

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto del contenido proteico en la biodepuración
aerobia de agua residual doméstica a nivel de
laboratorio**

Gabriela Leticia Del Carmen Escarcina
Angie Camila Barriga Fernandez

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Arequipa, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

EFFECTO DEL CONTENIDO PROTEICO EN LA BIODEPURACIÓN AEROBIA DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA A NIVEL DE LABORATORIO

INFORME DE ORIGINALIDAD

29%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

17%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	6%
2	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	3%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
4	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
8	pure.ewha.ac.kr Fuente de Internet	<1%

9	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	1library.co Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Northern Kentucky University Trabajo del estudiante	<1 %
12	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
14	daralfalak.com Fuente de Internet	<1 %
15	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
16	xkb.bjmu.edu.cn Fuente de Internet	<1 %
17	m.riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %
18	ebin.pub Fuente de Internet	<1 %
19	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
20	www.semanticscholar.org Fuente de Internet	<1 %

21	akademi.itu.edu.tr Fuente de Internet	<1 %
22	www.sciencegate.app Fuente de Internet	<1 %
23	journal.hep.com.cn Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.udl.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	moam.info Fuente de Internet	<1 %
29	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
30	avesis.atauni.edu.tr Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1 %

33	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.une.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
36	www.worldcat.org Fuente de Internet	<1 %
37	yetl.yabesh.ir Fuente de Internet	<1 %
38	comunidadpmpca.uaslp.mx Fuente de Internet	<1 %
39	dspace.ucacue.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
40	www.gtz.org.mx Fuente de Internet	<1 %
41	Emile F. Harp. "Biological treatment of fatty acid and nitrogen derivative waste water", Journal of the American Oil Chemists Society, 1975 Publicación	<1 %
42	Submitted to University of West Georgia Trabajo del estudiante	<1 %
43	bibliotecadigital.usb.edu.co Fuente de Internet	<1 %

44	repositorio.uniandes.edu.co Fuente de Internet	<1 %
45	www.umariana.edu.co Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
47	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú Trabajo del estudiante	<1 %
48	Julio Cesar Rubiano Godoy, María del Pilar Perdomo, Laura Mariela Pramparo. "Estudio respirométrico de la biodegradación de Diclofenaco", Entre ciencia e ingeniería, 2017 Publicación	<1 %
49	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
50	Submitted to Universidad Militar Nueva Granada Trabajo del estudiante	<1 %
51	es.unionpedia.org Fuente de Internet	<1 %
52	repositorio.uma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
53	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

54	www.narrativas.com.ar Fuente de Internet	<1 %
55	JULIO FRANCISCO SANZ CARBONELL. "TRATAMIENTO DE AGUAS TEXTILES INDUSTRIALES MEDIANTE FOTOCATÁLISIS SOLAR Y REUTILIZACIÓN EN NUEVAS TINTURAS", Universitat Politecnica de Valencia, 2015 Publicación	<1 %
56	ckp.tsutmb.ru Fuente de Internet	<1 %
57	kipdf.com Fuente de Internet	<1 %
58	link.bowdoin.edu Fuente de Internet	<1 %
59	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	<1 %
60	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
61	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
62	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
63	investigaliacr.com Fuente de Internet	<1 %

64

old.oalib.com

Fuente de Internet

<1 %

65

rodin.uca.es

Fuente de Internet

<1 %

66

s3.amazonaws.com

Fuente de Internet

<1 %

67

www.acueducto.com.co

Fuente de Internet

<1 %

68

www.com.uvigo.es

Fuente de Internet

<1 %

69

www.mdsaude.com

Fuente de Internet

<1 %

70

www.revistasg.uff.br

Fuente de Internet

<1 %

71

www.rsu.lv

Fuente de Internet

<1 %

72

www.sabiia.cnptia.embrapa.br

Fuente de Internet

<1 %

73

Sara González Orenga. "Mecanismos de tolerancia a estrés salino e hídrico en plantas endémicas, raras o amenazadas.", Universitat Politècnica de Valencia, 2021

Publicación

<1 %

74

cimogsys.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

75	es.mfgrobots.com Fuente de Internet	<1 %
76	repositorio.unife.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
77	repositorio.utp.edu.co Fuente de Internet	<1 %
78	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
79	www.sietecruces.com Fuente de Internet	<1 %
80	Edgar Marcelino Pérez. "Proceso foto-Fenton como una alternativa en la degradación de microplásticos de poliamida presentes en aguas residuales textiles", Universitat Politecnica de Valencia, 2022 Publicación	<1 %
81	J.-C. Sigoillot. "Dégradation d'un tensio-actif commercial, en présence d'une source complémentaire de carbone, par une communauté bactérienne sélectionnée en milieu marin", Canadian Journal of Microbiology, 10/1987 Publicación	<1 %
82	Magdalena Soledad Cifuentes Cabezas. "Recuperación de polifenoles de efluentes de almazara mediante procesos de membrana y	<1 %

tratamiento biológico de las corrientes de rechazo", Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

83

Pedro Cisterna. "Biological Treatment by Active Sludge with High Biomass Concentration at Laboratory Scale for Mixed Inflow of Sunflower Oil and Saccharose", Environments, 2017

Publicación

<1 %

84

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

85

core.ac.uk

Fuente de Internet

<1 %

86

epdf.pub

Fuente de Internet

<1 %

87

prezi.com

Fuente de Internet

<1 %

88

repositorio.cinvestav.mx

Fuente de Internet

<1 %

89

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

90

rio.upo.es

Fuente de Internet

<1 %

91

www.estrucplan.com.ar

Fuente de Internet

<1 %

92	www.hannainst.cl Fuente de Internet	<1 %
93	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
94	"Encyclopedic Dictionary of Landscape and Urban Planning", Springer Nature, 2010 Publicación	<1 %
95	"Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs in Water", Springer Science and Business Media LLC, 2020 Publicación	<1 %
96	Mariana I. Ferrario, Sandra N. Guerrero. "Inactivation of Alicyclobacillus acidoterrestris ATCC 49025 spores in apple juice by pulsed light. Influence of initial contamination and required reduction levels", Revista Argentina de Microbiología, 2018 Publicación	<1 %
97	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	<1 %
98	doaj.org Fuente de Internet	<1 %
99	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
100	doczz.net Fuente de Internet	<1 %

101	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
102	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
103	es.weforum.org Fuente de Internet	<1 %
104	mulpix.com Fuente de Internet	<1 %
105	ojs.unemi.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
106	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
107	repository.unimilitar.edu.co Fuente de Internet	<1 %
108	unfcc.int Fuente de Internet	<1 %
109	vriunap.pe Fuente de Internet	<1 %
110	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1 %
111	Eva Ferrer Polonio. "TRATAMIENTO BIOLÓGICO AEROBIO PARA AGUAS RESIDUALES CON ELEVADA CONDUCTIVIDAD"	<1 %

Y CONCENTRACIÓN DE FENOLES", Universitat Politecnica de Valencia, 2017

Publicación

112

buleria.unileon.es

Fuente de Internet

<1 %

113

Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace, 2011.

Publicación

<1 %

114

livrosdeamor.com.br

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

ASESOR

Ing. José Vladimir Cornejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios en primer lugar por su infinito amor, por haberme dado la fortaleza para seguir adelante en aquellos momentos de debilidad y por permitirme culminar éste ansiado logro, no cesan mis ganas de expresar que es por Él que esta misión está cumplida.

Gracias a mis amados padres Jaime y Judith, mis mejores guías de vida, gracias por cada día confiar y creer en mí, ustedes son el motor que impulsa mis más grandes sueños.

A mis hermanas Wendy, Regina y Flavia por ser parte indispensable de mi vida. Gracias hermanas por llenar mi vida de alegrías y amor.

Este logro más que mío es de todos aquellos que lo hicieron posible, gracias por tanto.

Angie.

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mis Padres Rosa Luz y José a mi hermana Adriana por ser el motor de inspiración para realizar mis sueños. A mis abuelos por ser el pilar de amor y comprensión en este largo camino profesional en especial a mi angelito Rosita que está siempre presente guiando mis ideas. A mi asesor por el tiempo dedicado y los conocimientos brindados a lo largo de este tiempo.

A mis amigos por estar siempre a mi lado con palabras de aliento y a todos aquellos que están cerca de mí y le regalan algo importante a mi vida.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios por bendecirme la vida, a mis amados padres quienes, con su paciencia, esfuerzo y una gran dosis de amor me permitieron cumplir este logro, les dedico todo mi esfuerzo en reconocimiento a todo el sacrificio puesto, merecen esto y mucho más. A mis hermanas tan increíbles y únicas quienes, representan un impulso en cada uno de mis objetivos. A mis abuelos porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de alguna u otra manera formaron parte de este logro. A todos ustedes, con amor.

Este proyecto está dedicado a Dios, ya que gracias a él logre concluir uno de mis objetivos, también a mis padres por estar a mi lado en cada paso guiándome, brindándome su apoyo y consejos, a mi hermanita por sus palabras de amor y confianza, a mis abuelitos por ser mi pilar de amor y fortaleza, a Mama Rosita que, aunque no esté conmigo físicamente siempre está presente en cada paso que doy, cuidándome. A mis amigos por brindarme el tiempo para realizarme profesionalmente y a cada una de las personas que han contribuido a culminar este logro

INDICE GENERAL

RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN.....	11
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1. Planteamiento del problema	13
1.1.2. Formulación del problema.....	14
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1. General.....	15
1.2.2. Específicos.....	15
1.3. Justificación e importancia	15
1.4. Hipótesis y descripción variables	16
1.4.1. Hipótesis.....	16
1.4.2. Hipótesis general	16
1.4.3. Hipótesis específicas.....	16
1.4.4. Descripción de variables.....	16
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes del problema	18
2.1.1. Antecedentes internacionales	18
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	19
2.2. Bases teóricas.....	22
2.2.1. Características de las aguas residuales	22
2.2.2. Sistemas de aireación.....	30
2.2.3. Aguas residuales sintéticas	31
2.3. Definición de términos básicos	31
2.3.1. Agua tratada.....	31
2.3.2. Calidad de agua	31
2.3.3. Efluente.....	32
2.3.4. Oxígeno disuelto.....	32
2.3.5. Sólidos suspendidos totales (SST).....	32
2.3.6. DQO	32
2.3.7. Sólidos suspendidos volátiles (SSV).....	32

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	33
3.1. Método y alcance de la investigación	33
3.1.1. Método de la investigación.....	33
3.1.2. Alcance de la investigación	33
3.1.3. Nivel de la investigación	33
3.2. Diseño de la investigación	33
3.2.1. Tipo de la investigación.....	33
3.3. Población y muestra.....	35
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	35
4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
4.1. Características del agua residual artificial	42
4.2. Perfil de disminución de la demanda química de oxígeno	43
4.3. Relación entre las variables independientes con la dependiente	46
4.4. Evaluación de la significancia de los efectos de los factores mediante análisis de varianza	49
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
6. ANEXOS	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición del sustrato sintético	31
Tabla 2: Variables independientes y sus niveles	34
Tabla 3: Diseño de los experimentos.....	34
Tabla 4: Concentración de sustancias con las que se preparó el agua residual	35
Tabla 5: Cantidades disueltas adicionalmente de peptona.....	38
Tabla 6: Soluciones patrón para curva de calibración	40
Tabla 7: Velocidad específica de biodepuración de primer orden.....	47
Tabla 8: Resumen del análisis de varianza	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Descomposición de proteínas en condiciones aeróbicas	27
Figura 2: Descomposición de carbohidratos en condiciones aeróbicas	27
Figura 3: Oxidación de las sustancias celulares en condiciones aeróbicas	28
Figura 4: Biorreactor para ensayos experimentales	37
Figura 5: Fotografía del agua residual preparada en el biorreactor	43
Figura 6: Perfil de disminución de la DQO a 400 ppm de concentración de proteínas	43
Figura 7: Perfil de disminución de la DQO a 500 ppm de concentración de proteínas	44
Figura 8: Perfil de disminución de DQO a 600 ppm de concentración de proteínas	44
Figura 9: Perfil de disminución de DQO promedios.....	45
Figura 10: Filtración al vacío de muestras tomadas para determinación de DQO	46
Figura 11: Ln (DQO₀/DQO) versus tiempo para determinación de velocidad específica de depuración	47
Figura 12: Velocidad de biodepuración en función del tiempo.....	48
Figura 13: Velocidad específica versus concentración de proteína	49

RESUMEN

En esta investigación, el objetivo principal fue evaluar los efectos de la concentración inicial de proteína y el tiempo de tratamiento, en la rapidez de biodepuración aerobia de agua residual doméstica a nivel de laboratorio. Para lo cual, se ha utilizado datos obtenidos de ensayos de depuración con microorganismos aerobios, en un biorreactor por lotes, en volúmenes de 20 L de agua residual artificial. Todos los ensayos fueron desarrollados a una temperatura de 17 °C y una concentración de oxígeno disuelto de 3ppm; ambos controlados por controladores independientes, durante todo el proceso. La proteína que se utilizó en la preparación del agua fue la peptona, y los niveles de concentración inicial a los cuales se realizaron las pruebas fueron de 400ppm, 500ppm y 600ppm, generando una demanda química de oxígeno (DQO) inicial de las muestras de agua residual artificial de 685 ppm, 778 ppm y 871 ppm respectivamente. Los microorganismos aerobios utilizados provienen de un cultivo líquido y tienen una concentración de sólidos suspendidos volátiles de 7.33mg/L. Las mediciones de DQO se realizaron diariamente durante un periodo de 5 días. La evaluación de rapidez se realizó mediante el indicador de velocidad específica de biodepuración considerando una cinética de primer orden. Con los resultados que se obtuvieron se concluye que, ambos factores ejercen un efecto significativo sobre la rapidez, de modo tal que, este aumenta con la concentración inicial de peptona y disminuye con el tiempo de tratamiento.

ABSTRACT

In this research, the main objective was to evaluate the effects of initial protein concentration and treatment time on the rate of aerobic biodegradation of domestic wastewater at the laboratory level. For this purpose, data obtained from purification tests with aerobic microorganisms in a batch bioreactor, in 20 L volumes of artificial wastewater, were used. All the tests were carried out at a temperature of 17 °C and a dissolved oxygen concentration of 3ppm, both controlled by independent controllers during the whole process. The protein used in the preparation of the water was peptone, and the initial concentration levels at which the tests were performed were 400ppm, 500ppm and 600ppm, generating an initial chemical oxygen demand (COD) of the artificial wastewater samples of 685ppm, 778ppm and 871ppm respectively. The aerobic microorganisms used are from a liquid culture and have a volatile suspended solids concentration of 7.33mg/l. COD measurements were performed daily for a period of 5 days. The speed evaluation was carried out using the specific biodegradation rate indicator considering first order kinetics. With the results obtained, it is concluded that both factors have a significant effect on the speed, in such a way that it increases with the initial peptone concentration and decreases with the treatment time.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales es un proceso donde intervienen diferentes operaciones dirigido principalmente a la separación de sólidos de líquidos y, también depurar los contaminantes disueltos en el agua, mediante microorganismos. Comúnmente a estos microorganismos lo clasifican en grupos de acuerdo a su capacidad de utilizar oxígeno disuelto del agua para su respiración en el metabolismo de las sustancias disueltas, en microorganismos aerobios y anaerobios. La elección de estos tipos de microorganismos en el tratamiento depurativo de sustancias contaminantes está condicionada por la carga contaminante que posee el agua. Para concentraciones bajas en demanda química de oxígeno (DQO) del agua menores a 1000 ppm, es apropiado el uso de microorganismos aerobios. (1).

Las principales etapas que el agua contaminada pasa, para su tratamiento aerobio por una planta, son denominados: tratamiento primario; en el que se remueven sólidos de gran y mediano tamaño, así como aceites y grasas, tratamiento secundario o biológico; donde intervienen los microorganismos aerobios para la remoción de sólidos disueltos y, el tratamiento terciario; en el que se aplica diferentes tecnologías para disminuir aún más los contaminantes, dependiendo del uso que se dará al agua. Toda esta tecnología fue desarrollada y aplicada con bastante énfasis a partir de los años 1950 (3).

En la etapa secundaria o biológica del tratamiento, es importante que la población de microorganismos se encuentre en la suficiente cantidad, para que la velocidad de biodepuración sea el adecuado a fin de cubrir los caudales de agua residual a tratar. También, se debe suministrar los requerimientos de oxígeno disuelto y sustratos. Pero, por diversas circunstancias, el agua residual que ingresa a una planta tiene características que varían con el tiempo, lo cual constituye un inconveniente para que el proceso sea lo más satisfactorio posible. En estas circunstancias, es muy necesario aplicar diferentes estrategias que permitan un manejo adecuado del proceso.

Orientado a dar solución de algunos de estos casos circunstanciales, en esta oportunidad, el propósito que se tiene con esta investigación fue evaluar el comportamiento de la velocidad de biodepuración cuando se incrementa dosis adicionales de proteína en el agua residual. Pues, un requerimiento importante de los microorganismos, son estas sustancias que permiten el desarrollo de su pared celular y con ello su población. En la literatura especializada, no se encontró información relacionada al efecto que tiene esta modificación de la concentración inicial de proteínas en el agua residual. Tampoco de

cuanto es la velocidad y su porcentaje de incremento, disminución o, en un escenario más crítico, si se inhiben, cuando el proceso se desarrolla las condiciones medio ambientales de la ciudad de Arequipa.

El informe está estructurado de modo tal que, en el primer capítulo, se expone el planteamiento del problema de manera ampliada. En el segundo capítulo, se presentan investigaciones relacionadas a este tema, realizadas por otros investigadores y también los fundamentos teóricos especializados. En el tercer capítulo se describe los aspectos metodológicos que se utilizaron para lograr conseguir los datos de interés que permitieron responder al problema. En el cuarto capítulo, se muestran los datos y resultados que se obtuvieron, así como su discusión. Finalmente, con todo esto, se expone las conclusiones y recomendaciones.

1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Los recursos hídricos son vulnerables a la contaminación. Se considera al agua como un “solvente universal”, por lo tanto, “es capaz de disolver más sustancias que cualquier otro líquido”. La mayoría de los contaminantes hídricos son sustancias tóxicas provenientes de las actividades antropogénicas y estos efluentes tienen como destino final algún cuerpo receptor, teniendo este último, una capacidad natural de autodepuración de los contaminantes, en mayor cantidad depura los contaminantes orgánicos por la actividad de los microorganismos aerobios presentes de forma natural en los cuerpos superficiales de agua, y también, pero en menor cantidad depura los contaminantes inorgánicos por la acción fitorremediadora de la flora acuática (2).

También uno de los problemas que preocupan a la población mundial es el calentamiento global, debido a la disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura que conlleva a un retroceso en la cobertura glacial de varios nevados que son una fuente de almacenamiento de agua que es utilizada por muchas poblaciones como fuente hídrica para potabilización (2), a ello se añade la tendencia de crecimiento de la población en el Perú, lo cual de acuerdo al INEI para el año 2040 la cantidad de la población en el Perú será de 40 millones de habitantes, y con el crecimiento de la población la generación de aguas residuales de carácter doméstico se incrementará, y el Perú, siendo un país en vías de desarrollo, donde solo se tratan el 35% de las aguas municipales, esto convierte al tema de tratamiento de las aguas residuales en primordial para asegurar la sostenibilidad de los recursos hídricos en el futuro.

El tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales es una de las formas de tratamiento utilizadas para remover contaminación biológica biodegradable, teniendo como fuente principal las aguas residuales de

procedencia doméstica, este tratamiento ha sido ampliamente utilizado desde mediados del siglo XX y hasta la actualidad sigue siendo uno de los métodos más utilizados para el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales domésticas y municipales.

Este trabajo presenta una oportunidad de investigación del proceso biológico de tratamiento de aguas residuales de carácter doméstico, teniendo como objetivo de estudio determinar la rapidez de biodepuración de la materia orgánica de una muestra de agua residual fabricada en laboratorio a través de fórmulas conocidas agregando diferentes dosis de peptona, siendo ese componente, de acuerdo a los antecedentes científicos, una proteína que puede tener un efecto sobre la biomasa en el proceso de depuración de la materia orgánica biodegradable en el agua residual (4).

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo afecta la concentración de peptona y el tiempo de tratamiento, en la rapidez de biodepuración aerobia de agua residual doméstica a nivel de laboratorio?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la característica del agua residual doméstica a nivel de laboratorio?
- ¿Cómo es la evolución de la demanda química de oxígeno en el agua residual doméstica, durante el proceso de biodepuración?
- ¿Qué relación existe entre la concentración de proteínas en el agua residual, el tiempo de tratamiento y la velocidad de biodepuración de la materia orgánica biodegradable?

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Evaluar los efectos de la concentración de peptona y el tiempo de tratamiento, en la rapidez de biodepuración aerobia de agua residual doméstica a nivel de laboratorio.

1.2.2. Específicos

- Caracterizar los componentes del agua residual doméstica a nivel de laboratorio.
- Establecer el perfil de evolución de la demanda química de oxígeno en el agua residual doméstica, durante el proceso de biodepuración.
- Determinar la relación que existe entre la concentración de proteínas en el agua residual, el tiempo de tratamiento y la velocidad de biodepuración de la materia orgánica biodegradable.

1.3. Justificación e importancia

En los últimos años, el gran problema que aqueja a la población está asociado con la contaminación del agua. Este líquido elemento no solo es importante para el consumo humano, sino que su importancia radica también en la utilización por el sector industrial generando una gran necesidad de consumo del recurso hídrico, pero su utilización también implica la generación de aguas residuales, que a su vez tienen que ser tratadas para mantener el equilibrio entre la disponibilidad de agua para consumo y las descargas de aguas residuales tratadas a los cuerpos receptores. Las aguas residuales municipales se generan de forma constante y en grandes cantidades, teniendo como principal componente los componentes orgánicos, los cuales pueden ser tratados de forma eficiente a través de un tratamiento biológico aerobio, siendo este uno de los más utilizados a nivel mundial para este tipo de contaminantes orgánicos, esto abre una necesidad de constante estudio para mejorar los procesos de tratamiento biológicos, estudiar los componentes que pueden mejorar la biodepuración, la velocidad de tratamiento entre otros.

1.4. Hipótesis y descripción variables

1.4.1. Hipótesis

1.4.2. Hipótesis general

La concentración de peptona y el tiempo de tratamiento afectan en la rapidez de biodepuración aerobia de agua residual doméstica a nivel de laboratorio.

1.4.3. Hipótesis específicas

- Los componentes de la muestra fabricada en laboratorio, son típicos de agua residual doméstica.
- La evolución de la demanda química de oxígeno es constante y progresiva en el agua residual doméstica, durante el proceso de biodepuración.
- Existe una relación significativa entre la concentración de proteínas en el agua residual, el tiempo de tratamiento y la velocidad de biodepuración de la materia orgánica biodegradable.

1.4.4. Descripción de variables

1.4.4.1. Variable dependiente

La variable dependiente es la rapidez de biodepuración aeróbica, la cual se medirá a través del tiempo de tratamiento (días) y, la concentración de DQO (mg/L) como indicador del nivel la remoción de la materia orgánica biodegradable en el biorreactor.

1.4.4.2. Variable independiente

Las variables independientes son: concentración de peptona y tiempo de tratamiento. Con respecto a la primera variable, se medirá en mg/L, y la peptona, es la sustancia proteica que se agregará en diferentes dosificaciones al agua las muestras de agua residual. El segundo, se mediará en días, desde el instante que se inocule los microorganismos al agua residual sintética en el tanque reactor.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el artículo “Biodegradation kinetics of peptone and 2,6-dihydroxybenzoic acid by acclimated dual microbial culture”(5), el objetivo de este estudio fue de evaluar la biodegradación cinética de la mezcla de peptona y 2,6 DHBA por un cultivo microbiano aclimatado. Se tomaron en cuenta para la medición experimental los datos de la concentración del oxígeno disuelto y el DQO. Se puso especial énfasis en la experimentación al desarrollo de los microorganismos después de la aclimatación específicamente para biodegradar la mezcla de peptona y el 2,6 DHBA como fuente de carbono orgánico. Para esta investigación se aplicó un reactor secuencial por lotes SBR con un volumen de 5 litros a nivel de laboratorio, operado en estado estacionario con una edad del lodo de 10 días con una temperatura constante de 20°C. La cantidad de biomasa fue controlada con la concentración de sólidos suspendidos volátiles presentes en la muestra, la contaminación orgánica se simuló a través de un sustrato sintético que contenía peptona y extracto de carne. Como resultados se obtuvieron la eliminación completa de la 2,6 DHBA, la concentración máxima de SSV aumento a 2300 mg/L después de 30 días de aclimatación de la biomasa. El enfoque adoptado para esta investigación ofrece nuevas perspectivas de la biodegradación de componentes xenobióticos a nivel de laboratorio.

En el artículo “Removal Kinetics of Olive-Mill Wastewater in a Batch-Operated Aerobic Biorreactor” (6) se estudió el tratamiento de las aguas residuales que se generan en los molinos de aceite en un reactor discontinuo en condiciones aerobias por cultivos mixtos. Las dificultades encontradas en el tratamiento de este tipo de aguas residuales están directamente relacionadas con el alto contenido orgánico y compuestos fenólicos, estos compuestos fenólicos tienen un efecto fitotóxico y características antimicrobianas por su alto contenido en compuestos aromáticos y fenólicos, convirtiéndolas en aguas difíciles de tratar. La

caracterización de estas aguas mostró concentraciones de DQO de 15 000 mg/L La temperatura en el presente trabajo se fijó en 24°C con un pH de 7. En la investigación se realizó la aclimatación de los microorganismos durante un mes antes de empezar con el proceso de tratamiento y se pudo demostrar, que, cuando las condiciones ambientales son apropiadas los microorganismos crecen y se multiplican, y las tasas de eliminación del sustrato aumentan. En la investigación se hace mención que los procesos biológicos eliminan la materia orgánica y los nutrientes inorgánicos del agua residual con altas eficiencias, siendo un método menos costoso que los de membrana o precipitación química, siendo también amigables con el medio ambiente.

En la tesis titulada “Tratamiento biológico aerobio para aguas residuales con elevada conductividad y concentración de fenoles” (7) tiene como objetivo general “Desarrollar y optimizar un sistema integral de depuración y regeneración de un agua residual industrial con elevado contenido de sal y compuestos fenólicos”. Se estudia el tratamiento de aguas residuales de las industrias de aceitunas donde se hace mención de la importancia del pretratamiento para facilitar el tratamiento biológico posterior. La optimización del proceso de tratamiento se logra con una relación óptima de nutrientes También se observó que el aumento de la temperatura en el reactor biológico hasta los 30°C no da un resultado esperado de mejora del tratamiento, y se determinó que la temperatura de 20°C es la que mejores resultados da al proceso de tratamiento. Se identificó que es posible reducir el tiempo de aireación en el reactor aerobio durante la etapa de oxidación, de las 22 horas a las 14 horas, con mínimos cambios en el rendimiento del reactor.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la tesis titulada “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN REACTOR BIOLÓGICO AEROBIO PARA LA REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA A ESCALA DE LABORATORIO DE LAS AGUAS

RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL DISTRITO DE SAN AGUSTÍN DE CAJAS-HUANCAYO” (8) tiene como objetivo “Diseñar y construir un reactor biológico aerobio para la remoción de la carga orgánica a escala de laboratorio de las aguas residuales domésticas del distrito de “San Agustín de Cajas”. En el presente trabajo se caracterizó las aguas residuales domésticas del distrito de San Agustín de Cajas para conocer los componentes reales contaminantes de las aguas residuales. Se estudió el proceso de aireación en el reactor biológico, la carga orgánica volumétrica y la edad del lodo. Se construyó a nivel de laboratorio un reactor biológico de material de vidrio con el cual se realizó la experimentación. La inoculación y aclimatación de la biomasa se dio por 27 días luego para dar el arranque del sistema, el cual se dio por un tiempo de 9 días donde se realizó el tratamiento biológico de las aguas residuales. La temperatura varió entre los 15 y 25°C lográndose determinar que la mejor temperatura para el tratamiento es de 25°C donde se obtuvieron eficiencias de remoción del DQO del 81%.

En la tesis titulada “Efecto de la aplicación de microorganismos benéficos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en un humedal artificial” (9), se implementó la tecnología de humedales artificiales con la implementación de microorganismos benéficos para mejorar el proceso de tratamiento y favorecer la eliminación de coliformes fecales y otros patógenos en las aguas residuales. Los cultivos de los microorganismos benéficos contienen varios ácidos orgánicos, enzimas, antioxidantes y quelatos metálicos que son secretados por los mismos microorganismos y estos generan un medio antioxidante que acentúa la separación de fases durante el proceso de sedimentación lo que mejora la limpieza del agua. Se utilizaron como instrumentos de medición de la caracterización del agua residual como de la calidad del agua tratada los parámetros del DQO, DBO5 y SST.

En la tesis titulada “Efecto de tres tipos de difusores de aire comprimido sobre la capacidad de oxigenación en aguas residuales domésticas-Huancayo” (10) se estudia el “Efecto de tres tipos de difusores de aire

comprimido y el tiempo de aireación sobre la capacidad de oxigenación en aguas residuales domésticas”. El trabajo determina la capacidad de oxigenación de un tanque de aireación para realizar procesos de tratamiento aerobios, la velocidad de transferencia de oxígeno y la variación en el tiempo. Se determinaron que los factores que afectan la oxigenación del agua son el tamaño de la burbuja, la agitación que cada una provoca en el líquido y el tiempo de oxigenación. Se determinó que los difusores de burbuja fina muestran mejor resultado en el proceso de transferencia de oxígeno sobre la muestra de agua, llegando a una concentración máxima de oxigenación para la ciudad de Huancayo a una temperatura de 20°C de 6,2 mg/L de oxígeno disuelto, siendo el control de este parámetro fundamental durante el proceso de degradación de la contaminación orgánica por los microorganismos aerobios presentes en el licor mezcla.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por los contaminantes que las componen. Dichas composiciones se pueden diferenciar según la fuente de las aguas residuales, por ejemplo, residencial, comercial e industrial. El grado de tratamiento en una PTAR depende del nivel de contaminación inicial y de los requisitos de calidad de las aguas residuales.

2.2.1.1. Tratamiento biológico de las aguas residuales

El tratamiento biológico de las aguas residuales es el método más utilizado de aguas que contienen contaminantes de origen orgánico, que consisten en la mineralización de estos componentes orgánicos debido a la actividad de los microorganismos. A través del proceso de respiración de los microorganismos la materia orgánica se oxida y se libera energía necesaria para los procesos de metabolismo de la biomasa.

Las vertientes de agua, que serán tratados por el proceso biológico se caracterizan por la medición de la demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno (11).

2.2.1.1.1. Demanda biológica de oxígeno

La demanda biológica de oxígeno también llamado demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno utilizado en el proceso biológico de oxidación de los componentes orgánicos durante un tiempo determinado, medido en moléculas de O₂ por litro de muestra.

2.2.1.1.2. Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno equivalente a la cantidad de oxidante consumible para la oxidación de todos los agentes reductores contenidos en el agua. La DQO también se expresa en mg de moléculas de oxígeno por un litro de agua de muestra.

Se pueden distinguir dos métodos de purificación biológica de las aguas residuales: aeróbica y anaeróbica. (12)

2.2.1.2. Tratamientos biológicos del agua residual

2.2.1.2.1. Método anaerobio

Los métodos anaerobios de tratamiento biológico de las aguas residuales fluyen sin acceso de oxígeno puesto que el oxígeno es tóxico para este tipo de microorganismos. Uno de sus principales usos es el tratamiento de lodos residuales de las PTARs municipales por el gran contenido de materia orgánica y patógenos residuales, los cuales son inactivados durante el proceso de tratamiento anaerobio (13).

2.2.1.2.2. Método aerobio

El método aerobio de tratamiento biológico de aguas residuales se desarrolla en presencia de oxígeno. Se basa en el uso de organismos aeróbicos cuya actividad vital requiere una afluencia constante de oxígeno y temperatura entre los 20 y 40 C°.

El proceso de tratamiento biológico en el reactor aerobio consta de las siguientes etapas:

- Adsorción y coagulación de las partículas suspendidas y coloidales a través del lodo activado.
- Oxidación por los microorganismos disueltos y absorción por lodos orgánicos compuestos.
- Nitrificación y regeneración de lodos activados. Teniendo en cuenta que el exceso de lodo es retirado del tanque reactor.

El tratamiento biológico aerobio se lleva a cabo en reactores los cuales en la mayoría de los casos se construyen de concreto abierto a la atmósfera, a través del cual pasa el agua residual que contiene contaminantes orgánicos los cuales se mezclan con los lodos activos presentes en el tanque reactor (la suspensión de los lodos en las aguas se logra por la constante aeración intensiva del reactor). En el corazón de la purificación biológica del agua se encuentra la actividad de los lodos activados o de las biopelículas,

las cuales se implementan dependiendo del método elegido para el tratamiento de las aguas (14).

2.2.1.2.3. Lodo activado

El lodo activado es una mezcla de biomasa de microorganismos y componentes contaminantes que se mezclan y se encuentran dentro del tanque reactor.

El lodo activado son escamas de color marrón con un tamaño de hasta varios cientos de micrómetros. En un 70% se compone de organismos vivos y en un 30% es de partículas de materia inorgánica. Los organismos vivos juntos con las partículas vivas forman la biomasa, que son una simbiosis de las poblaciones de microorganismos, cubiertos con una mucosa común. Dependiendo del entorno que en este caso es el agua residual, un grupo u otro de bacterias puede ser el que se desarrolle en mayor proporción que el resto de bacterias, convirtiéndose estas últimas en compañeras minoritarias del grupo principal.

Un papel esencial en la creación y el funcionamiento del lodo activo pertenece a los protozoos. Las funciones de los protozoos son bastante diversas, estos no participan directamente en el consumo de las sustancias orgánicas, sino regulan la edad y la composición de los microorganismos bacterianos en el lodo activado, manteniéndoles en una cierta cantidad y evitando su sobrepoblación (15).

Si cambia la composición de las aguas residuales, puede aumentar el número de algún tipo de microorganismos, pero los otros cultivos siempre se mantendrán presentes en la biomasa en cantidades menores (15).

El lodo activado de alta calidad por cada 1 millón de células bacterianas debe tener de 10-15 protozoos, una calidad media se encuentra alrededor de 5-9 protozoos y una mala calidad es cuando la cantidad de protozoos desciende a los 1-4 (16).

La formación de la biomasa puede verse afectada por la variación estacional de la temperatura, cantidad de oxígeno, presencia de

metales pesados. La eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales depende de la concentración de microorganismos en las aguas residuales y de la edad del lodo activo. La concentración de la biomasa en los reactores biológicos no supera los 2-4 g/L (17).

El aumento de la concentración de lodos en el agua residual conduce a un aumento en la velocidad de tratamiento, pero requiere una mayor aireación, para mantener la concentración de oxígeno en el nivel requerido. Por lo tanto, el tratamiento aerobio de aguas residuales consta de las siguientes etapas:

1. Adsorción del sustrato en la superficie celular.
2. Sintetización del sustrato absorbido por enzimas extracelulares.
3. Absorción celular de solutos.
4. Crecimiento y respiración endógena.
5. Liberación de productos excretados.
6. Autoconsumo de los microorganismos.

De forma ideal, esto debería conducir a la mineralización completa de los desechos orgánicos a sales simples, gases y agua. En la práctica, el agua purificada y el lodo activo del reactor aerobio pasan a un decantador secundario donde se produce la separación de fases, es decir, la separación el agua tratada con los lodos activados. Parte del lodo activado se devuelve al reactor biológico, y el exceso del lodo activado formado por el crecimiento de los microorganismos, se lleva a disposición final, que de acuerdo a su composición pueden ser tratados para luego llevarlos para la recuperación de suelos agrícolas en forma de fertilizante o también para alimento de peces, ganado y otros, pero si la composición es tóxica y no permite su tratamiento entonces se lleva a incineración o a un relleno sanitario.

2.2.1.3. Fases del tratamiento biológico de las aguas residuales

De forma convencional es aceptado dividir todo el proceso de tratamiento en dos fases: el de maduración biológica y el de oxidación bioquímica (18, 20).

2.2.1.3.1. Primera fase

La primera fase consta de la biosorción de la materia orgánica por los lodos activos, se observa un aumento intenso de la biomasa y gran disminución de la concentración orgánica. Esta fase es corta, y tiene un tiempo aproximado de duración de unos 30 minutos (19, 21)

2.2.1.3.2. Segunda fase

La segunda fase es la oxidación bioquímica por los lodos activados. Se observa un aumento adicional en la biomasa de los lodos y una disminución de las concentraciones de los contaminantes orgánicos por descarbonización. La duración de esta fase tiene un tiempo aproximado de 1 a 2 horas.

Como se sabe, el tratamiento biológico (también llamado bioquímico) de las aguas residuales se lleva a cabo por los microorganismos. Estos microorganismos no tienen órganos especiales para la digestión, por lo tanto, todas las sustancias necesarias para su actividad vital entran en la célula a través de los poros más pequeños de la envoltura celular (membrana). Estos poros son tan pequeños que, para penetrar a través de ellos, las sustancias deben ser molidas hasta llegar a un estado molecular y parcialmente convertido en compuestos más simples en la solución que los rodea. Para ello, en el proceso de evolución de los microorganismos, han desarrollado la capacidad de liberar al medio donde se encuentran exoenzimas hidrolíticas, para preparar las sustancias complejas para ser absorbidas por la célula microbiana.

Otro grupo de enzimas, llamadas endoenzimas, a diferencia de las exoenzimas, actúan dentro de la célula microbiana. Las endoenzimas contribuyen en la absorción de los nutrientes por la célula. Tan pronto como los nutrientes entran en la célula las endoenzimas las procesan inmediatamente en el protoplasma de la célula (19, 21, 22)

Cada una de las enzimas producidas tiene su propósito. Algunas de ellas actúan sobre las proteínas, otras sobre las grasas y carbohidratos.

La totalidad de los procesos bioquímicos que se producen durante el tratamiento de las aguas residuales son muy complejas y se pueden representar de la siguiente manera:

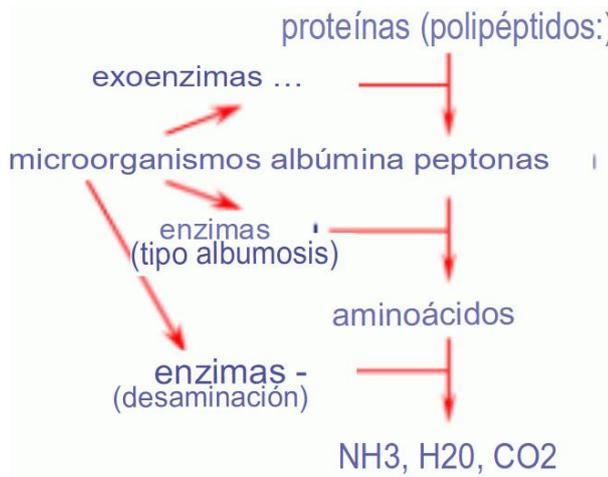


Figura 1: Descomposición de proteínas en condiciones aeróbicas

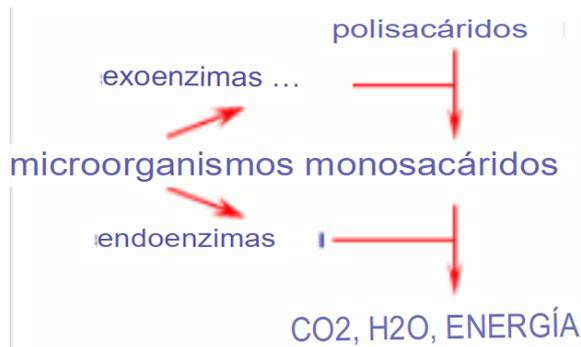


Figura 2: Descomposición de carbohidratos en condiciones aeróbicas

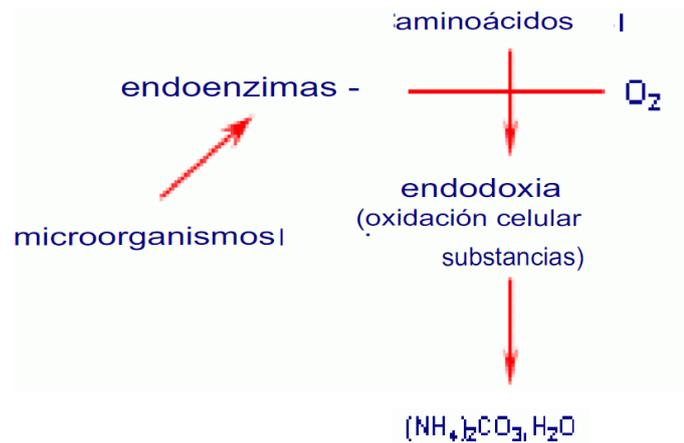


Figura 3: Oxidación de las sustancias celulares en condiciones aerobias

Fuente: (13, 15, 23)

Los carbohidratos en condiciones aeróbicas sufren cambios que se muestran en la figura anterior, además, una pequeña parte de los monosacáridos va para la síntesis de glucógeno. Todo el proceso de oxidación de sustancias que contienen carbono en condiciones aeróbicas lleva el nombre de descarbonización de las aguas residuales (19, 22)

2.2.1.3.3. Tercera fase

La tercera fase es la síntesis de materia celular de los residuos orgánicos restantes, y esto se lleva a cabo gracias a la energía liberada en la segunda fase.

La cantidad de sustrato orgánico que se encuentra en transición a convertirse en nuevas células bacterianas es aproximadamente el 65%. Esta fase es diferente a las otras fases y el tiempo aproximado de duración es de 20 horas.

Un elemento necesario para el desarrollo de cualquier microorganismo es el nitrógeno. En este sentido, es de gran importancia su descomposición química.

La descomposición química de esta proteína en condiciones aeróbicas se puede representar de la siguiente manera: Las moléculas de proteínas bajo la influencia de las enzimas secretadas por los microorganismos se descomponen en una serie de sustancias más simples. La disolución se produce a través de

las peptonas a aminoácidos. Parte de estos aminoácidos son utilizados como material de construcción por las propias células bacterianas y la otra parte se descompone para formar amoníaco, agua y CO₂. En condiciones aeróbicas, el amoníaco se disuelve en el agua, formando hidrato de óxido de amonio que a su vez se une al dióxido de carbono, formando dióxido de carbono amonio.

Sin embargo, vale la pena señalar que la mayoría de los aminoácidos formados de las proteínas de las aguas residuales cuando se descomponen, son utilizados como material de construcción y material energético para la biosíntesis de nuevas células microbianas de los lodos activados (19).

2.2.1.3.4. Cuarta fase

La cuarta fase es la respiración endógena, o también llamada oxidación celular. Esta fase se caracteriza por una disminución de la biomasa de los lodos activados. La biomasa se somete a una oxidación endógena, obteniendo como resultado NH₃, CO₂ y H₂O, lo que resulta en una reducción de microorganismos de la masa total de la biomasa. Esta fase comienza después de las 24 horas de aireación del lodo activado y termina a los 3 o 4 días (19).

2.2.1.4. Peptona

La peptona representa el producto de la digestión de las sustancias proteicas bajo efectos de la pepsina o tripsina que se encuentran en el aparato digestivo o jugo pancreático. Por su composición, las peptonas se encuentran de las sustancias proteicas como hidratos o anhídridos. Las peptonas son un poco más pobres en carbono y algo más ricos en oxígeno que la mayoría de proteínas. Las principales diferencias entre la peptona y demás proteínas son:

1. No se coagula por influencia del calor.
2. La peptona da soluciones limpias en agua y tiene una alta capacidad de difusión a través de las membranas y eso facilita la absorción por parte del canal intestinal.

Las peptonas poseen alta potencia nutricional, pero en la pared intestinal las peptonas se convierten en proteínas que son absorbidas por nuestro organismo. Se demostró que al inyectar peptona directamente a la sangre en animales, este se convirtió en una sustancia venenosa causando la muerte de los animales estudiados (24, 25).

2.2.1.5. Organismos indicadores

Los microorganismos indicadores son una parte de la gran cantidad de los microorganismos presentes en la muestra de agua, se representan por los microorganismos coliformes por su mayor presencia en las aguas residuales doméstica y municipales. Estos microorganismos toman el nombre de indicadores puesto que son más resistentes a procesos de desinfección y entendiéndose que si se encuentra la presencia de este tipo de microorganismo, entonces hay gran posibilidad de que los cultivos de microorganismos minoritarios se encuentren presentes en la muestra, y por el contrario si en los análisis microbiológicos no se encuentran a los microorganismos indicadores, se concluye que los otros cultivos que son minoritarios en cantidad y menos resistentes a los procesos de desinfección están ausentes en la muestra del agua(26).

2.2.2. Sistemas de aireación

2.2.2.1. Sistema de burbuja fina

Este tipo de burbuja puede ser producida por diferentes tecnologías ya sea liberando aire a través de placas porosas o piedras difusoras, incluso puede llegar a utilizarse difusores de chorro (turbinas sumergidas) las cuales crean burbujas finas sin requerirse orificios pequeños, es decir se emplea una energía mecánica para producir tal forma de aireación, sin embargo las burbujas producidas por turbinas sumergibles presentan un coeficiente SAE más bajo que las producidas por piedras difusoras; este tipo de burbuja presenta la ventaja de tener una mayor eficiencia, sin embargo necesitan ser limpiados periódicamente (27).

2.2.3. Aguas residuales sintéticas

Como se ha visto anteriormente, las aguas residuales de tipo doméstico tienen ciertas propiedades de tipo físico, químico o biológico con la presencia de diversos contaminantes y nutrientes. A partir de estas consideraciones las aguas residuales sintéticas pueden elaborarse empleando agua destilada cuyo tiempo de conservación máximo es de una semana a 1 °C, debido a que el traslado de una fuente natural hacia el laboratorio se complica y algunas propiedades previamente descritas pueden verse afectadas (27).

Diversos autores han establecido las composiciones típicas de estas aguas, se indican en la tabla 3:

Tabla 1: Composición del sustrato sintético

Componente	Cantidad(mg/L)
Gelatina	34
Almidón	171
Leche en polvo	102
Jabón de tocador	3
MgSO ₄ -7H ₂ O	3
KH ₂ PO ₄	44.5
(NH ₄) ₂ SO ₄	74.2
NaHCO ₃	150

Fuente: (27)

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Agua tratada

Toda agua que paso por un procedimiento de limpieza de los contaminantes para su reúso (7).

2.3.2. Calidad de agua

La calidad del agua en general se entiende por las características de su composición y propiedades que la definen por su idoneidad para su uso (8).

2.3.3. Efluente

Es el agua que se obtiene después de pasar por un proceso de tratamiento, en otras palabras, es el agua tratada que sale del sistema de tratamiento (8).

2.3.4. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno presente en el agua de forma natural o transferida de forma artificial, que muestra la calidad del agua y tiene efectos sobre la calidad del medio acuático (7).

2.3.5. Sólidos suspendidos totales (SST)

Indica la cantidad de sólidos totales que representan a los componentes orgánicos e inorgánicos presentes en la muestra de agua (7).

2.3.6. DQO

Demanda química de oxígeno, es una forma indirecta de medir la contaminación orgánica tanto biodegradable como no biodegradable presente en la muestra de agua (7).

2.3.7. Sólidos suspendidos volátiles (SSV)

Es la cantidad de sólidos de composición orgánica que se encuentran presentes en una muestra de agua residual que quedan retenidos en un filtro estándar de 1,2 micras de tamaño de poro (9).

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

El método de investigación es experimental con fundamento científico, donde se utilizan procedimientos lógicos y bien definidos para producir conocimientos fiables (28). El estudio permite la formulación de hipótesis que, a través del proceso científico permite ponerlas a prueba para aceptarlas o rechazarlas.

3.1.2. Alcance de la investigación

El tipo de investigación es aplicada (28); debido a que se agrega conocimiento en un tema necesario y actualmente muy utilizado en el tratamiento de aguas residuales de procedencia doméstica, municipal e industrial correspondiente al proceso biológico, donde se estudia el efecto de la peptona sobre la velocidad de biodepuración de los componentes biodegradables de un agua residual doméstica sintética.

3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es explicativo (28), puesto que se tiene la finalidad no solo obtener resultados del estudio, sino también entender los procesos involucrados en el experimento y comprender la causa-efecto de las variables de estudio.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Tipo de la investigación

El diseño de la investigación es experimental, donde se implementó un modelo factorial con dos variables, las que son: concentración de proteínas y el tiempo de biodepuración. La variable dependiente donde se observó los efectos fue la velocidad de biodepuración de aguas residuales de naturaleza sintética.

Tabla 2: Variables independientes y sus niveles

Factores manipulados	Niveles
Concentración de proteínas (peptona)	400, 500 y 600 ppm
Tiempo de biodepuración	1, 2, 3, 4 y 5 días

Los experimentos que se desarrollaron, resultaron de todas las combinaciones posibles de los niveles de estos dos factores. Esto se observa a continuación, y constituye la estrategia o el diseño de los experimentos.

Tabla 3: Diseño de los experimentos

VARIABLES INDEPENDIENTES		RESPUESTA			
Concentración de proteína (mg/L)	Tiempo de biodepuración (días)	Velocidad de biodepuración (mg/L.día)			
		I	II	III	PROMEDIO
400	1	R _{1, 1, I}	R _{1, 1, II}	R _{1, 1, III}	
400	2	R _{1, 2, I}	R _{1, 2, II}	R _{1, 2, III}	
400	3	R _{1, 3, I}	R _{1, 3, II}	R _{1, 3, III}	
400	4	R _{1, 4, I}	R _{1, 4, II}	R _{1, 4, III}	
400	5	R _{1, 5, I}	R _{1, 5, II}	R _{1, 5, III}	
500	1	R _{2, 1, I}	R _{2, 1, II}	R _{2, 1, III}	
500	2	R _{2, 2, I}	R _{2, 2, II}	R _{2, 2, III}	
500	3	R _{2, 3, I}	R _{2, 3, II}	R _{2, 3, III}	
500	4	R _{2, 4, I}	R _{2, 4, II}	R _{2, 4, III}	
500	5	R _{2, 5, I}	R _{2, 5, II}	R _{2, 5, III}	
600	1	R _{3, 1, I}	R _{3, 1, II}	R _{3, 1, III}	
600	2	R _{3, 2, I}	R _{3, 2, II}	R _{3, 2, III}	
600	3	R _{3, 3, I}	R _{3, 3, II}	R _{3, 3, III}	
600	4	R _{3, 4, I}	R _{3, 4, II}	R _{3, 4, III}	
600	5	R _{3, 5, I}	R _{3, 5, II}	R _{3, 5, III}	

3.3. Población y muestra

La unidad de análisis de los que se obtuvo la velocidad de biodepuración fue agua residual preparada intencionalmente a una demanda química de oxígeno de 600 ppm. Entonces, con ello, las características de la población fueron: agua residual preparada artificialmente con demanda química de 600 ppm, utilizando las sustancias indicadas en la tabla N°4 y, que se encuentran a una temperatura de 17 °C con presión atmosférica de la localidad de Arequipa de 570 mmHg. Según el diseño mostrado en la sección anterior, y a fin de obtener las 45 observaciones como respuesta (R) se realizaron 09 experimentos, en cada cual, se utilizó 20 litros de agua residual artificial. Y, de acuerdo a esto, el volumen total de muestra fue de 180 litros.

Tabla 4: Concentración de sustancias con las que se preparó el agua residual

SUSTANCIA	CONCENTRACION PARA 600 ppm de DQO mg/L
Peptona	307.69
Sacarosa	69.23
Almidón	161.54
(NH ₄) ₂ SO ₄	53.38
Na ₂ HPO ₄	7.69

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas que se utilizaron en la presente investigación fueron la observación y la medición, puesto que se realizó la observación del proceso de biodepuración para entender las fases de tratamiento y se midieron los parámetros de estudio con instrumentos de laboratorio. Los resultados de la observación y medición se llevaron a fichas de recolección de datos para luego ordenarlos y procesarlos en la siguiente etapa de estudio.

Los equipos, instrumentos y materiales que se utilizaron en las pruebas de observación fueron:

- Biorreactor equipado con sensores y controladores de temperatura y oxígeno disuelto, difusor de aire y agitador.
- Unidad de filtración al vacío.
- Espectrofotómetro UV/VIS
- Calentador de tubos a 150 °C
- Micropipetas de 0 a 5000 microlitros
- Agua residual artificial (según características de población y muestra).
- Cultivo líquido de bacterias aerobias.
- Vasos de precipitado de 200 mL y 500 mL.
- Tubos de ensayo de vidrio con tapón roscado (viales)
- Reactivos para análisis de DQO.

Biorreactor para los ensayos experimentales

Para la realización de los experimentos, a fin de observar el proceso biodepurativo de las aguas residuales, se implementó un biorreactor aerobio experimental. Los elementos e instrumentos que componen esta unidad, se pueden apreciar en la figura que se encuentra a continuación. Según la figura, entre de los principales elementos están:

- El recipiente del biorreactor, que tiene una capacidad de total de 40 litros.
- Un difusor de aire instalado en la base del biorreactor, que genera burbujas finas (en un rango de tamaño entre 1 a 2 mm de diámetro). Para tal efecto, en los ensayos se suministró aire comprimido a 2.0 psi. Esta fue posible mediante la regulación de la presión del aire que provenía de una compresora donde se encontraba a 50 psi.

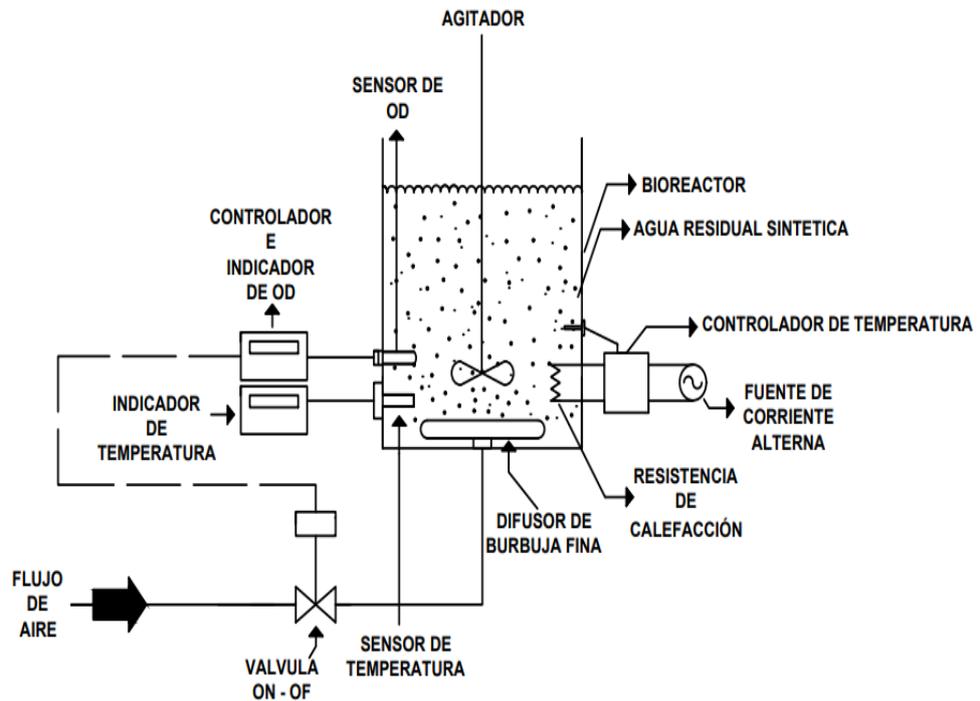


Figura 4: Biorreactor para ensayos experimentales

Fuente: propia

- Un sistema de control de temperatura, que está integrado por un sensor de temperatura por variación de resistencia eléctrica de platino (Pt100), un controlador de temperatura y una resistencia eléctrica para calentamiento, que funciona con corriente alterna de 220 voltios y posee una potencia de 1000 W.
- Un sistema de control de la concentración de oxígeno disuelto en el agua residual, que está constituido por un sensor de oxígeno disuelto por fluorescencia, un controlador e indicador y, una electroválvula tipo solenoide como actuador, para la apertura y el cierre del flujo de aire cuando sea necesario.

Procedimientos en la experimentación de biodepuración

El procedimiento adoptado en el desarrollo de los experimentos fue como se describe a continuación:

Preparación de las muestras de agua residual artificial

- En el recipiente del biorreactor se vertió 20 L de agua potable libre de cloro, para ello, este volumen de líquido fue calentado hasta una temperatura aproximada de 40 °C y fue dejado en un recipiente abierto un día antes de la preparación.
- Se agregaron las sustancias indicadas en la sección de población y muestra y, rápidamente se agitó, con el fin de disolver las sustancias adicionadas.

Las muestras de agua residual artificial; para todos los ensayos, fueron preparadas de acuerdo a todo este procedimiento. Pero, como una de las variables que se manipuló fue la concentración inicial de proteínas en el agua residual, entonces, se disolvió adicionalmente más peptona en el agua residual. Las cantidades adicionales de peptona se indican en la tabla siguiente:

Tabla 5: Cantidades disueltas adicionalmente de peptona

Para la concentración inicial de proteína:	Cantidad disuelta adicionalmente:
De 400 mg/L	92.31 mg/L
De 500 mg/L	192.31 mg/L
De 600 mg/L	292.31 mg/L

Ensayos de depuración biológica de las muestras de agua residual

- Una vez disueltas todas las sustancias en el agua; contenida en el biorreactor, a la concentración inicial de proteína según el diseño experimental, se puso en marcha el funcionamiento del agitador a una velocidad de 50 RPM, el controlador de temperatura fijado a un set point de 17°C y, el controlador de concentración de oxígeno disuelto (OD) con un set point de 3 ppm de OD.
- A continuación, se agregó al agua residual artificial un cultivo de líquido de bacterias. Este cultivo tiene una concentración de solidos suspendidos volátiles de 7.3 mg/L. El volumen de cultivo líquido que se adicionó fue de un litro.

- Hecho esto, se empezó con la contabilización del tiempo de tratamiento biológico. Luego, cada día (cada 24 horas); hasta cinco días de tratamiento, se realizó la toma de muestra del agua residual sometida a este ensayo, para determinar de la demanda química de oxígeno (DQO) diaria por el método de espectrofotometría.

Determinación de la DQO de las muestras diarias

El volumen de las muestras que se tomaron diariamente fue de 30 ml, con los que se procedió de acuerdo, según se describe a continuación:

- Cada muestra fue sometido a filtración en un equipo de filtración al vacío. El líquido filtrado es el que se utilizó para el análisis de DQO.
- Del líquido filtrado se tomó 2 mL con una micropipeta y fue transferido a un vial de 10 mL. También, en otro vial, se transfirió 2ml de agua destilada para el ensayo en blanco en esta determinación de DQO.
- En seguida, a ambos viales, se adicionaron, con una micropipeta de manera independiente para cada caso, 1 mL de solución digestora y 3 mL de reactivo ácido sulfúrico con sulfato de plata (ver preparación), ambos para el análisis de DQO. Luego se agitó suavemente a ambos viales.
- Después, las soluciones de ambos viales fueron sometidos a una temperatura de 150 °C en un termo reactor o calentador de tubos por un lapso de 30 minutos. Para ello, el calentador previamente fue precalentado a esta temperatura.
- Luego, los tubos se extrajeron del termo reactor y se los agitó con bastante cuidado, para colocarlos en una gradilla a fin de que se enfríen a temperatura ambiente.
- Una vez frío, se transfirió con una micropipeta, 2 mL de solución de cada vial a las celdas de cuarzo para la lectura de absorbancia en un espectrofotómetro. La longitud de onda a la cual fue leída la absorbancia según el método de análisis fue de 600 nm.

- Con la absorbancia obtenida de la muestra y la curva de calibración de la DQO, se determinó la concentración de la demanda química de oxígeno.

Preparación de las soluciones y reactivos.

- **Solución digestora.** Para ello, en una fiola de 250 mL, primeramente, en 100 mL, se disolvió 2.554 g de $K_2Cr_2O_7$ previamente secado a 103 °C durante dos horas, 41.75 mL de H_2SO_4 concentrado y, 8.325 g de $HgSO_4$. Finalmente se aforó al volumen de la fiola.
- **Reactivo Ácido Sulfúrico.** En una fiola de 200 mL se disolvió 2.024 g de Ag_2SO_4 en 200 ml de H_2SO_4 concentrado (10.12 g de Ag_2SO_4/L de H_2SO_4)
- **Hidrogenoftalato de Potasio (HFP, $C_8H_5KO_4$).** Se disolvió en una fiola de 100 mL 0.0850 g hidrogenoftalato de potasio la cual fue previamente secado por una hora a 120 °C. El equivalente en DQO de esta solución es de 1000 ppm. La DQO teórica del HFP es 1.176 mg de O_2/mg de HFP.

Curva de calibración

Para la curva de calibración se preparó soluciones patrones de hidrogenoftalato de potasio, diluyendo la solución preparada a 1000 ppm de DQO (o con concentración de 0.850 g/L). El volumen de todas las soluciones fue de 2 mL y se prepararon directamente en viales, para adicionar en cada uno de ellos los reactivos según el procedimiento de análisis de DQO descrito en la sección anterior. La siguiente tabla indica las soluciones preparadas:

Tabla 6: Soluciones patrón para curva de calibración

N°	Vol. de sol. de hidrogenoftalato de potasio	Vol. de agua destilada	Volumen total (mL)	Concentración resultante de	Concentración equivalente
----	---	------------------------	--------------------	-----------------------------	---------------------------

	equivalente a 1000 mg/L de DQO) (mL)	adicionada (mL)		hidrogenoftalato de potasio (mg/L)	resultante en mg/L de DQO
1	0.0	2.0	2.0	0	0
2	0.4	1.6	2.0	170	200
3	0.8	1.2	2.0	340	400
4	1.2	0.8	2.0	510	600
5	1.6	0.4	2.0	680	800
6	2.0	0.0	2.0	850	1000

Después de realizar el procedimiento de determinación de la DQO a cada patrón, se estableció la ecuación que relaciona la DQO con los datos de absorbancia respectiva.

TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Dentro de las técnicas que se utilizó están:

- La determinación de la DQO diaria mediante el cálculo con la absorbancia de las muestras y la ecuación de la curva de calibración.
- Elaboración grafica de la curva de disminución de la DQO durante el tiempo de tratamiento.
- Análisis de regresión lineal para la determinación de la velocidad específica del proceso de biodepuración
- Y, finalmente el análisis de varianza de dos factores para la prueba de hipótesis.

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION

En esta sección se presentan los datos que se obtuvieron de las observaciones experimentales. Así como también, se detallan los resultados de los cálculos que se desarrollaron a fin de determinar la rapidez de biodepuración y, su relación con la concentración inicial de proteína y el tiempo de tratamiento. En el aparte final, se expone la prueba de hipótesis con la discusión de los resultados

4.1. Características del agua residual artificial

La concentración inicial de peptona y DQO de muestras de agua, que fueron sometidos a las pruebas de biodepuración son:

N°	Concentración inicial de proteína mg/L	DQO ppm
1	400	685
2	500	778
3	600	871

Fueron tres tipos de muestras de agua residual artificial que se emplearon para las pruebas, cada una de ellas con una demanda química de oxígeno diferente. Esto resultó a raíz de que se disolvió cantidades adicionales de peptona (sustancia proteica). Las DQO de los tres tipos de muestras, comparando con los que se encontró en la literatura, se encuentran dentro de la clasificación de aguas residuales domésticas (7)

Todas las sustancias que se utilizaron para preparar el agua residual se disolvieron, con excepción del almidón que es poco soluble. Ello provocó que, las muestras presentaban cierta cantidad de sólidos en suspensión, tal como se aprecia en la siguiente figura.

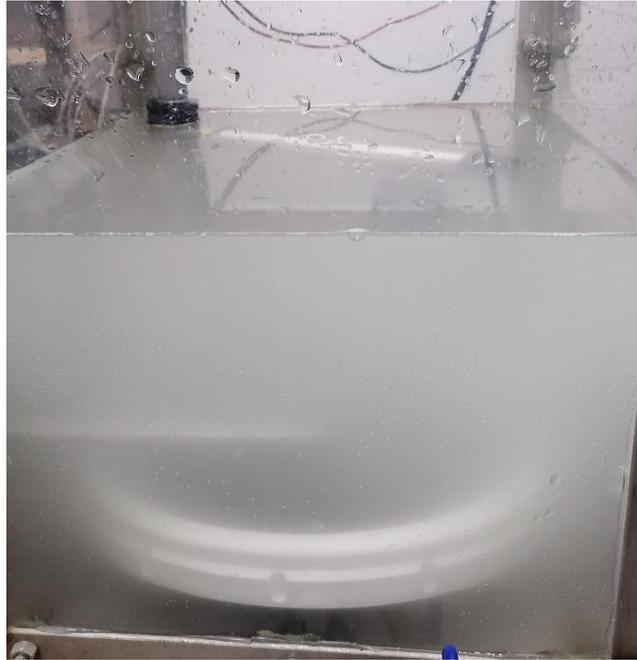


Figura 5: Fotografía del agua residual preparada en el biorreactor

4.2. Perfil de disminución de la demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno que tenía el agua residual artificial durante el proceso de biodepuración aerobia, fue determinada diariamente. Los datos registrados se encuentran representados de manera gráfica en las siguientes figuras:

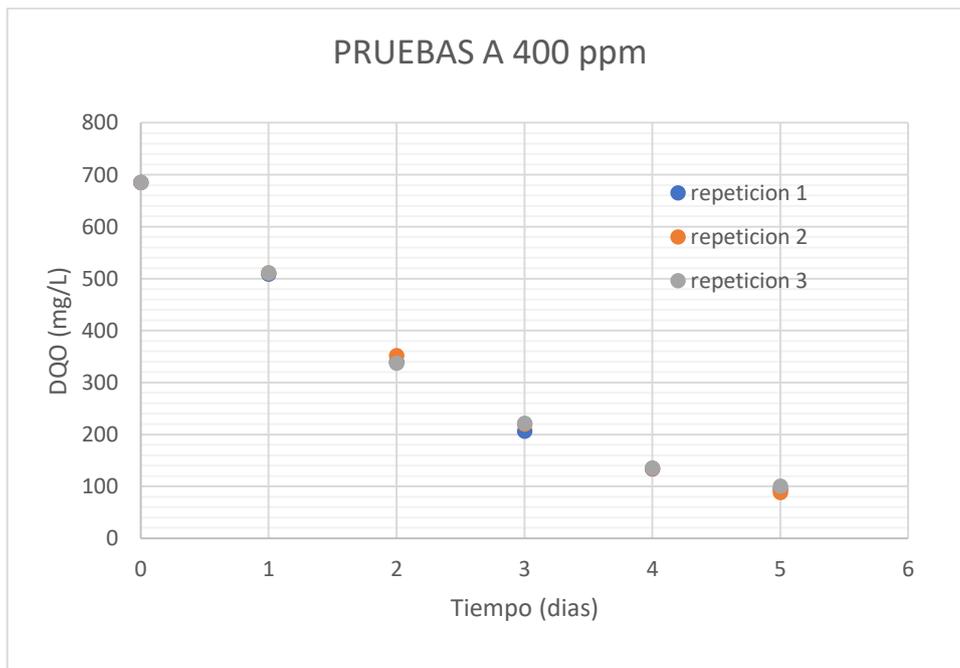


Figura 6: Perfil de disminución de la DQO a 400 ppm de concentración de proteínas

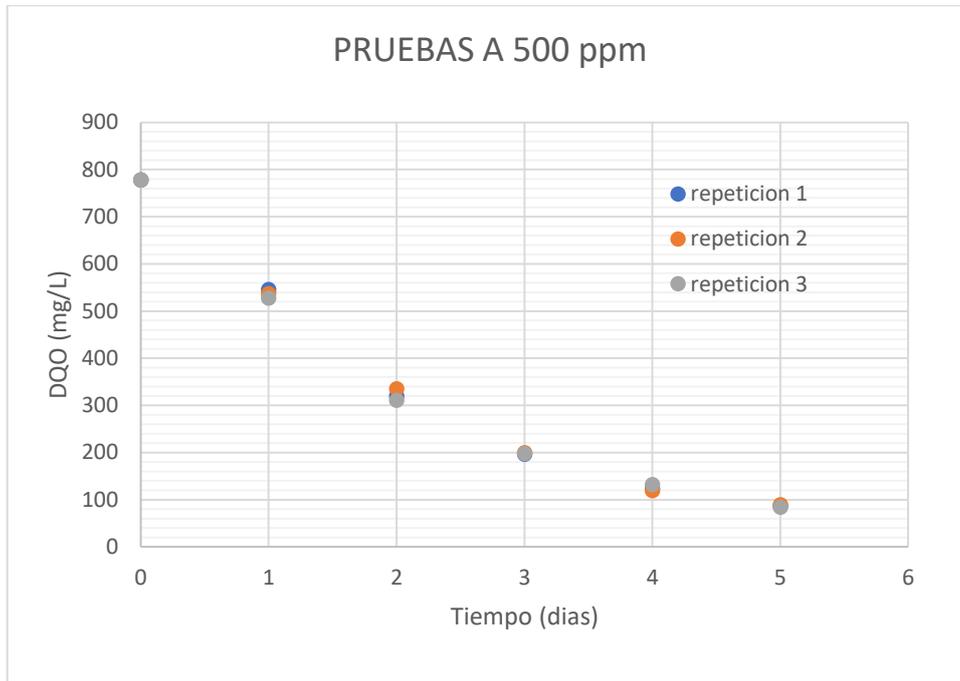


Figura 7: Perfil de disminución de la DQO a 500 ppm de concentración de proteínas

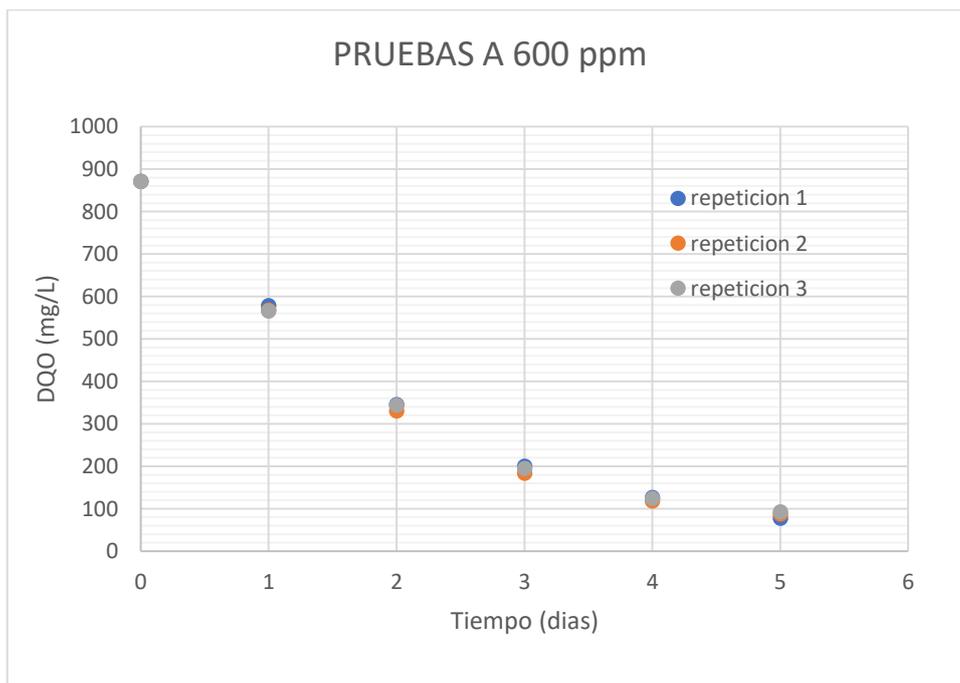


Figura 8: Perfil de disminución de DQO a 600 ppm de concentración de proteínas

En todas estas figuras se observa la tendencia que tienen los datos de DQO en descender, de manera semejante a los procesos aerobios encontrados en la literatura especializada, así como en los reportes de investigación de temas similares. Este comportamiento fue de esperar. Si se representa gráficamente los valores promedio obtenidos de cada condición experimental, entonces se tiene la siguiente figura:

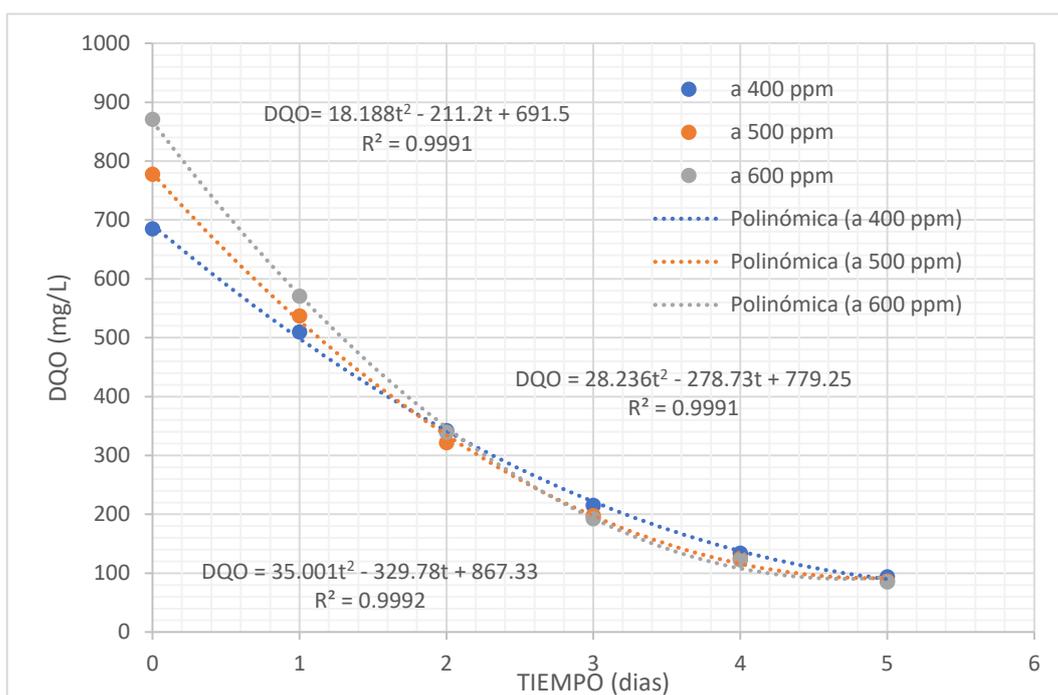


Figura 9: Perfil de disminución de DQO promedios

De acuerdo a esto se tiene que, en los tres casos los descensos de la DQO en función al tiempo siguen tendencias de una ecuación cuadrática. Observándose que, cuando la concentración inicial de proteína es mayor, el descenso de la DQO es notable al inicio del proceso. Pero en los últimos 3 días, los niveles de DQO son bastante próximos, lo que indica que las rapidezces de biodepuración sean semejantes en esos días.

Una cuestión que se desprende en esta parte, es con respecto a lo que sucede con la DQO en el cuarto y quinto día. Pues llegado a este tiempo; en los tres casos, los niveles de DQO descienden lentamente y se ubican alrededor de 100 ppm.

Entonces ¿Qué estrategia se debería aplicar para lograr mayor disminución de la DQO y acelerar el proceso de biodepuración?

Es necesario indicar que, la demanda química que se están presentando, corresponden a las muestras tomadas y filtradas según la imagen que se ven a continuación. Es decir, representan los sólidos disueltos en el agua residual artificial que estaban en el proceso de biodepuración.

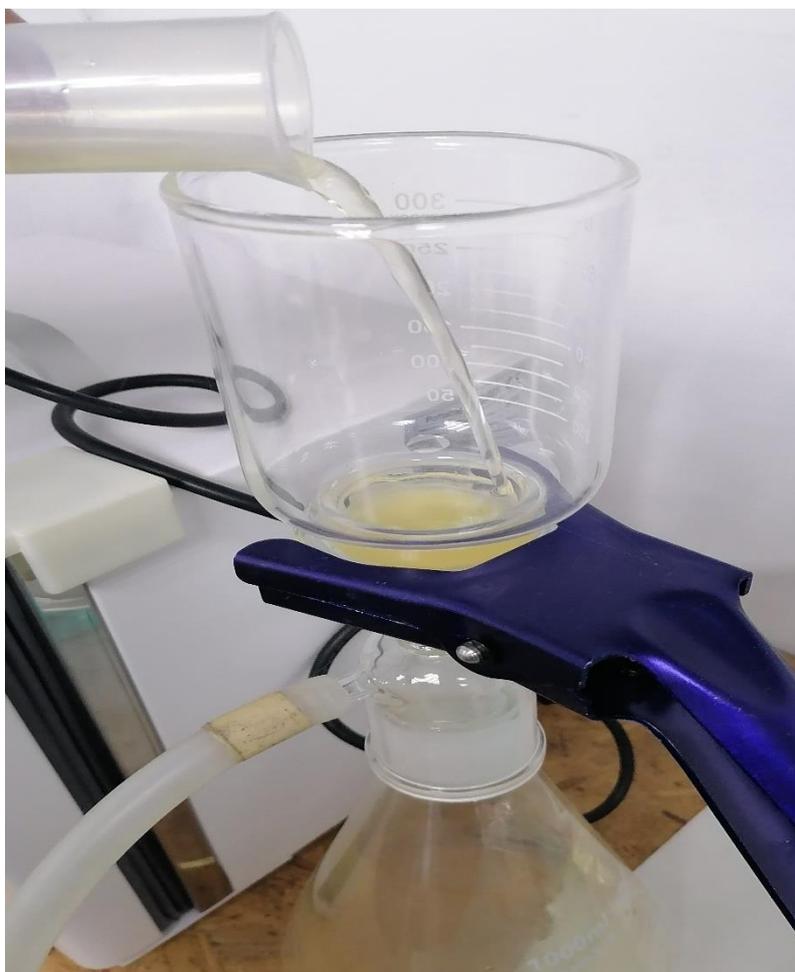


Figura 10: Filtración al vacío de muestras tomadas para determinación de DQO

4.3. Relación entre las variables independientes con la dependiente

La variable dependiente definida en el diseño experimental es la velocidad de biodepuración. La velocidad está definida con $-\frac{dDQO}{dt}$. Entonces, para establecer la relación que existe con las otras variables, antes se calculó la velocidad específica de biodepuración, considerando que el proceso biológico de remoción de contaminantes es de primer orden y respecto de la DQO.

Para esto, los datos promedio de DQO a cada nivel de concentración de proteína, se ordenó gráficamente de acuerdo a la siguiente figura. Hecho esto, se procedió a obtener las pendientes de las ecuaciones lineales de cada grupo de datos ordenados.

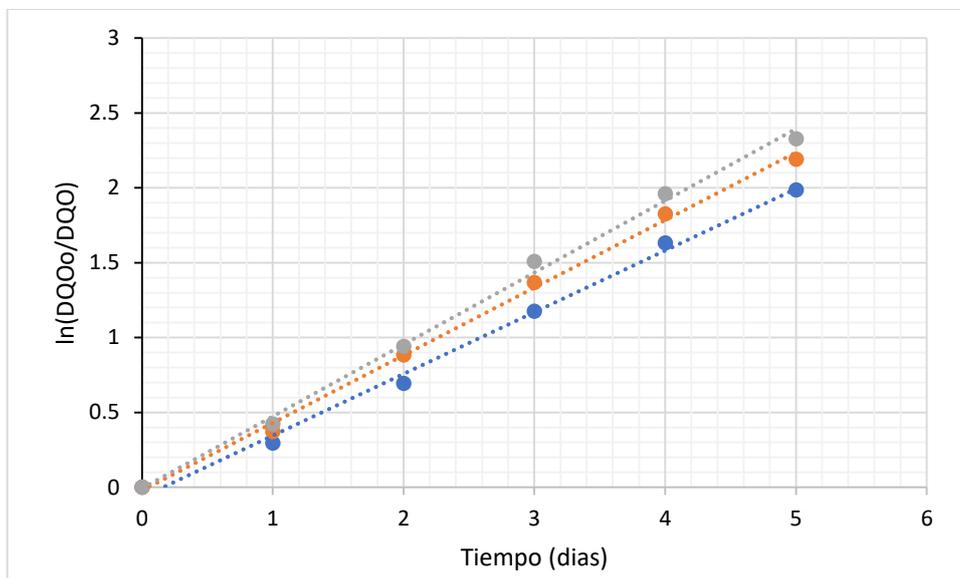


Figura 11: Ln (DQO₀/DQO) versus tiempo para determinación de velocidad específica de depuración

Los coeficientes de que se obtuvieron por regresión lineal con el término independiente forzado a cero son los siguientes:

Tabla 7: Velocidad específica de biodepuración de primer orden

C inicial de proteínas (mg/L)	K (días-1)	R²
400	0.394	0.9974
500	0.445	0.9990
600	0.478	0.9988

Los valores de R² que se obtienen, indican que los datos ordenados de acuerdo a la ecuación cinética de primer para la biodepuración, tienen un buen ajuste a este modelo, pues son bastante próximos a la unidad.

Con las velocidades específicas y las DQO determinada diariamente, se obtuvieron las velocidades de biodepuración. Estos resultados se observan en la figura, a continuación. Como ya se había indicado en la sección anterior, la velocidad de biodepuración en todos los casos disminuye en la medida que el tiempo avanza. Pero, este comportamiento es a consecuencia de que según avanza el tiempo de biodepuración, la cantidad de contaminantes disueltos en el agua, disminuyen. Este comportamiento de la disminución de la velocidad de biodepuración, es típica de procesos y operaciones por lotes.

Además, según la bibliografía revisada, se tiene también que este tipo de casos se da cuando los contaminantes disueltos están en concentraciones moderadas. Es decir, que la velocidad disminuye por efecto de la disminución de los contaminantes disueltos, o de acuerdo a la cinética de primer orden.

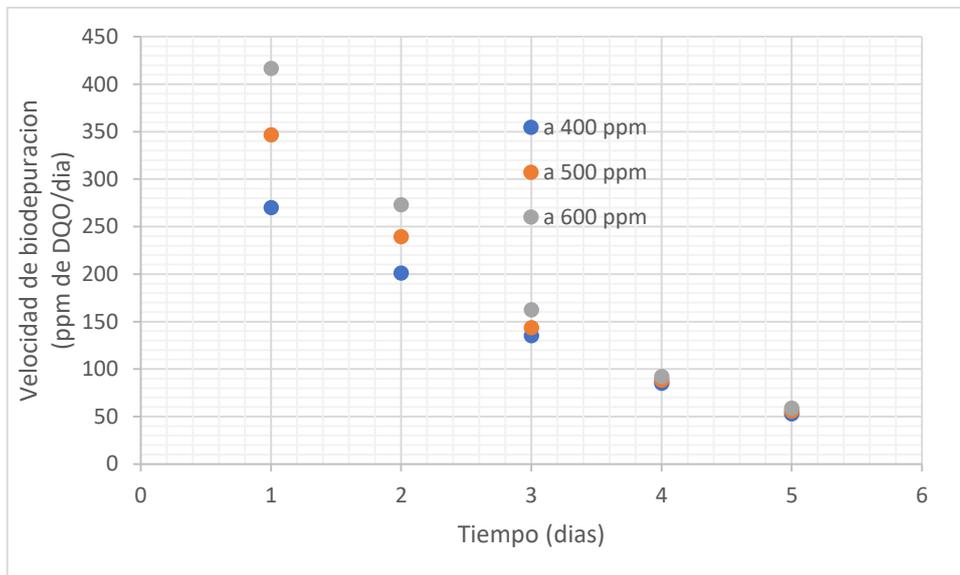


Figura 12: Velocidad de biodepuración en función del tiempo

Respecto a la relación que la velocidad de biodepuración tiene con el nivel de concentración de proteína inicial, se analiza con los datos de la velocidad específica ordenados en la siguiente figura:

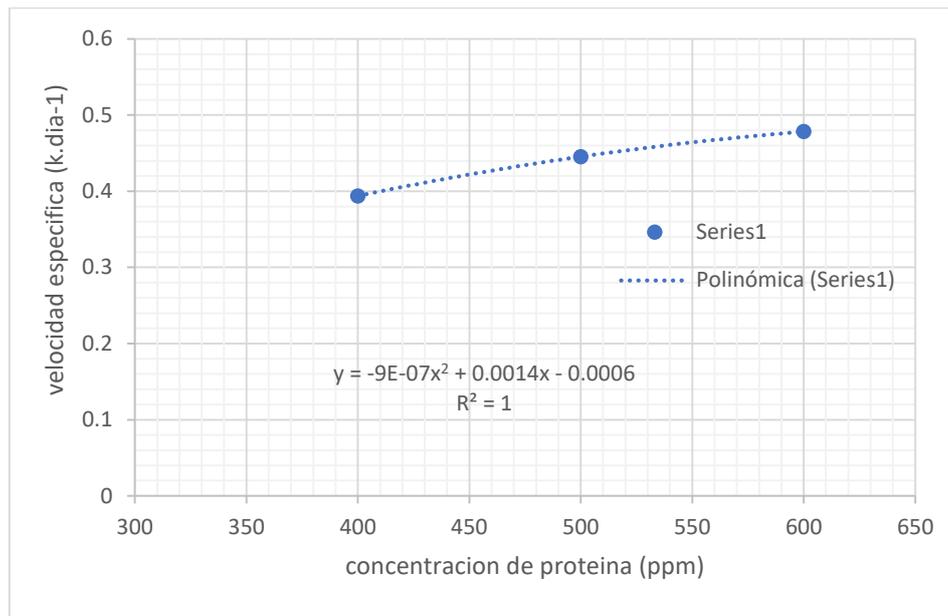


Figura 13: Velocidad específica versus concentración de proteína

En esta figura se observa que la velocidad específica de biodepuración aumenta cuando la concentración inicial de proteínas aumenta. En esta parte, para establecer con mayor certeza qué tipo de tendencia tiene esta relación, se debe obtener las velocidades específicas a más niveles de concentración de proteínas. Por el momento, debe notarse que ese incremento no es proporcional al aumento de concentración de proteína (no es lineal). Pues, el porcentaje de incremento de la velocidad específica cuando se incrementa la concentración de proteína de 400 a 500 ppm es de 13.1 %. Mientras que cuando se incrementa de 500 a 600 ppm es de 7.37 %.

4.4. Evaluación de la significancia de los efectos de los factores mediante análisis de varianza

Para esta evaluación se utilizó los datos de velocidad de biodepuración diaria a cada nivel de concentración de proteínas. Con ello se evaluó la hipótesis nula:

H_0 : La concentración inicial de proteínas de 400 a 600 mg/L y el tiempo no afectan significativamente la velocidad de biodepuración de aguas residuales artificiales

El resumen del análisis de varianza se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 8: Resumen del análisis de varianza

FUENTE VARIACION	SUMA CUADRADOS	GRADOS LIBERTAD	CUADRAD MEDIO	F _{observado}	F _{tablas}
TIEMPO	495581.262	4	123895.31	15205.1764	F 0.05;4;30 =2.69
CONCENTRAC. PROTEINAS	20209.2898	2	10104.64	1240.10264	F 0.05;2;30=3.32
INTERACCION	21257.2349	8	2657.15	326.101924	F 0.05;8;30=2.27
ERROR	244.446981	30	8.14823		
TOTAL	537292.234	44			

Las últimas dos columnas de la derecha, contienen el indicador de distribución de probabilidad **F_{observado}** y **F_{tablas}**. Este último se obtuvo de la lectura en tablas de distribución de probabilidad, a un nivel de significancia de 5%, grados de libertad correspondiente a cada factor y, 30 grados de libertad correspondiente al error. Comparando los valores, se encuentra en todos los casos que: **F_{observado}** es mayor que **F_{tablas}**. Por lo que, de acuerdo al criterio de aceptación o rechazo de la hipótesis, en este caso se rechaza la hipótesis nula. Esto permite concluir que, en los procesos de biodepuración de aguas residuales semejantes a los domésticos, en biorreactor por lotes, la concentración inicial de proteínas y el tiempo afectan significativamente la velocidad de remoción de contaminantes.

CONCLUSIONES

- Se evaluó los efectos de la concentración de peptona y el tiempo de tratamiento, en la rapidez de biodepuración aerobia de agua residual doméstica a nivel de laboratorio, del cual se concluye que, ambos factores ejercen un efecto significativo sobre la rapidez, de modo tal que, este aumenta con la concentración inicial de peptona y disminuye con el tiempo de tratamiento.
- Se caracterizó, las muestras de agua residual preparada artificialmente con sustancias derivados de carbohidratos, proteínas y minerales, concluyéndose que, la DQO que poseen fueron de 685 ppm, 778 ppm y 871 ppm, semejantes a las aguas residuales de origen doméstico.
- Se estableció el perfil de evolución de la demanda química de oxígeno en el agua residual doméstica artificial durante el proceso de biodepuración, encontrándose que, el descenso que experimentan tiene tendencia a semejante a ecuación cuadrática. Este descenso responde a una cinética de biodepuración de primer orden respecto a de la DQO, con velocidades específicas de 0.394 día^{-1} , 0.445 día^{-1} y 0.478 día^{-1} respectivamente a las concentraciones iniciales de proteína de 400 mg/L, 500 mg/L y 600 mg/L
- Se estableció la relación entre la concentración de proteínas en el agua residual, el tiempo de tratamiento y la velocidad de biodepuración. Concluyéndose que, en el rango de concentraciones iniciales ensayados, la velocidad es función cuadrática del tiempo de tratamiento y la concentración inicial de proteínas

RECOMENDACIONES

De acuerdo a lo analizado con los datos que se obtuvieron, para futuras investigaciones se recomienda:

- Realizar experimentos de remoción de contaminantes disueltos, a concentraciones de DQO bajas, menores a 100 ppm. con el fin de conseguir la mejor estrategia de tratamiento para lograr reducciones de DQO altas a velocidades considerables, como por ejemplo incrementando temperatura o realizar el proceso en otra etapa con mayor nivel de oxigenación, entre otros.
- Llevar a cabo ensayos a más niveles de concentración inicial de proteína con el fin de establecer con mayor certeza la relación con la velocidad de depuración y con ello aplicar el más idóneo en casos donde se requiera maximizar la velocidad de depuración.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

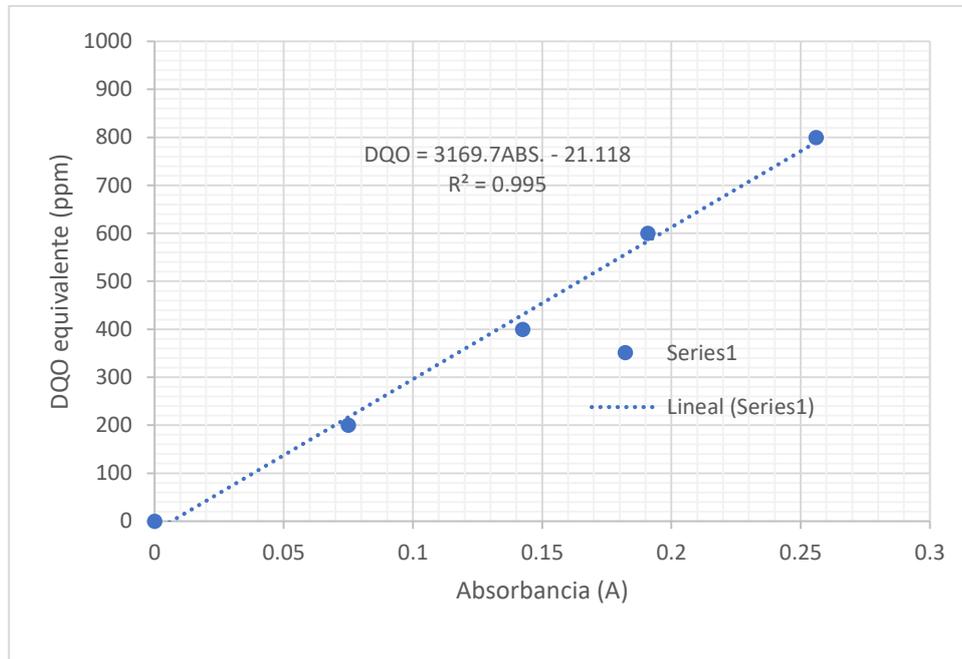
1. METCALF AND EDDY. *Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización*. 1995. ISBN 0070416907. McGraw-Hill
2. SALAMANCA, E. Tratamiento de aguas para el consumo humano. [Online]. 2016. [Accessed 2 July 2022]. Available from: <https://ip149.ip-178-32-61.eu/handle/11323/8498>
3. OROZCO JARAMILLO, Alvaro. *Bioingeniería de Aguas residuales: Teoría y diseño*. Segunda edición. . 2014. P. 378.
4. EWEIS, JB. Principios de biorrecuperación, tratamientos para la descontaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico químicos. [Online]. 1999. [Accessed 2 July 2022]. Available from: <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/52627>
5. COKGOR, Emine Ubay, INSEL, Guclu, KATIPOGLU, Tugce and ORHON, Derin. Biodegradation kinetics of peptone and 2,6-dihydroxybenzoic acid by acclimated dual microbial culture. *Bioresource Technology*. 1 January 2011. Vol. 102, no. 2, p. 567–575. DOI 10.1016/J.BIORTECH.2010.07.112.
6. KUL, Sinan and NUHOĞLU, Alper. Removal Kinetics of Olive-Mill Wastewater in a Batch-Operated Aerobic Bioreactor. *Journal of Environmental Engineering* [online]. 20 December 2019. Vol. 146, no. 3, p. 04019122. [Accessed 3 July 2022]. DOI 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001654. Available from: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29EE.1943-7870.0001654> Abstract This study involves the removal of the olive-mill wastewater (OMW), which is a significant pollutant, in a batch reactor under aerobic conditions by mixed cultures. It also includes compari...
7. FERRER POLONIO, Eva and ANTONIO MENDOZA ROCA DRA ALICIA IBORRA CLAR, José. TRATAMIENTO BIOLÓGICO AEROBIO PARA AGUAS RESIDUALES CON ELEVADA CONDUCTIVIDAD Y CONCENTRACIÓN DE FENOLES. [online]. 19 May 2018. [Accessed 3 July 2022]. DOI 10.4995/THESIS/10251/83382. Available from: <https://riunet.upv.es/handle/10251/83382> Tesis por compendio
8. Diseño y construcción de un reactor biológico aerobio para la remoción de la carga orgánica a escala de laboratorio de las aguas residuales domésticas del distrito de San Agustín de Cajas Huancayo. [online]. [Accessed 3 July 2022]. Available from: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3776>
9. PDF superior Efecto de la aplicación de microorganismos benéficos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en un humedal artificial - 1Library.Co. [online]. [Accessed 3 July 2022]. Available from: <https://1library.co/title/efecto-de-la-aplicacion-de-microorganismos-beneficos-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas-en-un-humedal-artificial>

10. Efecto de tres tipos de difusores de aire comprimido sobre la capacidad de oxigenación en aguas residuales domésticas-Huancayo. [online]. [Accessed 3 July 2022]. Available from: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6424>
11. MÉZQUITA, Alonso. Tratamiento biológico de aguas residuales a base de enzimas y bacterias. [online]. 2013. [Accessed 2 July 2022]. Available from: <http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/tratamiento%20biologico%20de%20aguas%20residuales.pdf>
12. RESIDUALES, R Rojas - Gestión integral de tratamiento de aguas and 2002, undefined. Sistemas de tratamiento de aguas residuales. *academia.edu* [online]. [Accessed 2 July 2022]. Available from: https://www.academia.edu/download/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR.pdf
13. RONZANO, E and DAPENA, JL. Tratamiento biológico de las aguas residuales. [online]. 1995. [Accessed 2 July 2022]. Available from: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=M0C1CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=tratamiento+biologico+de+aguas&ots=g3NtWbw9&sig=GT9ZUNXRG3aBUDEF2gQVI8MuLGA>
14. DUQUE-SARANGO, P, ... C Heras-Naranjo - Revista ciencia and 2018, undefined. Modelamiento del tratamiento biológico de aguas residuales; estudio en planta piloto de contactores biológicos rotatorios. *redalyc.org* [online]. [Accessed 2 July 2022]. DOI 10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp88-96p. Available from: <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661251008/582661251008.pdf>
15. GARCÍA, HA Hernández and MÉNDEZ, G Buitrón. Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño. [online]. 2017. [Accessed 2 July 2022]. Available from: <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/30973>
16. GIL, MJ, SOTO, AM, USMA, JI, LIMPIA, OD Gutiérrez - Producción+ and 2012, undefined. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *scielo.org.co* [online]. [Accessed 2 July 2022]. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1909-04552012000200005
17. POLO, J Ferrer, TORRECILLAS, A Seco and MARTÍNEZ, Á Robles. Tratamientos biológicos de aguas residuales. [online]. 2018. [Accessed 2 July 2022]. Available from: <https://riunet.upv.es/handle/10251/113132>
18. LI, Lu, XIE, Shuguang, ZHANG, Hui and WEN, Donghui. Field experiment on biological contact oxidation process to treat polluted river water in the Dianchi Lake watershed. *Frontiers of Environmental Science and Engineering in China*. March 2009. Vol. 3, no. 1, p. 38–47. DOI 10.1007/S11783-009-0007-6.
19. TIAN, Yiping, YUAN, Xiaoli, XU, Shujing, LI, Rihong, ZHOU, Xinying and ZHANG, Zhitao. Biological efficacy and toxic effect of emergency water disinfection

- process based on advanced oxidation technology. *Ecotoxicology*. 1 December 2015. Vol. 24, no. 10, p. 2141–2150. DOI 10.1007/S10646-015-1559-9.
20. LIN, Huirong, ZHANG, Shuting, ZHANG, Shenghua, LIN, Wenfang and YU, Xin. The function of advanced treatment process in a drinking water treatment plant with organic matter-polluted source water. *Environmental Science and Pollution Research*. 1 April 2017. Vol. 24, no. 10, p. 8924–8932. DOI 10.1007/S11356-015-5116-0.
21. MUCHA, Zbigniew and MIKOSZ, Jerzy. Technological characteristics of reject waters from aerobic sludge stabilization in small and medium-sized wastewater treatment plants with biological nutrient removal. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 1 March 2021. Vol. 12, no. 1, p. 69–76. DOI 10.1007/S40095-020-00358-W/FULLTEXT.HTML.
22. XU, Bingjie, XUE, Gang and YANG, Xing. Isolation and application of an ibuprofen-degrading bacterium to a biological aerated filter for the treatment of micro-polluted water. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. 1 October 2018. Vol. 12, no. 5. DOI 10.1007/S11783-018-1080-5.
23. ARNÁIZ, C, ISAC, L, AGUA, J Lebrato - Revista Tecnología del and 2000, undefined. Tratamiento biológico de aguas residuales. *cidta.usal.es* [online]. [Accessed 2 July 2022]. Available from: <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/edar.pdf>
24. GUZMÁN-OSORIO, F. J. and ADAMS, R. H. Mitigation of water repellency in the treatment of contaminated muds using the chemical–biological stabilization process. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 1 June 2015. Vol. 12, no. 6, p. 2071–2078. DOI 10.1007/S13762-014-0606-Z.
25. HARP, Emile F. Biological treatment of fatty acid and nitrogen derivative waste water. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 1975. Vol. 52, no. 1, p. a4–a8. DOI 10.1007/BF02641426.
26. KIM, Tae Gwan, YUN, Jeonghee, HONG, Sung Ho and CHO, Kyung Suk. Effects of water temperature and backwashing on bacterial population and community in a biological activated carbon process at a water treatment plant. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 1 February 2014. Vol. 98, no. 3, p. 1417–1427. DOI 10.1007/S00253-013-5057-9.
27. Efecto del tamaño de burbuja de aire, en la eficiencia de difusores para transferir oxígeno al agua. [online]. [Accessed 2 July 2022]. Available from: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7018>
28. HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R and COLLADO, C Fernández. Metodología de la investigación. [online]. 2018. [Accessed 3 July 2022]. Available from: <https://dspace.scz.ucb.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/21401/1/11699.pdf>

ANEXOS

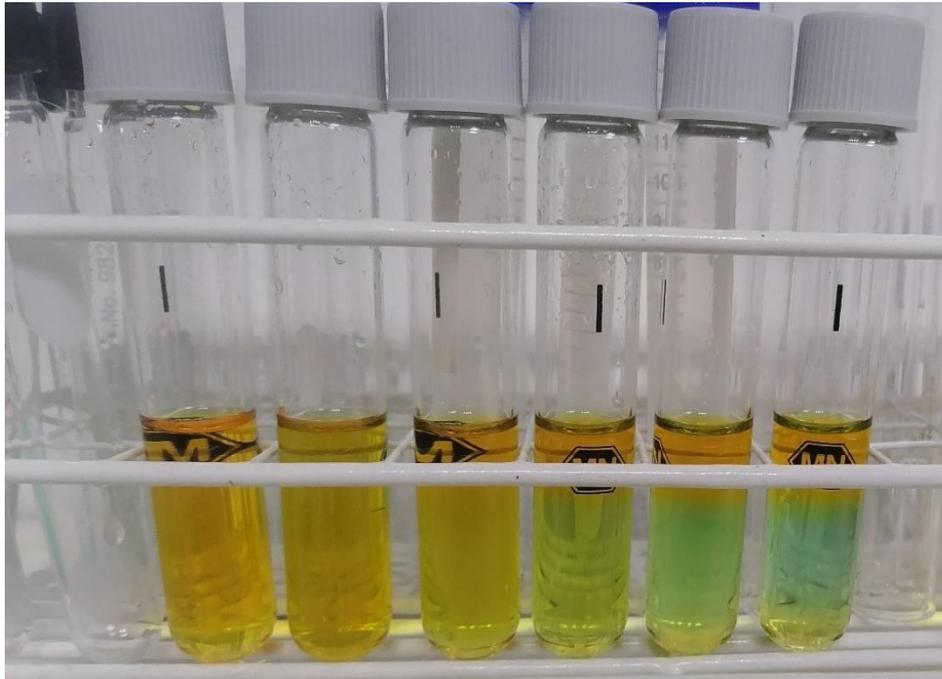
1. Curva de calibración de la DQO



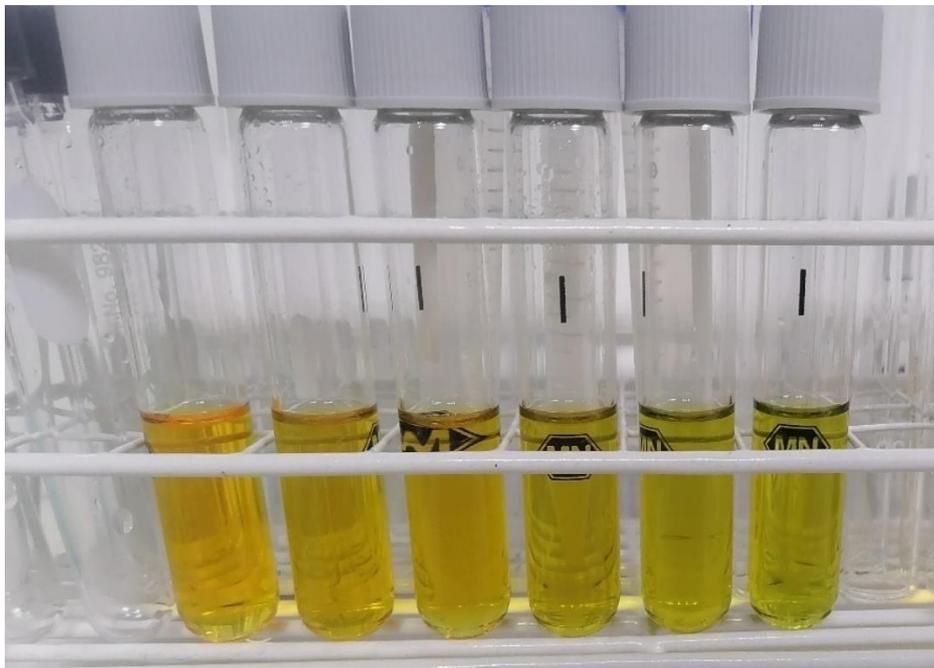
2. Mediciones de absorbancia de las muestras de agua residual artificial en proceso biodepurativo.

Tiempo	Concentración inicial de proteína								
	400 ppm			500 ppm			600 ppm		
días	abs1	abs2	abs3	abs1	abs2	abs3	abs1	abs2	abs3
0	0.22277	0.22277	0.22277	0.25211	0.25211	0.25211	0.28145	0.28145	0.28145
1	0.16711	0.1678	0.16773	0.17891	0.17617	0.17318	0.18914	0.18574	0.1851
2	0.11362	0.11761	0.11299	0.10761	0.11235	0.10478	0.11555	0.110824	0.11507
3	0.07154	0.07597	0.07654	0.06875	0.06981	0.06910	0.06966	0.06461	0.06813
4	0.04874	0.04888	0.04929	0.04587	0.04431	0.04840	0.04652	0.04394	0.04574
5	0.03638	0.03444	0.03820	0.03404	0.03499	0.03324	0.03111	0.03407	0.0358

3. Fotografía de las muestras para la curva de calibración antes de la digestión a 150 °C



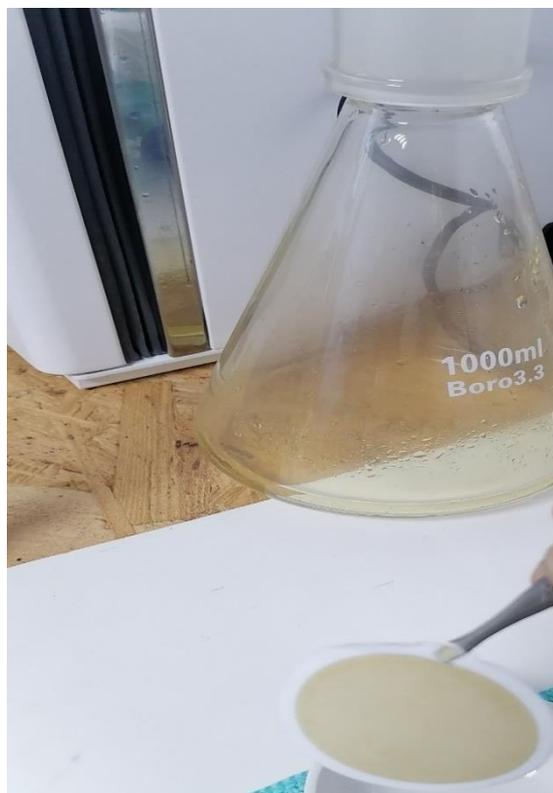
4. Fotografía de las muestras después de la digestión para lectura de absorbancia



5. Fotografía de tres muestras y el blanco después de digestión, para lectura de absorbancia en el espectrofotometro



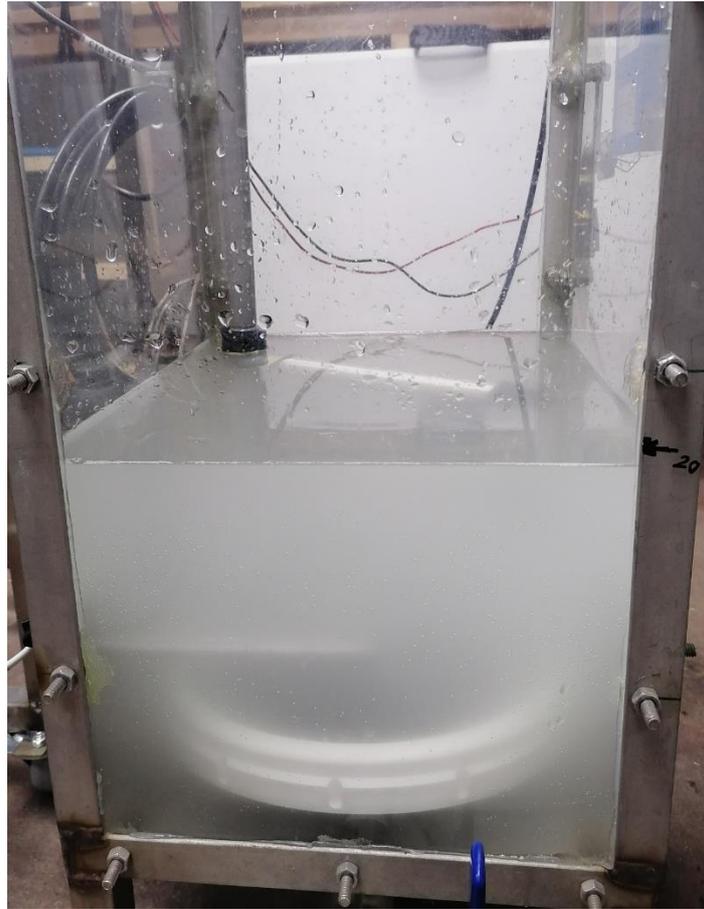
6. Fotografía del filtrado obtenido y sólidos en el filtro, después de la filtración de una muestra



7. Fotografía de operación de pesado de reactivos para la preparación de agua residual artificial



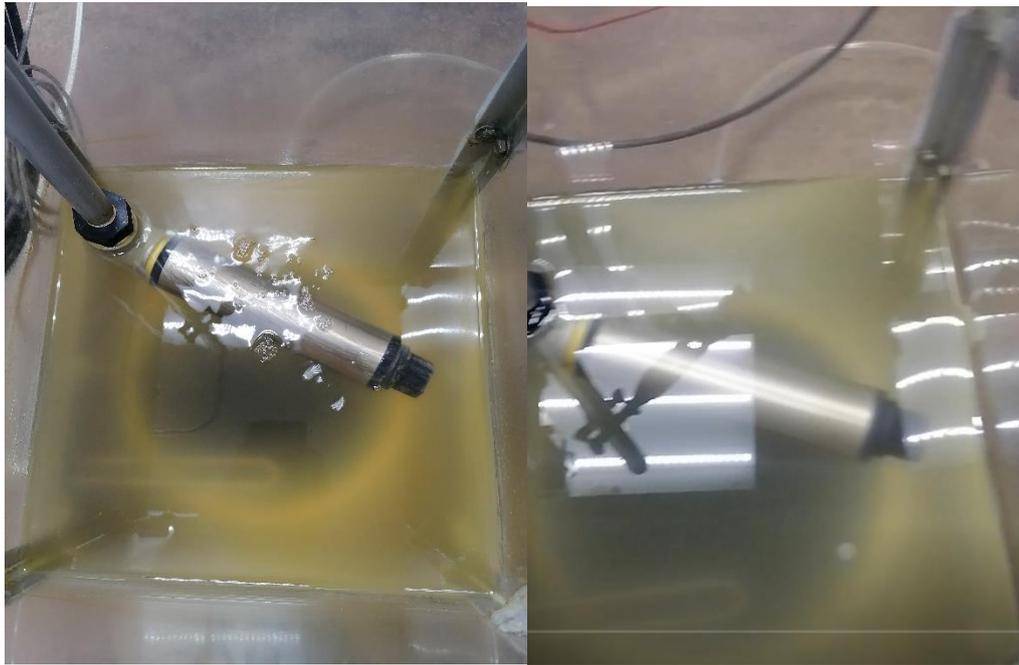
8. Fotografía del agua residual artificial antes de iniciar un proceso biodepurativo



9. Fotografía de una muestra de agua residual durante el proceso depurativo



10. Fotografía del agua residual artificial después de ser sometido al proceso biodepurativo por cinco días.



11. Fotografía del cultivo de microorganismos listo para adicionar al agua residual artificial



12. Ficha técnica del cultivo de microorganismos Biodyne que se utilizó



ENVIRONOC® 301 - Beneficial Microorganisms - *Technical Information, Uses, and Dosing Instruction*

Environoc 301 Uses:

Reduced BOD, COD, sludge, grease and Odor in Industrial Waste Water and Collections systems. Waste and odor control in livestock operations. Reduced Odor and Grease in restaurants, food preparation and processing facilities. Improved performance of Septic Tanks and Drain Field Recovery, Reduced Muck Layer and Algae Control in Aquaria and Ponds. General Odor control from Common Organics and Waste.

Technical Information

- *Please Store at Room Temperature or below, DO NOT FREEZE. Product will have a strong odor due to Microbial Activity.*
- *For Best Results, shake before using since settling can occur.*
- *If combining with other products avoid having them mixed together for extended periods of time. Some chemicals can be detrimental to the microbes. If mixing with other products, it is best to mix shortly before the application (Just in Time).*
- *Product is 100% natural beneficial microbes and safe around plants and animals. Keep out of reach of Children and Do Not Ingest, If accidental ingestion occurs or product gets into eyes, contact your healthcare provider immediately.*



Environoc 301 Dosing:

Septic Tanks

- **Maintenance-** One Quart every 2 months OR 1 Gallon every 6 months: Pour a portion of the inoculant down the various drains and toilets in the house, make sure to rinse the bottle three times and also pour down the drains.
- **Fouled absorption / drain field Recovery-** Use 2.5 - 5 gallons in Distribution box *After* having lines jetted.

Livestock Operations

- **MANURE PIT, and LAGOON TREATMENT-** Use Up To 10 gallons of product per surface acre for initial treatment. Follow up every 2-4 weeks with up to 5 gallons per surface acre. Application rates may be adjusted based on individual scenarios. (*Surface Acre=length x width/43,560*) Alternative Dosing= 1 Gallon per 25,000 Gallon Capacity.
- **MANURE PILES- TO CONTROL ODOR AND FACILITATE WASTE DEGRADATION-** Dilute with water and spray directly on manure pile. Dilute at a rate of at least 8oz. per gallon of water (dilution of 1:16 Environoc to Water). Dilution rates can be adjusted based on the concentration of odor. Allow to dry naturally. Repeat application every few days or as needed.
- **PREMISE TREATMENT- TO CONTROL ODOR IN BARN, STALLS PENS AND FLOORS -** Dilute with water and spray entire area. Dilute at a rate of at least 8 oz. per gallon water (dilution of 1:16 Environoc to Water). Dilution rates can be adjusted based on the concentration of odor. Allow to dry naturally. Repeat application every few days or as needed.

Food Service Grease Control

- **In Store Grease Trap:** Smaller establishments have floor mounted or in-floor grease traps near the sink. These can benefit greatly from 301 treatments. 1 Quart per week recommended. Add 301 at the end of the last shift once per week and Rinse the bottle Three times, pouring the rinse down the drain all three times.
- **500 Gallon Exterior Grease Trap:** Requires 2 Quarts per week. Pour 1 Quart down various drain lines twice per week. Add 301 at the end of the last shift twice per week and then pour 1-2 quarts of water down the drain behind the 301 to establish the inoculant in lines and trap.
- **1000 Gallon Exterior Grease Trap (Can use Feed System)** Requires 1 Gallon Per week. For best results pour in 2 - 3 equal doses per week. Add 301 at the end of the last shift and then pour 1-2 quarts of water down the drain behind the 301 to establish the inoculant in lines and trap.

www.biodyne-midwest.com



ENVIRONOC® 301 - Beneficial Microorganisms - *Technical Information, Uses, and Dosing Instruction*

Ponds, Lakes, Aquaria, Aquaculture

Dosing based on Acre Feet water body size calculations. One Acre Foot is a one-acre pond average one foot deep. An acre foot is equal to 326,000 gallons. Example calculation- A 2 acre pond, average depth of 4 feet would be total 6 acre feet. Use Environoc 301 every month year round to establish good colony of beneficial microbes

- **Initial Dose- One Gallon Per Acre Foot Monthly**
- **Maintenance Dose- ½ Gallon Per Acre Foot**

****For Ponds less than 10,000 gallons (.03 acre feet) Use the Following Dosing**

- **Initial Dose-** Apply 8 ounces per 1000 gallons of pond water
- **Maintenance Dose-** Apply 4 ounces per 1000 gallons every 2-4 weeks as needed

General Household / Commercial Odor Control

Example Treatments:

Bathrooms / Urinals, Trash Cans, Sinks and Garbage Disposals, Dishwashers, Washing Machine Drain Lines, Pet Waste Odors, Food Compost, Cesspools, Holding Tanks, Port a Potty, Pit Toilets, ect.

- Dilute with water and spray entire area. Dilute at a rate of at least 8 oz. per gallon water (dilution of **1:16** Environoc 301 to Water). Dilution rates can be adjusted based on the concentration of odor. Allow to dry naturally. Repeat application every few days to a week, and then treat as needed. ****For maximum effectiveness, use the diluted product within a week after dilution.**

Municipal / Industrial Wastewater Applications

- Please consult your distributor or Biodyne Midwest



Packaging: Quart, Gallon, 2.5 Gallon, 55 Gallon Drum, 250 Gallon Tote



Email: sales@biodyne-midwest.com

www.biodyne-midwest.com