

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto de la variación de temperatura y el tiempo de  
tratamiento de agua residual municipal de  
Concepción, en la eficiencia biodepurativa de  
microorganismos benéficos - 2023**

Diana Vanessa Garcia Parejas

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

**A** : FELIPE GUTARRA MEZA  
Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Jose Vladimir Cornejo Tueros  
Asesor de tesis  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis  
**FECHA** : 16 de marzo 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "EFECTO DE LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y EL TIEMPO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL DE CONCEPCIÓN, EN LA EFICIENCIA BIODEPURATIVA DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS - 2023", perteneciente a la estudiante DIANA VANESSA GARCIA PAREJAS, de la E.A.P. de INGENIERIA AMBIENTAL; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17% de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

● Filtro de exclusión de bibliografía

SI  N

● Filtro de exclusión de grupos de palabras menores

SI  N

(Nº de palabras excluidas: 0)

● Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante

SI  N

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

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



---

Jose Vladimir Cornejo Tueros  
Asesor de tesis

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, DIANA VANESSA GARCIA PAREJAS, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 48557805, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "EFECTO DE LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y EL TIEMPO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL DE CONCEPCIÓN, EN LA EFICIENCIA BIODEPURATIVA DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS - 2023", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

19 de marzo de 2024.



---

Diana Vanessa Garcia Parejas

DNI. No. 48557805

# EFFECTO DE LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y EL TIEMPO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL DE CONCEPCIÓN, EN LA EFICIENCIA BIODEPURATIVA DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS - 2023

## INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	2%
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
5	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1%
7	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

8

Fuente de Internet

<1 %

9

Submitted to uncedu

Trabajo del estudiante

<1 %

10

prezi.com

Fuente de Internet

<1 %

11

qdoc.tips

Fuente de Internet

<1 %

12

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

13

worldwidescience.org

Fuente de Internet

<1 %

14

Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes

Trabajo del estudiante

<1 %

15

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

16

patents.google.com

Fuente de Internet

<1 %

17

repositorio.unp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

18

Diego Moitre. "Maximum Likelihood Estimation of Variance Components in a Competitive Electricity Market", IEEE Latin America Transactions, 12/2008

<1 %

---

19	<a href="http://documat.unirioja.es">documat.unirioja.es</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://www.grafiati.com">www.grafiati.com</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://bibliotecadigital.univalle.edu.co">bibliotecadigital.univalle.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://repositorio.ucss.edu.pe">repositorio.ucss.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil Trabajo del estudiante	<1 %
25	<a href="http://doku.pub">doku.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://pdfcookie.com">pdfcookie.com</a> Fuente de Internet	<1 %
27	JADER RODRIGUEZ CORTINA. "CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INTENSIFICACION DEL PROCESO DE SECADO DE TOMILLO (Thymus Vulgaris L.): APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS DE POTENCIA Y SECADO INTERMITENTE", Universitat Politecnica de Valencia, 2013 Publicación	<1 %

---

28 Submitted to Universidad Católica de Santa María <1 %  
Trabajo del estudiante

---

29 repositorio.upla.edu.pe <1 %  
Fuente de Internet

---

30 Submitted to Escuela Politecnica Nacional <1 %  
Trabajo del estudiante

---

31 es.scribd.com <1 %  
Fuente de Internet

---

32 repositorio.unu.edu.pe <1 %  
Fuente de Internet

---

33 sia.juntaex.es <1 %  
Fuente de Internet

---

34 www.clubensayos.com <1 %  
Fuente de Internet

---

35 core.ac.uk <1 %  
Fuente de Internet

---

36 pidcb.umich.mx <1 %  
Fuente de Internet

---

37 repositorio.lamolina.edu.pe <1 %  
Fuente de Internet

---

38 repositorio.udh.edu.pe <1 %  
Fuente de Internet

---



39

FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES  
SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "PAMA para  
la Planta Industrial de Transformación,  
Industrialización y Comercialización de Palma  
Aceitera y sus Derivados-IGA0010033", R.D.  
N°428-2017-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI,  
2020

Publicación

&lt;1 %

40

Rose Adeline Callata Chura, Nancy Tania  
Manani Ccama, Richard Davis Chavez Molina,  
Juan Eduardo Vigo Rivera. "Depuración de  
aguas residuales domésticas con  
Microorganismos Eficientes en condiciones  
atoplánicas en sistema mixto (anaerobio-  
aeróbico)", UNACIENCIA, 2021

Publicación

&lt;1 %

41

[biologia.eia.edu.co](http://biologia.eia.edu.co)

Fuente de Internet

&lt;1 %

42

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

Fuente de Internet

&lt;1 %

43

[repositorio.upeu.edu.pe](http://repositorio.upeu.edu.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

44

[ri2.bib.udo.edu.ve:8080](http://ri2.bib.udo.edu.ve:8080)

Fuente de Internet

&lt;1 %

45

[www.odhag.org.gt](http://www.odhag.org.gt)

Fuente de Internet

&lt;1 %

46	<a href="http://www.pumagua.unam.mx">www.pumagua.unam.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
47	<a href="http://www.repositorio.unicamp.br">www.repositorio.unicamp.br</a> Fuente de Internet	<1 %
48	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 14 (1998)", Brill, 2001 Publicación	<1 %
49	Submitted to Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
50	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
51	<a href="http://dspace.ucuenca.edu.ec">dspace.ucuenca.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
52	<a href="http://link.springer.com">link.springer.com</a> Fuente de Internet	<1 %
53	<a href="http://publications.iadb.org">publications.iadb.org</a> Fuente de Internet	<1 %
54	<a href="http://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
55	<a href="http://repositorio.udec.cl">repositorio.udec.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
56	<a href="http://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

57	<a href="https://repositorio.unsm.edu.pe">repositorio.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
58	<a href="https://repositorio.usm.cl">repositorio.usm.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
59	<a href="https://www.amazon.com">www.amazon.com</a> Fuente de Internet	<1 %
60	<a href="https://www.casi.com.ar">www.casi.com.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
61	<a href="https://www.concyt.gob.gt">www.concyt.gob.gt</a> Fuente de Internet	<1 %
62	<a href="https://www.fi.z-pdf.ru">www.fi.z-pdf.ru</a> Fuente de Internet	<1 %
63	<a href="https://www.ief.es">www.ief.es</a> Fuente de Internet	<1 %
64	<a href="https://www.monografias.com">www.monografias.com</a> Fuente de Internet	<1 %
65	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 1 (1985)", Brill, 1987 Publicación	<1 %
66	Clara Bretas Alvim. "Caracterización de microplásticos en aguas naturales y residuales, y su influencia y separación en procesos biológicos de depuración", Universitat Politecnica de Valencia, 2022	<1 %

67

E García-Luque, I Sáenz, I Riba, TA Del-Valls, JM Forja, A Gómez-Parra. "Heavy metals at the Guadalquivir estuary", Ciencias Marinas, 2003

Publicación

<1 %

---

68

Emilio José García Taengua. "Bond of Reinforcing Bars to Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC)", Universitat Politecnica de Valencia, 2013

Publicación

<1 %

---

69

[apirepositorio.unh.edu.pe](http://apirepositorio.unh.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

70

[bilmescongress.com](http://bilmescongress.com)

Fuente de Internet

<1 %

---

71

[cybertesis.unmsm.edu.pe](http://cybertesis.unmsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

72

[de.slideshare.net](http://de.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1 %

---

73

[infoteca.semarnat.gob.mx](http://infoteca.semarnat.gob.mx)

Fuente de Internet

<1 %

---

74

[issuu.com](http://issuu.com)

Fuente de Internet

<1 %

---

75

[repositorio.iberopuebla.mx](http://repositorio.iberopuebla.mx)

Fuente de Internet

<1 %

---

76	<a href="http://repositorio.uap.edu.pe">repositorio.uap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
77	<a href="http://repositorio.ucp.edu.pe">repositorio.ucp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
78	<a href="http://repositorio.unapiquitos.edu.pe">repositorio.unapiquitos.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
79	<a href="http://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
80	<a href="http://repositorio.uniautonoma.edu.co">repositorio.uniautonoma.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
81	<a href="http://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
82	<a href="http://repository.uamerica.edu.co">repository.uamerica.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
83	<a href="http://repository.usta.edu.co">repository.usta.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
84	<a href="http://ringtv.bg">ringtv.bg</a> Fuente de Internet	<1 %
85	<a href="http://uvadoc.uva.es">uvadoc.uva.es</a> Fuente de Internet	<1 %
86	<a href="http://www.etcetera.com.mx">www.etcetera.com.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
87	<a href="http://www.etsia.upm.es">www.etsia.upm.es</a> Fuente de Internet	<1 %

88

[www.fitchvenezuela.com](http://www.fitchvenezuela.com)

Fuente de Internet

&lt;1 %

89

[www.floridacancertrials.com](http://www.floridacancertrials.com)

Fuente de Internet

&lt;1 %

90

Daniel Ortiz, María José Anrango, Héctor Pérez, Lizeth Chela, Gabriela Villagrán, Leonardo Fernandez. "Uso de microorganismos eficientes para la depuración de contaminantes orgánicos en aguas residuales urbanas", Ecuadorian Science Journal, 2021

Publicación

&lt;1 %

91

Carmen María Sánchez Arévalo. "Implementación de tecnología de membranas para la valorización de los compuestos fenólicos presentes en las aguas residuales de la industria de producción de aceite de oliva", Universitat Politecnica de Valencia, 2023

Publicación

&lt;1 %

92

[doczz.es](http://doczz.es)

Fuente de Internet

&lt;1 %

93

[idoc.pub](http://idoc.pub)

Fuente de Internet

&lt;1 %

94

[repositorio.unheval.edu.pe](http://repositorio.unheval.edu.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

95 [www.aqualex.org](http://www.aqualex.org) <1 %  
Fuente de Internet

---

96 [repositorio.unsa.edu.pe](http://repositorio.unsa.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet

---

97 [repositorio.urp.edu.pe](http://repositorio.urp.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet

---

98 [deporte.ugr.es](http://deporte.ugr.es) <1 %  
Fuente de Internet

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestro Creador divino, quien vierte sus bendiciones en cada momento de nuestras vidas.

Al Mg. Vladimir Cornejo Torres, por cada momento de experiencia y sabiduría expresada en su asesoría para la culminación del presente trabajo de investigación.



## **DEDICATORIA**

A mis padres Antenor y Sabina, por haberme inculcado fortaleza y lograr mis objetivos, quienes hoy gozan la gloria de Dios derramando sus bendiciones a nuestra familia.

A mi hermano Iván, por su destreza y experiencia en el ámbito laboral.

A mis hermanas(os), por su confianza puesta en mí y apoyo absoluto.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	x
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	12
1.1. Planteamiento y formulación del problema	12
1.1.1. Formulación del problema	12
1.1.2. Planteamiento del problema	13
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo general	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
1.3. Justificación e importancia	14
1.4. Hipótesis	15
1.4.1. Hipótesis general	15
1.4.2. Hipótesis específicas	15
1.4.3. Operacionalización de variables	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes de la investigación	18
2.1.1. Internacionales	18
2.1.2. Nacionales	19
2.1.3. Regionales	20
2.2. Bases teóricas	21
2.2.1. Aguas residuales: Definición y origen	21
2.2.2. Principales parámetros de calidad del AR	25
2.2.3. Tratamiento de AR	26
2.2.4. Los microorganismos que participan en el proceso de depuración de aguas residuales	33
2.2.5. Diseños experimentales	36
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	39
3.1. Método y alcance de la investigación	39
3.1.1. Método general	39

3.1.2.	Tipo de investigación	39
3.1.3.	Nivel de investigación	39
3.2.	Diseño de la investigación	40
3.3.	Población y muestra	40
3.1.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
3.1.1.	Técnicas e instrumentos	43
3.1.2.	Equipamiento y materiales	43
3.3.1.	Procedimientos	44
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		46
4.1.	Características físicas y químicas de las muestras de agua residual	46
4.2.	Resultados de pruebas de depuración	47
4.3.	Evaluación estadística de la significancia de los efectos	53
4.4.	Discusión de resultados	54
CONCLUSIONES		57
RECOMENDACIONES		58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		59
ANEXOS		62
ANEXO N°1: Fotografías de la PTAR de Concepción		62
ANEXO N°2: Fotografías de la colección de muestras de aguas residual		63
ANEXO N°3: Fotografías de la medición de parámetros temperatura, pH, conductividad eléctrica		64
ANEXO 4: Fotografías del bio reactor en la etapa de carga y operación		66
ANEXO N°5: Certificados de análisis de muestras de agua residual		70
ANEXO N°6: Certificados de análisis de producto ENVIRONOC 301 M.A.R.		75
ANEXO N°7: Certificados de calibración de instrumentos		76
ANEXO N°8: Mapa de ubicación del punto donde se tomó la muestra de agua residual		80
ANEXO 9: Matriz de consistencia – proyecto de investigación		81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definición conceptual y operacional de variables con respectivas dimensiones e indicadores .....	17
Tabla 2. Constituyentes del agua residual domestica.....	23
Tabla 3 Estrategia para las pruebas experimentales.....	40
Tabla 4. Características de calidad de muestras de agua residual .....	46
Tabla 5. Datos de depuración aerobia a temperatura de 20 °C .....	47
Tabla 6. Datos de depuración aerobia cuando la temperatura sufre variación.....	49
Tabla 7. Disminución de la DQO en los ensayos a temperatura de 20 °C y cuando la temperatura varía .....	51
Tabla 8. Eficiencias de depuración a 20 °C y cuando la temperatura del agua residual varía. ....	52
Tabla 9. Resumen de resultados de análisis de varianza .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del origen y uso del agua .....	21
Figura 2. Vertiente de AR industriales .....	24
Figura 3. Método de determinación de DBO.....	26
Figura 4. Esquema del tratamiento de aguas residuales.....	27
Figura 5. Tanque de sedimentación.....	29
Figura 6. Prueba de jarras .....	30
Figura 7. Diagrama de un sistema de lodos activados .....	31
Figura 8. Sistemas de biodiscos .....	32
Figura 9. Etapas del tratamiento de AR .....	33
Figura 10. Esquema de una bacteria .....	36
Figura 11. Fases de diseño de experimentos.....	37
Figura 12. Fotografía satelital de la Planta de tratamiento de la zonal Concepción "Doris Mendoza" .....	42
Figura 13. Ubicación de la PTAR Concepción .....	43
Figura 14. Biorreactor aerobio para ensayos de biodepuración de agua residual .....	44
Figura 15. DQO vs Tiempo a temperatura de 20°C.....	48
Figura 16. Evolución de la temperatura del agua residual en el bioreactor con controlador programado a temperatura constante .....	48
Figura 17. DQO vs Tiempo – cuando la temperatura varía .....	49
Figura 18. Evolución de la temperatura del agua residual en bioreactor cuando el controlador fue desactivado (sin control de temperatura .....	50
Figura 19. Eficiencia de depuración en el tiempo, a temperatura de 20 °C .....	52
Figura 20. Eficiencia de depuración en el tiempo, con variación de temperatura. ....	53

## RESUMEN

La temperatura que tiene el agua residual durante el proceso de descontaminación biológica, juega un rol importante en el desarrollo y acción de los diversos microorganismos que intervienen en este proceso. Mantener constante la temperatura del agua residual durante el proceso de descontaminación biológica, a niveles de 20 a 25 °C, es lo apropiado, pero, conduce a incrementar los costos de operación en una estación depuradora de aguas. Por ello, la finalidad de este estudio fue evaluar el efecto de la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, en la eficiencia biodepurativa de microorganismos benéficos en un reactor batch. Para tal efecto, se emplearon datos cuantitativos obtenidos de experimentos de descontaminación biológica de muestras de agua residual procedentes del ingreso a la PTAR del distrito de Concepción. Los experimentos se llevaron a cabo en un biorreactor aerobio por lotes, en los que se inoculó microorganismos procedentes de un producto comercial denominado Biodyne. Se ha desarrollado experimentos a temperaturas de 20 °C (constante), y otro, a temperatura variable, según la variación natural del ambiente externo. El parámetro de calidad del agua residual adoptado como indicador del nivel de contaminación fue la demanda química de oxígeno. La observación de los ensayos fue realizada durante un periodo de 5 días. Después de este tiempo, la DQO de las muestras disminuyeron de 410 a 109.3 ppm cuando el proceso se llevó a cabo a temperatura constante y, de 430.7 a 153 ppm cuando había variabilidad de temperatura. La eficiencia lograda en el primer caso fue de 73.3 %, mientras que, en el segundo, 64.5%. Se observó que la eficiencia de depuración es menor cuando la temperatura es variable y, que, cuando el tiempo de tratamiento avanza, la eficiencia aumenta. Finalmente, se concluye que, la variación de temperatura durante el proceso de biodepuración y el tiempo de tratamiento ejercen un efecto significativo en la eficiencia depurativa de los microorganismos.

Palabras claves: eficiencia, depuración, agua residual, microorganismos

## ABSTRACT

The temperature of the wastewater during the biological decontamination process plays a significant role in the development and action of the various microorganisms involved in this process. Keeping the temperature of the wastewater constant during the biological decontamination process, at levels of 20 to 25 °C, is appropriate, but it leads to an increase in the operating costs of a wastewater treatment plant. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the effect of temperature variability during the biological decontamination of wastewater and the treatment time on the purification efficiency of beneficial microorganisms in a batch reactor. For this purpose, quantitative data obtained from biological decontamination experiments of wastewater samples from the inlet of the WWTP of the district of Concepción were used. The experiments were conducted in an aerobic batch bioreactor, in which microorganisms from a commercial product called Biodyne were inoculated. Experiments were conducted at a temperature of 20 °C (constant), and another at a variable temperature, according to the natural variation of the external environment. The wastewater quality parameter adopted as an indicator of the level of contamination was the chemical oxygen demand. The observation of the tests was conducted over a period of 5 days. After this time, the COD of the samples decreased from 410 to 109.3 ppm when the process was conducted at constant temperature and from 430.7 to 153 ppm when there was temperature variability. The efficiency achieved in the first case was 73.3 %, while in the second case it was 64.5 %. It was observed that the purification efficiency is lower when the temperature is variable and, when the treatment time advances, the efficiency increases. Finally, it is concluded that the variation of temperature during the biodepuration process and the treatment time have a significant effect on the depurative efficiency of the microorganisms.

Key words: efficiency, purification, wastewater, microorganisms.

## INTRODUCCIÓN

En el Perú, actualmente las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) enfrentan desafíos de gran consideración. Los retos que se presentan para hacer que una PTAR opere de manera óptima son variados y de gran importancia. En un diagnóstico que realizó la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), cuyo informe fue publicado el año 2022, sobre la situación general en el Perú, de las empresas que dan el servicio de descontaminar aguas residuales en estaciones depuradoras, se encuentra que, estos desafíos se resumen en cuatro aspectos diferentes, que son: las dificultades que se encuentran en relación a aspectos legales y normativos, las dificultades respecto al diseño y construcción de las plantas, las dificultades en la selección de tecnologías apropiadas para su funcionamiento y, finalmente en relación a la operación y el mantenimiento de estas unidades (1). Como se podrá entender, son de diversa índole, que, si es que no se realizan mejoras, esto ocasionará, en general, que el proceso de descontaminación, incluso la instalación de una estación depuradora, sea costoso.

En la localidad de Concepción, el año 2012, se instaló y entró en operación una PTAR, a fin de que, con ello, se pueda reducir la contaminación al río Mantaro, provocada por los vertimientos de aguas residuales en ese momento. Esta PTAR fue diseñado para tratar 158 m<sup>3</sup> diarios de agua residual. Pero, en la actualidad está inoperativo. Pues como ya se indicó en el párrafo anterior, esta planta sería una de las que está enfrentando aquellas dificultades. A la fecha, al realizar una visita al lugar en que se encuentra, se observó que prácticamente está inactivo. Pues mantener la operación de estas estaciones de descontaminación, dependiendo del volumen de agua contaminada, requiere de inversiones significativas.

Según el informe (1), con respecto a las dificultades de operación, se tienen a la deficiencia de generación y remoción de lodos en el tratamiento biológico, sobrecarga orgánica e hidráulica durante el tratamiento, no existe aplicación de protocolos apropiados para el manejo de los subsistemas que componen una estación de descontaminación, realización de actividades de monitoreo y mantenimiento con técnicos poco capacitados. De otro lado, en el proceso biológico de una PTAR; conocido comúnmente también como tratamiento secundario, intervienen varios factores que influyen afectando la eficiencia de la operación. Entre estos se pueden mencionar a: cantidad y cualidades de los microorganismos depuradores, disponibilidad de los nutrientes, disponibilidad de oxígeno disuelto, temperatura del agua residual, pH, presencia de sustancias tóxicas, entre otros (2). Es muy importante que a estos factores se les de la debida consideración y manejo apropiado, para que en conjunto el proceso de tratamiento biológico sea eficiente y exitoso, pues de lo



contrario, se conducirá a una situación de operación en planta que provoque gastos elevados y con efluentes que contengan una elevada contaminación.

En el comercio actual, se encuentran diversos productos compuestos de un conjunto de microorganismos y aditivos, para ser utilizados como agentes principales y/o auxiliares en procesos biológicos para descontaminar aguas, en sistemas de tratamiento aerobio. Además de los productos, se encuentra también su información técnica general. Pero, no se dispone información técnica sobre estos productos, para aplicarlos al agua residual con las características que ingresa a la PTAR de Concepción y a las condiciones de operación de esta planta, para adoptarlo adecuadamente como una alternativa de mejora tecnológica

Por todo lo indicado hasta aquí, esta investigación se ha enfocado al estudio de la descontaminación de agua residual que ingresa a la PTAR de Concepción, empleando un producto comercial denominado ENVIRONOC 301- microorganismos benéficos, de la empresa Biodyne, en un reactor aerobio por lotes en laboratorio, con el fin de conocer su eficiencia depurativa en condiciones de temperatura constante y con temperatura que varía durante el proceso depurativo, según las condiciones climáticas en esta localidad, y con ello, proponer una alternativa tecnológica a aplicar. Pues se sabe que mantener constante la temperatura del líquido en el biorreactor, involucra mayor inversión en costos de energía, durante la operación de las unidades de biodepuración

En el informe se encuentra dividido en cuatro capítulos, en los que se explica de manera más específica, el planteamiento del problema de investigación, los antecedentes, bases teóricas sobre el proceso de tratamiento de aguas residuales, metodología que se aplicó y, los resultados que se obtuvieron.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Formulación del problema

La población total de la provincia de Concepción asciende a más de 55 mil personas y en la zona urbana se encuentran más de 26 mil (3). En esta localidad, se encuentra instalada una estación para la descontaminar aguas residuales, cuya capacidad diaria de tratamiento de agua según su diseño es de 158 m<sup>3</sup>. Pero, actualmente está inactiva, y prácticamente el agua residual que llega esta estación, es vertida directamente al río Mantaro sin tratamiento o acondicionamiento alguno. Las dificultades que se tienen que vencer dentro de una PTAR son variadas, y la mayoría, lleva como consecuencia el incremento de los costos de operación y un mal funcionamiento, que lleva consigo el impacto negativo del medio ambiente.

Según un informe de diagnóstico situacional de las estaciones depuradoras de aguas en el Perú, se encuentra la información que, en Huancayo, en promedio, se genera 12,648,607 m<sup>3</sup>/año de aguas residuales, los que son vertidos sin ningún tratamiento a algún cuerpo receptor de agua (río, mar, drenes, o lo emplean para regar clandestinamente) (1). Como se puede ver, esta situación es crítica y alarmante.

De otro lado, dentro del tratamiento de agua residual, por la técnica de lodos activos que se le da en una planta depuradora, intervienen varias operaciones y procesos, por etapas. Uno de ellos, es el proceso biológico de depuración, en el que se utiliza microorganismos; principalmente bacterias aerobias (4), y entre los factores que influyen en el correcto desarrollo de este proceso se tienen a: la concentración y el tipo de contaminantes, la temperatura, pH, nivel de oxígeno disuelto, concentración y tipos de microorganismos depuradores. En este proceso, las bacterias, que son los agentes que llevan a cabo la descontaminación mediante un proceso de metabolismo de sustancias disueltas en el agua, son afectados por las condiciones del medio en que se encuentran. La temperatura es una de ellas y, a pesar de que estas bacterias pueden sobrevivir en amplio rango de temperatura, el desarrollo ideal y con mejor performance en su metabolismo, se sitúa en un rango de temperatura de 25 a 32°C (5) (4).

Incrementar y mantener la temperatura del agua residual, a estos niveles de 25 a 32 °C, en el proceso de biodepuración dentro de una PTAR, en localidades con climas fríos, como es el caso de Huancayo y Concepción, lleva consigo el incremento de los costos de operación de manera significativa. En estas localidades, la temperatura ambiental promedio diaria se

sitúa entre 17 a 18°C durante el día y alrededor de 5°C durante la noche. Esto dependiendo de las estaciones y meses del año. Pues, se debe indicar que, los meses de abril a julio, comúnmente son los más fríos, es decir, que la temperatura desciende aún más, de las indicadas líneas arriba. Entonces, según esta circunstancia nada atractiva, una opción factible, es que el proceso de biodepuración se lleve a cabo a las condiciones de temperatura que presentan estas localidades de manera natural.

Los microorganismos aerobios responsables de llevar a cabo la biodepuración de contaminantes en aguas residuales dentro de una PTAR, en su mayoría está constituido por bacterias que pertenecen a diferentes comunidades bacterianas, cada una con cualidades diferentes. Y, para poner un caso particular sobre sus cualidades, se puede mencionar la temperatura ideal a la que se pueden desarrollar depurando contaminantes de manera más eficiente. Estas temperaturas ideales, son diferentes. Según (6), las bacterias se clasifican en psicrófilas, mesófilas y termófilas cuyos rangos de temperatura ideal son de 12 a 18 °C, 25 a 40 °C y 55 a 65 °C respectivamente. Entonces, prácticamente, la cantidad de bacterias psicrófilas, mesófilas y termófilas que compone el conjunto de microorganismos de biodepuración en una PTAR, establecerá la temperatura ideal en el que son más eficientes para la descontaminación. Se debe indicar que comúnmente el rango de 25 a 32 °C es lo que se suele encontrar como el ideal.

De acuerdo con todo lo indicado, se propone evaluar la eficiencia de biodepuración de aguas residuales, que ofrece un conjunto de microorganismos denominados benéficos, bajo dos situaciones medioambientales que son: a) cuando exista variación de la temperatura del agua residual durante el proceso de biodepuración (es decir, variación de temperatura de manera natural, según condición climática de la localidad) y b) cuando la temperatura es constante durante el proceso biológico. Estos microorganismos, son componentes de un producto comercial usado en el tratamiento de aguas residuales. Todo esto a fin de responder a las siguientes preguntas.

## **1.1.2. Planteamiento del problema**

### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el efecto de la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, en la eficiencia biodepurativa de microorganismos benéficos?

### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Qué características físicas y químicas presenta la muestra de agua residual procedente del ingreso a la PTAR de Concepción?
- ¿Qué cambios se observa en la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual durante el proceso de descontaminación biológica con microorganismos benéficos, en un biorreactor aerobio por lotes
- ¿Es significativo el efecto que provoca la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, usando microorganismos benéficos, en la eficiencia de depuración de agua residual?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, en la eficiencia biodepurativa de microorganismos benéficos.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características físicas y químicas que presenta la muestra de agua residual procedente del ingreso a la PTAR de Concepción.
- Evaluar los cambios que se observa en la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual durante el proceso de descontaminación biológica con microorganismos benéficos, en un biorreactor aerobio por lotes
- Evaluar la significancia de los efectos que provoca la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, usando microorganismos benéficos, en la eficiencia de depuración.

## **1.3. Justificación e importancia**

La importancia y justificación de esta investigación se basan en los siguientes aspectos:

### **Ambiental**

Con los resultados de esta investigación, se dispone de una alternativa a considerar y analizar, a fin de aplicarlo, en la depuración de aguas residuales, utilizando microorganismos benéficos. La aplicación más apropiada sería en la PTAR de Concepción, y de otras localidades donde el clima es variable y frío. Pues como se describió anteriormente, existen pocas estaciones depuradoras de agua residual que operen satisfactoriamente, por la baja

eficiencia de microorganismos naturales, variación de temperatura a niveles bajos, elevados costos, entre otros, que conllevan a eliminar directamente las aguas sin tratar a los ríos, lo cual afecta el medio ambiente.

### **Metodológica**

Un aspecto que se resalta en esta investigación, es que se estudia un método de mejorar la eficiencia de depuración de agua residual, utilizando microorganismos especializados en procesos depurativos, con la particularidad de que son sometidos a un proceso en el que la temperatura del agua residual en tratamiento, es variable, de acuerdo con las condiciones climáticas de manera natural. En ese sentido, esta investigación es importante, pues permitirá evaluar a estos microorganismos en circunstancias medioambientales reales de PTAR de esta localidad.

### **Teórica**

Los resultados sobre la eficiencia biodepurativa del tratamiento, servirán como un respaldo que permita el análisis y comparación de tratamientos semejantes que se pueden implementar en localidades cercanas, en los que las condiciones atmosféricas (presión, temperatura humedad) sean semejantes. Los profesionales, estudiantes, personas relacionadas e interesadas en este tipo de tratamiento de depuración de aguas contaminadas, encontrarán información muy importante en estos resultados.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Hi= “El efecto de la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, es que provoca la disminución de la eficiencia de depuración que presentan microorganismos benéficos al presentarse variación y al incrementar el tiempo”

Ho= “El efecto de la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, es que NO provoca la disminución de la eficiencia de depuración que presentan microorganismos benéficos al presentarse variación y al incrementar el tiempo”

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- a. Hi1 = “Las características que posee las muestras de agua residual están dentro del rango característico de las aguas residuales domesticas”.

Ho1 = “Las características que posee las muestras de agua residual NO están dentro del rango característico de las aguas residuales domesticas”.

Ha1= “Las características que posee las muestras de agua residual están dentro del rango característico de las aguas residuales industriales”.

- b. Hi2 = “La concentración de contaminantes de las muestras de agua residual (DQO), disminuye con el tiempo de tratamiento de manera más lenta cuando existe variación de temperatura que, cuando es estable”

Ho2 = “La concentración de contaminantes de las muestras de agua residual (DQO), NO disminuye con el tiempo de tratamiento de manera más lenta cuando existe variación de temperatura que, cuando es estable”

Ha2 = “La concentración de contaminantes de las muestras de agua residual (DQO), aumenta con el tiempo de tratamiento de manera más lenta cuando existe variación de temperatura que, cuando es estable”

- c. Hi3 = “Estadísticamente, es significativo el efecto que ejerce la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento, sobre la eficiencia de depuración de las muestras de agua residual”

Ho3 = “Estadísticamente, NO es significativo el efecto que ejerce la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento, sobre la eficiencia de depuración de las muestras de agua residual”

Ha3 = “Estadísticamente, es significativo el efecto que ejerce la variación de temperatura, y no significativo, el efecto que ejerce el tiempo de tratamiento, sobre la eficiencia de depuración de las muestras de agua residual”

### 1.4.3. Operacionalización de variables

**Tabla 1. Definición conceptual y operacional de variables con respectivas dimensiones e indicadores**

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Variación de temperatura (V. Independiente)	Esta referido a la variación de temperatura que experimenta el agua residual durante el biotratamiento, por efecto de las condiciones climáticas de la localidad, de manera natural. O expresado de otro modo, es cuando la temperatura del líquido residual no se controla a un nivel constante durante el tratamiento.	Se medirá con un termómetro del tipo termo resistivo, en función al tiempo de tratamiento transcurrido.	Variación de temperatura	de Temperatura constante Temperatura variable
Tiempo de biotratamiento (V. Independiente)	Es el tiempo contabilizado desde el momento en que se adiciona los microorganismos benéficos para el biotratamiento de agua residual.	Se contabilizará el número de días de tratamiento	Tiempo transcurrido	días
Eficiencia de depuración (V. Dependiente)	Es la razón entre la DQO removida después de un tiempo de tratamiento y la DQO que presenta el agua residual al inicio del tratamiento.	Se calculará con las DQO obtenida por el método espectrofotométrico al inicio y después de un tiempo de tratamiento.	DQO del agua residual en biodepuración	mg/L de DQO

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Internacionales

En un estudio publicado con la denominación “Performance and bacterial community dynamics of a CANON biorreactor acclimated from high to low operational temperatures”, presentaron el desarrollo de ensayos con el objetivo de confirmar la viabilidad de la aclimatación de biomasa en un reactor para eliminación autótrofa del nitrógeno con nitración parcial en un mismo reactor (CANON). Los microorganismos que utilizaron procedían del sobrenadante de la digestión de fangos activos a condiciones operativas. Para este fin, usaron un reactor CANON a escala de laboratorio, operándolo durante 260 días, en el que disminuyeron la temperatura de 35 °C a 15 °C. Los resultados que encontraron fueron que el amonio disminuyó de 466 a 100 mg-N. También, La eficiencia de eliminación de nitrógeno mostró una disminución moderada cuando el sistema se aclimató de 35 C a 25 C, pero disminuyó drásticamente en la aclimatación de 25 C a 15 C. La disminución de la temperatura y de la concentración de amonio influente tuvo un impacto sobre la estructura de la comunidad bacteriana del sistema. Las bacterias oxidantes del amonio cambiaron de los géneros Nitrosomonas, Nitrospira o Nitrosovibrio a alta temperatura y amonio influente a Prostheco bacter a baja temperatura y bajo amonio. Asimismo, el género dominante de bacterias anammox cambió de Candidatus Brocadia a Candidatus Anammoxoglobus durante la aclimatación. La proliferación de bacterias oxidantes de nitritos sólo se produjo en condiciones de baja temperatura y amonio influente con crecimiento del género Rhodanobacter (7).

En la investigación titulada “Uso de microorganismos eficientes para la depuración de contaminantes orgánicos en aguas residuales urbanas”, los investigadores hicieron ensayos de procesos de biodepuración de aguas contaminadas que se vierten en los ríos Pita y Santa Cecilia en el país de Ecuador. Para lo cual, usaron microorganismos que lo obtuvieron de zonas con condiciones climáticas adecuadas y que contaba con gran diversidad. Antes de someter a prueba los microorganismos fueron identificados, mediante la técnica de tinción de Gram. Sus ensayos de depuración de aguas, lo llevaron a cabo en un biorreactor que construyeron para este fin. De sus observaciones para identificar las bacterias, encontraron dos tipos de cepas de bacterias Gram positivas. De los ensayos para depurar aguas residuales vertidas a los ríos antes indicados, encontraron que la eficiencia de reducción de pH, DQO, DBO5 y sólidos sedimentables fueron de 13,33%; 67,96%; 54,62% con una de las cepas que



lo denominaron 01 jardín y, de 9,33%; 69,15%; 62,52% y 48,14% con la cepa que denominaron 01-pululahua. Con ello concluyen que, estos microorganismos Gram positivos poseen un gran potencial de biodegradación (8).

En la investigación “Overview of strategies for enhanced treatment of municipal/domestic wastewater at low temperature”, realizaron una revisión sobre las estrategias que permitan mejorar el tratamiento de aguas residuales a baja temperatura. Pues el factor de la temperatura baja reduce significativamente el rendimiento del proceso. En este reporte de investigación, describen los mecanismos de los efectos de las bajas temperaturas en el tratamiento de las aguas residuales, incluyen los mecanismos fisiológicos, la tasa de crecimiento microbiano, la actividad microbiana, la estructura de la comunidad microbiana y la capacidad de sedimentación de los lodos. Microbiana. Además, describen las estrategias para mejorar el rendimiento a baja temperatura, como: la regulación de parámetros operativos, la técnica de la bioaumentación, la tecnología de la precipitación química del fósforo y la aplicación de nuevas tecnologías de proceso. Finalmente destacan la aplicación de nuevas configuraciones de procesos y tecnologías para mejorar el rendimiento de los procesos de tratamiento a baja temperatura (9)

### **2.1.2. Nacionales**

Por otro lado, en un informe de tesis publicado con el título: “Uso de Microorganismos Eficaces en el mejoramiento de la calidad de aguas residuales de la Industria Láctea, LIMA – 2017” los investigadores evaluaron el desempeño de microorganismos eficaces, en la descontaminación de aguas residuales generada en la industria láctea, con el fin de mejorar la calidad de sus vertimientos. Sus observaciones y mediciones para la evaluación de los microorganismos mencionados, lo realizaron mediante los parámetros de DQO, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales, nitrógeno amoniacal y pH. Estas mediciones lo hicieron antes y después de sus pruebas de biodepuración, con los microorganismos eficaces. Llevaron a cabo tres tratamientos con tres réplicas a nivel piloto, en el que modificaron las concentraciones de microorganismos adicionados en porcentaje en peso de 1%, 2% y 3%. En cada ensayo, las mediciones lo realizaron a los 10, 20 y 30 días. Con sus resultados indican que alcanzaron reducciones favorables, y que, a la concentración de 2% lograron la mayor reducción de los parámetros de calidad partiendo con 4164 mg/L de demanda química de oxígeno, 561 mg/L de aceites y grasas, 864 mg/L de sólidos suspendidos totales, 39 mg/L de nitrógeno amoniacal y 6.74 de pH (10).

En otra investigación que cuyos autores lo denominaron: “Depuración de aguas residuales domésticas con microorganismos eficientes en condiciones Altiplánicas en sistema mixto

(anaerobio-aerobio)” los investigadores tuvieron como fin principal evaluar a microorganismos eficientes en la depuración de aguas residuales domesticas en un sistema mixto (anaerobio-aerobio) a condiciones altiplánicas (3850 msnm). Para tal fin, diseñaron y construyeron un sistema compuesto por un tanque séptico con aireación por bandejas y canal de oxidación. La operación del sistema fue de manera continua, a un caudal de agua residual de 5.6 m<sup>3</sup>/día y tiempo de retención hidráulica de 15 días. Las condiciones ambientales durante la operación no lo controlaron. Realizaron tres pruebas en el que modificaron el volumen de microorganismos eficientes en las cantidades de 0L (control), 3L y 4L. Las mediciones que realizaron fueron cada cinco días. Encontraron mejores resultados al adicionar 4L de microorganismos eficientes, consiguiendo una remoción de DBO<sub>5</sub>, SST y CTT, en un 78, 73 y 99.97% respectivamente. Con ello concluyen que, los microorganismos eficientes favorecen a la disminución de estos parámetros de calidad de agua (11).

### **2.1.3. Regionales**

Otros investigadores que publicaron su tesis con el título: “Influencia de microorganismos eficaces sobre la calidad de agua y lodo residual, planta de tratamiento de Jauja”, dan a conocer que el fin principal de su estudio fue determinar los efectos que ocasionan microorganismos eficaces sobre los parámetros de calidad de agua y lodo, en la planta de tratamiento de agua de la provincia de Jauja. Para ello, realizaron observaciones en pruebas en la planta de tratamiento de agua de la provincia de Jauja, donde usaron microorganismos eficaces. Las observaciones se enfocaron en mediciones de los parámetros de calidad de agua y lodo, a 0, 30, 60 y 90 días después del tratamiento con estos microorganismos. Los resultados que obtuvieron les permitieron demostrar que los efectos sobre la concentración de aceites y grasas, DBO, DQO, solidos totales, color (aspecto), olor y coliformes termo tolerantes fueron notables y con mayor eficiencia al cabo de 90 días de tratamiento. En relación a los efectos de los microorganismos en el control del lodo residual, observaron que, disminuyeron de manera notable la concentración de coliformes termo tolerantes, aceites y grasas, y lograron estabilizar el pH (12).

En la tesis titulada “Influencia de los microorganismos eficaces (Em agua) en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente del bioreactor en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Concepción-2018”, el objetivo que tuvo el investigador fue determinar la influencia de la aplicación de Microorganismos Eficaces (Em Agua) en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente del biorreactor. Los datos que utilizó, fueron de experimentos en las que aplicó por separado, 03 dosis de Em agua a 4%, 6% y 8% y unidades de control. El seguimiento a las pruebas lo realizó durante 39 días. En sus resultados observó la estabilidad de los parámetros de: pH, oxígeno disuelto y

conductividad eléctrica, y la variación de la temperatura. Además, encontró al aumentar la dosis de Em agua que, los coliformes fecales disminuían, los contaminantes metálicos aumentaban, y existe correlación directa del DBO y DQO con la dosis de Em agua (13)

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Aguas residuales: Definición y origen

Las A.R. (aguas residuales) están definidas “como aquellas cuya calidad ha sido afectada negativamente por la actividad humana. Proceden de viviendas, poblaciones y áreas industriales y arrastran contaminantes y detritos” (14). Una definición similar nos brinda (10) que lo define como aquellas que se obtuvieron posteriormente a su empleo en un procedimiento o generadas por él, y que carecen de valor inmediato para ese proceso.

De acuerdo con (14), cerca al 80 por ciento de los habitantes de América latina está ubicada en zonas urbanas, y un porcentaje considerable de esta población vive en asentamientos cercanos a fuentes de contaminación. Además, se afirma que solo el 30% de las A.R. vertidas en América latina son tratadas. Debido a esto, las aguas residuales se vierten en los ríos con un grado de contaminación completa.



**Figura 1. Ciclo del origen y uso del agua**

Tomado de (15)

### **2.2.1.1. Tipos de aguas residual**

A las A.R. que son liberadas, se les denomina "vertidos". Estos vertidos pueden ser clasificados según su función en (6):

#### **De acuerdo con su naturaleza:**

- Tipo No conservativos:
- El grado de contaminación en un río no se encuentra asociado con la concentración de ingreso de agua residual. Engloba gran porcentaje de los componentes (inorgánicos y orgánicos), que experimentan cambios a nivel físico, biológico y químico.
- Tipo Conservativo

La ley de dilución está relacionada directamente con el grado de contaminación de los vertidos, que se basa en la proporción entre el caudal del vertido y el caudal del río. Esta ley establece que el caudal del río es inversamente proporcional a la concentración de los contaminantes, esto resulta en una disminución del impacto ambiental.

#### **Según su origen:**

- Aguas residuales domésticas:

Son aquellas aguas que resultan de las acciones diarias de cada ser humano y se originan cotidianamente. Estas aguas son captadas a través del alcantarillado o liberadas premeditadamente al entorno (6).

Las aguas residuales provenientes de actividades domésticas surgen como un líquido opaco con tonos grises o amarillentos, junto con un olor característico séptico. En este fluido, se encuentran suspendidas partículas de sedimentos, desechos fecales, restos de plantas, fragmentos de papel y materiales sintéticos. La longitud del conducto que transporta estas aguas y la intensidad del flujo en la red de alcantarillado condiciona las dimensiones de la partícula que se encuentra en el líquido residual: a mayor longitud del conducto y mayor flujo en la corriente de aguas, las partículas suspendidas tienden a ser más diminutas (6).

Las sustancias que se descomponen inicialmente son los carbohidratos, formando ácidos orgánicos. Por ello, cuando las A.R. están en suspendidas tienden a mostrar un nivel elevado de acidez. También, es posible encontrar en estas aguas sustancias compuestas con aceites que tienden a adherirse a las tuberías, generalmente este tipo de vertientes son captadas de estaciones de servicio,

Tanto la arena como algunas sustancias con presencia de minerales disueltos, representan en su mayoría la materia inorgánica disuelta en las AR.

**Tabla 2. Constituyentes del agua residual domestica**

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1.200
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, mg/l: 5 días, 20 °C (DBO <sub>5</sub> , 20 °C)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1.000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros <sup>a</sup>	mg/l	30	50	100
Sulfato <sup>a</sup>	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales <sup>b</sup>	n.º/100 ml	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	µg/l	< 100	100-400	> 400

Tomado de (6)

- Aguas residuales industriales:

Dícese de aquellas aguas que tienen su origen en cualquier tipo de industria, el agua es empleado en su proceso de producción, transformación o manipulación. Esto abarca los líquidos residuales, así como también las aguas utilizadas en los procedimientos y las aguas empleadas para refrigeración (6).

En cada fase de la actividad industrial, los desechos de agua residual pueden manifestarse de manera constante o en intervalos periódicos, como diaria, semanal, mensual o anualmente, entre otros.

Los sistemas de control para el tratamiento de AR industriales deben ser precisos. Si estos desechos se descargan en sistemas de alcantarillado municipales, los desafíos pueden llegar a ser significativos.

Para abordar la contaminación generada por las aguas residuales industriales, es esencial comprender la naturaleza de la industria, sus procesos y sus prácticas habituales.

En este tipo de aguas generalmente, los microorganismos se hallan disueltos en cantidades más significativas, representando alrededor del 80% del total, en comparación con las aguas residuales domésticas, donde esta cifra oscila entre el 20% y el 40%. Las concentraciones de materia orgánica tienden a ser bastante altas, variando entre 1.000 y 100.000 mg/L de DBO<sub>5</sub> (a diferencia de las aguas residuales domésticas, que normalmente tienen valores entre 100 y 400 mg/L). Por otro lado, la concentración de P Y N es menor en relación con las AR domésticas. Esta diferencia juega un papel importante al momento de elegir el tratamiento.

### **Figura 2. Vertiente de AR industriales**

Tomado de (16)



- Aguas residuales pluviales:

Son aguas que tienen su origen en la lluvia, al realizarse de forma natural produce volúmenes considerables en la superficie. Una parte de este volumen se canaliza a través de drenajes, mientras que otra fluye superficialmente, transportando consigo sedimentos como arena, tierra, hojas y otros restos presentes en la superficie del suelo. Los fluidos llevan consigo compuestos con los cuales las aguas han mantenido contacto (6).

### 2.2.2. Principales parámetros de calidad del AR

La gran mayoría de los componentes de una AR se hallan solubilizadas. Alrededor del 30% son compuestos insolubles mientras que, el 70% está constituido por sustancias orgánicas (grasas, proteínas y carbohidratos).

Las AR también están conformadas por microorganismos. Estos componentes desempeñan un papel esencial en los ecosistemas, ya que modifican los compuestos orgánicos que forman parte de ecosistemas acuáticos, ayudando a la extinción de los contaminantes.

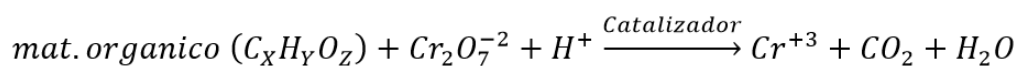
Sin duda, el papel de la caracterización de las AR resulta un factor importante para el avance de procesos innovadores, que aseguran ciertos niveles de calidad en el flujo de entrada. De manera similar, una caracterización precisa de las AR, en consonancia con los componentes establecidos por modelos existentes, resulta indispensable para garantizar el eficiente funcionamiento tanto de los modelos como de los procedimientos de tratamiento de aguas residuales (17).

#### 2.2.2.1. Demanda química de oxígeno

Se conoce como demanda química de oxígeno (DQO), a la “cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar el total de la materia orgánica presente en una muestra de agua residual” (17), hasta obtener como resultado bióxido de carbono y agua a determinadas condiciones.

En este análisis absolutamente todos los compuestos orgánicos son químicamente oxidados por el dicromato de potasio con ayuda de un catalizador en medio ácido.

El catalizador comúnmente usado son los iones de plata, que reaccionan con una mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico. La digestión dura 2 horas, con una temperatura de 423 K, el cromo (+6) pasa a cromo (+3) mediante un proceso de oxidación. (2)



#### 2.2.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno

Es uno de los factores más importantes empleados para la investigación y análisis de AR. La evaluación de la DBO<sub>5</sub>, permite verificar la biodegradabilidad y presencia de los constituyentes orgánicos, también sirve como un medio para calcular la dosis necesaria de oxígeno para poder estabilizar el contenido de carbono orgánico y para determinar la

velocidad a la que las bacterias compuestas encontradas en las aguas residuales metabolizarán este material.

Para realizar el análisis de DBO es necesario cumplir ciertos pasos detallados a continuación:

Al recibir la muestra se procesa inmediatamente o de lo contrario se guarda en un sistema refrigerado por menos de 24 horas. Se realiza la preparación con los nutrientes requeridos y el agua de dilución continuamente, a la par se genera burbujas de agua para saturar la muestra con oxígeno.

Después, en un frasco con tapón esmerilado con capacidad de 300 ml se vierte el volumen de muestra necesario inmediatamente se vierte el agua de dilución hasta completar el aforo del frasco. Finalmente, se cierra el frasco y se guarda en una incubadora por un lapso de 5 días a una temperatura de 20°C. Se realiza la misma operación con las demás muestras acompañada de una muestra de blanco (17).

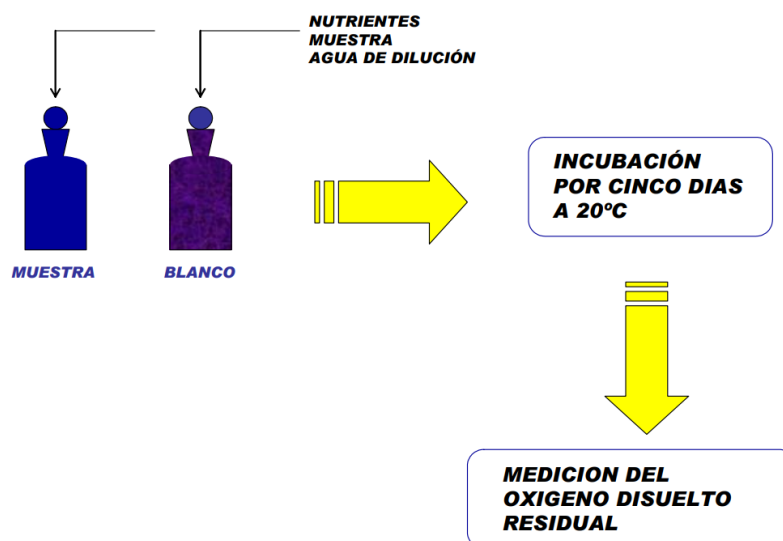


Figura 3. Método de determinación de DBO

e. Tomado de (17)

### 2.2.3. Tratamiento de AR

El tratamiento de este tipo de aguas se puede clasificar de diferentes maneras: considerando los niveles, las operaciones y procesos involucrados, y de acuerdo con el grado de tratamiento aplicado. (14) propone y detalla un diseño básico (Figura 4) y establece las principales técnicas a las que se someten estos tipos de desechos contaminados con el objetivo de lograr un nivel aceptable de pureza en el agua. Los procesos biológicos



implementados en cada etapa pueden ser de naturaleza anaeróbica, aeróbica o combinar ambas.

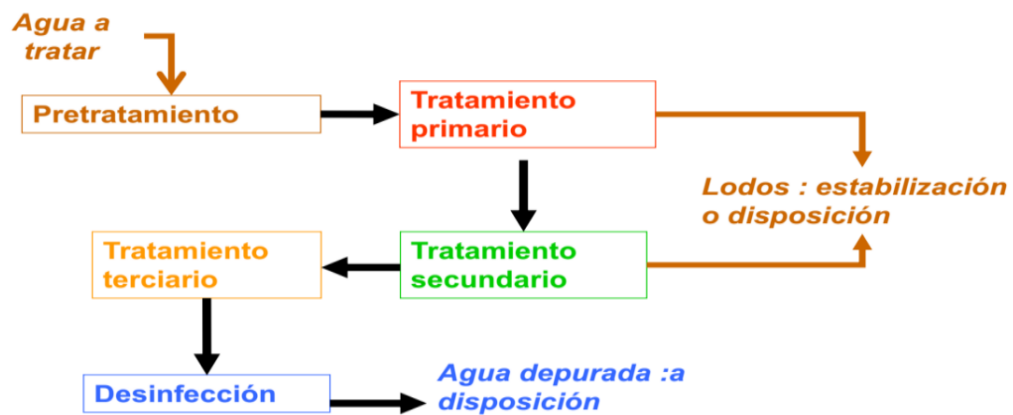


Figura 4. Esquema del tratamiento de aguas residuales

Tomado de (18)

### 2.2.3.1. Tratamientos preliminares

- Homogenización

Se realizan en recipientes con el fin de controlar o reducir los impactos resultantes de las fluctuaciones en el caudal o en el grado de contaminación de las AR, por ello, resulta sustancial en el tratamiento de AR domésticas.

- Desarenadores

Son construcciones diseñadas para eliminar partículas de arena junto con diversas fracciones que constituyen el AR. Estas estructuras comúnmente son de forma rectangular o circular, flujo en dirección horizontal o en espiral, pueden contar con aireación o no, y su mantenimiento puede ser manual o automático. Su principal finalidad es evitar el desgaste de maquinarias y evitar la acumulación de materia en los tubos y canales por donde fluye el AR.

- Cribado

Son estructuras formadas por barras metálicas o paralelas con espacios uniformes entre ellas. Su objetivo es capturar partículas sólidas de mayor tamaño que flotan o están suspendidas en el agua. Estas rejillas pueden ser manuales (con aberturas más grandes) o automáticas (con aberturas más pequeñas).

### 2.2.3.2. Tratamiento primario

Consiste en la separación mediante métodos físicos, y en ocasiones con la ayuda de técnicas químicas, de los sólidos suspendidos que no se lograron retener en el tratamiento preliminar, también, se logra la separación de sustancias flotantes y aceites.

- Flotación

Este proceso incluye la separación del agua residual con materiales sólidos. En el complejo campo del tratamiento de AR domésticas, es empleado para separar grasas, aceites y partículas sólidas en suspensión.

La división se alcanza a través de una simple flotación o mediante la introducción de burbujas de aire muy pequeñas en la mezcla líquida, lo que permite que las partículas suspendidas sean transportadas hacia la superficie.

- Coagulación

La mayoría de los coloides presentan una carga negativa, lo que les otorga estabilidad en el agua gracias a la repulsión electrostática presente en las partículas. Al compararse la fuerza de atracción y repulsión, esta última resulta mayor, lo que genera que las partículas no se agrupen, y no se produce la precipitación.

Con la coagulación, se logra anular la carga negativa del coloide, eliminando la fuerza de repulsión electrostática. Para lograr esta anulación es necesario diluir en el agua algunos coagulantes (sales a base de Al y Fe). Estos elementos cuentan con iones trivalentes que se emplean para neutralizar las cargas negativas que envuelven a las partículas coloidales diluidas en el agua.

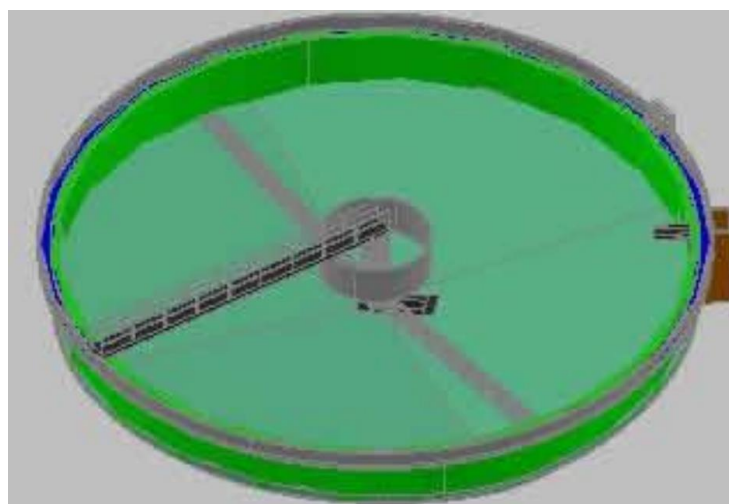
En la idealidad, el agua que circunda a las micro partículas debería volverse transparente. Si esto no sucede, se asume que la cantidad de coagulante no es la suficiente para neutralizar las cargas en las partículas, ante ello, se recomienda aumentar la dosis de coagulante.

- Sedimentación

Es un método físico basado en la diferencia del peso y densidad con relación al líquido y materia suspendida. Como es conocido, los sólidos tienen mayor peso que el agua, por lo tanto, se precipitan, facilitando su separación con el líquido. Para las partículas que tienden a formar flóculos, la precipitación primaria es la adecuada.

En general los equipos de sedimentación presentan formas rectangulares o circulares.

Un proceso de sedimentación puede disminuir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en un rango del 20% al 40%, y reducir los sólidos en suspensión en un intervalo del 40% al 60%. En algunas instalaciones de tratamiento industrial, la velocidad de sedimentación se incrementa al combinar métodos de coagulación y floculación, en el equipo usado para la sedimentación.



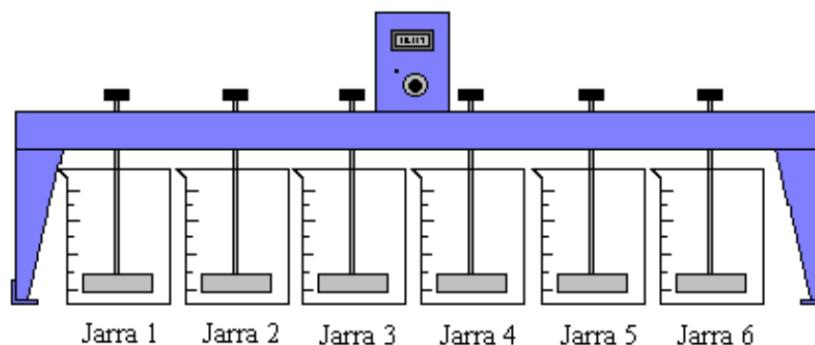
**Figura 5. Tanque de sedimentación**

Tomado de (17)

- Floculación

Se refiere al proceso en el que se forman conglomerados o acumulaciones llamadas “flóculos”. Con la floculación se logra aumentar la dimensión de las partículas, con ello, la velocidad de sedimentación y filtración aumenta considerablemente. Esto contribuye a una mejora en la claridad, color, olor y sabor del agua. Además, reduce la cantidad de sólidos en suspensión y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en la salida del decantador primario.

La prueba de jarras es el método más empleado para establecer la cantidad adecuada de productos químicos que se deben adicionar a una muestra de agua residual. En esta técnica, se replican, a nivel de laboratorio, los procedimientos de floculación, coagulación y sedimentación.



**Figura 6. Prueba de jarras**

Tomado de (19)

### 2.2.3.3. Tratamiento secundario

Este proceso es conocido como tratamiento biológico y puede llevarse a cabo en diversas instalaciones como sistemas de percolación, tanques de estabilización, lodos activos, digestores anaerobios y tanques de aeración (17).

- **Lagunas aireadas**

Por lo general se desarrolla en un área excavada en el suelo, que opera como un recipiente de reacción. El suministro de oxígeno se realiza mediante dispositivos de aireación o difusores en la superficie. Puede o no haber un proceso de recirculación de biomasa desde un sedimentador.

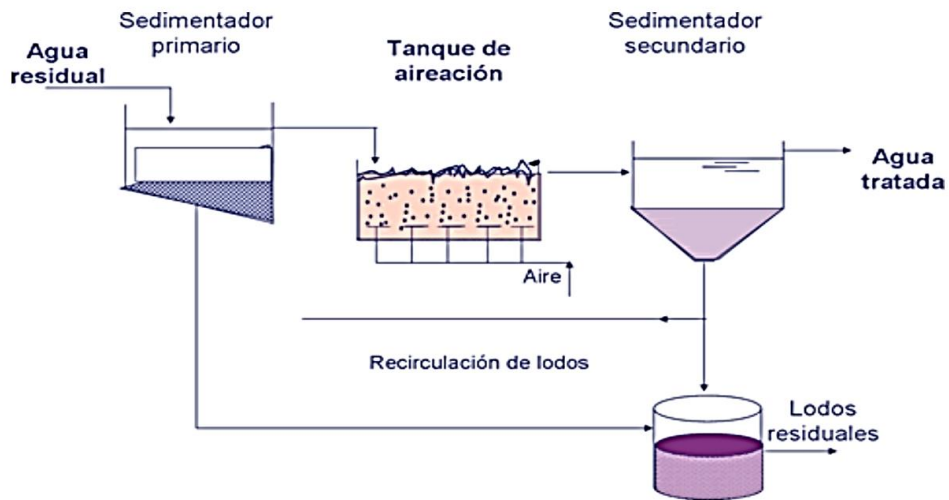
- **Filtro anaerobio**

Estructura de relleno en la que las bacterias anaerobias crecen y se adhieren. El agua que requiere tratamiento fluye de abajo hacia arriba en el interior de esta estructura. Durante este proceso, se produce la separación del material orgánico en el soporte. Este sistema ocupa un espacio reducido y es particularmente adecuado para mini estaciones de tratamiento móviles. Estas instalaciones son capaces de satisfacer las demandas de tratamiento de pequeñas industrias.

- **Lodos activos**

En este procedimiento, un elemento se logra estabilizar a través de procesos biológicos con presencia de aire introducido de forma mecánica o con difusores a un reactor.

El contenido presente en el reactor se conoce como "líquido de mezcla". Las bacterias son cruciales para el tratamiento mediante lodos activados, ya que ellas logran la destrucción de la materia orgánica.



**Figura 7. Diagrama de un sistema de lodos activados**

Tomado de (20)

- Digestión anaerobia

La digestión anaerobia se lleva a cabo en un tanque sin presencia de aire, en el cual se introducen aguas para tratar de manera continua o intermitente. Como resultado de este proceso, se obtiene principalmente  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , adicionalmente se obtiene un componente flotante claro. En la parte inferior se encuentra lodos que han sido digeridos.

Un desafío importante en este proceso es la lenta destrucción de las bacterias responsables de generar metano, lo cual ralentiza la degradación del residuo orgánico. Esto, a su vez, conlleva la necesidad de utilizar tiempos de retención largos.

La obtención del metano en el proceso resulta de gran ayuda, ya que, puede emplearse en los motores y para llegar a la temperatura adecuada en la etapa de digestión. La materia orgánica se encuentra incluso estabilizada, lo que permite su acumulación posterior en vertederos o como abono para el sector agrícola.

- Filtros percoladores

Se trata de un lecho compuesto de grava o piezas de plástico diseñado para proporcionar un soporte donde los microorganismos puedan adherirse. El proceso implica verter las aguas que necesitan tratamiento sobre este lecho, asegurando un contacto efectivo con

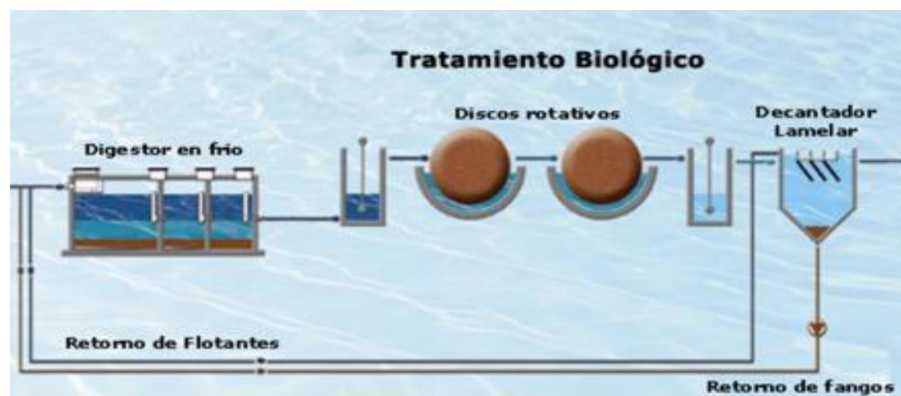
las aguas residuales. En este contexto, el material orgánico que se encuentra en el agua se adhiere a la capa de microorganismo, dando lugar a su metabolización.

Para garantizar un proceso eficaz, es recomendable instalar un sedimentador a la salida del filtro percolador. Esto permitirá la eliminación de los sólidos que pueden desprenderse del lecho durante el proceso.

- Sistemas de biodiscos

Este proceso implica el uso de una serie de discos dispuestos en paralelo, los cuales giran de manera parcialmente sumergida en la superficie del agua que se está tratando, tal como se ilustra en la figura 8. Sobre estos discos, se desarrollan colonias biológicas que se adhieren al material de relleno, produciéndose así una película biológica.

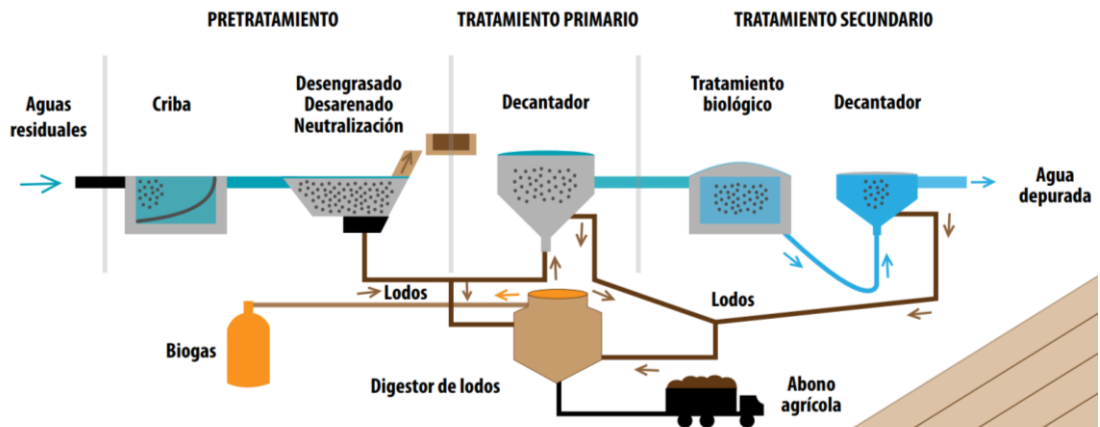
La constante rotación de los discos hace que la biomasa alterne contacto con el oxígeno atmosférico y las AR, asegurando condiciones aeróbicas para el proceso. Además, estos discos apartan a los sólidos en suspensión, lo que facilita su transporte adecuado hacia el sedimentador.



**Figura 8. Sistemas de biodiscos**

Tomado de (21)

No existe un único modelo o manual estandarizado para construir estas plantas de tratamiento, por lo que cada una es diseñada de manera única. Sin embargo, las etapas o tratamientos más comunes suelen ser las siguientes:



**Figura 9. Etapas del tratamiento de AR**

Tomado de (22)

#### **2.2.4. Los microorganismos que participan en el proceso de depuración de aguas residuales**

Para comprender mejor los seres vivos, es esencial tener en cuenta que generalmente se clasifican según su estructura celular y funcionamiento. Se dividen en grupos llamados eucariotas, eubacterias y arqueobacterias (20). Estos dos últimos se agrupan en uno denominado procariotas, que a menudo se refieren conjuntamente como bacterias (6). Una característica distintiva de los seres eucariotas es que sus células poseen un verdadero núcleo. Estos organismos pueden ser multicelulares (con diferencias en la función de sus tejidos) o unicelulares (con escasas diferencias entre las células individuales). Por otro lado, los procariotas carecen de un núcleo verdadero. Dentro de este grupo, las eubacterias muestran una química celular similar a la de los eucariotas, mientras que las arqueobacterias exhiben una química celular diferente.

Los eucariotas incluyen varios grupos de seres vivos, como los animales (vertebrados e invertebrados), las plantas (algas marinas, musgos, helechos, plantas con flores), y los protistas (protozoos, algas y hongos unicelulares).

Las eubacterias están mayormente compuestas por la mayoría de las bacterias que conocemos, abarcando una amplia variedad de formas y funciones en el mundo microbiano.

Por su parte, las arqueobacterias constan de diferentes grupos con adaptaciones especiales a entornos extremos. Por ejemplo, las bacterias metanogénicas se especializan en producir metano en ambientes anaeróbicos, las halofílicas sobreviven en ambientes altamente salinos, y las termoacidofílicas prosperan en condiciones de alta temperatura y acidez.

Estas clasificaciones y grupos nos ayudan a entender la diversidad de los seres vivos y cómo han evolucionado para adaptarse a diferentes entornos y funciones.

En el contexto del tratamiento biológico de aguas residuales, los microorganismos de interés para llevar a cabo el proceso de eliminación de sustancias contaminantes son principalmente los microorganismos procariotas, que comúnmente se denominan bacterias. Además, dentro de los eucariotas, otros organismos relevantes incluyen hongos, protozoos, rotíferos y algas.

Estos microorganismos desempeñan un papel fundamental en la degradación y transformación de la materia orgánica y otros contaminantes presentes en las aguas residuales, contribuyendo así a la depuración y mejora de la calidad del agua. (6)

#### **2.2.4.1. Magnitud de los microorganismos**

En lo que concierne al tamaño de los microorganismos de interés en el proceso de tratamiento biológico de aguas residuales, se encuentran en el rango de 0.3 a 50 micras. Las bacterias que muestran mayor eficiencia en la depuración tienden a tener dimensiones conocidas entre 0.5 y 3.0 micras (2). La razón detrás de su efectividad se con su proporción de superficie de absorción relacionada con el volumen que ocupa, conocida como relación superficie-volumen ( $A/V$ ). Esta característica es esencial, ya que una alta área de superficie de absorción en comparación con su volumen permite una remoción más eficaz de sustratos. Esto se debe a que estas sustancias disueltas son absorbidas inicialmente en su superficie, lo que amplifica la eficiencia del proceso de remoción.

#### **2.2.4.2. Estructura de los microorganismos**

La morfología de los microorganismos también juega un papel en ciertos aspectos del proceso de biodepuración, especialmente en la etapa de separación mediante sedimentación por gravedad. Esta operación se ve mejorada si las bacterias tienen una estructura esférica, ya que esta forma ofrece menos resistencia durante su descenso hacia el fondo del biorreactor por la acción de la gravedad. Las bacterias, en general, exhiben formas esféricas, cilíndricas y en espiral. Las bacterias esféricas pueden existir individualmente o en parejas, formando cadenas o racimos, que se llaman cocos, diplococos, estreptococos y estafilococos, respectivamente. Las bacterias cilíndricas pueden hallarse de manera individual o en cadenas, denominadas bacilos y estreptobacilos, respectivamente. Aquellas con forma de espiral se conocen como espirilos.

Por lo tanto, con base en estas dos características, la relación superficie-volumen ( $A/V$ ) y la forma de los microorganismos bacterianos, resulta mejorado para el proceso de tratamiento



biológico de aguas residuales que tendrán un tamaño pequeño, una alta relación A /V y, preferiblemente, una forma esférica.

#### **2.2.4.3. Constitución de los microorganismos**

En términos generales, las bacterias poseen una estructura celular que consta de una membrana celular resguardada por una pared celular. Esta membrana delimita y alberga otros componentes esenciales para las funciones celulares.

Una de las funciones principales de la membrana celular consiste en proporcionar una barrera permeable a las sustancias con cierto tamaño molecular (0,4 a 0,5 nm), determinando así su ingreso a la célula. En términos de composición química, las bacterias consisten en aproximadamente un 75 a 80% de agua y un 20 a 25% de materia seca. Esta materia seca, a su vez, se compone en un 80 a 90% de materia orgánica, mientras que el resto es material inorgánico. Por lo tanto, una "fórmula química" que se acerca a esta composición es  $C_5H_7NO_2$ , lo que implica que más del 50% de la materia orgánica es carbono.

En cuanto a los componentes inorgánicos más importantes, se encuentran:  $K_2O$  (6%),  $P_2O_5$  (50%),  $Fe_2O_3$  (1%),  $SO_3$  (15%),  $MgO$  (8%) y  $CaO$  (9%). Con esta composición celular, una característica macroscópica notable es que la pared celular o tejido celular tiene una densidad mayor que la del agua. Esto es relevante, ya que esta diferencia permite su separación del agua de manera efectiva a través de la decantación.

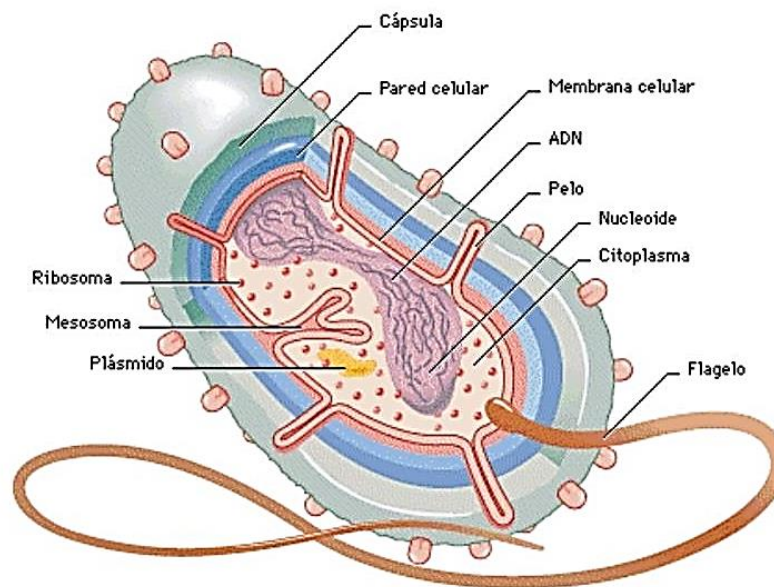
#### **2.2.4.4. Gasto energético de los microorganismos**

Las diversas reacciones químicas necesarias para la formación de material celular durante los procesos metabólicos de los organismos demandan energía. Para lograr esto, los microorganismos utilizan distintas fuentes energéticas, lo que da lugar a la clasificación de los microorganismos en autótrofos y heterótrofos según su modo de obtención de energía.

Los organismos autótrofos obtienen su energía a partir de la luz solar o reacciones de oxidación-reducción. Este grupo incluiría a los vegetales, que son capaces de convertir el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en compuestos orgánicos mediante la energía capturada, almacenando esta energía en enlaces químicos con alto potencial energético. De esta manera, el  $CO_2$  se convierte en la fuente primaria de carbono orgánico. Los autótrofos que usan energía solar se llaman autótrofos fotosintéticos, mientras que aquellos que obtienen energía de reacciones de oxidación-reducción se conocen como autótrofos quimiosintéticos.

Por otro lado, los organismos heterótrofos obtienen energía de la oxidación de materia orgánica, no del CO<sub>2</sub>. Aquí entrarían los animales. Por lo tanto, estos organismos requieren sustancias sintetizadas por organismos autótrofos para obtener energía. Su fuente de carbono proviene de compuestos orgánicos, lo que en parte se utiliza para formar nuevas células en el organismo.

Esta clasificación basada en la fuente de energía y carbono para la síntesis de material celular no permite una categorización simple entre animales y vegetales. En el caso de los microorganismos, tanto eucariotas como procariontes, pueden obtener energía de manera autótrofa o heterótrofa. Incluso dentro de las bacterias, existe la posibilidad de ser tanto autótrofos como heterótrofos. (2)



**Figura 10. Esquema de una bacteria**

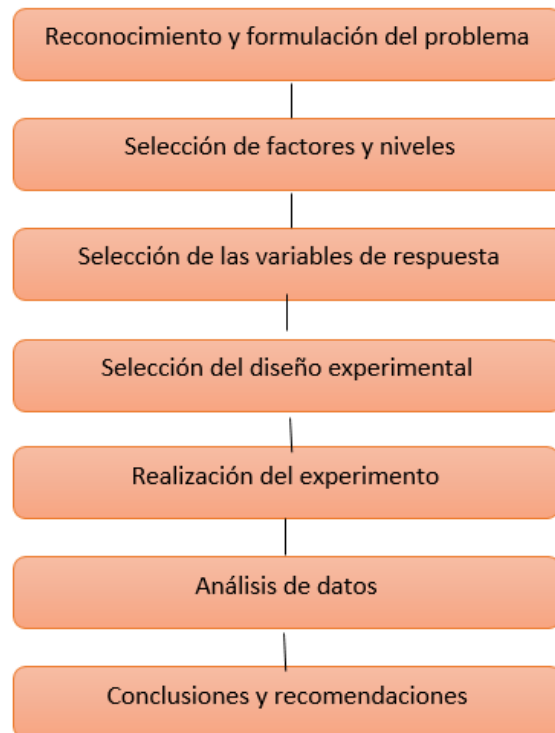
Tomado de (23)

### 2.2.5. Diseños experimentales

Se define como experimento, en su contexto científico más amplio, a la ocasión en la que se manejan de manera deliberada una o más variables independientes (factores antecedentes considerados como causas), con el propósito de examinar los resultados que surgen a raíz de esa manipulación en una o más variables dependientes (efectos supuestamente resultantes), todo esto llevado a cabo en una situación controlada para el investigador (24).

Los experimentos controlan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (llamadas variables independientes) con el propósito de examinar sus impactos en otras variables (las dependientes), todo esto en un entorno controlado.

Con el fin de realizar un correcto y adecuado diseño de experimentos varios autores detallan diversos pasos a seguir, según (25), estas fases incluyen:



**Figura 11. Fases de diseño de experimentos**

### **2.2.5.1. Tipos de diseños experimentales**

Existen diversos tipos de diseños experimentales, a continuación, se detallan los más comunes (25):

- Experimentos con un solo factor
- Diseños factoriales
- Diseños anidados
- Superficies de respuesta

### **2.2.5.2. Diseños factoriales**

Como se ha mencionado previamente, los diseños factoriales son ampliamente empleados en experimentos que involucran dos o más factores, es decir, dos o más variables independientes que el investigador considera que influyen en el proceso.

Los valores en los cuales cada factor puede operar se denominan niveles, lo cual significa que los niveles son los valores, ya sean cuantitativos o cualitativos, que cada factor puede adquirir durante el experimento.

En un diseño factorial, se combinan todos los niveles de cada factor independiente con todos los niveles de los otros factores, generando así todas las posibles combinaciones. Cada una de estas combinaciones se convierte en una condición del experimento. Esto conlleva a que los experimentos sean más eficaces, dado que se obtiene información sobre los efectos de todos los factores con relación a los niveles de los demás. Este fenómeno se define como el cambio en la respuesta del experimento provocado por la alteración de los niveles en un factor.

Un diseño factorial es aquel que posibilita la agrupación de todas las distintas configuraciones de niveles que los factores presentan en los experimentos. En otras palabras, si se cuentan con dos factores, A y B, con a y b niveles respectivamente, se generarán ab combinaciones fundamentales que deben ser exploradas en los experimentos. Adicionalmente, en cada instancia experimental se llevarán a cabo repeticiones, cuya cantidad será determinada según el nivel de precisión en los resultados deseado (25).

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método y alcance de la investigación**

#### **3.1.1. Método general**

Como método general, fue adoptado el científico. Según (24), este método “es el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas de investigación mediante la prueba o verificación de hipótesis”. Para tal efecto, en términos generales, las etapas que se siguieron consistieron en, identificar el problema de investigación, revisión de información sobre antecedentes y fundamentos, plantear la hipótesis o posible respuesta y, finalmente, la contrastación de esta hipótesis con los datos recabados de los ensayos que se propusieron según estrategia experimental

#### **3.1.2. Tipo de investigación**

En este caso corresponde a una investigación aplicada. Según (26), este tipo de investigación “está orientada a resolver objetivamente los problemas de los procesos de producción, distribución, circulación y consumos de bienes y servicios, de cualquier actividad humana, principalmente de tipo industrial, infraestructura, comercial, comunicacional, servicios, etc.”. También, otro detalle de este tipo de investigación, es que, con base en la investigación pura, se formula problemas e hipótesis que permitan solucionar los problemas tecnológicos.

En función a esto, en este caso, se desarrolló el estudio de la eficiencia de descontaminación de muestras de aguas residuales que ingresan a la PTAR de Concepción utilizando microorganismos benéficos, todo esto en base a teorías básicas de descontaminación de aguas, con el fin de dar respuesta al problema planteado en el capítulo I; y con ello, de disponer de una alternativa de solución a un problema tecnológico. Como también, la información que se recabó procedió de ensayos de descontaminación, en el que se manipularon los factores de variación de temperatura, así como el tiempo de tratamiento, este es una investigación experimental.

#### **3.1.3. Nivel de investigación**

En este caso, el nivel corresponde al explicativo. Según (26), indica que, en este nivel de investigación los estudios “se basan en problemas debidamente formulados y que buscan la relación de causa-efecto. Y, necesariamente trabajan con hipótesis, que explican el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente”. Pues, como se indicó en la

sección de operacionalización de variables, en esta investigación se ha manipulado dos factores: variación de temperatura, así como el tiempo, y la explicación de los efectos fue hecho sobre la eficiencia de depuración.

### 3.2. Diseño de la investigación

Se adoptó el diseño factorial con dos factores (25), pues a fin de recabar datos que permitan realizar la evaluación y responder a la pregunta de investigación, se ha modificado los niveles de cada factor. Los factores que fueron evaluados son: variación de temperatura del agua residual sometida a depuración y, el tiempo de tratamiento. Las combinaciones de los niveles de cada factor que resultaron se presentan en la tabla 3:

**Tabla 3 Estrategia para las pruebas experimentales**

Variación de temperatura	de Tiempo	Eficiencia de biodepuración		
		Repetición I	Repetición II	Repetición III
Con variación de T	1 día	Efi(1, 1, I)	Efi (1, 1, II)	Efi (1, 1, III)
Con variación de T	2 días	Efi (1, 2, I)	Efi (1, 2, II)	Efi (1, 2, III)
Con variación de T	3 días	Efi (1, 3, I)	Efi (1, 3, II)	Efi (1, 3, III)
Con variación de T	4 días	Efi (1, 4, I)	Efi (1, 4, II)	Efi (1, 4, III)
Con variación de T	5 días	Efi (1, 5, I)	Efi (1, 5, II)	Efi (1, 5, III)
Sin variación de T	1 día	Efi(2, 1, I)	Efi (2, 1, II)	Efi (2, 1, III)
Sin variación de T	2 días	Efi (2, 2, I)	Efi (2, 2, II)	Efi (2, 2, III)
Sin variación de T	3 días	Efi (2, 3, I)	Efi (2, 3, II)	Efi (2, 3, III)
Sin variación de T	4 días	Efi (2, 4, I)	Efi (2, 4, II)	Efi (2, 4, III)
Sin variación de T	5 días	Efi (2, 5, I)	Efi (2, 5, II)	Efi (2, 5, III)

### 3.3. Población y muestra

Como parte del diseño experimental, la elección de la muestra y su respectiva población se realizó considerando los siguientes aspectos:

- Dado que el fin fue evaluar la eficiencia de microorganismos benéficos a las condiciones medioambientales de la localidad de Huancayo, los ensayos se debían realizar con agua residual real, a nivel de laboratorio en un biorreactor por lotes (figura 14). Para este caso,

se eligió emplear agua residual municipal, tomada al ingreso de la planta de tratamiento de la provincia de Concepción. Las razones de esta elección fueron: porque en el valle del Mantaro, esta provincia es una de las que posee estación depuradora de agua residual, que actualmente está en abandono, pero que es posible ponerlo en marcha y aplicar estos microorganismos, según los resultados que se obtienen en este estudio. También, prácticamente todo el líquido residual colectada en la ciudad esta canalizada por tuberías de alcantarillado, que desembocan al ingreso de la planta, lo permitió coleccionar con mayor facilidad la muestra.

- La muestra que fue empleada en los ensayos de biodepuración, fueron tomadas de manera intencional el 31 de julio y el 07 de agosto del 2023. Eso quiere decir, que no es representativa para generalizar a fin de referirse como aguas residuales de la localidad de Concepción, por lo que el término que se emplea en adelante para referir al agua residual en este caso es “muestra de agua residual” tomada al ingreso de la PTAR de Concepción. En principio, se pretendía tomar una muestra representativa que resultara de mezclar cantidades iguales de aguas residuales colectadas del punto de muestreo, de manera sistemática, durante un tiempo que se debía determinar, homogenizarlo y, con la cual, trabajar en los ensayos. Pero demandaba: tiempo considerable, disponer recipiente apropiados de almacenamiento en ambiente refrigerado, para evitar que el proceso de biodegradación continúe, por la presencia de bacterias en el agua residual. Otro aspecto que debía considerarse, es que las cantidades que debían coleccionarse sistemáticamente, iban a tener diferentes concentraciones de DQO y demás parámetros de calidad.

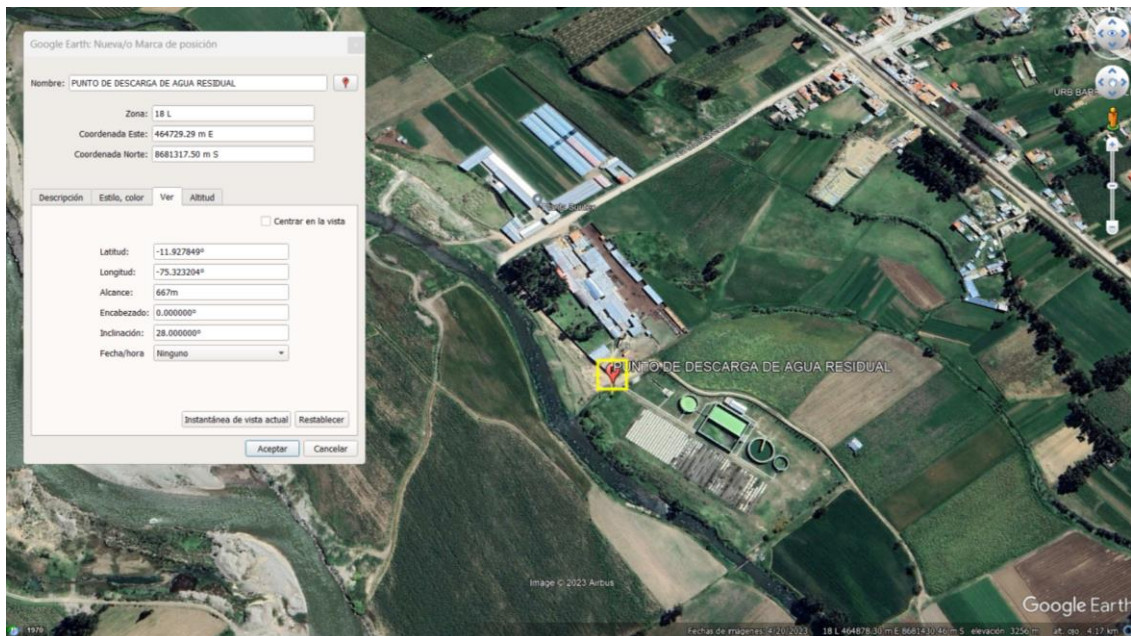
Por estas razones, se decidió como población a: agua residual municipal, tomada de manera intencional al ingreso de la PTAR de la provincia de Concepción.

La elección del tamaño de muestra (número de replicas), a fin de que la probabilidad no rechazar la hipótesis nula cuando es falsa, sea mínima, fue calculado de acuerdo a (25), para diseños factoriales. En este caso, fue calculado con el software MINITAB, el número de replicas apropiadas, considerando lo siguiente:

- nivel de significancia de 0.05
- número de niveles del primer factor igual a 5 (ver tabla 4)
- número de niveles del segundo factor igual a 2 (ver tabla 4).
- Desviación estándar aproximada de los tratamientos igual a 2%
- Diferencia máxima de eficiencia de biodepuración 7%
- Probabilidad de rechazar la hipótesis nula del 96% (error 0.04) para la diferencia de 7% de eficiencia de biodepuración.

Y se obtuvo que la cantidad de réplicas es 3. Con esta cantidad de réplicas, se decidió realizar experimentos de biodepuración, con y sin variación de temperatura, empleando 10 L de agua residual (según capacidad del biorreactor). En el proceso de cada experimento, diariamente se tomó muestras para realizar 03 mediciones de DQO, que permitan cubrir el número de replicas calculada. Los experimentos se realizaron durante 5 días a nivel de laboratorio en el aparato cuyo esquema se observa en la figura 14.

Las coordenadas de ubicación de la toma de muestra de la planta de tratamiento de agua de la provincia de Concepción son: WGS 84 UTM 18 Sur 464716 Este y 8681306 Norte. En la siguiente figura se muestra una fotografía de ubicación con referencia de la plaza de Concepción y el río Mantaro



**Figura 12. Fotografía satelital de la Planta de tratamiento de la zonal Concepción "Doris Mendoza"**



f.



**Figura 13. Ubicación de la PTAR Concepción**

Para mayor detalle, en el anexo N° 8 se encuentra un mapa de ubicación.

### **3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

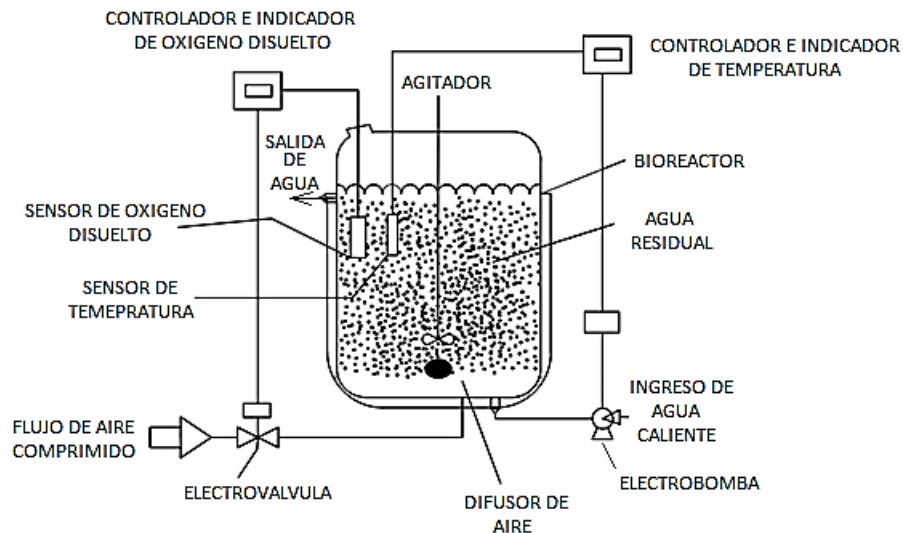
#### **3.1.1. Técnicas e instrumentos**

La técnica empleada para la recolección de datos, fue la observación experimental del proceso biológico de tratamiento de muestras de agua residual, para su descontaminación. La observación consistió en la verificación visual del proceso en el ensayo experimental y, la realización de las mediciones con su respectivo registro de estos datos de temperatura, y demanda química de oxígeno.

#### **3.1.2. Equipamiento y materiales**

Un biorreactor fue empleado para desarrollar los ensayos. Es del tipo aerobio y por lotes. El esquema de este equipo se aprecia en la figura 14

Como se podrá apreciar, la unidad experimental dispone de dos sistemas de control: uno de temperatura, que opera con agua caliente que circula por un enchaquetado que dispone el biorreactor, y otro, de concentración de oxígeno disuelto. Para este último sistema, el equipo dispone de un difusor de aire comprimido, que tiene la capacidad de generar burbujas finas. La unidad experimental también dispone de un agitador para homogenizar la mezcla dentro del biorreactor. El volumen de agua residual que puede albergar dentro del biorreactor es de 10 L (capacidad máxima).



**Figura 14. Biorreactor aerobio para ensayos de biodepuración de agua residual**

Además del biorreactor que fue empleado para las pruebas de depuración, para la colección de muestras se ha empleado, recipientes de polietileno de 20 L, frascos de polietileno de 120 mL, termómetro de mercurio, conductímetro, pHmetro y, vasos de precipitación de 100 mL, elementos de protección personal.

### 3.3.1. Procedimientos

Toma de muestras

Para la toma de muestras se ha tomado en consideración el protocolo de monitoreo de calidad de recursos hídricos (27). En principio como medidas de seguridad se utilizó los elementos de protección personal, como guantes descartables, mascarilla y guardapolvo.

- En dos recipientes de plástico de polietileno, previamente lavado y desinfectado, se colectó 8 L aproximadamente de agua residual, evitando en lo posible la remoción del sedimento del fondo de la corriente de agua. El punto de donde se colectaron se indica en la figura 13 (ubicación de PTAR).
- En el mismo lugar, fue homogenizado las muestras, mediante el trasvase de uno a otro recipiente, luego de ello, se ha trasvasado en un frasco de polietileno, 100 mL de agua residual, para ser enviado al laboratorio de análisis y determinación de sus parámetros físicos químicos.
- Además de esto, antes de iniciar con las pruebas, se ha medido y registrado la conductividad eléctrica, el pH y la temperatura de las muestras colectadas.
- Las muestras, trasvasada a un solo recipiente, fueron cubiertas y aseguradas con su tapa hermética, para transportarlo al laboratorio a fin de realizar las pruebas en el biorreactor.

## Pruebas de descontaminación

En este caso el procedimiento fue:

- Se vertió 5 L de agua residual del recipiente de plástico al reactor, que para cada prueba previamente fue limpiada y acondicionada (figura 11).
- Luego, fueron activados los dispositivos eléctricos que controlan los sistemas de oxigenación con aire (La concentración de oxígeno disuelto al que fue establecido este sistema de control fue de 2.5 mg/L de O<sub>2</sub> disuelto) y, el sistema de calentamiento. Este último fue configurado a 20 °C para controlar la temperatura de las muestras de agua residual, cuando la prueba de biodepuración se realiza sin variación de temperatura. El agitador también fue activado y regulado a 20 rpm.
- Seguido a esto, fue adicionado al agua residual en el biorreactor, los microorganismos benéficos (1mL/5L de agua residual). Para esto, previamente fue agitado en su recipiente, el producto comercial Environoc 301 M.A.R- microorganismos benéficos.
- Hecho todo ello, después de 24 horas se ha colectado 30 mL de muestra para ser enviado al laboratorio a fin de determinar la DQO de los mismos. Las muestras fueron colectadas del fondo del biorreactor en vaso de precipitado y luego, trasvasado en un frasco de polietileno lavado previamente. Ya en el frasco fue adicionado preservante (27). Toda esta operación fue realizada diariamente durante cinco días.

## Determinación de la DQO

El método de análisis que fue empleado en el laboratorio para la determinación de DQO, fue el método espectrofotométrico de reflujo cerrado (28)

## Cálculo de la eficiencia de depuración.

La eficiencia depurativa se obtuvo por cálculo. La ecuación que se utilizó responde a la definición conceptual indicado en la tabla de operacionalizan de variables.

$$Ef. Dep. = \left( \frac{DQO_{inicio\ tratam.} - DQO_{pasado\ un\ tiempo\ de\ tratamiento}}{DQO_{inicio\ tratam.}} \right) \times 100$$

Esta ecuación fue utilizada para el cálculo del porcentaje de eficiencia de depuración obtenida diariamente. La DQO está en mg/L.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta parte del informe se encontrará toda la información recabada en las observaciones experimentales, principalmente datos cuantitativos, desde la toma de muestras hasta la culminación de los experimentos. También se encontrarán, los resultados que se obtuvieron de los cálculos y análisis de los datos experimentales, como la eficiencia de depuración y la evaluación de la significancia de los efectos de la presencia de variabilidad de temperatura.

#### 4.1. Características físicas y químicas de las muestras de agua residual

Las muestras de aguas residuales que se emplearon en los ensayos, tuvieron los parámetros que se indican en la tabla 4.

**Tabla 4. Características de calidad de muestras de agua residual**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>
Dureza total	mg/L	435	413
Dureza cálcica	mg/L	68	71
Alcalinidad	mg/L	136	156
Cloruros	mg/L	48	59
Conductividad	uS/cm	689	704
Sólidos suspendidos	mg/L	1346	1403
Sólidos totales	mg/L	2104	2117
pH	pH	6.9	6.8
Oxígeno disuelto	mg/L	0.42	0.97
Turbidez	NTU	165	143
DQO	mg/L	410	428

De acuerdo a la tabla 4, ambas muestras tienen una DQO comprendida en el rango de 250 a 1000 mg/L, que es el intervalo correspondiente a aguas residuales domésticas brutas según (6). También a este respecto, se puede comentar que, ambas muestras superan ampliamente los límites máximos permisibles para efluente de una PTAR y los ECA agua, según (1), por lo que requiere urgentemente realizar su tratamiento antes de ser vertido al cuerpo receptor agua, que en este caso es el río Mantaro.

Con respecto a la dureza de ambas muestras se puede indicar que tienen dureza elevada. El pH que tienen las muestras indica un cierto carácter ácido, por lo que la alcalinidad en este caso estaría contribuida por la presencia de bicarbonatos. Esta condición es lógica porque cuando se tomó las muestras del lugar indicado en la figura 13, el olor que emanaba de estas aguas era a putrefacto, signo de presencia de sulfuros, lo cual es producto de procesos anaerobios donde se generan sustancias ácidas por el metabolismo de bacterias anaerobias.

La presencia de cloruros, a los niveles de que se indica en la tabla 4, es por la razón de que estas aguas son generadas por el empleo de agua potable en las diversas actividades domésticas de la población.

El bajo nivel de oxígeno disuelto en las muestras, indica la presencia de bacterias que tienen la capacidad de respirar este gas, y están en proceso de biodepuración natural, de los contaminantes biodegradables presentes en el agua.

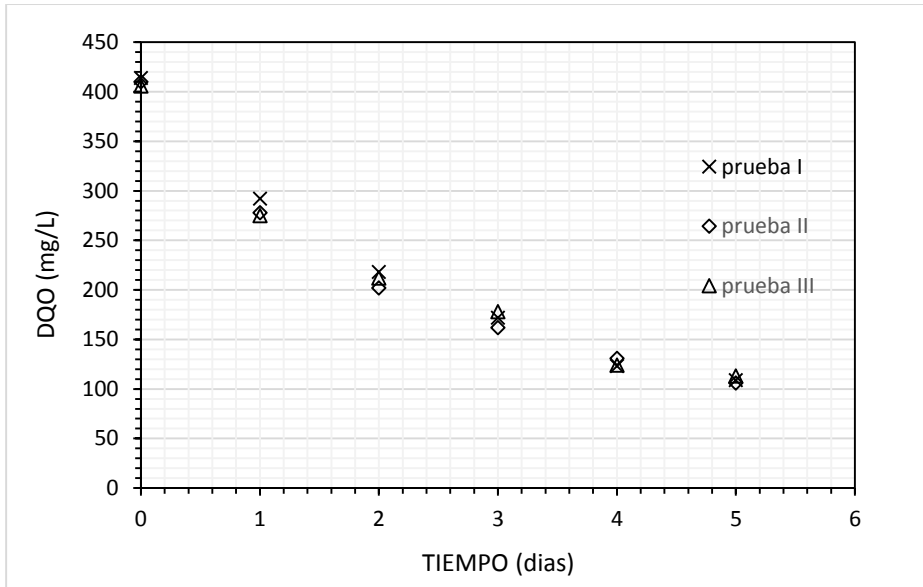
Cuando se tomó las muestras, por simple inspección se apreció que tenían poca transparencia por la presencia de sólidos suspendidos de diferente tamaño. Esto se traduce en las medidas de la turbidez de la tabla 4.

#### **4.2. Resultados de pruebas de depuración**

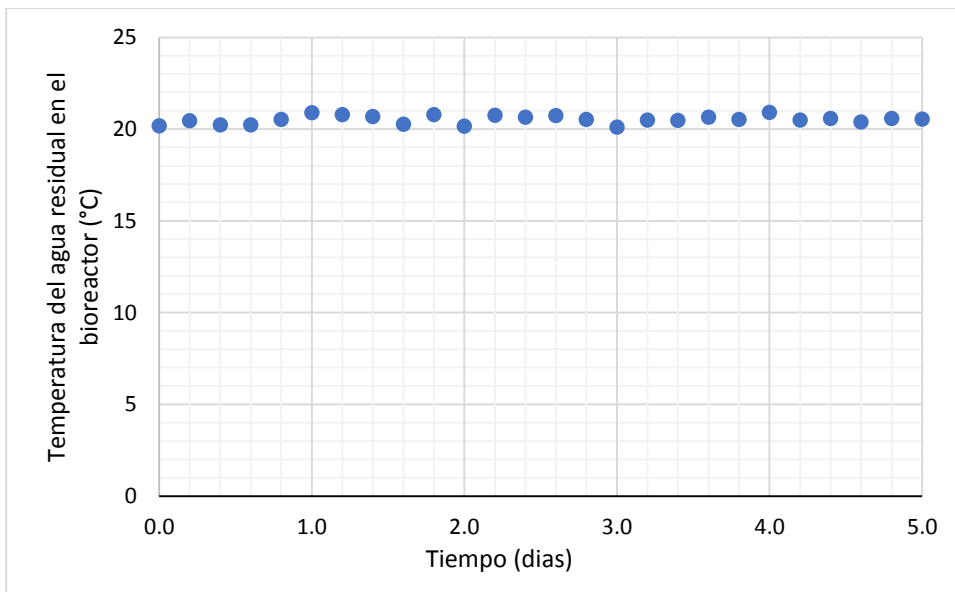
En este caso se tienen las mediciones de la DQO que fueron realizadas por triplicado y diariamente. En las tablas 5 y 6 se presentan los datos numéricos y, en las figuras 15 y 17 se puede visualizar en forma gráfica.

**Tabla 5. Datos de depuración aerobia a temperatura de 20 °C**

<b>Tiempo</b>	<b>DQO (mg/L)</b>		
<b>Días</b>	<b>REPLICA I</b>	<b>REPLICA II</b>	<b>REPLICA III</b>
0	414	410	406
1	292	278	275
2	218	202	212
3	172	162	178
4	123	131	124
5	109	106	113



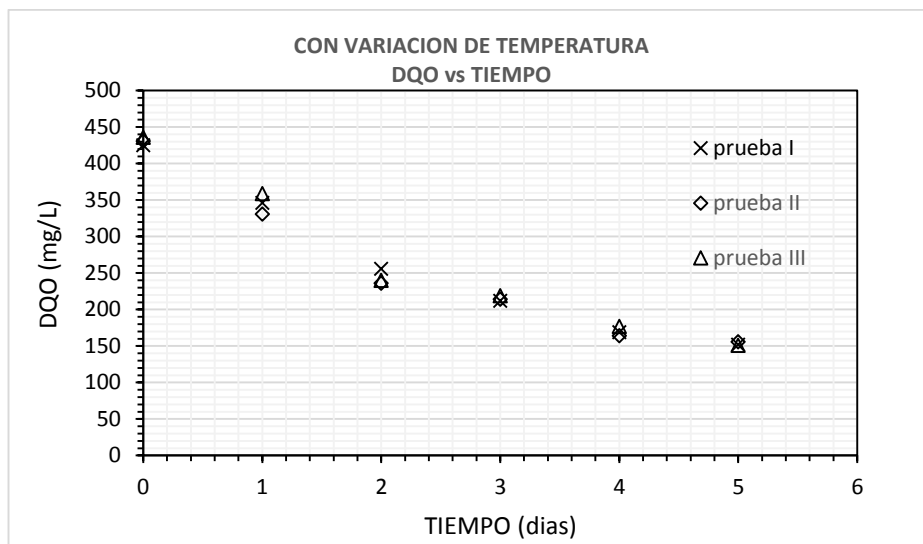
**Figura 15. DQO vs Tiempo a temperatura de 20°C**



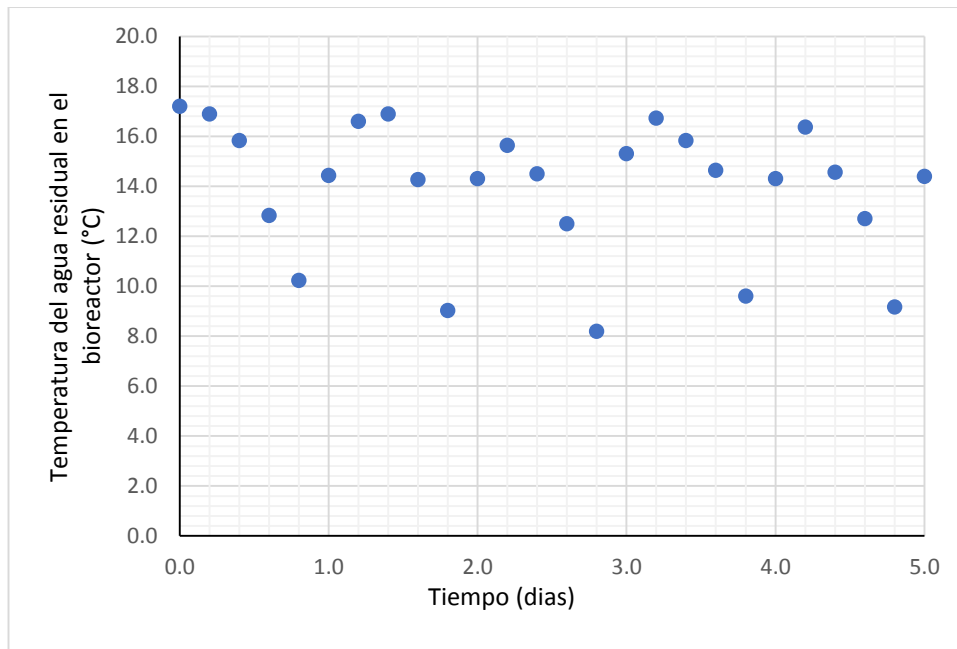
**Figura 16. Evolución de la temperatura del agua residual en el biorreactor con controlador programado a temperatura constante**

**Tabla 6. Datos de depuración aerobia cuando la temperatura sufre variación**

Tiempo	DQO (mg/L)		
Días	REPLICA I	REPLICA II	REPLICA III
0	425	431	436
1	346	331	359
2	256	236	240
3	212	214	219
4	169	164	177
5	152	156	151



**Figura 17. DQO vs Tiempo – cuando la temperatura varía**



**Figura 18. Evolución de la temperatura del agua residual en biorreactor cuando el controlador fue desactivado (sin control de temperatura)**

En las figuras 16 y 18 se muestra gráficamente como evolución la temperatura en los cinco días de tratamiento del agua residual a temperatura constante y cuando la temperatura no se controló.

En los ensayos a temperatura constante, el sistema de control de temperatura fue regulada para 20 °C. En todos los ensayos, el sistema de control de oxígeno disuelto fue regulado para que la concentración de este gas sea de 2.5 mg/L de O<sub>2</sub>, por ser un promedio del rango recomendado y sugerido en la información técnica (5)

Analizando los datos de DQO de ambos ensayos, claramente se nota que van en disminución conforme avanza el tiempo de tratamiento. Estos casos de biodepuración son conocidos y comunes. Se los puede encontrar en estudios semejantes usando biorreactor por lotes. La particularidad de estos casos, es que nos permite determinar el nivel de remoción de DQO para este tipo de agua residual de la PTAR ya indicada, que es el indicador de grado de contaminación.

Esta remoción que se da en ambos casos se muestra en la tabla 7:



**Tabla 7. Disminución de la DQO en los ensayos a temperatura de 20 °C y cuando la temperatura varía**

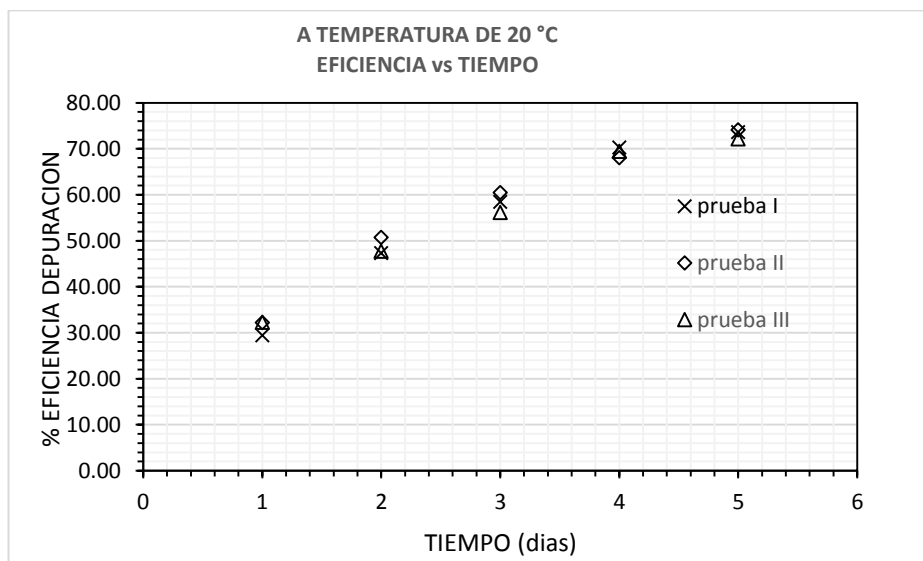
<b>TIEMPO (días)</b>	<b>Disminución de DQO (disminución de contaminantes) mg/L de DQO</b>	
	<b>A temperatura de 20 °C DQOi-DQOf</b>	<b>Con temperatura variable DQOi-DQOf</b>
1	128.3	85.33
2	199.3	186.67
3	239.3	215.67
4	284.0	260.67
5	300.7	277.67

En la tabla 7, se muestran las cantidades promedio de DQO que se remueve en caso ensayado. Con ello, se puede apreciar que, el proceso biodepurativo empleando los microorganismos benéficos, remueve más DQO cuando la temperatura fue de 20 °C. La diferencia entre ambos casos, es más notable en el primer día de tratamiento, que fue 43 mg/L, y luego disminuye a 23 mg/L en el último día. Era de esperar este comportamiento, pues como se indicó, uno de los factores que afectan el proceso metabólico de los microorganismos, es la temperatura. Las bacterias que conforman el producto comercial Environoc 301 son de diversas cepas, por lo que sería interesante evaluar el comportamiento de cada una de ellas en forma independiente. Otro aspecto a estudiar, es la dosis de este producto que se debe adicionar al inicio del tratamiento, a fin de encontrar un ideal con lo que se pueda conseguir remociones de similares o mayores al caso de ensayo cuando la temperatura fue a 20 °C.

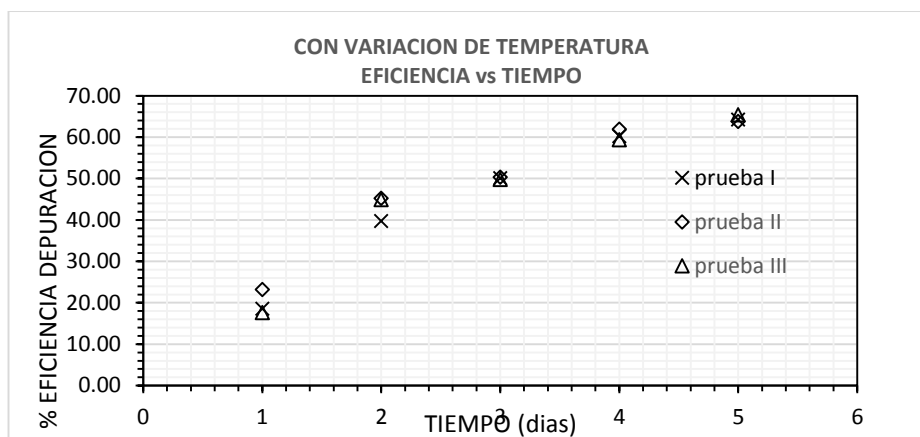
Las eficiencias de depuración obtenidas con estos datos se muestran a continuación, en la tabla 8.

**Tabla 8. Eficiencias de depuración a 20 °C y cuando la temperatura del agua residual varía.**

Tiempo (Días)	% Eficiencia de Depuración					
	A temperatura de 20 °C			Con temperatura variable		
	I	II	III	I	II	III
1	29.47	32.20	32.27	18.59	23.20	17.66
2	47.34	50.73	47.78	39.76	45.24	44.95
3	58.45	60.49	56.16	50.12	50.35	49.77
4	70.29	68.05	69.46	60.24	61.95	59.40
5	73.67	74.15	72.17	64.24	63.81	65.37



**Figura 19. Eficiencia de depuración en el tiempo, a temperatura de 20 °C**



**Figura 20. Eficiencia de depuración en el tiempo, con variación de temperatura.**

En estas dos figuras 19 y 20, que son la representación gráfica de los datos que fueron calculados de la eficiencia de depuración, se aprecia claramente que la eficiencia aumenta con el tiempo de tratamiento y, las eficiencias logradas al cabo de 5 días fueron en promedio: cuando no hubo variabilidad de temperatura 73.3%, y cuando hubo variabilidad de temperatura 64.5 %, existiendo una diferencia de 8.86%. Esta diferencia se evalúa en la siguiente sección si es significativa.

#### 4.3. Evaluación estadística de la significancia de los efectos

Luego de la evaluación estadística mediante el análisis de varianza aplicado al diseño que se propuso para esta investigación, es decir para un diseño de dos factores (AxB), donde el factor A es el tiempo y el factor B es la variación de temperatura, se calculó los resultados de modo resumido presentados en la tabla 10.

**Tabla 9. Resumen de resultados de análisis de varianza**

Efecto del factor	Suma cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F observado
<b>Tratamiento A</b>	7152.4033	4	1788.10083	530.325418
<b>Tratamiento B</b>	546.343427	1	546.343427	162.037734
<b>Interacción</b>	29.1475567	4	7.28688918	2.16118828
<b>Error</b>	67.4340986	20	3.37170493	
<b>Total</b>	7795.32838	29		

Estos resultados se obtuvieron considerando un nivel de significancia del 5%. Para la evaluación de los efectos se planteó la hipótesis nula siguiente: “el efecto del tiempo y la presencia de variabilidad de temperatura en la eficiencia de depuración con microorganismos eficientes del agua residual de la PTAR de Concepción **no** es significativa”.

Para contrastar la veracidad de esta hipótesis se realizó la comparación de los indicadores porcentuales de distribución F, según el criterio establecido para este tipo de diseños, y que se encuentra en (25) o en (24).

De acuerdo con esto, al realizar esta comparación del F observado del tratamiento A y la interacción con  $F_{0.05,4,20} = 2.87$ , así como el F observado del tratamiento B con  $F_{0.05,1,20} = 4.35$ , se rechaza la hipótesis nula para ambos factores, pero se acepta para la interacción. Esto quiere decir que, para tanto la presencia de variabilidad de temperatura en el proceso biodepurativo con microorganismos benéficos, así como el tiempo de tratamiento, afectan significativamente en la eficiencia de depuración.

#### **4.4. Discusión de resultados**

De acuerdo con estos resultados presentados:

Las muestras de agua residual que fueron sometidas al proceso depurativo, poseen una diferencia del promedio de DQO de 20 ppm, pues ambas muestras se tomaron en fechas diferentes, tal como se comentó en la sección de población y muestra. En función a los parámetros de calidad de ambas muestras, se encuentra que el parámetro de DQO, está comprendida como un típico de agua residual doméstica, aproximadamente a un nivel medio de este parámetro (ver tabla 2). Con relación a los demás parámetros de calidad, como por ejemplo los sólidos totales, sobrepasan los límites de esta clasificación según la tabla 2.

Con relación al tratamiento, era de esperar que las DQO en ambas pruebas, han disminuido, pero con diferencias entre cada prueba fueron aumentando según avanzaba el tiempo de tratamiento. Lo cual, llevó consigo que las eficiencias de depuración fueran diferentes. Eso indica que, las variaciones de temperatura del agua residual en el proceso de tratamiento con los microorganismos afectan, de modo tal que, al existir variación de temperatura, disminuye la capacidad de los microorganismos en biodepurar los contaminantes del agua. A pesar de que estos microorganismos benéficos son una mezcla de bacterias aerobias especializadas.

Con el análisis estadístico de la varianza de los efectos, se encuentra que el efecto de la variabilidad de la temperatura en el proceso biodepurativo es notable. Y, deben aplicarse

otras estrategias que permitan mantener o; en el mejor de los casos, aumentar la eficiencia de depuración. Una de ellas sería aislar colonias de bacterias para someterlos a prueba en procesos semejantes. Otra estrategia vendría ser el de elevar la temperatura, pero empleando la energía renovable, que permita reducir los costos de operación, tanto para calentar el líquido como para airear.

Comparando con los resultados de trabajos de investigación que guardan ciertas semejanzas con esta investigación, en principio se tiene a la investigación desarrollada por (7), en el que experimentaron en la aclimatación de biomasa en un reactor CANON para la eliminación autótrofa de nitrógeno con nitración parcial. La aclimatación consistió en disminuir de 35 °C a 15 °C, y encontraron que la eficiencia de eliminación del nitrógeno disminuyó moderadamente cuando redujeron la temperatura de 35 a 25 °C y drásticamente de 25 °C a 15°C. En esta investigación como se mencionó, se encontró que la eficiencia de depuración del agua residual con los microorganismos benéficos disminuye cuando hay variación de temperatura, pues la temperatura desciende en horas de la noche, a niveles por debajo de la temperatura ambiental. Entonces se confirma que el descenso de temperatura no es conveniente para la eficiencia de depuración.

En la otra investigación considerada en los antecedentes, realizado por (8), sometieron a biodepuración aguas de dos ríos de Ecuador que se encontraban contaminadas, usando 02 tipos de microorganismos aclimatados, que lo obtuvieron aislando de dos zonas con gran diversidad. Sus ensayos lo hicieron en un reactor a nivel de laboratorio y, las dos cepas fueron identificados como gran positivos. No indican de temperatura al cual llevaron a cabo sus ensayos, pero concluyen que ambos tienen gran potencial de biodegradación ya que obtuvieron 67.96% y 69.15 % en remoción de DQO para ambas cepas. En el caso de la remoción de DQO que se obtuvo a los cinco días con los microorganismos benéficos en esta investigación, en promedio fue de 73.33% a 20 °C y 64.47 % cuando la temperatura del agua residual sufrió variación.

En la tesis desarrollada por (13) llevaron a cabo ensayos a nivel de planta en la misma estación depuradora de Concepción en el año 2018, con el fin de determinar la influencia de la aplicación de microorganismos eficaces (EM agua) en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente del biorreactor. En sus ensayos modificaron las dosis de aplicación de los microorganismos a niveles de 4%, 6% y 8%. Sus pruebas lo realizaron en modo continuo, mas no en batch. Sus observaciones lo realizaron durante 39 días. Encontraron que al incrementar la dosis de EM agua, los coliformes fecales disminuían, los contaminantes metálicos aumentaban y mencionan que hay una correlación directa del DBO y DQO con la dosis de EM agua. No indican el nivel de temperatura al que se mantuvo

durante ese periodo. En esta investigación por el contrario se llevó a cabo los ensayos experimentales a nivel de laboratorio y por lotes. El periodo que demoro los ensayos fue de 5 días, y se observó el comportamiento que mostraban cuando la temperatura del agua residual fue de 20 °C y también cuando varío por efecto de las condiciones climáticas.

## CONCLUSIONES

- Fue evaluado el efecto de la variación de temperatura y tiempo de tratamiento de aguas residuales municipales de Concepción, en la eficiencia de depuración que presentan microorganismos benéficos durante la descontaminación biológica de agua residual en un reactor aerobio por lotes, y se concluye que, cuando la temperatura varía, provoca que disminuya la eficiencia de depuración de los microorganismos de 73.3 % a 64.5%. Además, el incrementar el tiempo de tratamiento, la eficiencia de depuración aumenta en ambos casos.
- Fue determinado las características físicas y químicas que presenta las muestras de agua residual procedente del ingreso a la PTAR de Concepción. Los parámetros se encuentran en la tabla 7. La DQO de las dos muestras son 410 y 428 mg/L, y de acuerdo con este parámetro, dentro de la clasificación de aguas residuales, pertenecen a aguas residuales domésticas.
- Se evaluó los cambios en la DQO del agua residual durante el proceso de descontaminación biológica con microorganismos benéficos, en un biorreactor aerobio por lotes, y se observó que, disminuye de 410 a 109.3 mg/L (con una eficiencia de 73.3%) cuando la temperatura del agua residual es constante y, de 430.3 a 153 mg/L (con una eficiencia de 64.5%) cuando la temperatura varía.
- Se evaluó los efectos que provoca la variación de temperatura en la eficiencia de depuración de los microorganismos benéficos, así como el tiempo de biotratamiento, y se concluye que, el cambio que provocan ambos factores, son significativos al 95 % de confianza.

## **RECOMENDACIONES**

- Evaluar el desempeño de bacterias benéficas de manera independiente, es decir de cepas puras o aisladas, con el fin de encontrar cuales son las que mejor desempeño tienen y cuan eficientes son cada cepa pura.
- Llevar a cabo pruebas con este mismo producto comercial, Environoc 301, para evaluar el efecto de incrementar la dosis de estos microorganismos benéficos en la eficiencia de remoción, y con ello, determinar la dosis apropiada para igualar a la eficiencia sin presencia de variabilidad de temperatura.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SUNASS. Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las Empresas Prestadoras. 2022, 278.
2. OROZCO JARAMILLO, Alvaro. Bioingeniería de Aguas residuales: Teoría y diseño. Segunda edición. 2014, 378.
3. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. Resultados Definitivos. *Censos económicos* [online]. 2018, 1060. Dostupné z: [http://www.inr.pt/uploads/docs/recursos/2013/20Censos2011\\_res\\_definitivos.pdf](http://www.inr.pt/uploads/docs/recursos/2013/20Censos2011_res_definitivos.pdf)
4. METCALF, Eddy. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y recirculación. 1995. ISBN 84-481-1727-1.
5. RAMALHO, R.S., *Tratamiento de aguas residuales*. 1993. ISSN 07162308
6. METCALF AND EDDY. Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización. 1995. ISBN 0070416907.
7. GONZALEZ-MARTINEZ, Alejandro, Alejandro RODRIGUEZ-SANCHEZ, Maria Jesus GARCIA-RUIZ, Barbara MUÑOZ-PALAZON, Carmen CORTES-LORENZO, Francisco OSORIO a Riku VAHALA. Performance and bacterial community dynamics of a CANON bioreactor acclimated from high to low operational temperatures. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2016, **287**, 557–567. ISSN 13858947. Dostupné z: [doi:10.1016/j.cej.2015.11.081](https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.11.081)
8. ORTIZ, Daniel, María José ANRANGO, Héctor PÉREZ, Lizeth CHELA, Gabriela VILLAGRÁN a Leonardo FERNANDEZ. Uso de microorganismos eficientes para la depuración de contaminantes orgánicos en aguas residuales urbanas. *Ecuadorian Science Journal* [online]. 2021, **5**(3), 355–362. Dostupné z: [doi:10.46480/esj.5.3.165](https://doi.org/10.46480/esj.5.3.165)
9. ZHOU, Hexi, Xin LI, Guoren XU a Huarong YU. Overview of strategies for enhanced treatment of municipal/domestic wastewater at low temperature. *Science of the Total Environment* [online]. 2018, **643**, 225–237. ISSN 18791026. Dostupné z: [doi:10.1016/j.scitotenv.2018.06.100](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.100)
10. APAZA, A. Uso de Microorganismos Eficaces en el mejoramiento de la calidad de aguas residuales de la Industria Láctea, Lima - 2017. *Universidad César Vallejo*. 2017, 182.

11. CALLATA CHURA, Rose Adeline, Nancy Tania MANANI CCAMA, Richard Davis CHAVEZ MOLINA a Juan Eduardo VIGO RIVERA. Depuración de aguas residuales domésticas con Microorganismos Eficientes en condiciones altiplánicas en sistema mixto (anaerobio-aeróbico). *Unaciencia* [online]. 2021, **14**(26), 60–67. ISSN 2027-3916. Dostupné z: doi:10.35997/unaciencia.v14i26.615
  
12. BELTRÁN BELTRÁN, Tony Reilly a Cynthia Melissa CAMPOS RIVEROS. Influencia de microorganismos eficaces sobre la calidad de agua y lodo residual, planta de tratamiento de Jauja. *Universidad Nacional del Centro del Perú* [online]. 2016, 206. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3461>
  
13. DELGADO, Juan. Influencia de los microorganismos eficaces (Em agua) en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente del bioreactor en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Concepción-2018. *Universidad Continental* [online]. 2019. Dostupné z: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7027>
  
14. LARIOS, Fernando, Carlos GONZÁLES a Yennyfer MORALES. Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer. Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*. 2015, **2**(2), 9–25. ISSN 2311-7613.
  
15. BAÑUELOS DÍAZ, Jennifer, César CALDERÓN MÓLGORA, Arturo GONZÁLEZ HERRERA, Ma. De Lourdes RIVERA HUERTA, Sara PÉREZ CASTREJÓN, Iván VILLEGAS MENDOZA, Carlos SILVA LUNA, Alejandra MARTÍN DOMÍNGUEZ a Martín PIÑA SOBERANIS. Cerrando el ciclo urbano del agua. *Perspectivas IMTA* [online]. 2021, **2**(15), 1–5. Dostupné z: doi:10.24850/b-imta-perspectivas-2021-15
  
16. PRENSA DATEANDO. Fundación Yammine: Industrias que contaminan más al ambiente. 2021.
  
17. SPELLMAN, F. *Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. 2009. ISBN 9781466553385.
  
18. TORRES, Rafael. *Relaves Mineros* [online]. 2020. Dostupné z: <http://bcn.cl/2lr1c>
  
19. ALANIS, Patricio Javier. “Diseño del muestreo y tratabilidad de un efluente industrial de una empresa autopartista” Resumen ejecutivo. B.m., 2011. b.n.
  
20. VARILLA, Julian. *Lodos activados*.

21. BOTETANO OLORTEGUI, CESAR a AUGUSTO RAMOSHUAMAN. *Biodiscos: Tratamiento Aeróbico de Aguas Residuales*.
22. BLUEGOLD. El tratamiento de lodos de depuración de aguas residuales. 2020.
23. ECURED. Estructura de la célula bacteriana.
24. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, Carlos COLLADO FERNÁNDEZ a Pilar BAPTISTA LUCIO. *Metodología de la Investigación*. 2014.
25. MONTGOMERY, DC. *Diseño y análisis de experimentos*. 2004. ISBN 968-18-6156-6
26. ÑAUPAS P., Humberto, Elias MEJIA M., Eliana NOVOA R. a Alberto VILLAGOMEZ P. *Metodología de la Investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de Tesis*. 4ta. Edici. Bogota - Colombia: Ediciones de la U, 2014. ISBN 9788490225370.
27. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales* [online]. 2016. Dostupné z: [http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/209%0Ahttps://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.\\_010-2016-ana\\_0.pdf](http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/209%0Ahttps://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf)
28. CLESECERI, Leonore S., Arnold E. GREENBERG a R. Rhodes TRUSSSELL. *Metodos normalizados para el analisis de aguas potables y residuales*. 17. vyd. 1992. ISBN 9788479780319.

## ANEXOS

### ANEXO N°1: Fotografías de la PTAR de Concepción

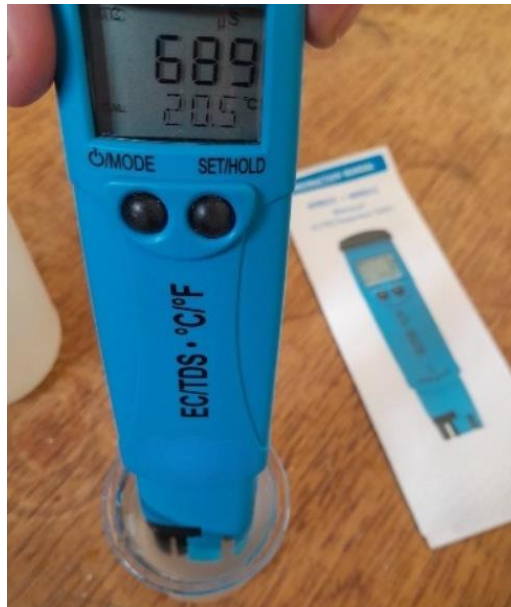


**ANEXO N°2: Fotografías de la colección de muestras de aguas residual**



**ANEXO N°3: Fotografías de la medición de parámetros temperatura, pH,  
conductividad eléctrica**



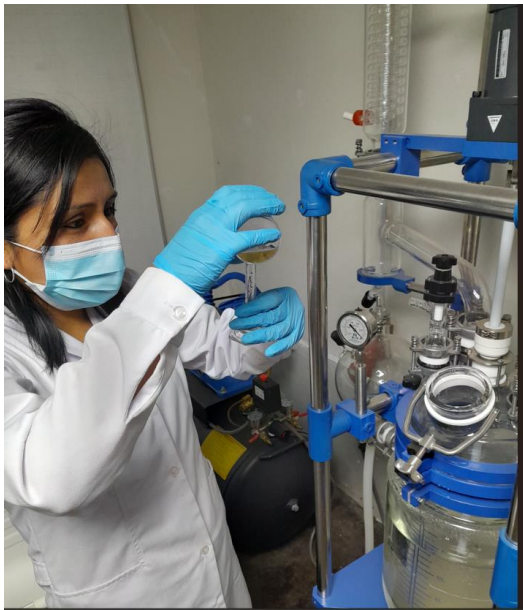
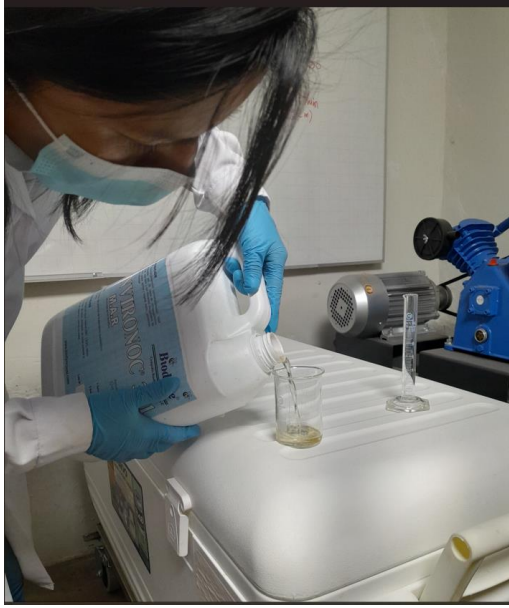


#### ANEXO 4: Fotografías del bio reactor en la etapa de carga y operación











## ANEXO N°5: Certificados de análisis de muestras de agua residual



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

#### INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-015-E

**NOMBRE DEL CLIENTE** : DIANA GARCÍA PAREJAS.  
**DOMICILIO LEGAL** : JR. INTI 114 – SIGLO XX EL TAMBO.  
**SOLICITADO POR** : DIANA GARCÍA PAREJAS.  
**REFERENCIA DEL CLIENTE** : INVESTIGACIÓN – EFICIENCIA DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN LA BIODEPURACIÓN AEROBIA DE AGUA RESIDUAL.  
**PROCEDENCIA** : MONITOREO DE AGUA EN BIORREACTOR AEROBIO – LABORATORIO – EL TAMBO HUANCAYO.  
**ORDEN DE SERVICIO N°** : AL/OS – 2023 – 15 – E.  
**CANTIDAD DE MUESTRAS** : 2 MUESTRAS.  
**FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA** : 31/07/2023, 07/08/2023.  
**PERIODO DE ENSAYO** : 01/08/2023 – 10/08/2023.  
**TOMA DE MUESTRA** : POR EL CLIENTE.  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA** : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

#### I. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MONITOREO:

Código del Cliente	Código de Laboratorio	Coordenadas		Fecha de Monitoreo	Hora de Monitoreo	Producto Declarado
		Este	Norte			
Muestra 1	M-23075-E	-----	-----	31/07/2023	13:30	AGUA RESIDUAL
Muestra 2	M-23094-E	-----	-----	07/08/2023	13:30	AGUA RESIDUAL

#### II. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

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



LAB-FR-004 VERSIÓN 02/ F. E. 01/2022

**AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.**  
  
**Ing. Irym A. Leandrea González**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CIP N° 175912

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

Página 1 de 3

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril 5/N – Barrio Chanchas – Huayucachi  
 Cel.: 998900666 - 956000691 Email: ambiental.lab@ambientallaboratorios.com.pe



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

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-015-E

### METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método de Referencia	Descripción
Dureza Cálrica	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Ca D, 23nd Ed.2017	Calcium, EDTA Titrimetric Method
Cloruros	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-Cl B, 23nd Ed.2017	Chloride, Argentometric Method
Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23nd Ed.2017	Total, Solids in Suspension Dried at 103-105 ° C
Sólidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23nd Ed.2017	Total, Solids Dried at 103-105°C
Oxígeno Disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 23nd Ed.2017	Oxygen (Dissolved), Membrane-Electrode Method
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23nd Ed.2017	Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method.



AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.

Ing. Ingrid Lidia Gálvez  
EFE DE LABORATORIO  
CIP 175812

LAB-#R-004 VERSIÓN 02/ F.E. 01/2022

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

Página 2 de 3

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



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

**INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-015-E**

**III. RESULTADOS:**

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
Muestra 1	pH	6.9	Unidad de pH
	Conductividad Eléctrica	689	µS/cm
	Turbidez	165	NTU
	Dureza total	435.0	CaCO <sub>3</sub> mg/L
	Alcalinidad	136.0	mg/L
	Dureza Cálcica	68.0	mg/L
	Cloruros	48.0	mg/L
	Sólidos Totales en Suspensión	1346	mg/L
	Sólidos Totales	2104	mg/L
	Oxígeno Disuelto	0.42	mg/L
	Demanda Química de Oxígeno	410.0	mg/L
	Muestra 2	pH	6.8
Conductividad Eléctrica		704	µS/cm
Turbidez		143	NTU
Dureza total		413.0	CaCO <sub>3</sub> mg/L
Alcalinidad		156.0	mg/L
Dureza Cálcica		71.0	mg/L
Cloruros		59.0	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión		1403	mg/L
Sólidos Totales		2117	mg/L
Oxígeno Disuelto		0.97	mg/L
Demanda Química de Oxígeno		428.0	mg/L



AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.

*[Firma]*  
Ing. *[Nombre]* *[Apellido]*  
JEFE DE LABORATORIO  
N° 175812

Huancayo, 12 de Agosto del 2023

LAB-PR-004 VERSIÓN 02/ F.E: 01/2022

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

Página 3 de 3



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

### INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-017-E

NOMBRE DEL CLIENTE	: DIANA GARCÍA PAREJAS.
DOMICILIO LEGAL	: JR. INTI 114 – SIGLO XX EL TAMBO.
SOLICITADO POR	: DIANA GARCÍA PAREJAS.
REFERENCIA DEL CLIENTE	: INVESTIGACIÓN – EFICIENCIA DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN LA BIODPURACIÓN AEROBIA DE AGUA RESIDUAL.
PROCEDENCIA	: MONITOREO DE AGUA EN BIORREACTOR AEROBIO – LABORATORIO – EL TAMBO HUANCAYO.
ORDEN DE SERVICIO N°	: AL/OS – 2023 – 17 – E.
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 18 MUESTRAS.
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 07/08/2023, 08/08/2023, 09/08/2023, 10/08/2023, 11/08/2023, 12/08/2023.
PERIODO DE ENSAYO	: 07/08/2023 – 14/08/2023.
TOMA DE MUESTRA	: POR EL CLIENTE.
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

#### I. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MONITOREO:

Código del Cliente	Código de Laboratorio	Coordenadas		Fecha de Monitoreo	Hora de Monitoreo	Producto Declarado
		Este	Norte			
Muestra-CVT-01	M-23095-E	-----	-----	07/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-02	M-23096-E	-----	-----	07/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-03	M-23097-E	-----	-----	07/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-11	M-23098-E	-----	-----	08/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-12	M-23099-E	-----	-----	08/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-13	M-23100-E	-----	-----	08/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-21	M-23101-E	-----	-----	09/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-22	M-23102-E	-----	-----	09/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-23	M-23103-E	-----	-----	09/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-31	M-23104-E	-----	-----	10/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-32	M-23105-E	-----	-----	10/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-33	M-23106-E	-----	-----	10/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-41	M-23107-E	-----	-----	11/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-42	M-23108-E	-----	-----	11/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-43	M-23109-E	-----	-----	11/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-51	M-23110-E	-----	-----	12/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-52	M-23111-E	-----	-----	12/08/2023	13:30 pm	Agua Residual
Muestra-CVT-53	M-23112-E	-----	-----	12/08/2023	13:30 pm	Agua Residual



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

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.

Mg. Dora R. Laurente Galarza  
JEFE DE LABORATORIO  
C.P. N° 175812

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

Página 1 de 2



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

### INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-017-E

#### II. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

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

#### III. RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
Muestra-CVT-01	Demanda Química de Oxígeno	425.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-02	Demanda Química de Oxígeno	431.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-03	Demanda Química de Oxígeno	436.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-11	Demanda Química de Oxígeno	346.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-12	Demanda Química de Oxígeno	331.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-13	Demanda Química de Oxígeno	359.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-21	Demanda Química de Oxígeno	256.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-22	Demanda Química de Oxígeno	236.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-23	Demanda Química de Oxígeno	240.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-31	Demanda Química de Oxígeno	212.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-32	Demanda Química de Oxígeno	214.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-33	Demanda Química de Oxígeno	219.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-41	Demanda Química de Oxígeno	169.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-42	Demanda Química de Oxígeno	164.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-43	Demanda Química de Oxígeno	177.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-51	Demanda Química de Oxígeno	152.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-52	Demanda Química de Oxígeno	156.0	O <sub>2</sub> mg/L
Muestra-CVT-53	Demanda Química de Oxígeno	151.0	O <sub>2</sub> mg/L



AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.  
Ing. Arlyn H. Rosente Colarza  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP N° 175812

Huancayo, 16 de Agosto del 2023

LAB-FR-004 VERSIÓN 02/ F.E. 01/2022

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

Página 2 de 2

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



## ANEXO N°6: Certificados de análisis de producto ENVIRONOC 301 M.A.R.



### Sociedad de Asesoramiento Técnico S.A.C.

JR. ALMIRANTE GUISE N° 2580 - 2586 / LIMA 14 - PERÚ TELÉFONO: 266-9280  
E-mail: satperu@satperu.com / web: www.satperu.com

#### INFORME DE ENSAYO N° DT-06615-01-2023

PRODUCTO : Muestra 1: ENVIRONOC 301 M.A.R.,  
SOLICITADO POR : Garola Parejas Diana Vanessa  
DIRECCIÓN : JR. Inti 114 Nro. 114 El tambo- Huancayo- Junín  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2023-11-18  
FECHA DE ANÁLISIS : 2023-11-18  
FECHA DE INFORME : 2023-11-23  
SOLICITUD N° : SDT-13254-2023

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : Ninguna  
ESTADO / CONDICIÓN : Producto Líquido / Temperatura Ambiente  
PRESENTACIÓN : Frasco de plástico transparente con tapa rosca color blanco, con sticker.  
CANTIDAD DE MUESTRA : 130 Mililitros  
CANTIDAD DE MUESTRA DIRIMENTE : Ninguna (A solicitud del cliente)

Servicio	Via / Resultado
(*) Recuento Total de Microorganismos Aerobios (ufc/mL)	67x10 <sup>3</sup>

(\*) Recuento Total de Microorganismos Aerobios : USP 42 NF 37 (2019) Farmacopea de los Estados Unidos de América. Pág. 6374-6380

-Informe de ensayo emitido en base a resultados obtenidos en nuestro laboratorio. Válido únicamente para la muestra proporcionada. Queda absolutamente prohibida toda reproducción parcial del presente informe sin la autorización escrita de SAT S.A.C. Este documento es válido solo en original.

QUIM. CLOTILDE HUAPAYA HERREROS  
JEFE DIVISIÓN TÉCNICA  
C.Q.P. N° 296

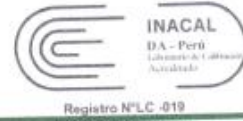


Firmado digitalmente por:  
Quim. Maria Clotilde Huapaya Herrera  
Fecha: 23/11/2023 11:28

# ANEXO N°7: Certificados de calibración de instrumentos



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



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LA-513-2022

Pág. 1 de 2

1. Solicitante : AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.  
2. Dirección : Av. Ferrocarril N° 661 - Chilca - Huancayo  
3. OTI : 913C

### 4. Datos del Instrumento

Instrumento de medición : Medidor de Conductividad\*  
Marca : LUTRON  
Modelo : YK-2005WA  
Serie : AJ.48725  
Resolución : 0,1 uS /cm - 0,001 mS/cm - 0,01 mS/cm  
Intervalo de indicación : 0,0 uS/cm a 200,0 mS/cm  
Procedencia : Taiwan  
Identificación / Código Interno : No indica

5. Lugar de Calibración : Laboratorio de Aguas - Green Group PE SAC.

6. Fecha de Calibración : 2022-12-13

### 7. Método de Calibración

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

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



Fecha de Emisión

2022-12-14

ISAÍAS CURI MELGAREJO  
JEFE DE LABORATORIO DE CALIBRACIÓN  
GREEN GROUP PE S.A.C.



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

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

FM11

\*EL USO INDUEDE DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCCIONADO CONFORME A LEY\*

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LA-513-2022

Pág. 2 de 2

### 8. Condiciones Ambientales.

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

### 9. Trazabilidad

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

### 10. Resultados de medición

Indicación del instrumento	Valor del patrón	Error	Incertidumbre
103,2 uS/cm	99,5 uS/cm	3,7 uS/cm	2,2 uS/cm
1,412 mS/cm	1,411 mS/cm	0,001 mS/cm	0,005 mS/cm
9,88 mS/cm	9,99 mS/cm	-0,11 mS/cm	0,06 mS/cm

### 11. Observaciones

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



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



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LA-389-2022

Pág. 1 de 2

1. **Solicitante** : AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.  
 2. **Dirección** : Av. Ferrocarril N° 661 - Chilca - Huancayo  
 3. **OTI** : 777C

4. **Datos del Instrumento**

Instrumento de medición : pH metro  
 Marca : HANNA  
 Modelo : HI 83141  
 Serie : J0072757  
 Resolución : 0,01 pH  
 Intervalo de Indicación : 0,00 pH a 14,00 pH  
 Procedencia : Rumania  
 Identificación / Código interno : EQ-001-LAB

5. **Lugar de Calibración** : Laboratorio de Aguas - Green Group PE SAC.

6. **Fecha de Calibración** : 2022-09-20

7. **Método de Calibración**

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

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



Fecha de Emisión

2022-09-21

  
 ISAIAS CURÍ MELGAREJO  
 Jefe de Laboratorio de Calibración  
 GREEN GROUP PE S.A.C.



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LA-389-2022

Pág. 2 de 2

### 8. Condiciones Ambientales.

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

### 9. Trazabilidad

Patrón usado	Código Interno	N° Lote o N° Certificado	F. Vencimiento
MRC pH 4	GGP-S-01.71	CC734725	2023-10-07
MRC pH 7	GGP-S-02.73	CC735008	2023-11-03
MRC pH 10	GGP-S-03.74	CC735019	2023-09-09

### 10. Resultados de medición

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

### 11. Observaciones

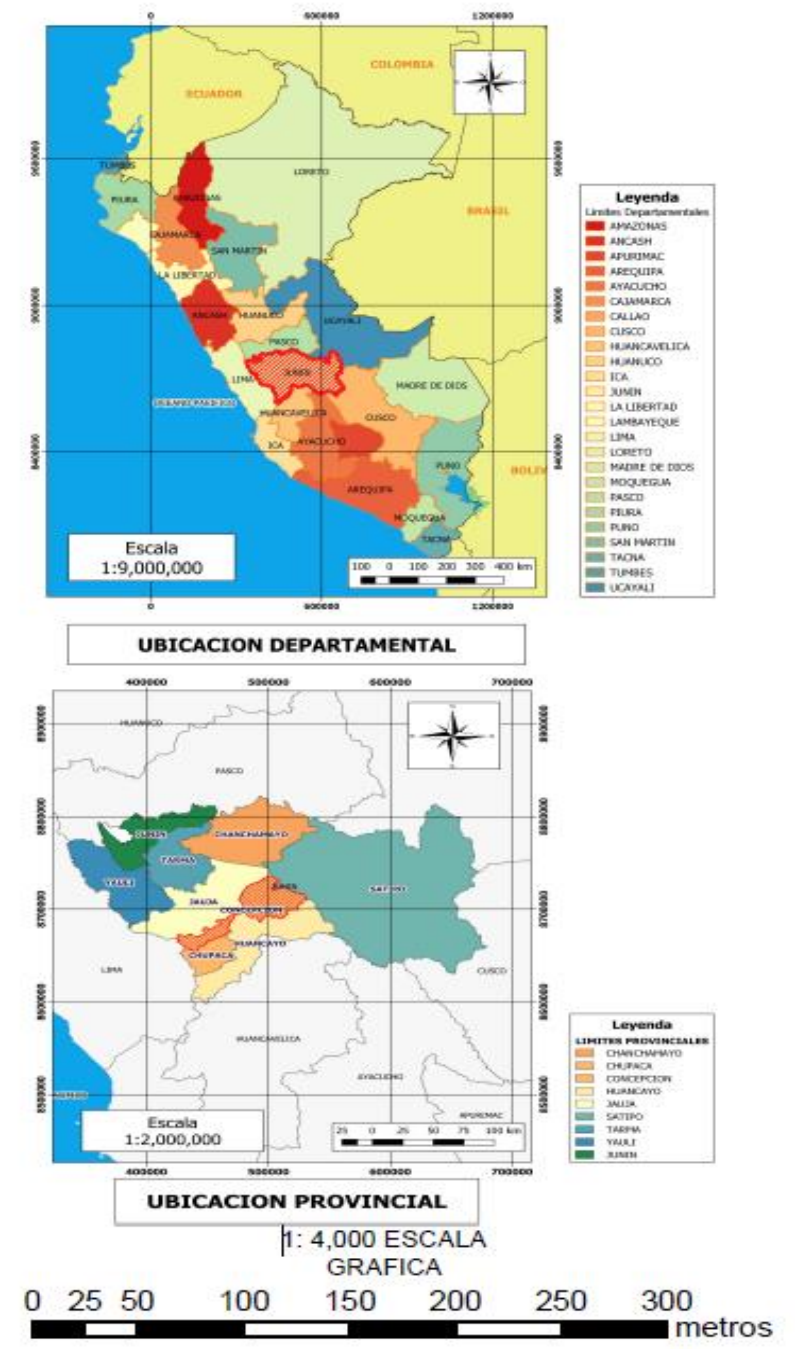
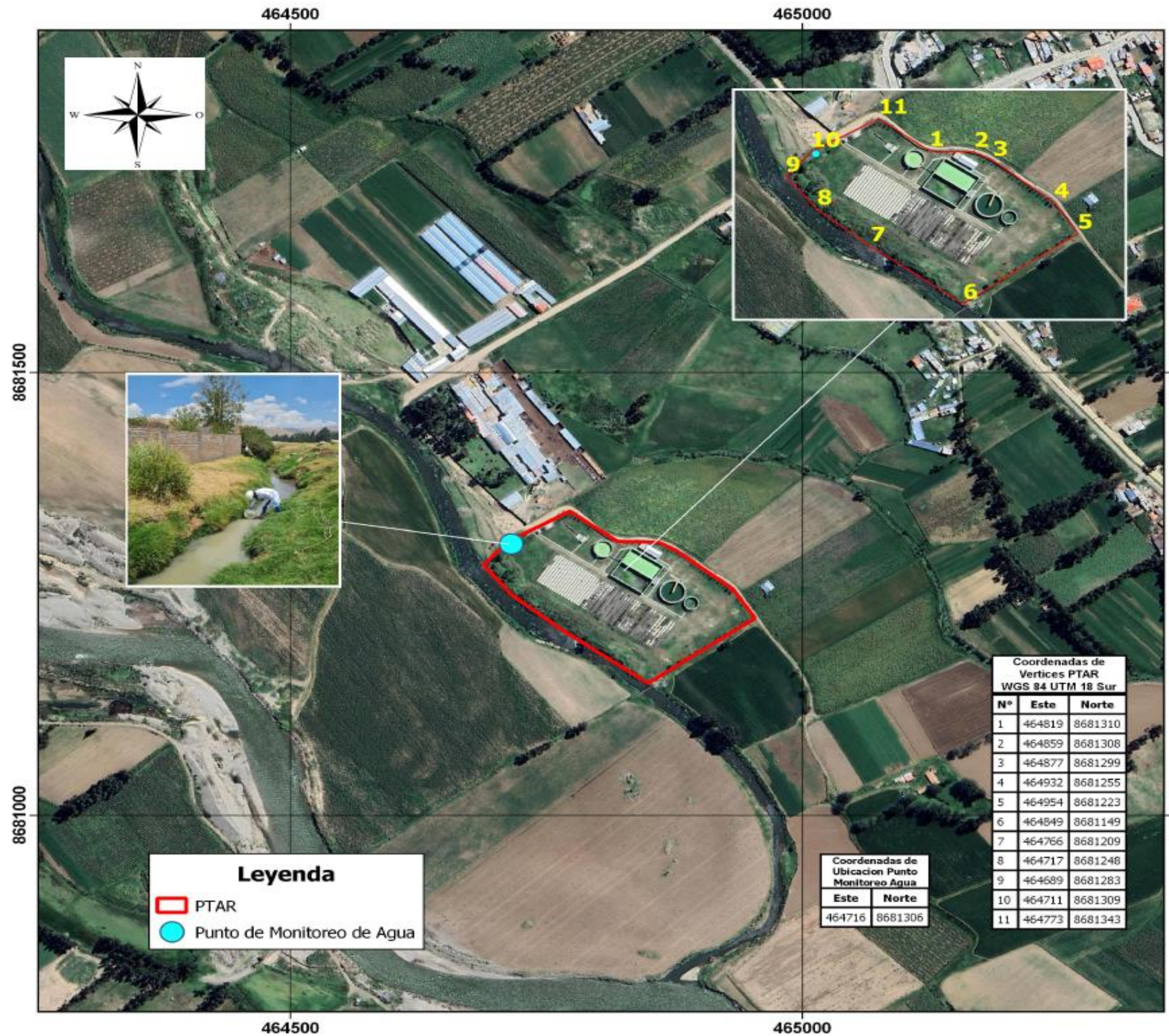
- Los resultados están dados a la temperatura de 25 °C.
- El coeficiente de correlación calculado es: 1.0000
- Serie de sensor 0488053N.



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



ANEXO N°8: Mapa de ubicación del punto donde se tomó la muestra de agua residual



MAPA DE UBICACION DE LA PTAR DORIS MENDOZA		
Departamento: Junin	Provincia: Concepcion	Distrito: Concepcion
Fuente: Google Earth, IGN	Fecha: Enero 2024	

**ANEXO 9: Matriz de consistencia – Proyecto de investigación**

**Efecto de la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, en la eficiencia biodepurativa de microorganismos benéficos - 2023**

<p><b>Planteamiento del problema</b></p> <p><b>Problema general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es el efecto de la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, en la eficiencia biodepurativa de microorganismos benéficos?</li> </ul> <p><b>Problemas secundarios</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Qué características físicas y químicas presenta la muestra de agua residual procedente del ingreso a la PTAR de Concepción?</li> <li>¿Qué cambios se observa en la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual durante el proceso de descontaminación biológica con microorganismos benéficos, en un biorreactor aerobio por lotes</li> <li>¿Es significativo el efecto que provoca la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, usando microorganismos benéficos, en la eficiencia de depuración de agua residual?</li> </ul>	<p><b>Objetivos</b></p> <p><b>Objetivo general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar el efecto de la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, en la eficiencia biodepurativa de microorganismos benéficos.</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar las características físicas y químicas que presenta la muestra de agua residual procedente del ingreso a la PTAR de Concepción.</li> <li>Evaluar los cambios que se observa en la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual durante el proceso de descontaminación biológica con microorganismos benéficos, en un biorreactor aerobio por lotes</li> <li>Evaluar la significancia de los efectos que provoca la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, usando microorganismos benéficos, en la eficiencia de depuración.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis.</b></p> <p><b>Hipótesis general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>“El efecto de la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento de agua residual municipal de Concepción, es que provoca la disminución de la eficiencia de depuración que presentan microorganismos benéficos al presentarse variación y al incrementar el tiempo”</li> </ul> <p><b>Hipótesis específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>“Las características que posee las muestras de agua residual están dentro del rango característico de las aguas residuales domesticas”.</li> <li>“La concentración de contaminantes de las muestras de agua residual (DQO), disminuye con el tiempo de tratamiento de manera más lenta cuando existe variación de temperatura que, cuando es estable”</li> <li>“Estadísticamente, es significativo el efecto que ejerce la variación de temperatura y el tiempo de tratamiento, sobre la eficiencia de depuración de las muestras de agua residual”</li> </ul>	<p><b>Variables e Indicadores</b></p> <p>Variable X = Variable Independiente:</p> <p>Variación de temperatura</p> <p>Tiempo de biotratamiento</p> <p>Indicadores:</p> <p>Temperatura constante y variable</p> <p>Días</p> <p>Variable Y = Variable Dependiente:</p> <p>Eficiencia de biodepuración</p> <p>Indicadores:</p> <p>mg/L de DQO</p>	<p><b>Metodología</b></p> <p><b>Tipo de Investigación</b></p> <p>Aplicada</p> <p><b>Nivel de la investigación</b></p> <p>Explicativo</p> <p><b>Método de la investigación</b></p> <p>Científico</p> <p><b>Diseño de la investigación:</b></p> <p>Experimental, factorial de dos factores.</p> <p><b>Muestra:</b></p> <p>10 L de agua residual</p> <p><b>Técnicas.</b></p> <p>Observación de ensayos experimentales y registro de datos T° y DQO.</p> <p><b>Instrumentos.</b></p> <p>Pruebas experimentales de depuración de AR.</p>
---	---	---	---	---