuyos resultados encontrados son presentados a continuación:



**Figura 13.** Coeficiente de desoxigenación ( $K_1$   $d^{-1}$ ) en el primer punto de muestreo.

En el primer punto de muestreo, se determinó el mayor valor para  $K_1$   $d^{-1}$  en el primer muestreo que fue de 0,2482  $d^{-1}$ , encontrándose el menor valor de 0,2338  $d^{-1}$  en el cuarto muestreo, asimismo, se obtuvo un coeficiente de desoxigenación promedio de 0,2415  $d^{-1}$ , por otro lado, las líneas rojas representan el rango de valores característicos de coeficientes de cursos de agua con aguas limpias, resultados que demuestran que ningún valor encontrado es característico de cursos de aguas limpias, siendo característicos de efluentes secundarios, asimismo, los valores de  $K_1$  determinados se ven influenciados por la temperatura, dado a que a una mayor temperatura registrada se obtuvieron mayores valores de  $K_1$  y viceversa.

En la figura 14, sobre el segundo punto de muestreo, se determinó el mayor valor para  $K_1$   $d^{-1}$  en el primer muestreo que fue de 0,2349  $d^{-1}$ , encontrándose el menor valor de 0,2274  $d^{-1}$  en el cuarto muestreo, asimismo, se obtuvo un coeficiente de desoxigenación promedio de 0,2313  $d^{-1}$ , por otro lado, de igual manera las líneas rojas representan el rango de valores característicos de coeficientes de cursos de agua con aguas limpias, resultados que demuestran que ningún valor encontrado es característico de cursos de aguas limpias, siendo característicos de efluentes secundarios, asimismo, los valores de  $K_1$  determinados se ven influenciados por la temperatura, dado a que a una mayor temperatura registrada se obtuvieron mayores valores de  $K_1$  y viceversa.

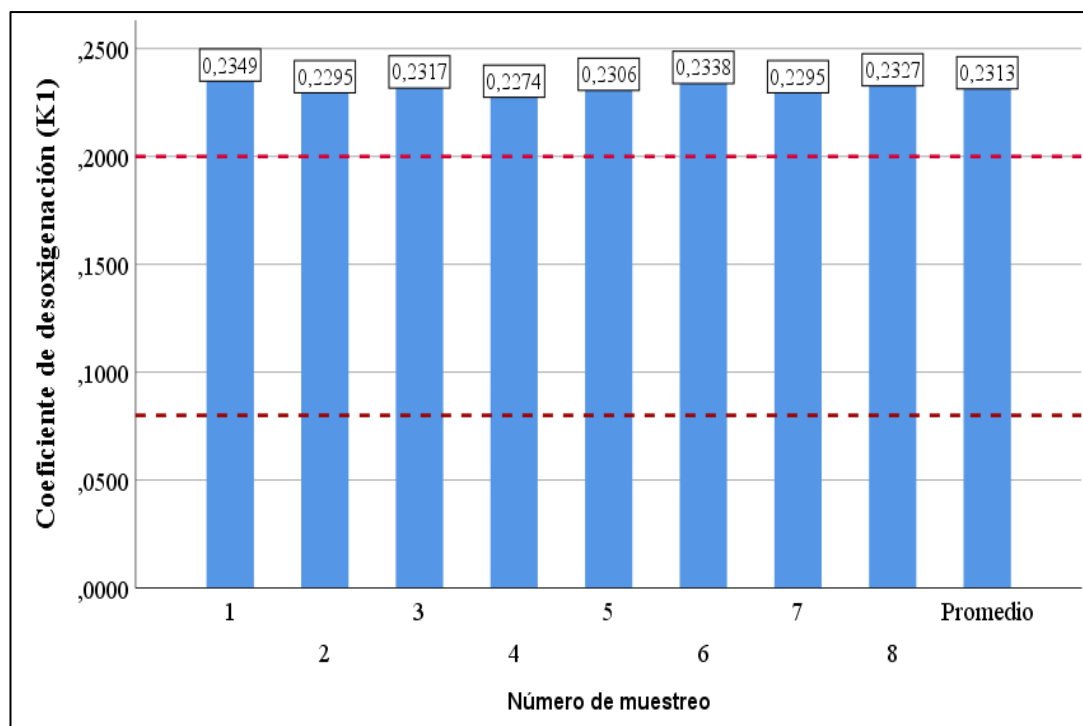


Figura 14. Coeficiente de desoxigenación ( $K_1 \text{ d}^{-1}$ ) en el segundo punto de muestreo.

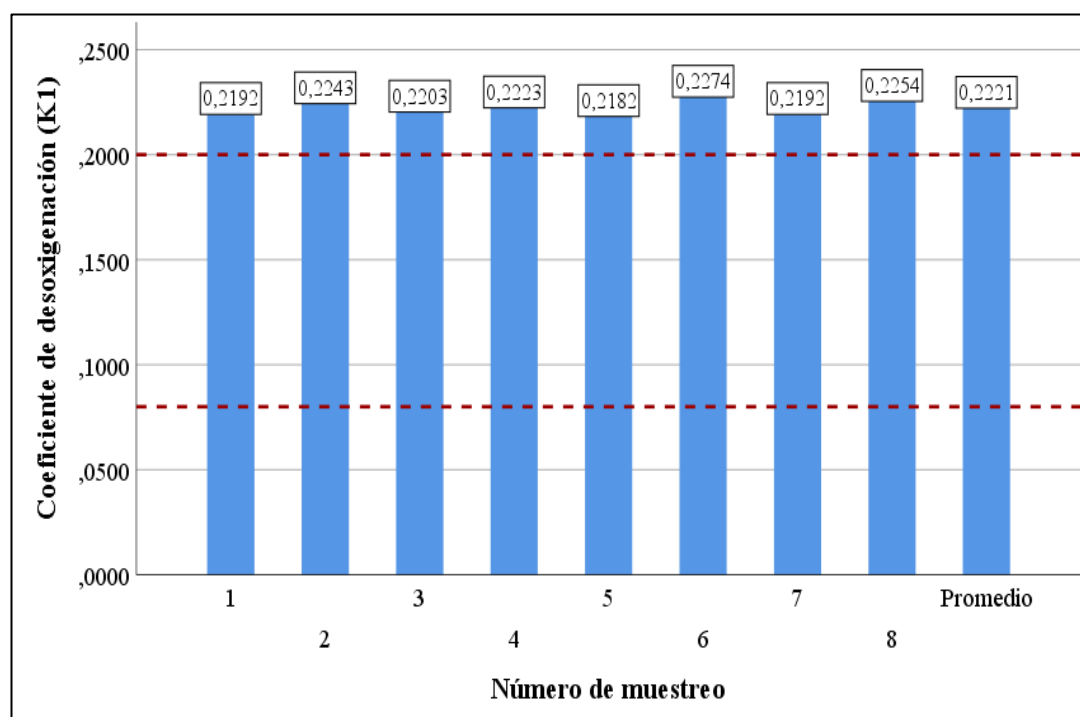
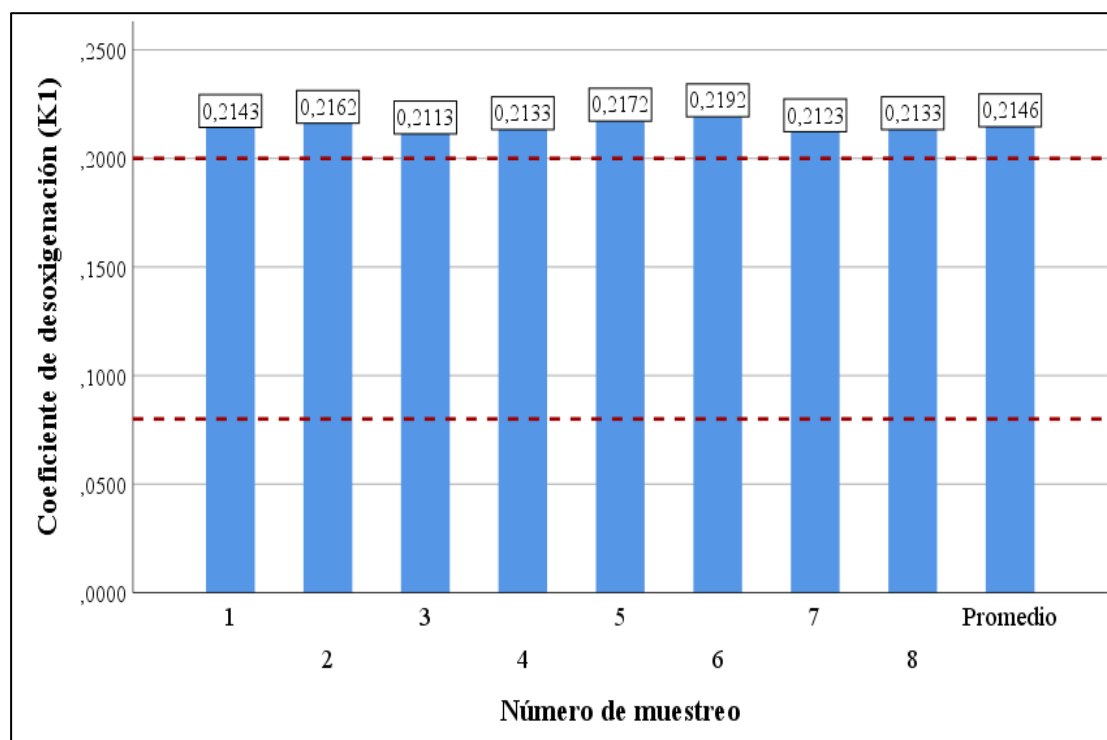


Figura 15. Coeficiente de desoxigenación ( $K_1 \text{ d}^{-1}$ ) en el tercer punto de muestreo.

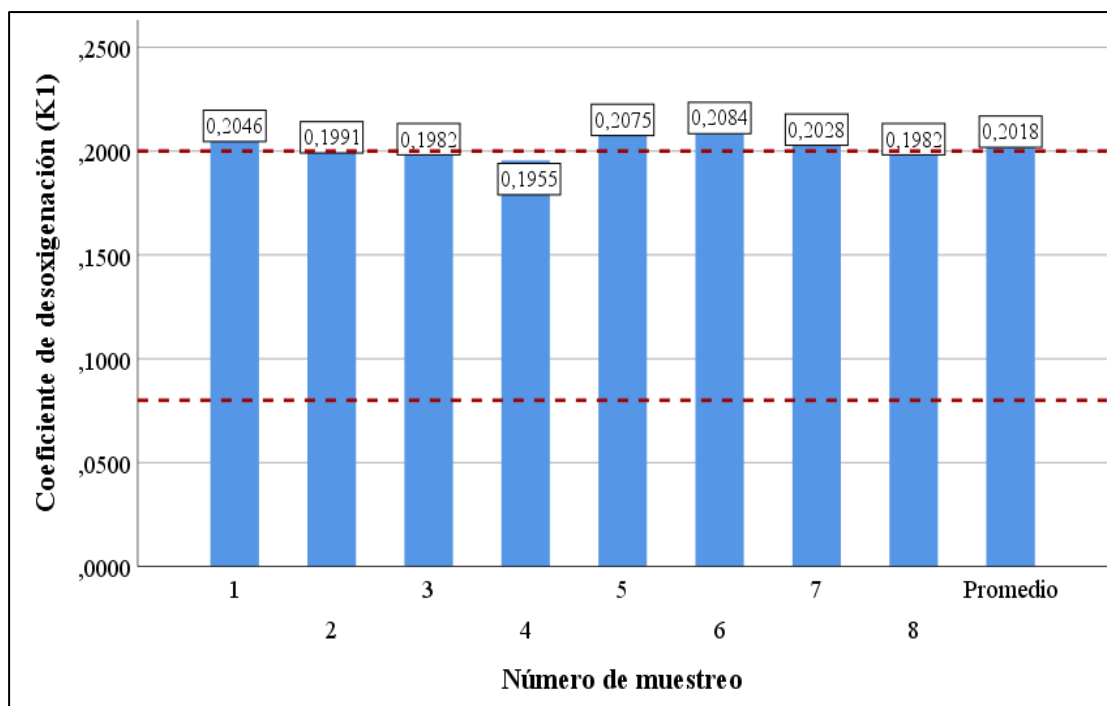
En el tercer punto de muestreo, se determinó el mayor valor para  $K_1 \text{ d}^{-1}$  en el sexto muestreo que fue de  $0,2274 \text{ d}^{-1}$ , encontrándose el menor valor de  $0,2182 \text{ d}^{-1}$  en el quinto muestreo, asimismo, se obtuvo un coeficiente de desoxigenación promedio de  $0,2221 \text{ d}^{-1}$ , por otro lado, de igual manera las líneas rojas representan el rango de

valores característicos de coeficientes de cursos de agua con aguas limpias, resultados que demuestran que ningún valor encontrado es característico de cursos de aguas limpias, siendo característicos de efluentes secundarios al igual que en los anteriores puntos, asimismo, los valores de  $K_1$  determinados se ven influenciados por la temperatura, dado a que a una mayor temperatura registrada se obtuvieron mayores valores de  $K_1$  y viceversa.



**Figura 16.** Coeficiente de desoxigenación ( $K_1$   $d^{-1}$ ) en el cuarto punto de muestreo.

En el cuarto punto de muestreo, se determinó el mayor valor para  $K_1$   $d^{-1}$  en el sexto muestreo que fue de  $0,2192$   $d^{-1}$ , encontrándose el menor valor de  $0,2113$   $d^{-1}$  en el tercer muestreo, asimismo, se obtuvo un coeficiente de desoxigenación promedio de  $0,2146$   $d^{-1}$ , por otro lado, de igual manera las líneas rojas representan el rango de valores característicos de coeficientes de cursos de agua con aguas limpias, resultados que demuestran que ningún valor encontrado es característico de cursos de aguas limpias, siendo característicos de efluentes secundarios al igual que en los anteriores puntos, asimismo, los valores de  $K_1$  determinados se ven influenciados por la temperatura, dado a que a una mayor temperatura registrada se obtuvieron mayores valores de  $K_1$  y viceversa.



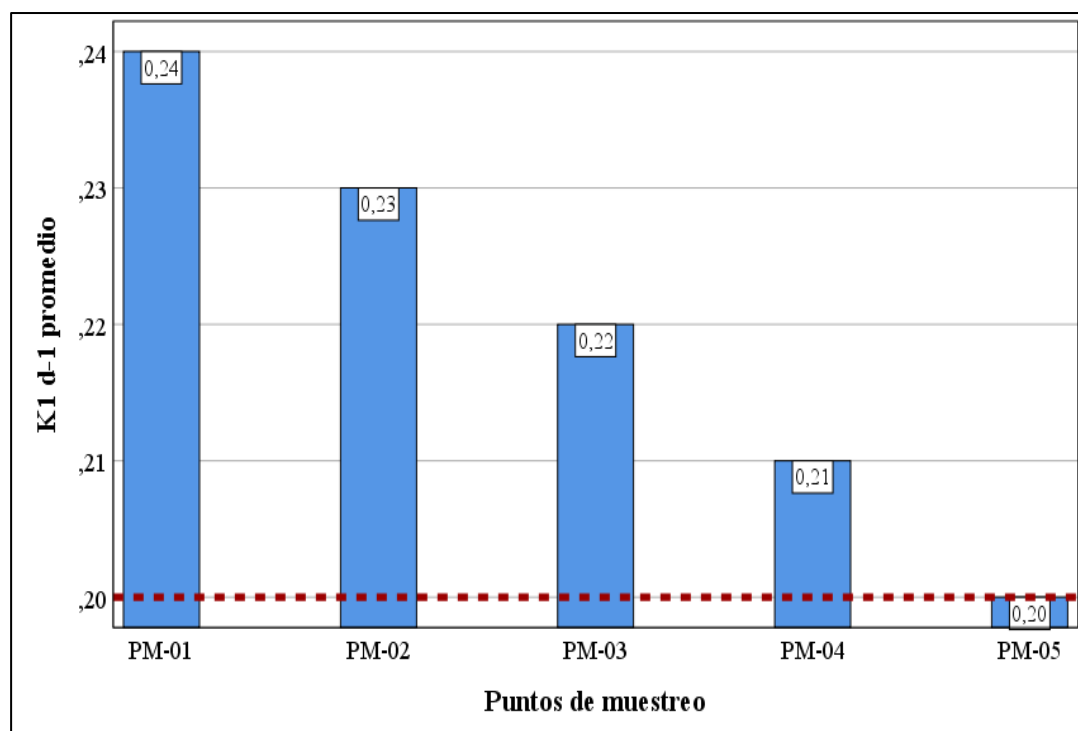
**Figura 17.** Coeficiente de desoxigenación ( $K_1$   $d^{-1}$ ) en el quinto punto de muestreo.

En el quinto punto de muestreo, se determinó el mayor valor para  $K_1$   $d^{-1}$  en el sexto muestreo que fue de  $0,2084$   $d^{-1}$ , encontrándose el menor valor de  $0,1955$   $d^{-1}$  en el cuarto muestreo, asimismo, se obtuvo un coeficiente de desoxigenación promedio de  $0,2018$   $d^{-1}$ , por otro lado, de igual manera las líneas rojas representan el rango de valores característicos de coeficientes de cursos de agua con aguas limpias, resultados que demuestran que seis valores encontrados son característico de cursos de aguas limpias, al igual que el promedio determinado, asimismo, los valores de  $K_1$  determinados se ven influenciados por la temperatura, dado a que a una mayor temperatura registrada se obtuvieron mayores valores de  $K_1$  y viceversa.

En la figura 18, se muestran los coeficientes de desoxigenación  $K_1$   $d^{-1}$  promedios de todos los puntos de muestreo, encontrándose un mayor valor de  $0,24$   $d^{-1}$  en el primer punto de muestreo ubicado en el punto de descarga de las aguas residuales tratadas, el menor valor determinado de  $0,20$   $d^{-1}$  fue en el último punto de muestreo ubicado a 200m aguas abajo del punto de descarga, la gráfica muestra un tendencia descendente de los coeficientes de desoxigenación conforme aumenta la distancia de la ubicación de los puntos de muestreo en la quebrada, por otro lado, la línea roja representa el rango de valores característicos de coeficientes de cursos de agua con aguas limpias que se encuentran entre  $0,08$  y  $0,20$   $d^{-1}$ , resultados que demuestran que por acción del



agua a los 200m en la quebrada el valor de  $K_1$  resulta ya ser característico de cursos de aguas con aguas limpias, siendo en los cuatro primeros puntos característico de efluentes secundarios.

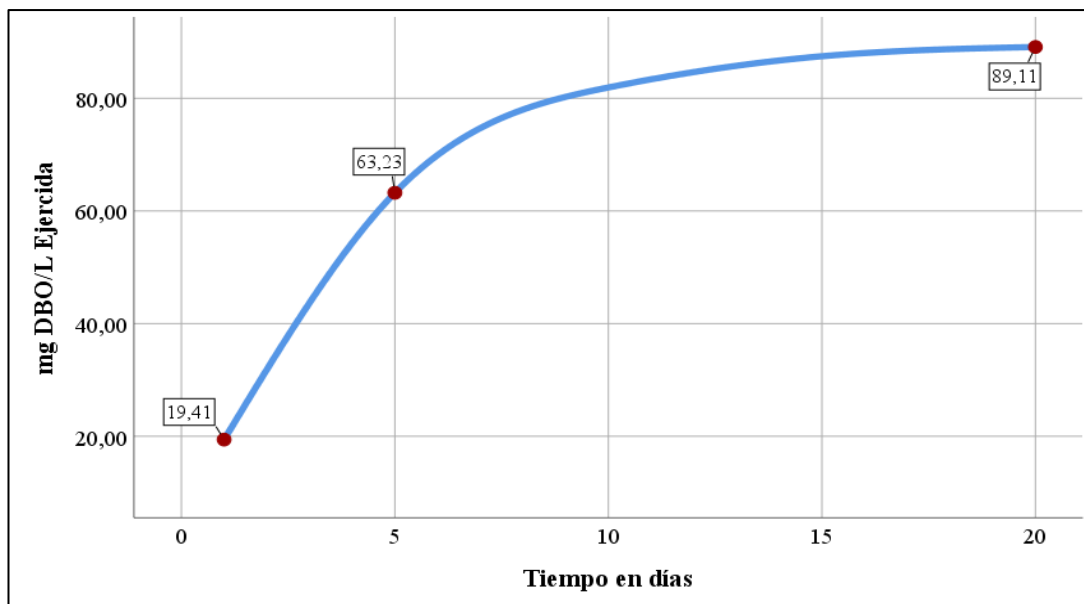


**Figura 18.** Coeficiente de desoxigenación ( $K_1$  d<sup>-1</sup>) promedios en los puntos de muestreo.

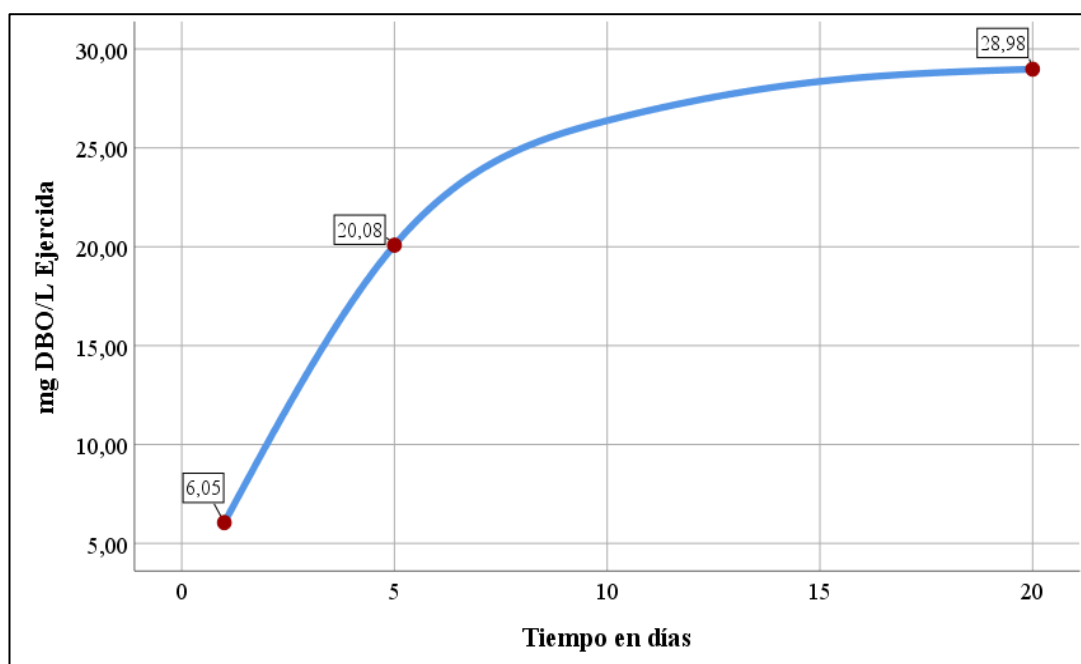
### 3.3. Determinar la demanda bioquímica de oxígeno ejercida en función de la demanda bioquímica remanente.

En base a los resultados de  $DBO_5$  remanente proporcionados por el laboratorio y de acuerdo a los promedios obtenidos para cada uno de los puntos de muestreo, se determinó la demanda bioquímica de oxígeno ejercida para 1, 5 y 20 días, cuyos resultados son presentados a continuación:

En la figura 19, se puede observar que la  $DBO$  ejercida, ósea el consumo de oxígeno en el primer punto de muestreo ubicado en el punto de descarga de aguas residuales tratadas a la quebrada, varía entre el día 1 al día 20 de 19,41 mg/L a 89,11 mg/L cuyo rango es de 69,70 mg/L entre ambos, siendo el día 1 donde la materia se oxido en 21,62%, 70,40% en el día 5 y en el día 20 la oxidación de la materia se completó en un 99,23%. La  $DBO_{última}$  estimada en el primer punto de muestreo fue de 89,80 mg/L.

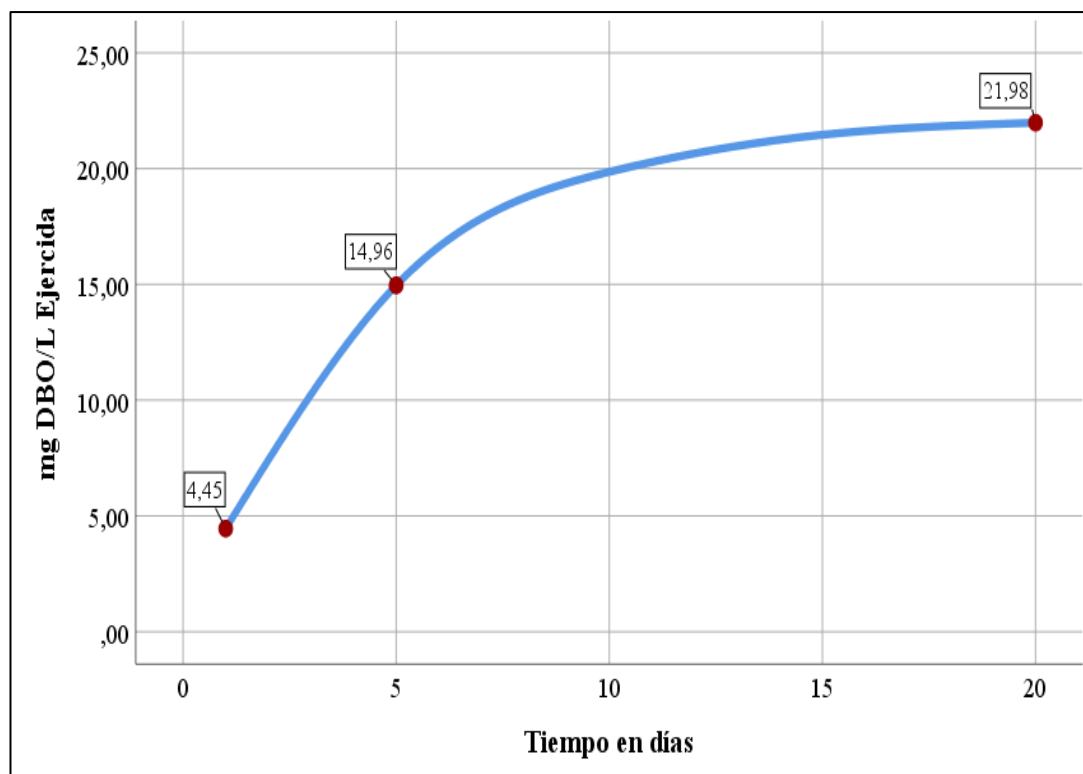


**Figura 19.** DBO ejercida en el primer punto de muestreo en 1, 5 y 20 días.



**Figura 20.** DBO ejercida en el segundo punto de muestreo en 1, 5 y 20 días.

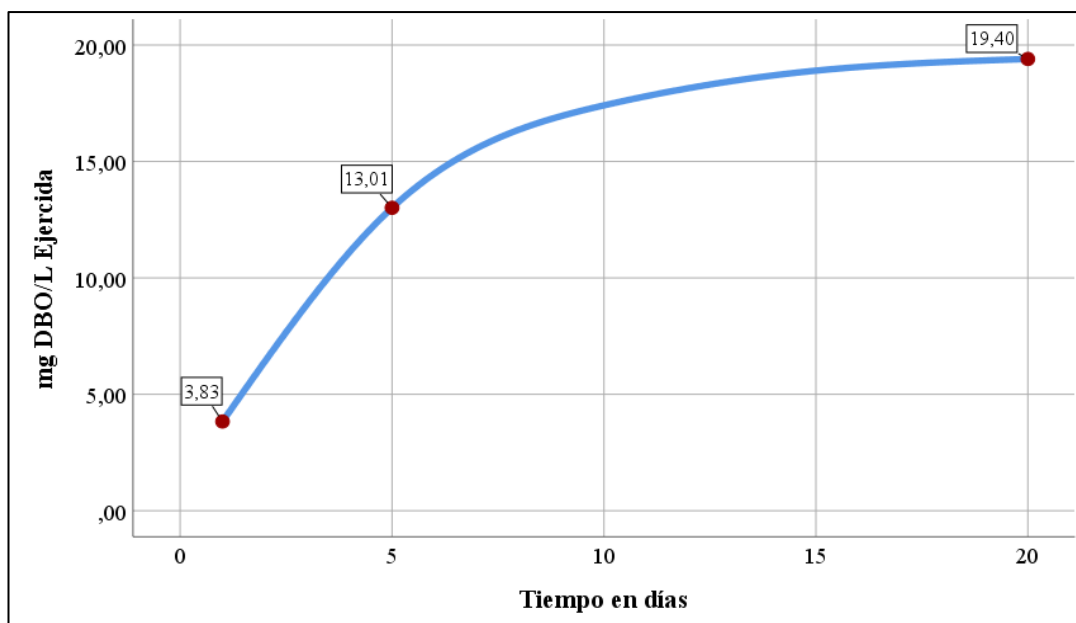
Se puede observar que la DBO ejercida, ósea el consumo de oxígeno en el segundo punto de muestreo ubicado 50 m aguas abajo del punto de descarga de aguas residuales tratadas a la quebrada, varía entre el día 1 al día 20 de 6,05 mg/L a 28,98 mg/L cuyo rango es de 22,93 mg/L entre ambos, siendo el día 1 donde la materia se oxido en 20,67%, 68,59% en el día 5 y en el día 20 la oxidación de la materia se completó en un 99,03%. La DBO<sub>última</sub> estimada en el segundo punto de muestreo fue de 29,27 mg/L.



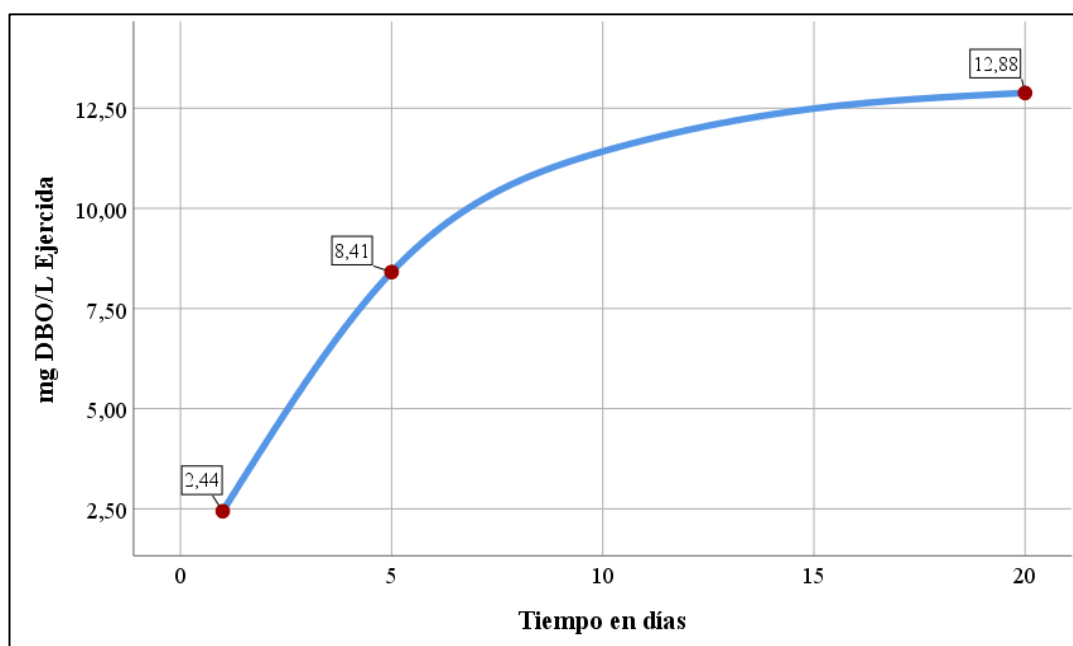
**Figura 21.** DBO ejercida en el tercer punto de muestreo en 1, 5 y 20 días.

Se puede observar que la DBO ejercida, ósea el consumo de oxígeno en el tercer punto de muestreo ubicado 100 m aguas abajo del punto de descarga de aguas residuales tratadas a la quebrada, varía entre el día 1 al día 20 de 4,45 mg/L a 21,98 mg/L cuyo rango es de 17,53 mg/L entre ambos, siendo el día 1 donde la materia se oxido en 20,03%, 67,29% en el día 5 y en el día 20 la oxidación de la materia se completó en un 98,95%. La  $DBO_{\text{última}}$  estimada en el tercer punto de muestreo fue de 22,24 mg/L.

En la figura 22, se puede observar que la DBO ejercida, ósea el consumo de oxígeno en el cuarto punto de muestreo ubicado 150 m aguas abajo del punto de descarga de aguas residuales tratadas a la quebrada, varía entre el día 1 al día 20 de 3,83 mg/L a 19,40 mg/L cuyo rango es de 15,57 mg/L entre ambos, siendo el día 1 donde la materia se oxido en 19,50%, 66,20% en el día 5 y en el día 20 la oxidación de la materia se completó en un 98,69%. La  $DBO_{\text{última}}$  estimada en el cuarto punto de muestreo fue de 19,66 mg/L.



**Figura 22.** DBO ejercida en el cuarto punto de muestreo en 1, 5 y 20 días.



**Figura 23.** DBO ejercida en el quinto punto de muestreo en 1, 5 y 20 días.

Se puede observar que la DBO ejercida, ósea el consumo de oxígeno en el quinto punto de muestreo ubicado 200 m aguas abajo del punto de descarga de aguas residuales tratadas a la quebrada, varía entre el día 1 al día 20 de 2,44 mg/L a 12,88 mg/L cuyo rango es de 10,44 mg/L entre ambos, siendo el día 1 donde la materia se oxido en 18,60%, 64,26% en el día 5 y en el día 20 la oxidación de la materia se completó en un 98,36%. La  $DBO_{\text{última}}$  estimada en el tercer punto de muestreo fue de 13,09 mg/L.

### 3.4. Discusión de resultados

Yustiani et al., (2018) determinaron en el río Rangkui en Nueva Zelanda valores de tasa de desoxigenación entre 0,14 y 0,41 por día, cuyos datos al ser comparados con la presente investigación muestran similitud debido a que la tasa de desoxigenación en el primer punto de muestre fue 0,24 d-1 último punto de muestreo fue de 0,20 d-1, de la misma manera, se encuentra semejanza entre los resultados de DBO última, encontrando el mencionado autor valores entre 8,53 y 70,64 mg/L y en la presente investigación se encontró valores entre 13,09 y 89,80 mg/L.

La quebrada Trancayacu a partir de los 200 m aguas abajo del punto de descarga tiene capacidad de auto purificarse, resultado que al ser analizado con lo encontrado por Rivera (2015) no se muestran similitudes, debido a que el mencionado autor, determinó que la distancia de influencia de los vertidos genero una media por tramo de 10 Km, que comparado con 3 Km por cada tramo, resulta que el río no presenta la capacidad de auto purificarse, necesitando una mayor longitud, resultado que en comparación a lo encontrado, se asume que se debe a otros factores como por ejemplo, caudal de descarga de vertidos y caudal del cuerpo de agua superficial.

Oblitas y Rengifo (2019) encontraron en su investigación que el parámetro de DBO5 en el cuerpo de agua superficial receptor de aguas residuales tratadas superó el estándar de calidad para agua, resultado que es afirmado con la presente investigación ya que se determinó el exceso del valor de 10,0 mg/L del estándar de calidad para agua hasta 150 m aguas abajo del punto de descarga, siendo mucho mayor en el primer punto de muestreo ubicado en el punto de descarga de las aguas residuales tratadas a la quebrada Trancayacu.

García (2018), refiere que a los 5 días la oxidación se completa en porcentajes de 60 a 70% y, en tanto, a los 20 días la oxidación de la materia se completa entre un 95 a 99%, información que es validada con lo encontrado en la investigación, ya que se determinó que en los 5 puntos de muestreo, a los 5 días la oxidación de la materia se completó entre el 64,26 y 70,40% y a los 20 días la oxidación de la materia se completó entre el 98,36 y 99,23% en último y primer punto de muestreo respectivamente.

## CONCLUSIONES

Se concluye que a mayores distancias con respecto al punto de descarga de las aguas residuales tratadas por la PTAR en la quebrada Trancayacu, las concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno disminuyen, encontrándose en la presente investigación concentraciones mayores en el punto de descarga donde se determinó una concentración promedio de 63,2 mg/L, a 50m del punto de descarga 20,1 mg/L, a 100m 15,0 mg/L, 13,0 mg/L a 150m del punto de descarga y por último, 8,4 mg/L en el último punto de muestreo ubicado a 200m del punto de descarga; asimismo, al comparar los resultados con los estándares de calidad ambiental se concluye que solo la concentración promedio del último punto no excede los 10,0 mg/L establecidos.

Se determinó que a mayores temperaturas se presentan mayores coeficientes de desoxigenación  $K_1$  y viceversa, existiendo de esta manera una relación directamente proporcional entre ambos, encontrándose en el primer punto de muestreo ubicado en el punto de descarga de las aguas residuales tratadas un  $K_1$  promedio de  $0,24 \text{ d}^{-1}$ , en tanto, el menor valor determinado fue de  $0,20 \text{ d}^{-1}$  en el quinto o último punto de muestreo ubicado a 200 m aguas abajo del punto de descarga, resultados que al ser analizados con lo de los otros puntos de muestreo nos permiten concluir que conforme aumenta la distancia en la quebrada con respecto al punto de descarga, los coeficientes de desoxigenación van disminuyendo por acción propia del agua de la quebrada, resultando en el último punto de muestreo el valor de  $K_1$  característico de cursos de aguas con aguas limpias, a diferencia de los cuatro primeros puntos donde los valores de  $K_1$  son característicos de efluentes secundarios.

En los cinco puntos de muestreo estudiados se determinó que, en el primer día, la materia se oxido entre el 18,60% y 21,62% en el último y primer punto de muestreo, respectivamente, en tanto, a los 5 días la materia se oxido entre el 64,26% en el último punto y 70,40% en el primer punto, y por último, a los 20 días, la oxidación de la materia se completó entre el 98,36% y 99,23% en el último y primer punto de muestreo, asimismo, se determinó que la DBO última determinada fue mayor en el primer punto con 89,80 mg/L y la DBO última menor se determinó en el quinto o último punto de muestreo cuyo valor fue de 13,09 mg/L.

## RECOMENDACIONES

Recomendar a la Autoridad Nacional del Agua, la evaluación y fiscalización permanente con resultados de ensayos de laboratorio, acerca de los vertimientos de aguas residuales tratadas a cuerpos de aguas superficiales.

Se recomienda a la Autoridad Nacional del Agua, el establecimiento de normativa específica sobre las características que debe cumplir un cuerpo receptor de aguas residuales.

Se recomienda a la municipalidad distrital de Calzada, el mantenimiento permanente de la planta de tratamiento de aguas residuales, a fin de garantizar el cumplimiento de los límites máximos permisibles.

Se recomienda a investigadores hacer la evaluación de la cinética de desoxigenación en época de estiaje, para comparar resultados y tener una mejor aproximación de datos en ambas temporadas (máximas avenidas y estiaje).

A los docentes y estudiantes de la escuela de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, recomendar el desarrollo de investigaciones para ampliar el ámbito de evaluación, logrando con ello contribuir científicamente para el conocimiento del público en general y autoridades, para la pronta implementación de estrategias para la reducción de los impactos en las aguas superficiales, ocasionadas por las descargas de aguas residuales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVA, G y ROJAS, J. Estimación del déficit de oxígeno disuelto usando el modelo Streeter y Phelps en la cuenca baja del río Moche, 2019. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/43568>
- ARCHE, A. Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Consejo superior de investigaciones científicas, Madrid, 2010. ISBN: 978-84-00-09146-3.
- BENJUMEA, C. Determinación de coeficientes de degradación de materia orgánica en el río Negro (Municipio de Rionegro, Colombia). Revista Bionatura, 3(1), 537–543. 2018. <https://doi.org/10.21931/RB/2018.03.01.10>
- BENÍTEZ, G. Análisis y modelización de la inactivación de escherichia coli en aguas residuales. (En línea). Consultado 15 febrero. 2013. Disponible en: <http://mail.conacyt.gov.py/proniii/2955172.pdf>
- BOLUDA, B. Modelización de vertidos de aguas residuales en sistemas fluviales. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Alicante. Francia, 2011.
- CARRASCO, L. Modelamiento y simulación de los procesos de desoxigenación y reoxigenación de los cuerpos de agua por presencia de carga orgánica. 2020. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/5130>
- CALDERON, J. Indicadores ambientales. 2004. [En línea]: Ideam, (<http://www.ideam.gov.co/indicadores/calidad5.htm>, 22 Dic. 2008).
- CRITES, R. Y TCHOBANOGLOUS, G. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Edit. Mc Graw Hill. Colombia, 2000.
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos. Estudio sobre protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos. Mayo, 2018. [https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/Informes/Especiales/ESTUDIO\\_RIOS\\_LA\\_GOS\\_ACUIFEROS.pdf](https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/Informes/Especiales/ESTUDIO_RIOS_LA_GOS_ACUIFEROS.pdf)
- CRUZ, X. Identificación y diagnóstico de los puntos de vertimientos de las aguas residuales de la ciudad de Huánuco. Diresa Huánuco, 1–9. 2013. <http://www.diresahuanuco.gob.pe/SAMBIENTAL/2013/PLANAGUA.pdf>
- DÍAZ, D. Caracterización e impacto de la descarga de aguas residuales vertidas en el río San Lucas zona urbana de Cajamarca. 2019. <http://hdl.handle.net/11537/22177>

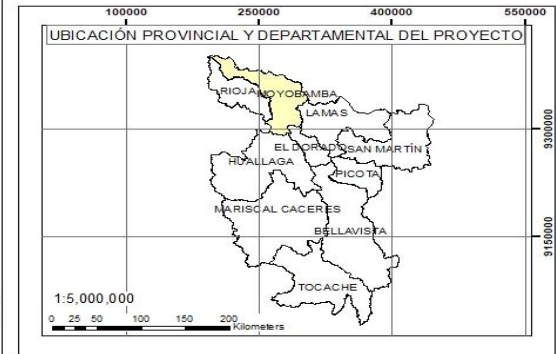
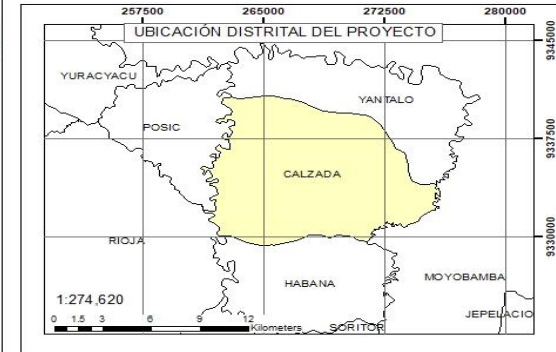
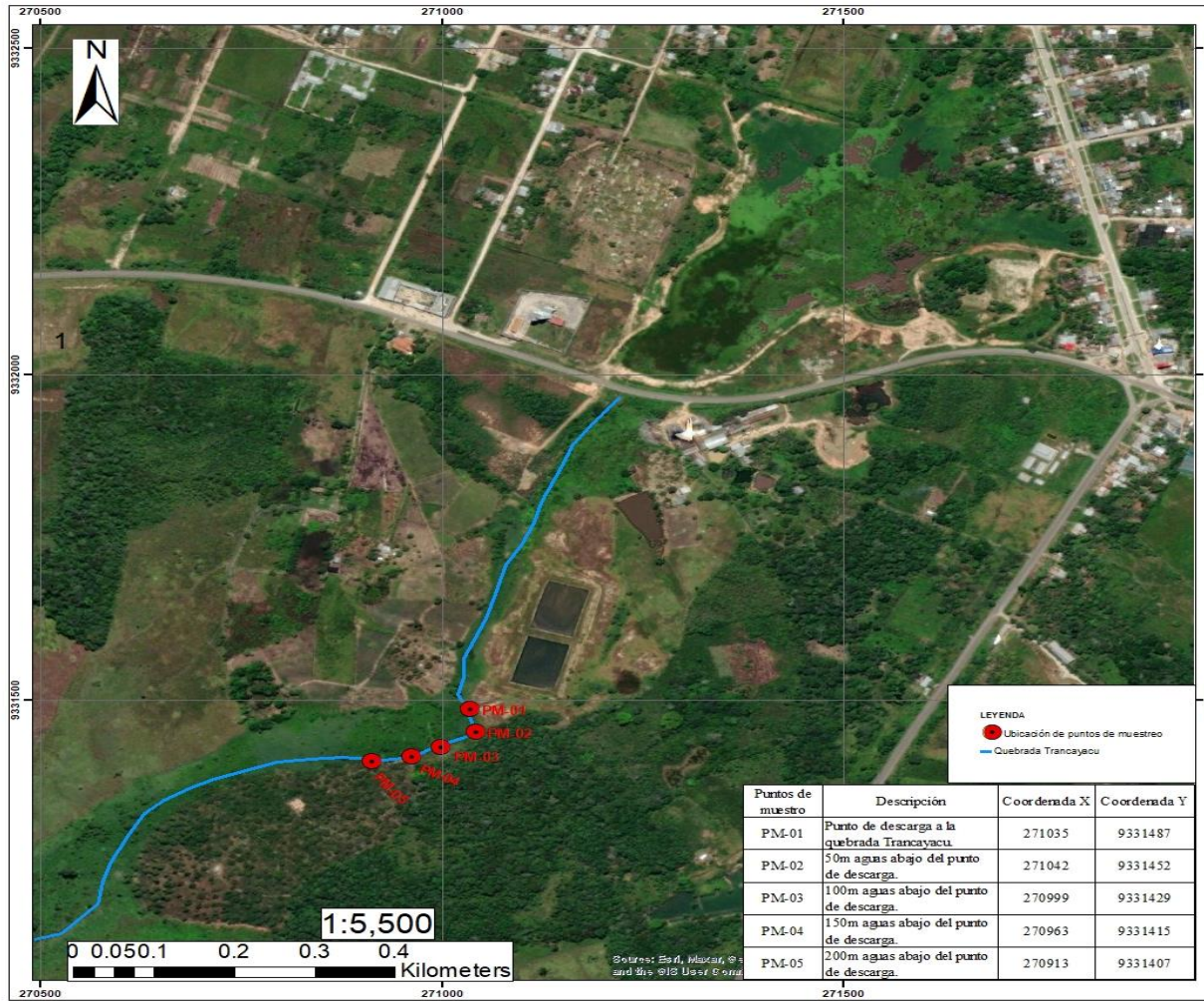


- DÍAZ, G. Determinación de la calidad del agua del río Naranjos mediante el uso de los coeficientes cinéticos de auto depuración, distrito de Pardo Miguel – San Martín, 2017. Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Moyobamba - 2018.
- GARCÍA, J. Diferencia DBO ejercida y DBO remanente. Cálculo de la DBO<sub>5</sub>. El blog de los lixiviados. <https://lixiviados.wordpress.com/2018/09/01/diferencia-dbo-ejercida-y-dbo-remanente-calculo-de-la-dbo5/>
- GIL, Manuel. Depuración de aguas residuales: Modelización de procesos de lodos activos. Consejo superior de investigaciones científicas, Madrid, 2006. ISBN: 84-00-08446-2.
- GONZÁLEZ, M. Y GUTIÉRREZ, J. Método gráfico para la evaluación de la calidad microbiológica de las aguas recreativas, Centro Habana, CIP 10300, Cuba - 2005.
- LEY 29338. Ley de recursos hídricos [En línea]: (<http://www.ana.gob.pe/>, 30 de marzo del 2009).
- LÓPEZ, Patricio. Manual de evaluación de impacto ambiental de actividades rurales. 2016.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Libro blanco del agua en España. 2000. I.S.B.N.: 84-8320-128-3. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/spa192539.pdf>
- MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. Normas de Saneamiento. Norma OS 090. 2007. [http://www.construccion.org.pe/normas/rne2009/rne2006/files/titulo2/03\\_OS/RNE2006\\_OS\\_090.pdf](http://www.construccion.org.pe/normas/rne2009/rne2006/files/titulo2/03_OS/RNE2006_OS_090.pdf)
- OBLITAS, K., y RENGIFO, J. Evaluación de la calidad de efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales municipales de la localidad de Awajún, Rioja – San Martín. 2019.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2017. Aguas residuales, el recurso desaprovechado. Paris, Francia, 2017.
- OSINA, M. R. Evaluación de la calidad de las aguas del río Katari, La Paz, Bolivia, mediante un modelo matemático. Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolivia, 2011.

- RAFFO, Eduardo y RUIZ, Lizama. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial* 17(1): 71-80, 2014, UNMSM ISSN: 1560-9146.
- REYNOLDS, K. Tratamiento de aguas residuales en latinoamérica. *Agua Latinoamérica*, 0(0), 1. 2002. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2007/10/Tratamiento-aguas-residuales-Latinoamerica.pdf>
- RIVERA, J. Evaluación de la cinética de oxidación y remoción de materia orgánica en la autopurificación de un río de montaña. *Dyna*, 82(191), 183–193. 2015.
- ROLDÁN, Gabriel y RAMIRÉZ, John. *Fundamentos de limnología neotropical*. 2da edición, agosto de 2008. ISBN: 978-958-714-144-3.
- SALAZAR, Á. *Contaminación de recursos hídricos modelos y control*. Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia AINSA, Medellín, 1984.
- SÁNCHEZ, Oscar., HERZIG, Mónica., PETERS, Eduardo., MÁRQUEZ, Roberto y ZAMBRANO, Luis. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. 2007.
- SETTE, Rubens. *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté, S. A., 1996. ISBN: 84-291-7975-5.
- SIERRA, Carlos. *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. (1a ed.) Ediciones de la U. Universidad de Medellín, Medellín, Colombia, 2011.
- SOLÍS, A. *Metodología para determinar las constantes de desoxigenación, remoción de DBO y reoxigenación en una corriente*, México, 1977.
- VON, M. *Introducción a la calidad del agua y al tratamiento de aguas residuales*. 2012.
- WRIGHT Y MCDONELL. *Determinación de los coeficientes de oxigenación y desoxigenación para la curva de comportamiento*. 1979.
- YUSTIANI, Y. M., PRADIKO, H., & AMRULLAH, R. H. The study of deoxygenation rate of Rangku River water during dry season. *International Journal of GEOMATE*, 15(47), 164–169. 2018. <https://doi.org/10.21660/2018.47.28822>

**ANEXOS**

### Anexo 1. Ubicación de área de estudio y puntos de muestreo



PROYECTO:			
"EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE LA DE SOXIGENACIÓN PRODUCIDA POR DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN LA QUEBRADA TRANCAYACU"			
MAPA:			
"UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO Y PUNTOS DE MUESTREO"			
UBICACIÓN:		PROVINCIA:	
DISTRITO: CALZADA		MOJOBAMBA	
		REGIÓN: SAN MARTÍN	
ESCALA:		TECISTA:	
INDICADA		CHRISTIAN BARNARD LÓPEZ CRUZ	
PROYECCIÓN/UTM:		ASESOR:	
UTM/WGS84-18S		ING. M. SC. ALFONSO ROJAS BARDALEZ	
MAPA N°:			01
FECHA:			MAY-2022



## Anexo 2. Registro fotográfico



**Fotografía 1.** Recolección de muestras.



**Fotografía 2.** Llenado de frascos con muestra.



**Fotografía 3.** Rotulado de frascos de muestras.



**Fotografía 4.** Llenado de cadena de custodia.



**Fotografía 5.** Equipo de medición de temperatura in situ.



**Fotografía 6.** Muestras en cooler para su envío a laboratorio.

# Evaluación de la cinética de la desoxigenación producida por descarga de aguas residuales en la quebrada Trancayacu

*por* Christian Barnard López Cruz

---

**Fecha de entrega:** 13-jul-2023 12:01p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2130643086

**Nombre del archivo:** ING\_SANITARIA\_-\_Christian\_Barnard\_L\_pez\_Cruz\_1.docx (4.06M)

**Total de palabras:** 14141

**Total de caracteres:** 73380



# Evaluación de la cinética de la desoxigenación producida por descarga de aguas residuales en la quebrada Trancayacu

## INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[tesis.unsm.edu.pe](https://tesis.unsm.edu.pe)

Fuente de Internet

5%

2

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

5%

3

[repositorio.unsm.edu.pe](https://repositorio.unsm.edu.pe)

Fuente de Internet

2%

4

[documents.mx](https://documents.mx)

Fuente de Internet

1%

5

[es.slideshare.net](https://es.slideshare.net)

Fuente de Internet

1%

6

[repositorio.upsc.edu.pe](https://repositorio.upsc.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

7

[repositorio.udh.edu.pe](https://repositorio.udh.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

8

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

<1%