UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

Facultad de Ingeniería

Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

EFICACIA DE LOS DIFUSORES DE BURBUJA GRUESA Y FINA EN LA DISMINUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA – CAJAMARCA 2021

Autor:

Bach. Annie Karina Díaz Urteaga

Bach. Jackeline Gunner Gamboa Aliaga

Asesor:

Mag. Ing. Alcibíades Aurelio Martos Díaz

Cajamarca – Perú

Mayo - 2021

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

EFICACIA DE LOS DIFUSORES DE BURBUJA GRUESA Y FINA EN LA DISMINUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA – CAJAMARCA 2021.

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

Bach. Annie Karina Díaz Urteaga

Bach. Jackeline Gunner Gamboa Aliaga

Asesor: Mg. Ing. Alcibíades Aurelio Martos Díaz

Cajamarca – Perú

Mayo - 2021

COPYRIGHT © 2021 by

ANNIE KARINA DÍAZ URTEAGA

JACKELINE GUNNER GAMBOA ALIAGA

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL

EFICACIA DE LOS DIFUSORES DE BURBUJA GRUESA Y FINA EN LA DISMINUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA – CAJAMARCA 2021

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

DEDICATORIA

A Dios, por haberme brindado fortaleza y salud en todo momento.

A mis padres Miguel y María, por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional en todo el proceso de mi formación, así mismo en impulsarme a ser mejor cada día y poder lograr cada uno de mis sueños.

A mis tías Lucrecia y Socorro Urteaga, por acogerme en su hogar durante los años de formación universitaria, por su apoyo y fortaleza que me demuestran que no hay imposibles con perseverancia.

Annie Karina Díaz Urteaga

A Dios, quien es mi guía y fortaleza, que con su mano de fidelidad y amor conduce cada uno de mis pasos, otorgándome salud y bendición para realizar cada una de mis metas tanto personal como profesional.

A mi hijo Thiago Alessandro, por ser mi orgullo y mi mayor motivación en la vida, porque impulsa cada uno de mis pasos para superarme día con día, ser mi fuente inagotable de compromiso y superación.

A mis padres Roberto y Nélida, pilares fundamentales en mi vida, quienes, con su amor, cariño paciencia y esfuerzo, me permitieron cumplir una meta más en la vida.

A mi hermano Edson, por su apoyo y cariño en todo este proceso.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi tía Carmen; por su cariño, sus palabras de aliento que día a día me motivaron para ser una persona de bien, por la comprensión y apoyo brindado a lo largo de mi formación profesional.

Jackeline Gunner Gamboa Aliaga

AGRADECIMIENTO

Agradecer en primer lugar a Dios, por brindarnos salud, sabiduría y fortaleza, en cada etapa de nuestra vida.

En especial agradecer a nuestros padres, por confiar en nosotras e impulsarnos a conseguir con esfuerzo y dedicación uno más de nuestros proyectos.

A la empresa Innodevel y al gerente Mg. Ing. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez, quien nos brindó las facilidades necesarias y guiarnos durante la puesta en marcha del presente trabajo de investigación.

A nuestra alma mater, la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos, por su enseñanza y dedicación durante nuestra formación profesional; de igual manera sin pasar por alto a nuestro asesor Ing. Alcibíades Martos Díaz, por su paciencia y disponibilidad en todo momento.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación titulado "Eficacia de los difusores de burbuja gruesa y fina en la disminución de la materia orgánica del agua residual doméstica – Cajamarca 2021", con la intención de evaluar el rendimiento de los difusores antes mencionados en el tratamiento aeróbico de aguas residuales con elevada carga orgánica (DBO_5), se tiene como objetivo principal evaluar la efectividad de los difusores de burbuja gruesa y fina en la disminución de la materia orgánica del agua residual doméstica.

El tipo de investigación que se realizó es aplicativo – experimental, el cual se basó en la influencia de la inyección de oxígeno para la degradación de la materia orgánica de aguas residuales domésticas, por tal razón, se elaboró dos reactores biológicos pilotos con difusores de burbuja fina de 3" y burbuja gruesa de 9", y una capacidad de 0.314 m^3 cada uno. Adicionalmente, se suministró aire con una comprensora de 2 HP y luego se realizó 4 ciclos de aireación que consiste en lo siguiente: 45 minutos de aireación y 30 minutos de descanso por ciclo. Por último, se controló y se evaluó con los parámetros de oxígeno disuelto (OD) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5).

Finalmente, la efectividad de los reactores biológicos con sus respectivos difusores remueve la materia orgánica: burbuja fina 88.3% y para burbuja gruesa 79.75%; en consecuencia, el difusor de burbuja fina es más efectivo ya que disminuye en un 8.55% más que el de burbuja gruesa.

Palabras claves: Difusores de burbuja gruesa y fina, materia orgánica, agua residual doméstica.

ABSTRACT

The present research project entitled "Effectiveness of coarse and fine bubble diffusers in the reduction of organic matter in domestic wastewater – Cajamarca 2021", with the intention of evaluating the performance of the aforementioned diffusers in the aerobic treatment of wastewater with high organic load (BOD5), has as main objective to evaluate the effectiveness of coarse and fine bubble diffusers in the reduction of organic matter in domestic wastewater.

The type of research carried out is applicative – experimental, which was based on the influence of oxygen injection for the degradation of organic matter in domestic wastewater, for this reason, two pilot biological reactors were developed with fine bubble diffusers of 3" and coarse bubble of 9", and a capacity of 0.314 m^3 each. Additionally, air was supplied with a 2HP compressor and then 4 aeration cycles were performed consisting of the following: 45 minutes of aeration and 30 minutes of rest per cycle. Finally, dissolved oxygen (DO) and biochemical oxygen demand (BOD5) parameters were monitored and evaluated.

Finally, the effectiveness of the biological reactors with their respective diffusers remove organic matter by: for fine bubble 88.3% and for coarse bubble 79.75%; consequently, the fine bubble diffuser is more effective since it decreases by 8.55% more than the coarse bubble diffuser.

ÍNDICE

DEDICATORIA i
AGRADECIMIENTO ii
RESUMEN iii
ABSTRACT iv
ÍNDICE v
LISTA DE TABLAS viii
LISTA DE FIGURAS ix
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 11
1. Planteamiento del problema 11
1.1. Descripción de la Realidad Problemática 11
1.2. Definición del Problema 12
1.3. Objetivos 12
1.3.1. Objetivo General 12
1.3.2. Objetivos Específicos 12
1.4. Justificación e Importancia 13
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO 14
2. Fundamentos teóricos de la investigación 14
2.1. Antecedentes teóricos 14
2.2. Marco Histórico 16
2.3. Marco teórico 16
2.3.1. Aguas residuales 16
2.3.2. Clasificación de las aguas residuales 16
2.3.3. Composición de las Aguas Residuales 17
2.3.4. Materia Orgánica 19
2.3.5. Medición del contenido orgánico 19
2.3.6. Eficiencia de Remoción de la Materia Orgánica 20
2.3.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 20
2.3.8. Modelo cinético de la DBO 21
2.3.9. Curva real de DBO: 21
2.3.10 DBO_5: 23
2.3.11. Demanda Química de Oxígeno (DQO) 24

2.3.12. Cinética de los procesos de Fosfatizaciòn y de Amonización: 25
2.3.13. Nitrificación: 25
2.3.14. Nitrobacter 26
2.3.15. Nitrificación en el ensayo de DBO 27
2.3.16 Desnitrificación 28
2.3.17 Carbono Orgánico Total (COT) 29
2.3.18 Tratamiento Aerobio 29
2.3.19 Aireación con difusores 30
2.3.20 Difusores 30
2.3.21 Foaming: 33
2.3.22 Oxígeno disuelto 35
2.3.23 pH 35
2.3.24 Temperatura 35
2.3.25 Turbidez 35
2.3.26 Olor 36
2.3.27 Sólidos Totales 36
2.4. Marco Conceptual 36
2.5. Hipótesis 38
CAPITULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 40
3.1. Tipo de Investigación 40
3.2. Diseño de Investigación 40
3.3. Área de Investigación 41
3.4. Universo 41
3.5. Muestra 41
3.6. Técnicas e instrumento de recolección de datos 42
3.7. Técnicas de análisis de datos 43
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 44
4. Presentación, análisis e interpretación de resultados 44
4.1. Difusor de burbuja fina 44
4.1.1. Efecto sobre el DBO_5 44
4.2. Efecto sobre el oxígeno disuelto. 46
4.2.1. Prueba del T student para las medias de oxígenos disuelto. 46
4.3. Difusor de burbuja gruesa 48

4.3.1. Efecto sobre el DBO5 48
4.4. Efecto sobre el oxígeno disuelto. 50
4.4.1. Prueba t student para las medias de oxígeno disuelto 50
4.5. Eficacia del difusor de burbuja gruesa y fina 52
4.6. Discusión 56
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 58
5.1. Conclusiones 58
5.2. Recomendaciones 59
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 60
LISTA DE ABREVIATURAS 64
GLOSARIO 65
7. ANEXOS 66
7.1. Panel Fotográfico 66
7.2. Informes de ensayo de laboratorio 71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 *Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual* 18
Tabla 2 *Valores típicos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para aguas de diferente calidad* 21
Tabla 3 *Tabla de Ventajas y Desventajas de los difusores* 32
Tabla 4 *Operacionalización de las variables* 39
Tabla 5 *Relación de instrumentos utilizados* 43
Tabla 6 *Efecto del difusor de burbuja fina vs materia orgánica* 44
Tabla 7 *Análisis estadístico del efecto del difusor de burbuja fina sobre la materia orgánica* 45
Tabla 8 *Efecto del difusor de burbuja fina vs oxígeno disuelto* 46
Tabla 9 *Análisis estadístico del efecto del difusor de burbuja fina sobre oxígeno disuelto* 47
Tabla 10 *Efecto del difusor de burbuja gruesa vs materia orgánica* 48
Tabla 11 *Análisis estadístico del efecto del difusor de burbuja gruesa sobre la materia orgánica* 49
Tabla 12 *Efecto del difusor de burbuja gruesa vs oxígeno disuelto* 50
Tabla 13 *Análisis estadístico del efecto del difusor de burbuja gruesa sobre oxígeno disuelto* 50
Tabla 14 *ANOVA de un factor para las diferentes burbujas e inicial* 52
Tabla 15 *Información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%* 52
Tabla 16 *Información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza al 95%* 52
Tabla 17 *Efectividad de los difusores de burbuja fina y gruesa* 55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de curva real de DBO, extraído de *Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales (2002)* 22
Figura 2: Interferencias en la medida de la DBO, extraído de *Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales (2002)* 23
Figura 3: Determinación de la Materia Orgánica Oxidada a Bióxido de Carbono y Agua, extraído de *Demanda Química de Oxígeno 3º Ediciòn (2008)* 25
Figura 4: Bacteria Nitrosoma, extraido de *Aquaportail (2006)*..... 26
Figura 5: Bacteria Nitrobacter, extraído de *Bioquímica de microorganismos (1997)*.... 27
Figura 6: Reacciones de Nitrificación, extraído de *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización (1995)*..... 27
Figura 7: Esquema de definición de las demandas bioquímica de oxígeno carbonosa y nitrogenada, ejercidas por una muestra de agua residual, extraída de *Ingeniería de aguas residuales (1995).* 28
Figura 8: Proceso de desnitrificación de acuerdo a cuatro fases, extraído de *Nitrógeno en Aguas Residuales (2013)*..... 29
Figura 9: Oxidación y síntesis de materia orgánica. 30
Figura 10: Difusor de Burbuja Fina de diámetro de 9” *(Fuente Propia)*..... 31
Figura 11: Difusor de burbuja gruesa con diámetro 3” *(Fuente Propia)*..... 32
Figura 12: Nocardia sp, extraída de *Bacterias Filamentosas en el Fango Activo*..... 34
Figura 13: Microthrix Prvicella, extraído de *Bacterias Filamentosas en el Fango Activo* 34
Figura 14: Diseño de sistema de aireación aplicado en proyecto 37
Figura 15: Ubicación referencial de la aplicación del proyecto de investigación, *extraído de Google Earth*..... 41
Figura 16: Comparación de la DBO_5 inicial y final en los diferentes ciclos con difusor de burbuja fina..... 45
Figura 17: Comparación de oxígeno disuelto inicial y final en los diferentes ciclos con difusor de burbuja fina 47
Figura 18: Comparación de la DBO_5 inicial y final en los diferentes ciclos con difusor de burbuja gruesa..... 49

Figura 19: Comparación del oxígeno disuelto inicial y final en los diferentes ciclos con difusor de burbuja gruesa 51
Figura 20: Comparación de medias con respecto a la remoción de materia orgánica con los diferentes difusores de burbuja gruesa y fina. 53
Figura 21: Comparación en parejas Tukey para la materia orgánica. 53
Figura 22: Comparación en parejas de Fisher para la materia orgánica. 54
Figura 23: Remoción de materia orgánica en los diferentes difusores. 55
Figura 24: Diseño y armado de reactores para emplear en experimento 66
Figura 25: Instalación de difusores de burbuja fina y gruesa dentro de reactores 66
Figura 26: Instalación in situ de reactores 67
Figura 27: Recolección de afluente para colocar en reactores 67
Figura 28: Prueba de reactores con inyección de oxígeno 68
Figura 29: Toma de OD en los reactores de aireación 68
Figura 30: Muestreo y seguimiento de OD y DBO_5 69
Figura 31: Muestreo de DBO_5, en los diferentes ciclos. 69
Figura 32: Formación de Foaming, durante proceso de aireación. 70
Figura 33: Formación de sedimentos en reactores 70

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

En la actualidad, el incremento de residuos generados por las diferentes actividades humanas ha conllevado como resultado la contaminación de diferentes recursos naturales. Uno de los recursos más afectados es el agua que a pesar de ser indispensable en las diferentes actividades cotidianas y elementales para la vida, también es uno de los recursos más afectados.

En Latinoamérica la problemática de aguas residuales ha ido tomando mayor relevancia debido al déficit de tratamiento de estas. Según Yee – Batista (2013) afirma que "el 70% de aguas residuales de la región de Latinoamérica no son tratadas, solo son extraídas, usadas y vertidas".

En la actualidad existen diferentes tipos de tecnologías convencionales y no convencionales, para el tratamiento de aguas residuales, las cuales se utilizan de acuerdo con las necesidades del agua a tratar, considerando los parámetros que se desean reducir, así también como los costos de instalación y operación.

Dentro estas tecnologías encontramos a la aireación sumergida, en donde se encuentran los difusores de burbuja fina y burbuja gruesa, los cuales tienen diferentes modos de operación tanto en conservación de energía y/o eficiencia de estándares de aireación para tratamiento de aguas residuales, pero ambos llegan a alcanzar altos valores de transferencia de oxígeno.

Es por ello, que en el presente proyecto de investigación tiene como propósito evaluar la eficacia de los difusores de aire de burbuja gruesa y burbuja

fina, en las mismas condiciones de proceso, de retención y flujo de aire, con el fin de evaluar la disminución de materia orgánica con cada uno de los ejemplares.

1.2. Definición del Problema

¿Cuál es la eficacia de los difusores de burbuja gruesa y fina en la disminución de la materia orgánica del agua residual doméstica?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la eficacia de los difusores de burbuja gruesa y fina en la disminución de la materia orgánica del agua residual doméstica.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar la concentración de materia orgánica inicial del agua residual doméstica.
- Evaluar la concentración de materia orgánica del agua residual en el sistema del difusor de burbuja gruesa.
- Evaluar la concentración de la materia orgánica del agua residual en el sistema del difusor de burbuja fina.
- Comparar la eficacia entre el difusor de burbuja gruesa y burbuja fina en la transferencia de oxígeno para la disminución de la materia orgánica del agua residual doméstica.

1.4. Justificación e Importancia

Actualmente existen varias tecnologías para el tratamiento de aguas residuales de diferente fuente de origen (doméstica, industrial, municipal, entre otros.); con el fin de reutilizarlos en actividades, según la entidad encargada, tenga a bien; pues algunas están destinadas a la agricultura. Además, se evita la contaminación y daños al ambiente e indirectamente a la salud humana.

La tecnología más utilizada en el tratamiento de las aguas residuales es la aireación, pues consiste en la adición de aire mediante difusores de diferentes burbujas, los cuales se encargan de prolongar la vida de los microorganismos que actúan en la degradación de la materia orgánica, a esto se lo llama tratamiento biológico. La aireación se realiza de tres maneras: 1) instalación de difusores de burbuja fina, 2) difusores de burbuja gruesa, y/o 3) una instalación mixta.

La importancia de esta investigación radica en determinar e identificar el difusor con mayor remoción de materia orgánica del agua residual doméstica, pues, la aceleración de la degradación del material fecal aún es un tema que se sigue estudiando y que investigadores aún siguen probando nuevas técnicas para lograr acelerar su degradabilidad. Por lo tanto, esta investigación corrobora la efectividad de los dos difusores en los siguientes puntos:

- La oxidación de materia orgánica en función de la burbuja del difusor.
- Producción de lodos con excelente sedimentabilidad y calidad.
- Propuesta de una instalación de reactores con difusores de burbuja (más efectiva) para tratar la materia orgánica de las aguas residuales domésticas de una PTARD.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2. Fundamentos teóricos de la investigación

2.1. Antecedentes teóricos

- Krystel Marisol Monroy Machena, (2010)**,** en su investigación "Evaluación de la eficiencia de técnicas aeróbicas (Burbuja Fina, Burbuja Gruesa y aireador venturi Jet) a utilizar en el tratamiento de agua residual domiciliar para el sistema de lodos activos en modalidad de aireación extendida", llegó a la conclusión de que la técnica aerobia presenta mayor porcentaje de eficiencia en la transferencia de oxígeno en el tanque de aireación, siendo el de burbuja fina un valor de 37.67% y removiendo el DBO_5 a un valor de 91.20% y una remoción de 87.25 % para DQO; para la remoción de SST se obtuvo un valor de 38.83 %,y una remoción de SST de 82 .57%. esto hace que la técnica de burbuja fina sea eficiente debido al tamaño de la burbuja que tiene mayor presencia en el contacto aire – agua.
- Esteban Durán Herrera, (2005), concluyó en su investigación "Propuesta de un modelo de dos zonas simplificado para el estudio de la transferencia de oxígeno en sistemas de aireación con difusores de poro fino", que en el modelo de dos zonas muestran simplificaciones pequeñas en los balances de masa, logrando describir el fenómeno físico de la aireación con difusores, a la vez, la presencia de sustancias contaminadas y las concentraciones disminuyeron el valor de coeficientes volumétricos de transferencia de oxígeno; sin embargo, el detergente y el aceite afectaron más el coeficiente de la zona de la superficie de la reaireación, mientras que el de los sólidos suspendidos afectaron la zona de dispersión de las burbujas.

- Macassi Allasi, Guiliana Cecilia, (2017)**,** logró determinar en su investigación "Comportamiento del sistema de Nanoburbujeo en el Tratamiento para reducir los niveles de contaminación de aguas residuales domésticas de la provincia de Concepción", que las características de las aguas residuales muestran un pH de 7.8 manteniendo los estándares, mientras que los indicadores de contaminación como el DBO_5, DQO y sólidos totales superan los LMP 88.59 y los 138 mg/L, para lo cual someten dichos indicadores a un proceso de aireación, evaluando en diferentes tiempos de inyección de 2, 4, 6, 8 y 10 horas, observando que el tiempo de las primeras 2 horas el porcentaje de remoción es bajo de 0.87%, mientras que a las 9 horas de inyección de aire el porcentaje es de 79.92% y a las 10 horas no hay disminución de la DQO.
- Poly Parambi, Riya Rose, (2015), logró determinar en su investigación "Estudio sobre el efecto de la aireación en las aguas residuales", para lo cual se sometieron a prueba diferentes velocidades de flujo 1.5 L/min, 3 L/min y 4 L/min, con periodos determinados de aireación: 24 horas, 48 horas y 72 horas; donde se obtuvo una variación de acuerdo al tiempo y caudal, en la cual el resultado más óptimo se obtuvo en el caudal de 4 L/min con un periodo de detención de 72 horas; obteniendo porcentaje de DBO_5 (95.88%) DQO (95.71%) y Turbidez (37.72%).
- Villacres Lupera, Erika Johanna, (2020), concluyó en su estudio de "Influencia del tamaño de la burbuja de aire en la remoción de contaminantes de aguas residuales de faenamiento", que de acuerdo a los parámetros iniciales de DQO (3600 mg/L), DBO_5 (2500 mg/L) y OD (0.25 mg/L), los cuales incumplían con los LMP de la normativa ecuatoriana vigente; para ello se efectuó el tratamiento

aerobio con difusores, donde en el difusor de burbuja fina de 0-3 mm se obtuvo una remoción de 88.9% en DQO y hasta el 96.5% de eficiencia en el incremento de OD; mientras que en el difusor de burbuja gruesa de 3-5 mm se obtuvo una remoción del DQO al 69.1% y hasta el 94.2% de eficiencia en el incremento de OD.

2.2. Marco Histórico

El uso de oxígeno puro como sustituto del aire en el proceso de lodos activados se propuso en la década de 1940 y se puso en uso comercial en el año de 1970 (Shammas, 2009), del cual las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), a partir del siglo XX han ido empleando la aireación para transferir oxígeno a la masa biológicamente activa de microorganismos, con la finalidad de lograr una adecuada remoción de materia orgánica. (Mueller J., 2002)

2.3. Marco teórico

2.3.1. Aguas residuales: Son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población, que resulta de la combinación de residuos o líquidos arrastrados sobre ella y cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas. (OEFA, 2014)

2.3.2. Clasificación de las aguas residuales: El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, clasifica al agua residual en:

- **Agua Residual Doméstica:** Aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana.

- **Agua Residual Industrial:** Aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyendo a la actividad minera, agrícola energética, agroindustrial, etc.
- **Agua Residual Municipal:** Aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mescladas con agua de drenaje pluvial o de origen industrial anteriormente tratadas.

2.3.3. Composición de las Aguas Residuales: La composición del agua residual es física, química y biológica. Las principales propiedades físicas, constituyentes químicos y biológicos presentes en un agua residual son:

- **Propiedades Físicas**: Color, olor, sólidos y temperatura.
- **Constituyentes Químicos:**

  Orgánicos: Carbohidratos, grasas animales, aceite y grasa, pesticidas, fenoles, proteínas, contaminantes prioritarios, agentes tensoactivos y compuestos orgánicos volátiles.

  Inorgánicos: Alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, pH, fósforo, contaminantes prioritarios, azufre.

  Gases: Sulfuro de hidrógeno, metano, oxígeno.
- **Constituyentes Biológicos:** Animales, plantas, protistas (Eubacterias, Arqueobacterias) y virus.

En concordancia a las normas actuales y con la finalidad de reutilizar el agua residual, no solo se pretende eliminar la materia orgánica, sólidos en suspensión, patógenos, nutrientes, contaminantes prioritarios, sino también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados, sólidos orgánicos y disueltos.

En la siguiente tabla se muestra cual es la importancia de remover los diferentes contaminantes en el agua residual.

Tabla 1

Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual

Contaminante	Razón de Importancia
Sólidos en Suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de lodos y de condiciones anaerobias, cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Materia Orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas, animales. Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica, esta puede llevar al agotamiento de recursos naturales de oxígeno y a condiciones séptica.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno, el fósforo y el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Si estos son vertidos al entorno acuático, favorecerán al crecimiento de vida acuática no deseada, y si es vertido en terreno generaría contaminación del agua subterránea.
Contaminantes Prioritarios	Son compuestos orgánicos e inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguada conocida o sospechada.
Materia orgánica Refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Entre ellos tenemos a agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.

Metales pesados	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos Disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: METCALF & EDDY, 1995

2.3.4. Materia Orgánica: Son "aquellos sólidos que provienen del reino animal y vegetal, así como de las diferentes actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos, dichos compuestos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno, oxígeno y en algunos casos de nitrógeno. Entre los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual encontramos las proteínas (40-60 por100), hidratos de carbono (25-50 por 100), grasas y aceites (10 por100) y la urea que constituye principalmente de la orina, no obstante, debido a la velocidad del proceso de su descomposición" raramente se encuentra presente en aguas residuales. (METCALF & EDDY, 1995, p. 53)

2.3.5. Medición del contenido orgánico: "Para la medida del contenido orgánico, los diferentes métodos pueden clasificarse en dos grupos; el primero es empleado para determinar altas concentraciones de contenido orgánico, mayores de 1 mg/L, incluyendo así los ensayos de laboratorio: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno

(DQO), Carbono Orgánico Total (COT) y como complemento se emplea la Demanda Teórica de Oxígeno (DTeO); el segundo grupo es empleado para determinar concentraciones a nivel de traza, por debajo de 1mg/L, empleando instrumentos que incluyen cromatografía de gases y la espectroscopia de masa". (METCALF & EDDY, 1995, p. 77).

2.3.6. Eficiencia de Remoción de la Materia Orgánica: La base fundamental para la aceptación del sistema depuración de aguas residuales domésticas, es la determinación de la eficiencia de remoción de la materia orgánica (n). Definida como el porcentaje de materia orgánica que se queda contenida en el interior del reactor biológico, como biomasa formada; así el efluente se ve reducido o eliminada su carga orgánica dependiendo de la calidad del funcionamiento del reactor. (METCALF & EDDY, 1995)

$$\%\boldsymbol{\eta_{remoción}} = \frac{\boldsymbol{DQO_{afluente} - DQO_{efluente}}}{\boldsymbol{DQO_{afluente}}} \times \mathbf{100} \qquad (1)$$

Dónde:

η: Eficiencia de remoción de materia orgánica (%)

$DQO_{afluente}$: Cantidad de materia orgánica en la entrada /mg/L)

$DQO_{efluente}$: Cantidad de materia orgánica en la salida (mg/L)

2.3.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5): De acuerdo a METCALF & EDDY, (1995), "consiste en la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica; y los resultados obtenidos a diferentes temperaturas serán distintos debido a que las velocidades de las reacciones químicas son función de la temperatura y son empleados para: determinar la cantidad

aproximada del oxígeno que se requerirá para estabilizar la materia orgánica, dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos". (p. 81)

Tabla 2

Valores típicos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para aguas de diferente calidad

Tipo de agua	DBO_5 mg/L
Agua potable	0.75 a 1.5
Agua poco contaminada	5 a 50
Agua potable negra municipal	100 a 400
Residuos industriales	500 a 10000

Fuente: Ambiental.A.C, 2007

2.3.8. Modelo cinético de la DBO

Se considera que la DBO varía con el tiempo según la ecuación de primer orden, que puede escribirse:

$$\boldsymbol{DBO_t = DBO_u(1 - 10^{-k.t})} \qquad (2)$$

Dónde:

DBO_t= DBO a *t* días

DBO_u= DBO ultima

t= Tiempo de incubación en días

k= Constante cinética medida en d^{-1}

2.3.9. Curva real de DBO: Es la resultante de dos reacciones principales:

- **Síntesis Bacteriana:** Se genera a partir de las materias orgánicas degradables, y se llega a completar entre 1 o 2 días.
- **Crecimiento de bacterias:** Utilizando la biomasa sintetizada anteriormente como sustrato.

Como se puede visualizar en la Figura Nº01, indica una pausa que es generada entre las dos reacciones, la duración de la pausa y algunas veces su ausencia depende de un determinado número de factores: tipo y concentración de las bacterias en el agua, concentración de la materia orgánica, inhibidores, pH, etc.

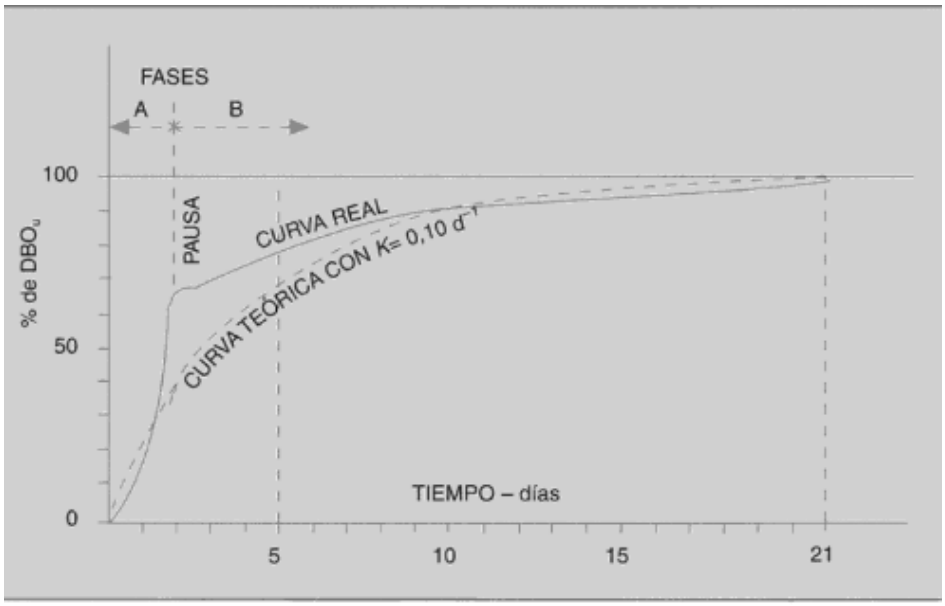

Figura 1: Ejemplo de curva real de DBO, extraído de *Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales (2002)*

En algunas circunstancias pueden interferir diversos factores como la nitrificación u otros, los cuales pueden alejar la curva real de la teórica y modificar la razón DBO/DBO$_5$, esto se puede visualizar en la Figura Nº02, la cual representa alguna de estas curvas modificadas, exageradas y simplificadas para una mejor comprensión. A esto se puede añadir otros factores como:

- Siembra de Microorganismos insuficiente.
- Aclimatación de la siembra insuficiente.
- Presencia de algas (agua tratada por lagunaje)

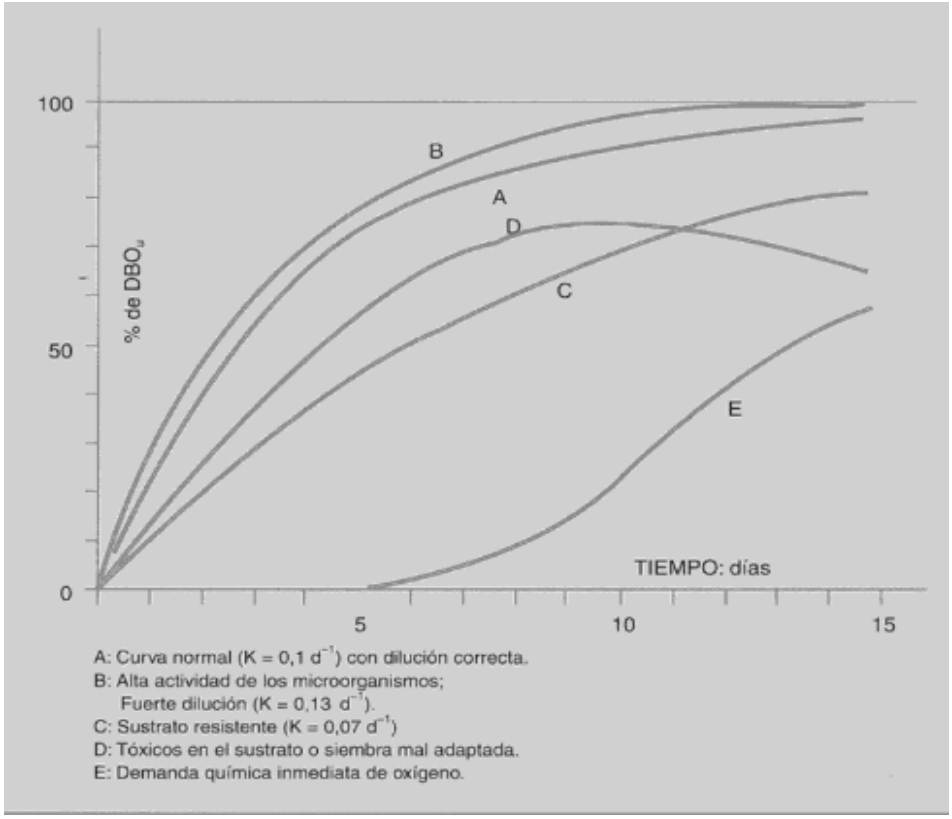

Figura 2: Interferencias en la medida de la DBO, extraído de *Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales (2002)*

2.3.10 DBO_5: De acuerdo con Gilbert M.Masters, (2008), define a la "DBO de cinco días, es la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos durante los primeros cinco días de biodegradación. La prueba consiste en añadir una muestra de residuo sólido en una botella cerrada para evitar nuevas disoluciones de aire procedentes de la atmósfera y medir así la concentración de oxígeno disuelto (OD) dividido por el volumen de desperdicio. Se evita también la exposición a luz directa con la finalidad de prevenir que las algas añadan oxígeno mediante el proceso de fotosíntesis, se asume que la temperatura es de 20 °C ya que la demanda de oxígeno de residuos es de varios cientos de miligramos por litro y el

valor saturado del agua a 20 °C es de tan solo 9.1 mg/L, siendo necesario diluir la muestra para conservar el OD final por encima de cero, pero si durante los cincos días la OD cae hasta cero, el resto no será válido pues se abría consumido más oxígeno del que habría disponible". (p. 210)

La DBO de cinco días de una muestra diluida:

$$\boldsymbol{DBO_5 = \frac{OD_i - OD_f}{P}} \qquad (3)$$

En donde:

OD_i = El oxígeno disuelto inicial del agua residual diluida.

OD_f = El oxígeno disuelto final, cinco días después, del agua residual diluida.

P = La fracción de dilución

$$P = \frac{V_{Agua\ residual}}{V_{Agua\ residual} + agua\ de\ disolución} \qquad (4)$$

2.3.11. Demanda Química de Oxígeno (DQO): La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro químico, que de acuerdo a Ramirez Burgos & Duran Dominguez, (2008) "representa una medida de toda la materia orgánica e inorgánica presente en disolución y/o suspendida que puede ser químicamente oxidada, por la acción de agentes oxidantes, bajo condiciones ácidas y se mide como miligramos de "oxígeno" equivalentes a la fracción orgánica disuelta y/o suspendida por litro de disolución (agua residual)"

Materia orgánica e inorgánica oxidable $\xrightarrow[\text{Condiciones: Medio ácido, T=145º, t= 2h}]{\text{Agente Oxidante } K_2Cr_2O_7}$ CO_2 + agua + $K_2Cr_2O_7$ (remanente)

Figura 3: Determinación de la Materia Orgánica Oxidada a Bióxido de Carbono y Agua, extraído de *Demanda Química de Oxígeno 3º Edición (2008)*

2.3.12. Cinética de los procesos de Fosfatación y de Armonización:

De acuerdo con Betancourt Portela & Casanova Rosero, (2001) "son descritas satisfactoriamente por una reacción de primer orden, ya que, con el resultado de su oxidación bioquímica, puede establecerse como primera aproximación, que las velocidades de estos procesos deben ser próximas entre sí. Las velocidades de estos procesos pueden ser evaluadas como reacciones de primer orden, a través de la siguiente formula":

$$\boldsymbol{Ct = C^0 * e^{-k.t}} \qquad (5)$$

Dónde:

- C^0=Concentración inicial de la especie química (N o P)
- Ct=Concentración en el tiempo (t)
- *k* = Velocidad específica del proceso bioquímico (dia^{-1})

2.3.13. Nitrificación: Proceso de eliminación del nitrógeno en las aguas residuales, se puede llevar a cabo gracias a dos géneros de bacterias:

- **Nitrosomas:** Son aquellas bacterias que intervienen en la oxidación de ion amonio (NH_4^+) a ion nitrito (NO_2^-). Estas bacterias prefieren un pH entre 6 a 9 y una Tº de 20 a 30 ºC. Contiene membranas de generación de energía que forman tubos largos y delgados en el interior de la célula. Los electrones hacen uso de la oxidación del amoniaco para producir energía, así mismo son capaces de realizar la transformación de compuestos

nitrogenados, cuentan con membrana interna agrupadas en vesículas aplastadas periféricas y forma alargada como se puede observar en la Figura Nº 04. (Domene y Rodriguez, 2010)

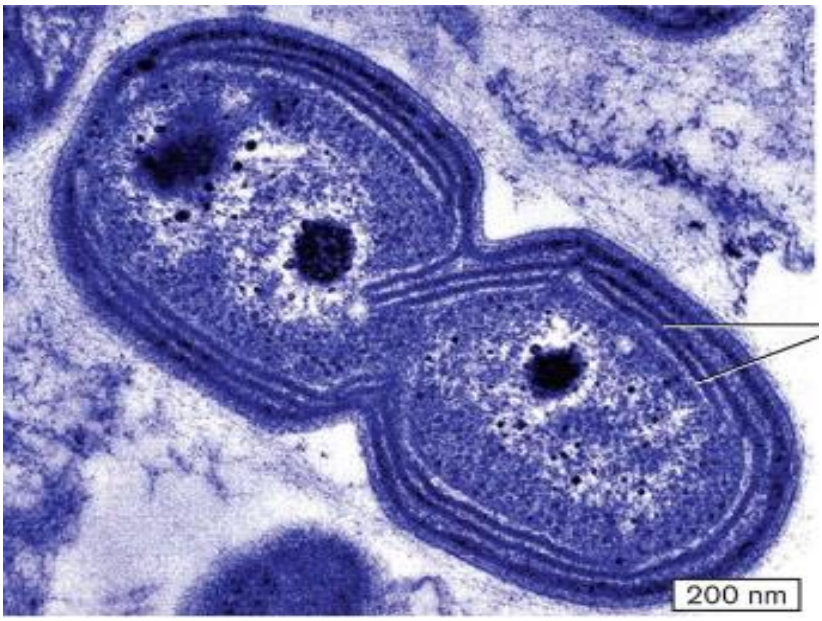

Figura 4: Bacteria Nitrosoma, extraído de *Aquaportail (2006)*

2.3.14. Nitrobacter: Se describe como, "aquellas bacterias que intervienen en la oxidación de ion nitrito (NO_2^-) a ion nitrato (NH_4^+) perteneciente al grupo nitro la cual es la especie más estudiada, la reacción que cumple esta bacteria es catalizadora por un ion nitrito reduciendo así el ion nitrato". (Gimenez, 1997)

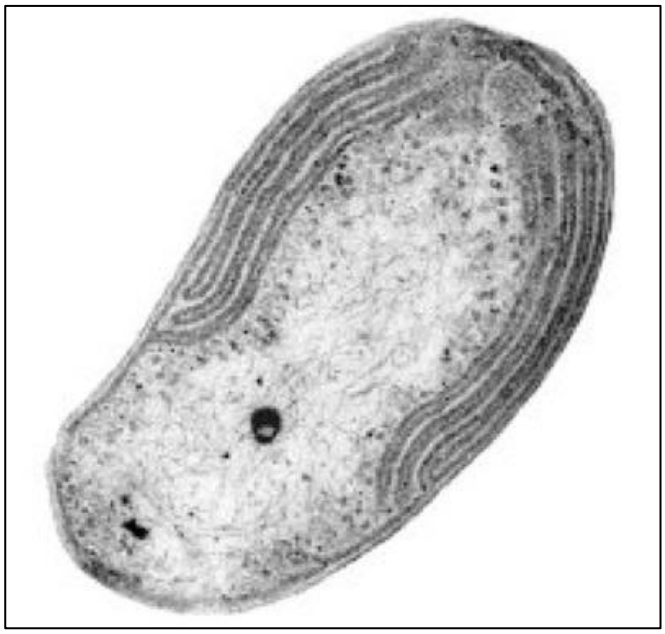

Figura 5: Bacteria Nitrobacter, extraído de *Bioquímica de microorganismos (1997)*

2.3.15. Nitrificación en el ensayo de DBO: Durante el proceso de hidrólisis de proteínas se produce materia no carbonosa, como el amoniaco (NH_3) por ejemplo. En el punto (2.3.9.) se describen a dos bacterias autótrofas, las cuales son capaces de oxidar el amoniaco (NH_3) a nitrito (NO_2^-) y a continuación, a nitrato. Las reacciones generalizadas son las siguientes:

a) $NH_3 + 3/8\ O_2 \xrightarrow{\text{Bacterias formadoras de nitritos}} HNO_2 + H_2O$

b) $NH_2 + 1/2\ O_2 \xrightarrow{\text{Bacterias formadoras de nitratos}} HNO_3$

$NH_3 + 2\ O_2 \longrightarrow HNO_3 + H_2O$

Figura 6: Reacciones de Nitrificación, extraído de *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización (1995)*

Se conoce con el nombre de demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada (DBO_N) la demanda de oxígeno asociada al proceso de oxidación de amoniaco

a nitrato. En la Figura Nº 7 se muestra la evolución y origen de la demanda de oxígeno normal en un ensayo de DBO con aguas residuales domésticas. "Normalmente es necesario un periodo entre 6 y 10 días para que las bacterias nitrificantes ejerzan una demanda de oxígeno medible, debido a la lentitud del proceso de reproducción de estas y al tiempo necesario para alcanzar una población suficiente". (METCALF & EDDY, 1995)

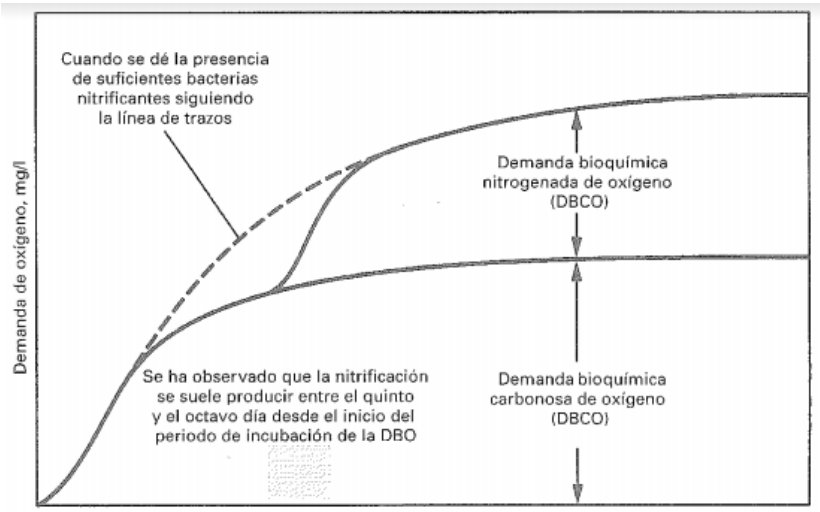

Figura 7: Esquema de definición de las demandas bioquímica de oxígeno carbonosa y nitrogenada, ejercidas por una muestra de agua residual, extraída de *Ingeniería de aguas residuales (1995).*

2.3.16 Desnitrificación: De acuerdo con la investigación de Cardenas Calvachi, (2013) en la "segunda etapa de eliminación del nitrógeno en aguas residuales se da en condiciones anóxicas, donde previamente el nitrato es reducido a nitrito y posteriormente a nitrógeno gas, mediante la acción de bacterias heterótrofas facultativas. Estas bacterias utilizan el carbono de la materia orgánica para la síntesis celular y fuente de energía, y en ausencia de oxígeno utilizan el nitrato como aceptor de electrones".

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

Figura 8: Proceso de desnitrificación de acuerdo con cuatro fases, extraído de *Nitrógeno en Aguas Residuales (2013)*

2.3.17 Carbono Orgánico Total (COT): Método empleado para medir la materia orgánica en pequeñas concentraciones. De acuerdo con METCALF & EDDY, (1995), dicho "ensayo consiste en inyectar una cantidad conocida de la muestra en un horno a alta temperatura o en un medio químicamente oxidante. En presencia de un catalizador, el carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico, la producción del cual se mide cuantitativamente con un analizador de infrarrojos". (p. 431)

2.3.18 Tratamiento Aerobio: El tratamiento biológico de las aguas residuales es una bioconversión, es un proceso mediante el cual se efectúa una conversión, con agentes biológicos, de un sustrato en sus productos.

En el caso del tratamiento aerobio, el agente biológico es la biomasa (microorganismos que actúan sobre el sustrato), el sustrato es el agua residual y representa la comida de los microorganismos.

Conocido también como tratamiento convencional, se clasifica en dos grupos: Tratamientos en medio suspendidos (lodos activos, zanjones de oxidación y por extensión las lagunas de estabilización) y el Tratamiento en medio fijo (filtros biológicos o percoladores, y los biodiscos)

$$\underset{\text{(materia orgánica)}}{COHNS} + O_2 + \text{nutrientes} \xrightarrow{\text{bacterias}} CO_2 + NH_3 + \underset{\text{(nuevas células bacterianas)}}{C_5H_7NO_2} + \text{otros productos finales}$$

Figura 9: Oxidación y síntesis de materia orgánica.

2.3.19 Aireación con difusores: Es el proceso utilizado ya sea para mezclar, circular, o disolver aire dentro de un líquido o una sustancia, cumple una función importante en el sistema de tratamiento, ya que al agregar aire se liberan algunos de los gases como dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno. La materia orgánica consume oxígeno a medida que se desintegra y gracias a la difusión de aire se repone el oxígeno consumido. Asimismo, las burbujas de oxígeno a través del agua ayudan a mantener el material orgánico suspendido para su posterior tratamiento. (TECNOLOGÍA, 2020)

2.3.20 Difusores: Dispositivos que introducen aire comprimido al agua a través de orificios o boquillas colocadas en tuberías, placas difusoras o rociadores de aire. (Fair, 1968)

Los difusores de aire se pueden clasificar por:

-**Difusor de burbuja fina:** Generan gran cantidad de burbujas de aire, su tamaño es de 0 a 3 mm, que logran desplazarse lentamente desde el difusor situado en la base del tanque de aireación hacia la superficie de este.

Tienen como objetivo principal proporcionar y transferir a los microorganismos el oxígeno necesario, permitiendo que las bacterias generen encimas que ayudan a descomponer los residuos para ser sedimentado en filtros de membranas o decantadores secundarios. (BARMATEC, 2016)

Figura 10: Difusor de Burbuja Fina de diámetro de 9” *(Fuente Propia)*

-**Difusor de burbuja gruesa:** Tiene la capacidad de generar rápidamente grandes burbujas de aire con un tamaño de 3 mm a 50 mm, que logran desplazarse desde el difusor situado en la base del tanque de aireación hacia la superficie de este. Son ideales para situaciones que combinan la mezcla de flujo de aire y la introducción de oxígeno, especialmente en aguas residuales con alto contenido de sólidos.

Su objetivo principal es bombear y agitar el agua más que el de transferir oxígeno.

Figura 11: Difusor de burbuja gruesa con diámetro 3" *(Fuente Propia)*

Tabla 3

Tabla de Ventajas y Desventajas de los difusores

Tipo de Difusor	Ventajas	Desventajas
Burbuja fina	-Alta eficiencia de aireación. -Alta eficiencia de transferencia de oxígeno. -Menos energía de funcionamiento -Produce bajas emisiones de compuestos orgánicos -Efectiva solución a demandas elevadas de oxígeno	-Susceptibles a la contaminación química o biológica, provocando una disminución en la transferencia de oxígeno. Si los poros de los difusores se obstruyen por la contaminación la energía requerida aumenta. -La distribución del flujo de aire es Crítico para el rendimiento óptimo del difusor
Difusor de Burbuja Gruesa	-Los poros son menos propensos a la obstrucción.	-Consumen más energía para operar.

-Optima capacidad de mezcla en tanques con sedimentos más gruesos. -Solución Ideal para la fase de tratamiento secundario	-Tienen una transferencia de oxígeno menos eficiente.

2.3.21 Foaming:

De acuerdo al informe del manual técnico de tecnologías de Buitron Mendez, Reino Sanchez y Carrera, "Es la formación de espumas que no son más que aglomeraciones de bacterias que son empujadas a la superficie de la burbuja de aire (exceso de aireación) y favorecidas por la presencia de materia de grasa en el reactor; se puede generar espumas de color marrón que son causadas por bacterias filamentosas y a la vez pueden aparecer espumas de color blanco, que durante el proceso de puesta en marcha indican el exceso de carga orgánica en el influente o cuando hay presencia de tenso activos". Dentro del proceso foaming podemos identificar la participación de las siguientes bacterias. (p. 23)

-**Nocardia sp:** Bacteria filamentosa ramificante Gram Positiva y Neisser Negativa, puede conducir a la formación de espuma en la superficie de los tanques de aireación. Se genera en periodos de elevada temperatura y compuesto complejos tales como: aceites y grasas. (Buitron Mendez, Reino Sanchez y Carrera)

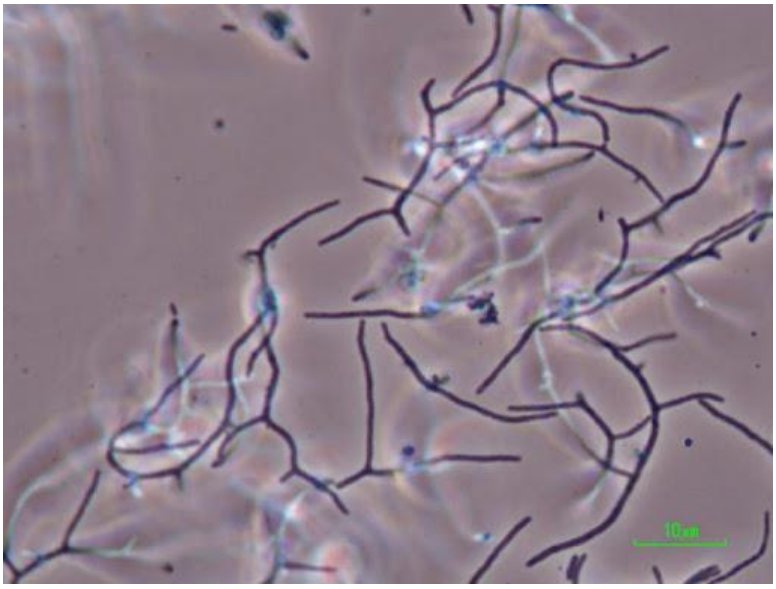

Figura 12: Nocardia sp, extraída de *Bacterias Filamentosas en el Fango Activo*

-Microthrix Parvicella: Microrganismo filamentoso Gram Positivo y Neisser Negativa, los parámetros bioindicadores a los que se encuentra asociada son: a bajas cargas másicas, bajas concentraciones de oxígeno disuelto, influentes ricos en grasa (la capacidad metabólica es muy alta y está especializada en sustratos hidrofóbicos preferentemente ácidos grasos con largas cadenas y en su forma esterificada, como el oleato).

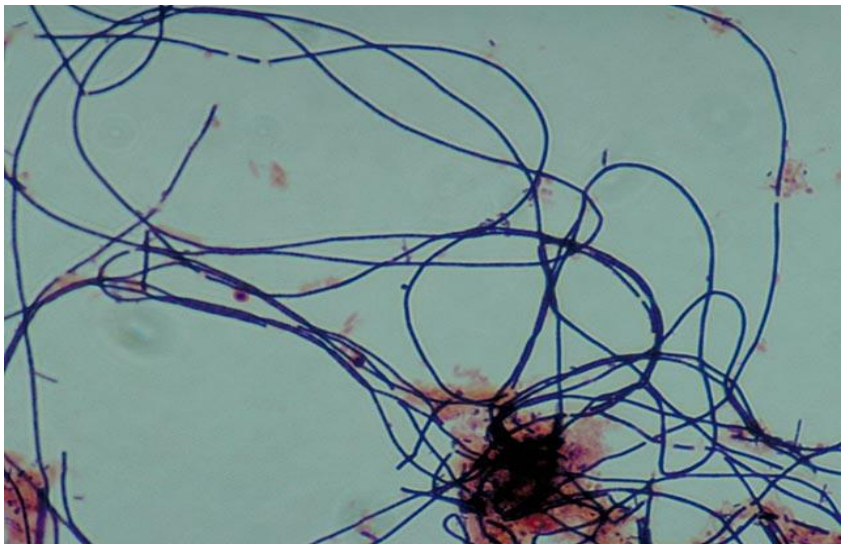

Figura 13: Microthrix Prvicella, extraído de *Bacterias Filamentosas en el Fango Activo*

2.3.22 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto, es la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua y es indispensable para los microorganismos aerobios; es responsable de dos fenómenos como la respiración de los seres vivos y la descomposición de la materia cuando esta muere, dicha descomposición se realiza a través del oxígeno en sí mismo, ya que cuenta con una capacidad oxidante. (METCALF & EDDY, 1995)

2.3.23 pH

Potencial de Hidrógeno, medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH nos indica la concentración de iones hidronio [H_3O^+] presentes en determinadas sustancias. (Vasquez Contreras Edgar,Rojas Pérez Guadalupe Tania, 2016)

2.3.24 Temperatura

Magnitud física que mide la energía térmica de una sustancia, se relaciona con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia, suele estar relacionada con el calor (energía térmica) o ausencia del calor de un cuerpo. (Jiménez Rodriguez María Rosa,Capa Benito Agueda,Lozano Portela Adelaida, 2004)

2.3.25 Turbidez

Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, su medición se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la

muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. (METCALF & EDDY, 1995)

2.3.26 Olor

"Emanación volátil de ciertos cuerpos que se percibe a través del sentido del olfato, estos olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica". (METCALF & EDDY, 1995, pág. 63)

2.3.27 Sólidos Totales

"Es aquella materia que se encuentra suspendida en aguas residuales, se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103° y 105 °C". (METCALF & EDDY, 1995, pág. 59)

2.4. Marco Conceptual

Para conceptualizar la presente investigación, optamos por representarlo en la figura 13, la cual nos permitirá identificar y aclarar los procesos que se dieron en el presente proyecto.

Contamos con nuestra definición de Proceso Aeróbico para el tratamiento de aguas residuales como: *el proceso aerobio en el cual los microorganismos que se desarrollan en el medio oxidan la materia orgánica presente en el agua residual.*

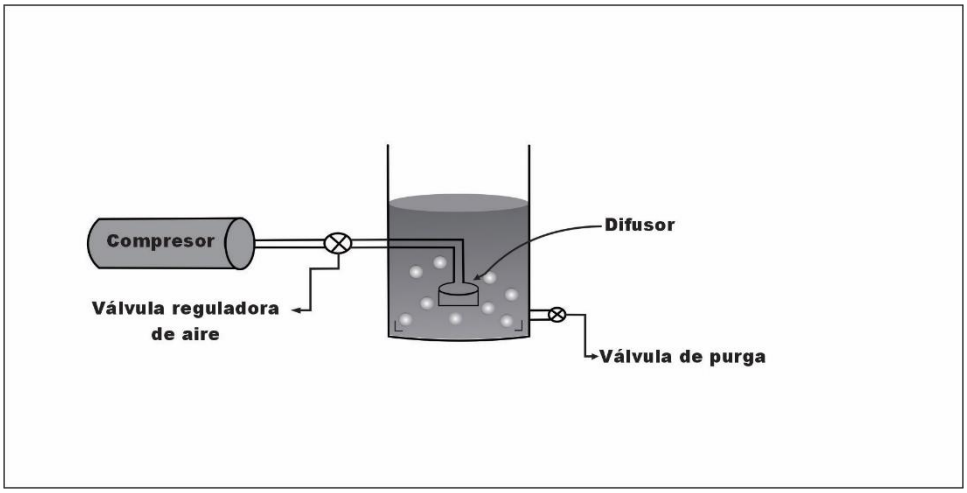

Figura 14: Diseño de sistema de aireación aplicado en proyecto

Por ello, podemos expresar que: para la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual doméstica, se requiere la presencia de oxígeno libre. Plasmado en una manera esquemática tendríamos lo siguiente:

- Afluente: agua residual domestica extraída de un cuerpo de agua (canal de regadío)
- Comprensora: Equipo que nos permitirá suministrar oxígeno a nuestro tanque de aireación, a través de los difusores de aire.
- Válvula de aire: dispositivo usado para controlar el suministro de aire.
- Difusor: Dispositivo que permite transferir el oxígeno mediante burbujas de aire en el agua residual. Para nuestro estudio empleamos dos tipos de difusores de burbuja fina y burbuja gruesa.
- Reactor: Tanque donde se produce la agitación o aireación del agua residual.
- Purga: Exceso de sólidos eliminados del tanque de aireación.

El agua residual domestica extraída del canal de regadío contiene materia orgánica, esta ingresa al reactor o tanque de aireación, para suministrar el aire a dicho reactor se empleó: una comprensora y por medio de difusores tanto de burbuja fina de 9" y gruesa de 3" se transfirió oxígeno por medio de burbujas de aire.

Es aquí donde se lleva a cabo la oxidación de la materia orgánica, pues las bacterias heterótrofas que se encuentra en los reactores, más la presencia del oxígeno, empiezan a degradar la materia orgánica. Pero *¿Qué ocurre cuando se oxida la materia orgánica?*, esta al oxidarse pierde electrones e^-; y estos son aceptados por el aceptador de e^-, que vendría hacer el oxígeno libre, cuando ocurre este intercambio se genera que es captada por los microorganismos, para generar nuevos procesos de tipo biológico (biomasa), además mediante su degradación produce la mineralización como: CO_2, H_2O y NH_3. La biomasa generada, son los lodos y van a hacer extraídos mediante la purga.

Por tanto, el propósito del presente proyecto es demostrar la eficacia de los difusores de burbuja fina y difusores de burbuja gruesa para la disminución de materia orgánica en el agua residual doméstica.

2.5. Hipótesis

Los difusores de burbuja gruesa y fina son eficaces, si disminuyen la concentración de la materia orgánica del agua residual doméstica en alto porcentaje.

Tabla 4

Operacionalización de variables

Variables	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Instrumento de medición
Independientes				
Eficacia del difusor de burbuja fina	Es el grado que alcanza el sistema con el dispositivo que produce burbujas de aire fina en la degradación de la materia orgánica.	Grado que alcanza el dispositivo en degradar la materia orgánica.	%	Método de análisis
		Burbuja fina	Inferior a 3 mm	Difusor
Eficacia del difusor de burbuja gruesa	Es el grado que alcanza el sistema con el dispositivo que produce burbujas de aire gruesa en la degradación de la materia orgánica.	Grado que alcanza el dispositivo en degradar la materia orgánica.	%	Método de análisis
		Burbuja gruesa	Mayor a 3 mm	Difusor
Dependientes				
Disminución de la materia orgánica del agua residual doméstica.	Hacer menor la concentración de la materia orgánica del agua residual doméstica en relación con su inicial.	Concentración de materia orgánica inicial,	DBO_5 inicial (mg/L) DBO_5 final (mg/L)	Análisis de laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

De acuerdo con el propósito inmediato que tiene el investigador, existen dos formas en las cuales se puede desglosar los estudios de investigación, que son: puras y aplicadas. (Tamayo, 2004, p. 46)

A la investigación aplicada, se le denomina también activa o dinámica, tiene como objeto el estudio de un problema, enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se puede deducir que el presente estudio es una ***investigación aplicada*** y, por ende, aplica el método científico.

3.2.Diseño de Investigación

Según Roberto Sampieri en su tema de *"Metodología de la investigación"*, menciona que el termino *diseño*, refiere al "plano estrategia concebida para obtener información que se desea con el fin de responder al planteamiento del problema" (2014, p. 128).

En la investigación cuantitativa podemos encontrar diferentes diseños como investigación experimental y no experimental; s su vez la primera puede dividirse de acuerdo con las clásicas categorías de Campbell y Stanley (1966) en; preexperimental, experimentos puros y cuasiexperimentos.

De acuerdo con las intervenciones que se realizaron en la presente investigación, podemos concluir que es ***experimental***, dado que, se "manipula o controla una o más variables independientes y observa las variables dependientes,

para determinar si existe variación concomitante con la intervención o manipulación de las variables independientes. (Kerlinger, 2002, p. 420)

3.3.Área de Investigación

El presente proyecto de investigación se desarrolló en a espaldas del coliseo Qapac Ñan – Cajamarca, en el cual se ubica un canal de agua, donde desembocan las aguas residuales domiciliarias de las viviendas aledañas.

Se encuentra ubicado 7. 61632º S y 78.49577º W, en un altura de 2672 msnm.

Figura 15: Ubicación referencial de la aplicación del proyecto de

investigación, *extraído de Google Earth*.

3.4.Universo

Agua residual doméstica de Cajamarca.

3.5.Muestra

500 ml de agua residual aireada por sistema.

3.6.Técnicas e instrumento de recolección de datos

El proceso de desarrollo de pruebas de investigación se realizó utilizando dos sistemas de aireación con burbuja fina y gruesa. Para ello, se siguió los siguientes pasos:

- Construir dos sistemas de aireación con tubos de 16 pulgadas, con un difusor en la parte inferior. Uno de los sistemas tuvo un difusor de burbuja gruesa y el otro un difusor de burbuja fina.
- Los dos sistemas se alimentaron con un compresor de aire.
- Se añadió agua residual doméstica a los dos sistemas de aireación, considerando que sistemas contengan las mismas características de agua residual.
- Se aireó cuatro ciclos por 45 minutos y un reposo de 30 minutos por ciclo.
- Se dejó sedimentar por un periodo de 30 minutos para ambos sistemas.
- El agua tratada se controló con el oxígeno disuelto en un periodo de 45 minutos por ciclo.
- Las muestras se tomaron al final de la aireación, el cual equivale a 4 horas de tratamiento; siendo el parámetro de la DBO_5 el indicador de la remoción de la materia orgánica. luego, el tratamiento se replicó por triplicado.
- Finalmente, las muestras se trasladaron al laboratorio para su respectivo análisis.

Tabla 5

Relación de instrumentos utilizados

Instrumentos de análisis (mediciones y tomas de muestras)	Instrumentos de construcción de reactores
Medidor de oxígeno disuelto	Difusor de burbuja gruesa de 3”
Recipientes de DBO_5	Tubos de polietileno de 16”
	Tubos de PVC de 0.5”
	Adaptadores de ½” y ¾”
	Unión universal de ¾”
	Uniones mixtas de ½”
	T de ½”
	Placas Metálicas
	Codos de ¾”
	Reducciones de ¾” a media”
	Comprensor de aire

3.7.Técnicas de análisis de datos

Pruebas de t de student, para muestras emparejadas o muestras experimentales.

Para el análisis datos se realizarán las pruebas estadísticas comparativas de análisis de varianza (ANOVA de un factor) si los datos cumplen con la prueba de normalidad de Anderson Darling, si no cumple con la prueba de normalidad se realizará el análisis estadístico con una prueba estadística no paramétrica, en este caso Kruskal-Wallis de la mediana o la prueba de Friedman. Ecuación de remoción.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Presentación, análisis e interpretación de resultados

La demostración de hipótesis *"Los difusores de burbuja gruesa o fina son eficaces, si disminuyen la concentración de la materia orgánica del agua residual doméstica en alto porcentaje"* se demuestra siguiendo estas tres premisas; a) Los difusores de burbuja fina y gruesa disminuyen la concentración de la materia orgánica, b) El porcentaje de disminución de la materia orgánica es alto, y c) El difusor con mayor porcentaje de remoción de materia orgánica eficaz. Por ende, se explica el efecto que produce los difusores en los dos parámetros de estudio: DBO_5 y OD, esto se analizó por separado, es decir conociendo el efecto de los difusores de burbuja fina y burbuja gruesa.

4.1. Difusor de burbuja fina

4.1.1. Efecto sobre el DBO_5

Prueba de t student para las medias de DBO_5

Prueba.

Hipótesis nula H_0: Las medias de la concentración de DBO_5 son diferentes; $\mu_1 > \mu_2$

Hipótesis alterna H_a: Las medias de la concentración de DBO_5 no son diferentes. $\mu_1 = \mu_2$

Tabla 6

Efecto del difusor de burbuja fina vs materia orgánica (DBO_5)

BURBUJA FINA		
N° DE CICLOS	DBO_5 (mg/L)	
	INICIAL	FINAL
1	370.7	35.1
2	262.5	39.4
3	306.4	31.5
4	336.2	43.1

Tabla 7

Análisis estadístico del efecto del difusor de burbuja fina sobre la materia orgánica

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	INICIAL	FINAL
Media	318.950	37.275
Varianza	2106.577	25.509
Observaciones	4	4
Grados de libertad	3	
Estadístico t	12.088	
P(T<=t) una cola	0.001	
Valor crítico de t (una cola)	2.353	

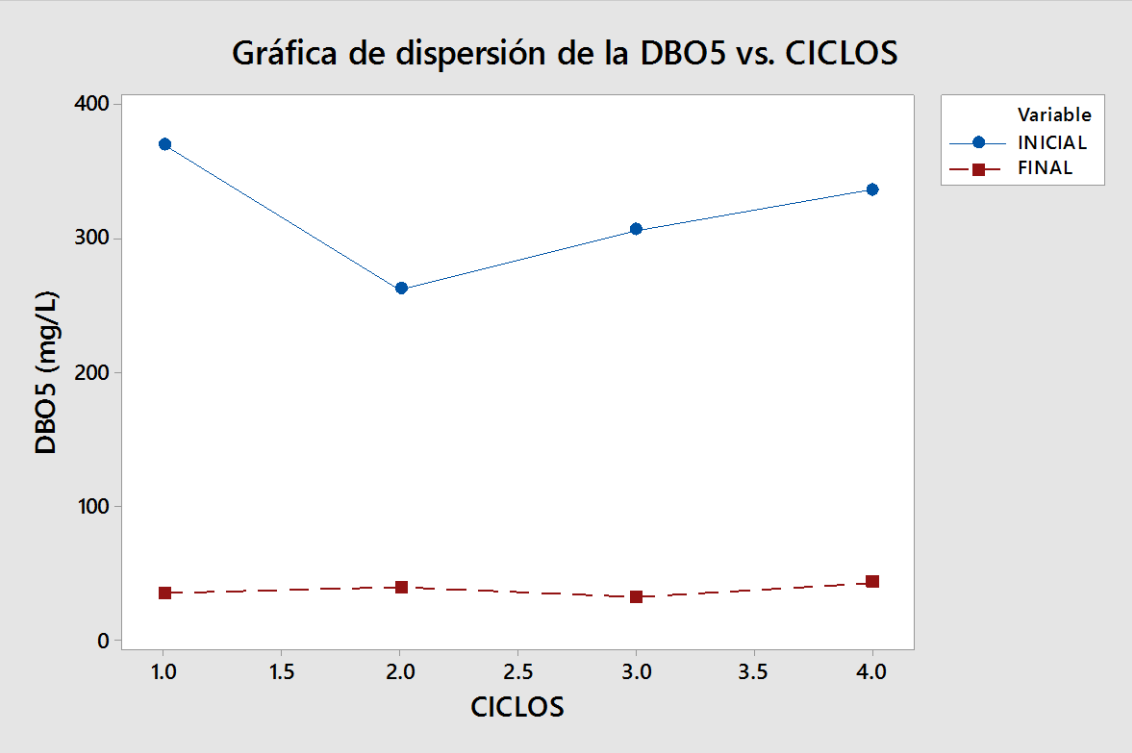

Figura 16: Comparación de la DBO_5 inicial y final en los diferentes ciclos con difusor de burbuja fina.

Interpretación:

El efecto del difusor de burbuja fina sobre la materia orgánica (tabla 6) es significativa, debido a que, el estadístico $t_{calculado}$ *(12.088)* es mayor que el valor critico t de una cola respectivamente *(2.353)*. Esto significa que las medias de

ambos grupos *(inicial y final)* son diferentes, y se confirma con el valor $p_{calculado\ de\ una\ cola}$ (0.001) que es menor al valor $p_{confianza}$ (0.05), que esta diferencia es significativa a una confianza del 95% (*tabla 7)*. En consecuencia, se demuestra que la aireación del agua residual domestica con un difusor de burbuja fina disminuye la concentración de materia orgánica en cada ciclo *(Figura 16)*. Por último, se confirma la hipótesis nula.

4.2. Efecto sobre el oxígeno disuelto.

4.2.1. Prueba del T student para las medias de oxígenos disuelto.

Prueba

Hipótesis nula H_0: Las medias de la concentración de oxígeno disuelto son diferentes: $\mu_1 > \mu_2$

Hipótesis alterna H_a: Las medias de la concentración de oxígeno disuelto no son diferentes: $\mu_1 = \mu_2$

Tabla 8

Efecto del difusor de burbuja fina vs oxígeno disuelto.

BURBUJA FINA		
N° DE CICLOS	**Oxígeno Disuelto (mg/L)**	
	INICIAL	**FINAL**
1	2.38	6.87
2	5.68	8.86
3	6.47	8.13
4	4.71	7.76

Tabla 9

Análisis estadístico del efecto del difusor de burbuja fina sobre oxígeno disuelto

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	INICIAL	FINAL
Media	4.810	7.905
Varianza	3.142	0.685
Observaciones	4	4
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-5.351	
P(T<=t) una cola	0.006	
Valor crítico de t (una cola)	2.353	

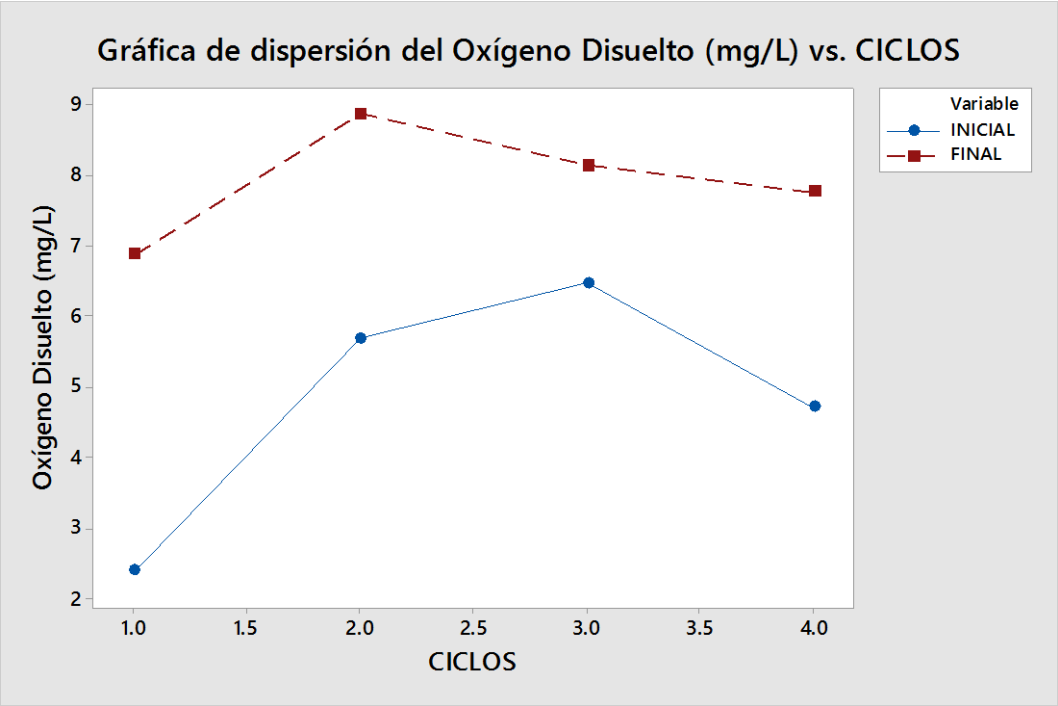

Figura 17: Comparación de oxígeno disuelto inicial y final en los diferentes ciclos con difusor de burbuja fina

Interpretación:

El efecto del difusor de burbuja fina con respecto al oxígeno disuelto también es significativo, puesto que, el estadístico $t_{calculado}$ (5.351) es mayor a los valores críticos de t de una cola respectivamente (2.353). Sin embargo, en este caso, aparece un signo (-), el cual indica que se encuentran al lado izquierdo del cero de la gráfica de una cola

(tabla 9), esto se interpreta como el incremento del grupo (final) con respecto al grupo (inicial) (tabla 8). En otras palabras, la aireación incrementa el oxígeno disuelto del agua residual (figura 17). Tal afirmación se demuestra con el valor $p_{\text{calculado de una cola}}$ (0.006) que es menor al valor $p_{\text{confianza}}$ (0.05). Por lo tanto, se afirma que el difusor de burbuja fina incrementa la concentración del oxígeno disuelto del agua residual doméstica. Por lo tanto, se afirma la hipótesis nula el cual muestra que el difusor de burbuja fina incrementa la concentración de oxígeno disuelto del agua residual doméstica.

4.3. Difusor de burbuja gruesa

4.3.1. Efecto sobre el DBO5

Prueba de t student para las medias de DBO_5

Prueba

Hipótesis nula H_0: Las medias de la concentración de DBO_5 son diferentes; $\mu_1 > \mu_2$

Hipótesis alterna H_a: Las medias de la concentración de DBO_5 no son diferentes. $\mu_1 = \mu_2$

Tabla 10:

Efecto del difusor de burbuja gruesa vs la materia orgánica

BURBUJA GRUESA		
N° DE CICLOS	**DBO_5 (mg/L)**	
	INICIAL	**FINAL**
1	370.7	52.5
2	262.5	78.8
3	306.4	59.2
4	336.2	67.9

Tabla 11:

Análisis estadístico del efecto del difusor de burbuja gruesa sobre la materia orgánica.

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	INICIAL	FINAL
Media	318.950	64.600
Varianza	2106.577	129.367
Observaciones	4	4
Grados de libertad	3	
Estadístico t	9.130	
P(T<=t) una cola	0.001	
Valor crítico de t (una cola)	2.353	

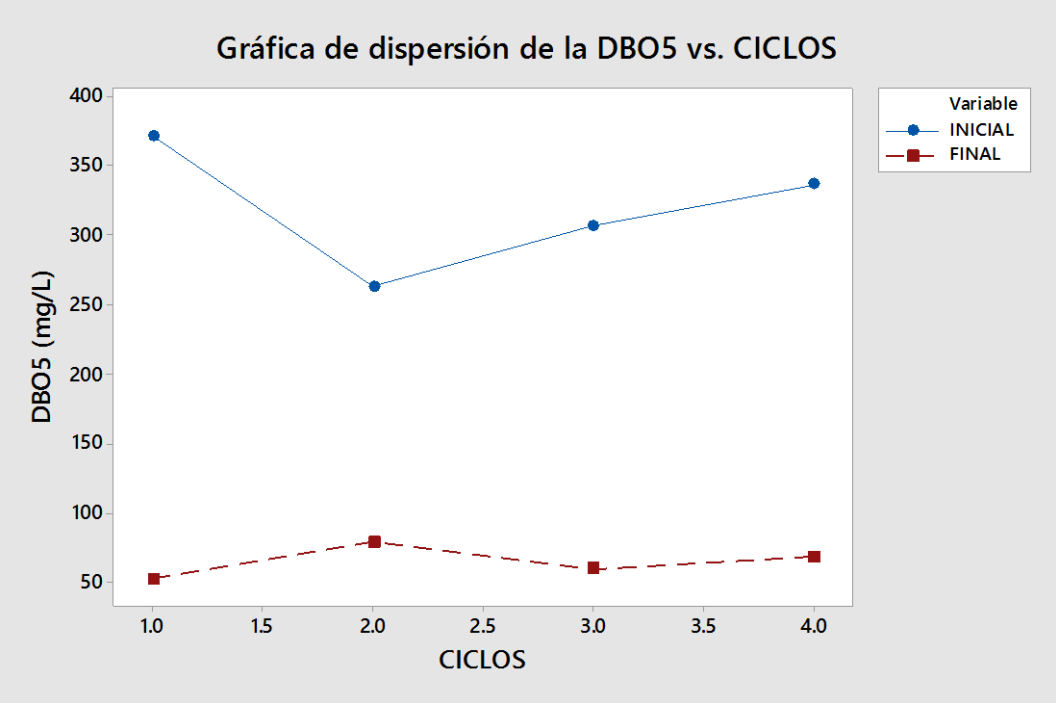

Figura 18: Comparación de la DBO_5 inicial y final en los diferentes ciclos con difusor de burbuja gruesa

Interpretación:

El efecto del difusor de burbuja gruesa sobre la materia orgánica (tabla 10) es significativa, debido a que el estadístico $t_{calculado}$ (9.130) es mayor que el valor cítrico t de una cola (2.353). Esto significa que las medias de ambos grupos (inicial y final) son diferentes, y se confirma con el valor $p_{calculado\ de\ una\ cola}$ (0.001) que es menor al valor $p_{confianza}$ (0.05), que esta diferencia es significativa a una confianza al 95% (tabla 11). En

consecuencia, se confirma la hipótesis nula, el cual demuestra que la aireación del agua residual doméstica con un difusor de burbuja gruesa disminuye la concentración de materia orgánica en cada ciclo (figura 18).

4.4. Efecto sobre el oxígeno disuelto.

4.4.1. Prueba t student para las medias de oxígeno disuelto

Prueba

Hipótesis nula H_0: Las medias de la concentración de oxígeno disuelto son diferentes: $\mu_1 > \mu_2$

Hipótesis alterna H_a: Las medias de la concentración de oxígeno disuelto no son diferentes: $\mu_1 = \mu_2$

Tabla 12

Efecto del difusor de burbuja gruesa vs oxígeno disuelto

BURBUJA GRUESA		
N° DE CICLOS	**Oxígeno Disuelto (mg/L)**	
	INICIAL	**FINAL**
1	2.38	8.5
2	5.68	9.16
3	6.47	7.36
4	4.71	8.16

Tabla 13

Análisis estadístico del efecto del difusor de burbuja gruesa sobre oxígeno disuelto

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	INICIAL	FINAL
Media	4.81	8.295
Varianza	3.142	0.561
Observaciones	4	4
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-3.264	
P(T<=t) una cola	0.023	
Valor crítico de t (una cola)	2.353	

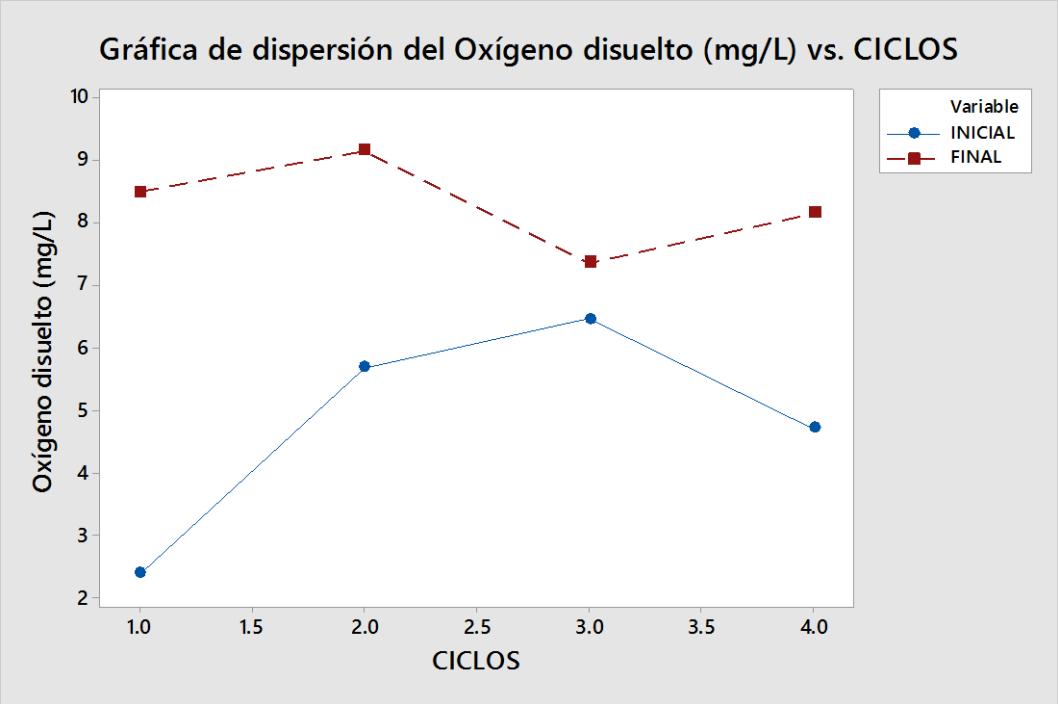

Figura 19: Comparación del oxígeno disuelto inicial y final en los diferentes ciclos con difusor de burbuja gruesa

Interpretación:

El efecto del difusor de burbuja gruesa con respecto al oxígeno disuelto significativo, puesto que, el estadístico $t_{calculado}$ (3.264) es mayor a los valores críticos de t de una cola respectivamente (2.353). Sin embargo, en este caso, aparece un signo (-), el cual indica que se encuentra al lado izquierdo del cero de la gráfica de una cola (tabla 13), esto se interpreta como el incremento del grupo (final) con respecto al grupo (inicial) (tabla 12). En otras palabras, la aireación incrementa el oxígeno disuelto del agua residual (figura 19). Tal afirmación se demuestra con el valor $p_{calculado\ de\ una\ cola}$ (0.023) que es menor al valor $p_{confianza}$ (0.05). Por lo tanto, se afirma la hipótesis nula, que el difusor de burbuja gruesa incrementa la concentración del oxígeno disuelto del agua residual doméstica.

4.5. Eficacia del difusor de burbuja gruesa y fina

Tabla 14:

ANOVA de un factor para las diferentes burbujas e inicial.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	193041.85	2	96520.92	128.04	0.000000245	4.26
Dentro de los grupos	6784.36	9	753.82			
Total	199826.20	11				

Tabla 15:

Información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

DIFUSOR	N	Media	Agrupación	
0. SIN DIFUSOR	4	318.9	A	
1. BURBUJA GRUESA	4	64.60		B
2. BURBUJA FINA	4	37.27		B

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 16:

Información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza al 95%

DIFUSOR	N	Media	Agrupación	
0. SIN DIFUSOR	4	318.9	A	
1. BURBUJA GRUESA	4	64.60		B
2. BURBUJA FINA	4	37.27		B

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

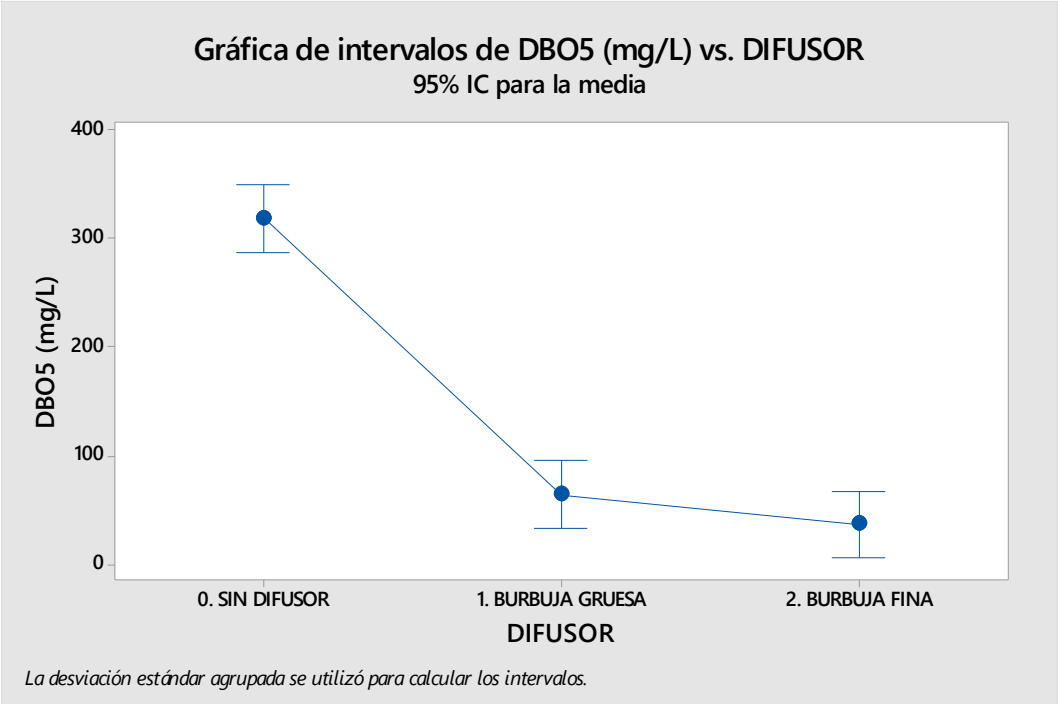

Figura 20: Comparación de medias con respecto a la remoción de materia orgánica con los diferentes difusores de burbuja gruesa y fina.

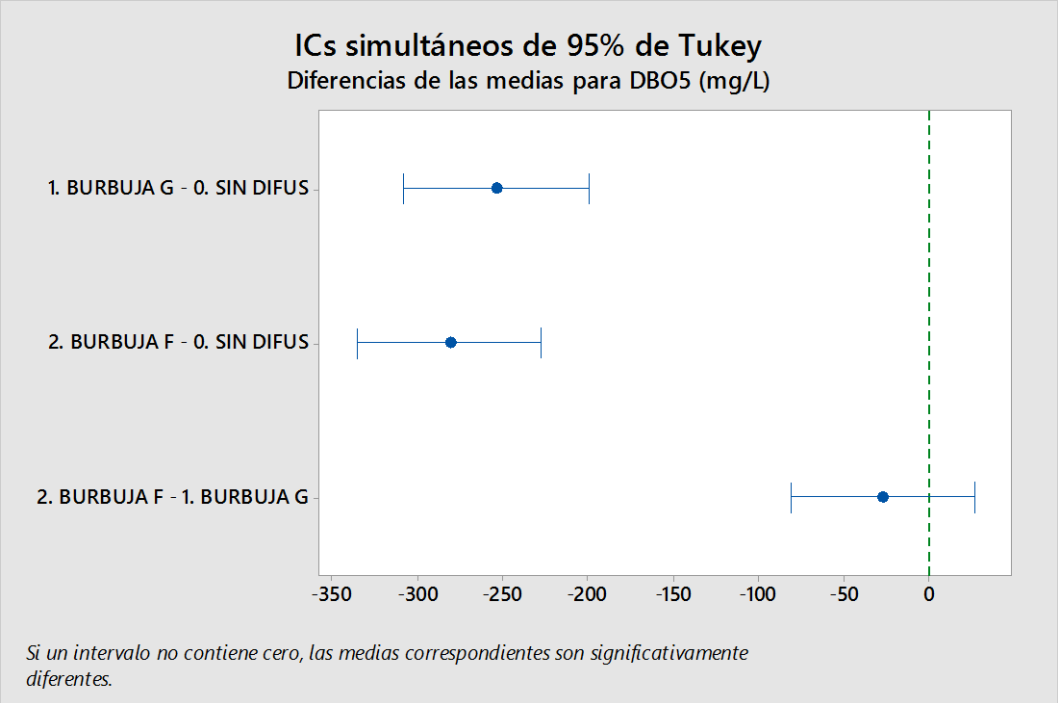

Figura 21: Comparación en parejas Tukey para la materia orgánica.

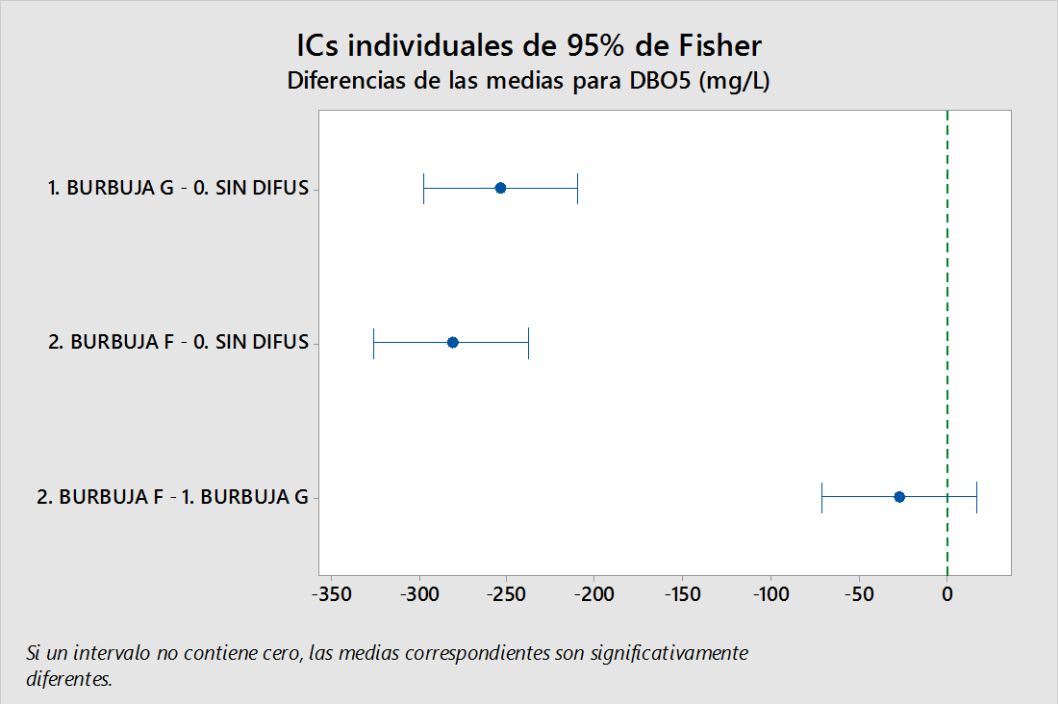

Figura 22: Comparación en parejas de Fisher para la materia orgánica.

Interpretación:

Antes de saber la efectividad de los difusores, es importante determinar el efecto que tiene los difusores de burbuja fina y gruesa sobre la concentración del agua residual domestica de manera global, es decir, basándonos en las medias de la concentración de materia orgánica inicial y tratadas, de ahí que, la tabla 14, muestra la variabilidad significativa que existe entre estos, pues, el valor $p_{calculado}$ (0.000000245) es menor al valor $p_{confianza}$ (0.05); esto indica, que existe una diferencia significativa y que la aireación ha afectado la concentración de materia orgánica (figura 21 y 22). Los puntos que difieren estadísticamente son el inicial y los dos tratados (burbuja fina y gruesa) según Tukey y Fisher (tabla 15 y 16). En consecuencia, se confirma la hipótesis nula y se demuestra que la aireación ha influido en la concentración de materia orgánica (DBO_5).

Tabla 17:

Efectividad de los difusores de burbuja fina y gruesa.

Grupos	Promedio DBO_5 (mg/L)	Remoción (%)
INICIAL	318.95	0.00%
FINA	37.28	88.31%
GRUESA	64.60	79.75%

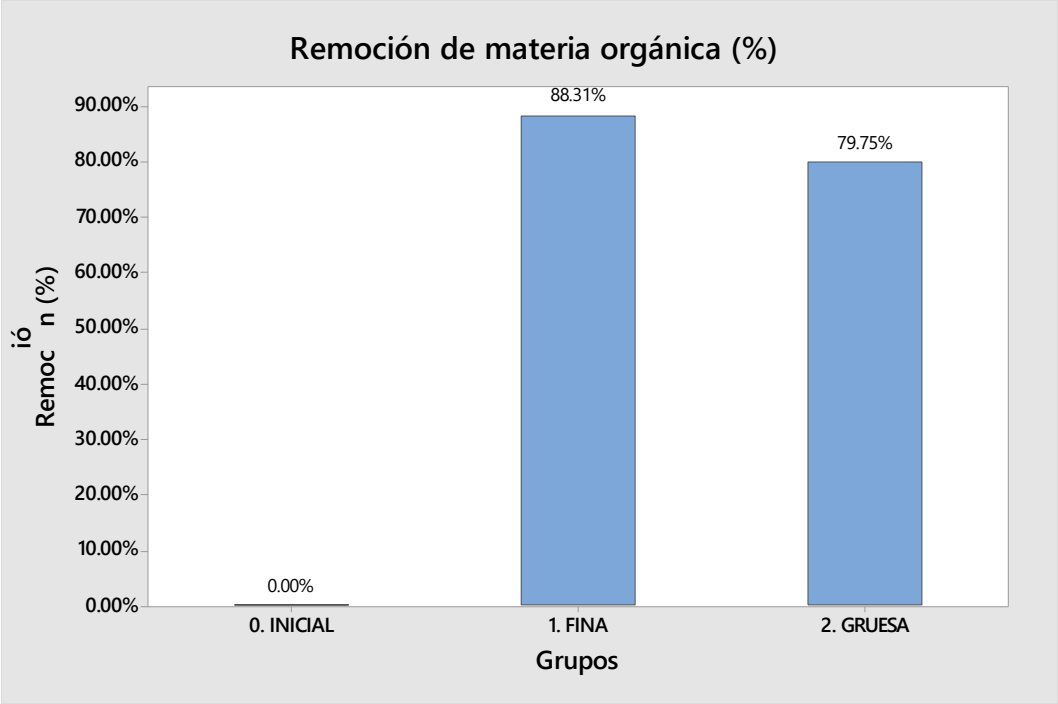

Figura 23: Remoción de materia orgánica en los diferentes difusores.

Interpretación:

Las comparaciones anteriores (figura 21 y 22) nos indican que ciertamente ha existido una influencia de una variable "X" con respecto a una "Y", sin embargo, no nos indica la cantidad o el porcentaje de remoción que existe entre los dos tratamientos: difusor de burbuja fina o gruesa. Por tal razón, la tabla 17, muestra una efectividad que existe entre el tratamiento del agua residual con un difusor de burbuja fina y una con gruesa, por ello, se afirma que el difusor de burbuja fina (88.3%) es más eficiente que una de burbuja gruesa (79.75%), ya que, la primera

disminuye 8.55% más concentración de materia orgánica que el segundo (figura 23)

4.6. Discusión

Conforme a lo realizado en el presente trabajo de investigación, con la finalidad de corroborar o rechazar la hipótesis de investigación, se ha buscado demostrar las tres premisas que a continuación se señalan: a) Los difusores de burbuja fina y gruesa disminuyen la concentración de materia orgánica b) El porcentaje de disminución de materia orgánica es alto y c) El difusor con mayor porcentaje de remoción de materia orgánica es eficaz.

En consecuencias, la aireación del agua residual doméstica con difusores de burbuja fina y gruesa aportan a la degradación o disminución de la materia orgánica, ya que, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) disminuye en un 88.31 % para el difusor de burbuja fina y 79.75% para burbuja gruesa (figura 23), todo ello, para una aireación de 24 horas de cuatro ciclos de 45 minutos; es decir, se realizó una alimentación de aire por 45 minutos por 4 veces (ciclos). Los resultados se asemejan a lo realizado por Poly Parambi (2015), pues ella, aireó aguas residuales en periodos de 24 horas, 48 horas y 72 horas llegando a obtener mejores resultados en un periodo de 72 horas a un caudal de 4 l/min, donde el porcentaje de remoción de DBO (95.8%) y DQO (95.71%). Esto quiere decir, que, si prolongamos la aireación por unas 72 horas, la activación de microorganismos para la degradación de la materia orgánica incrementa y mejora el rendimiento de la planta o sistema de tratamiento. Por lo tanto, se demuestra que los difusores influyen en la disminución de la materia orgánica.

Por otro lado, se demuestra que los difusores influyen en la degradación y disminución de la materia orgánica en porcentajes altos, ya que, Erika Villacres,

(2020), evaluó la influencia del tamaño de burbuja de aire en la remoción de contaminantes de aguas residuales de faenamientos, donde llegaron a la conclusión que el difusor de *burbuja fina obtuvo un incremento de 96.5%* de eficiencia en el oxígeno disuelto, mientras que para el de *burbuja gruesa el incremento fue de 94.2%;* esto quiere decir, que el difusor de burbuja fina produce mayor aireación y por ende mayor actividad microbiológica para la degradación de materia orgánica, pues, Krystel Mahecha (2010) obtuvo resultados de remoción de materia orgánica (DBO_5) con difusor de burbuja fina (91.20%) y difusor de burbuja gruesa (78.21%), con aireación extendida, mostrando, por ende mayor disponibilidad del ciclo vital intensiva de los microorganismo y generando así mayor actividad de biopelículas.

Así mismo Guliana Macassi, (2017), obtuvo concentraciones iniciales de DBO (88.59 mg/ L) y DQO (138 mg/L), donde estos indicadores fueron sometidos a un proceso de aireación en periodos de 2, 9 y 10 horas, observando asimismo que en las 2 primeras horas el porcentaje de remoción era el 0.87% mientras que a las 9 horas el porcentaje de remoción aumento al 79.92%; en el cual al contrastar con el presente trabajo de investigación los porcentajes de remoción variaron de acuerdo a los tiempos de aireación. Por lo tanto, se demuestra que el difusor de burbuja fina tiene mayor aporte de aireación y por ende mayor degradación de la materia orgánica.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.Conclusiones

- Dada la Hipótesis: "Los difusores de burbuja gruesa y fina son eficaces si disminuyen la concentración de la materia orgánica del agua residual doméstica en alto porcentaje", entonces se confirma que ambos aportan a la aceleración de la degradación de la materia orgánica para disminuir su concentración mediante la actividad microbiológica, sin embargo, la burbuja fina es el que tienen mayor influencia.
- Los difusores afectan la materia orgánica de manera significativa, pues tienen un valor $p_{calculado}$ menor al valor $p_{establecido}$; esto tanto para el estadístico t (Student) como para el estadístico F (ANOVA).
- El oxígeno disuelto del agua residual domestica aumenta conforme disminuye su materia orgánica.
- El difusor de burbuja fina aporta a la aceleración de la degradación de materia orgánica al (88.31%), por lo cual brinda un porcentaje mayor a la biodegradación de la materia orgánica que uno de burbuja gruesa con un porcentaje de (79.75%), por lo tanto, es más efectivo.

5.2.Recomendaciones

- Analizar la concentración de DBO_5 diariamente en un reactor de aireación constante con la mezcla de difusores de burbuja fina y gruesa.
- Realizar un análisis de metales pesados para determinar la influencia de estos en la aireación y degradación de la materia orgánica.
- Realizar la comparación de los difusores de burbuja fina y gruesa para el tratamiento de aguas residuales industriales.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambiental.A.C, F. p. (08 de Noviembre de 2007). *AGUA.org.mx*. Obtenido de https://agua.org.mx/biblioteca/contaminación-del-agua-por-materia-organica-y-microorganismos/

BARMATEC. (2016). *Diferencia entre difusores de burbuja fina y gruesa*. Obtenido de https://www.iagua.es/noticias/espana/barmatec/16/09/16/cual-es-diferencia-uso-difusores-burbuja-fina-o-burbuja-gruesa

Bello Marco Antonio,Pinto María Teresa. (2000). *Medición de Presión y Caudal.* Chile: Gobierno de Chile.

Betancourt Portela, J., & Casanova Rosero, R. (2001). Transformación Química de la materia orgánica en la ensenada de tumaco. Colombia: Centro Control Contaminación del Pacífico.

Buitron Mendez, Reino Sanchez y Carrera. (s.f.). *Manual técnico sobre tecnologías biológicas aplicadas al tratamiento de aguas residualesinducstriales.* Obtenido de http://www.cyted.org/sites/defaul/files/tratamiento_aerobio_de_aguas_residuales.pdf

Cardenas Calvachi, G. L. (07 de Junio de 2013). *SciELO (biblioteca científica electrónica en línea)*. Recuperado el 03 de Junio de 2021, de SciELO (biblioteca científica electrónica en línea): http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007

Domene y Rodriguez. (2010). *Nitrificación importancia medio ambiental Microbiología definiciones y conceptos básicos.* Obtenido de http://www.ugr.es/cj/nitrificación.pdf

Esteban Durán Herrera. (2005). *Propuesta de un modelo de dos zonas simplificado para el estudio de la transferencia de oxígeno en sistemas de aeración con difusores de poro fino.* Costa Rica.

Fair, G. M. (1968). *Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, vol. 2 : Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales.* México: Limusa Wiley.

Fernández, J. (2003). Energías Renovables. Biomasa. *IBERDROLA*, 2-20.

Gándara, A. S. (2011). Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable. México D.F.: SEMARNAT.

Gilbert M.Masters, W. P. (2008). *Introducción a la Ingeniería Medioambiental* (TERCERA EDICIÓN ed.). Madrid, España: Pearson Educación.S.A.

Gimenez, P. y. (1997). Bioquímica de microorganismos. En P. R. A., *bioquímica de microorganismos* (pág. 274). Bogota: Reverte S.A.

Hanna Instruments Argentina S.A. (s.f.). *Demanda Química de Oxígeno y Materia Orgánica.* Argentina. Obtenido de http://www.hannaarg.com/pdf/002DQO_nota_tecnica.pdf

Hernández Sampieri, R. F. (2014). *Metodología de la investigación.* México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Huerman. (1985). *Organic Geochemistry of Natural Waters.*

Jiménez Rodriguez María Rosa,Capa Benito Agueda,Lozano Portela Adelaida. (2004). *Meteorología y Climatología.* Fundación Española para las Ciencias y la Tecnología.

Kerlinger, F. N. (2002). Investigación del comportamiento. En *Investigación del comportamiento* (pág. 420). México: McGRAW.HILL.

Krystel Marisol Monroy Machena. (2010). *Evaluación de la eficiencia de las técnicas aeróbicas (burbuja fina, burbuja gruesa y aireador venturi yet) a utilizar en el tratamiento de agua residual domiciliar para el sistema de lodos activos en modalidad de aireación extentida.* Guatemala.

Ley de los Recursos Hídricos N° 29338. (30 de Marzo de 2009). *Sistema Nacional de Información Ambiental.* Obtenido de https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-recursos-hídricos-0

Ley General del Ambiente N° 28611. (2005). *SINIA.* Recuperado el 10 de Noviembre de 2020, de https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente#:~:text=Ley%20N%C2%B0%2028611%20.,%2D%20Ley%20General%20del%20Ambiente.&text=La%20presente%20Ley%20N%C2%B0,gesti%C3%B3n%20ambiental%20en%20el%20Per%C3%BA.

Macassi Allasi, Guiliana Cecilia. (2017). *Comportamiento del sistema de Nanoburbujeo en el tratamiento para reducir los niveles de contaminación de aguas residuales domésticas de la provincia de la Concepción.* Huancayo.

Mallqui Canchumanya, Ever Angel. (2019). *Evaluación de la velocidad de transferencia de oxígeno, en un sistema de aireación de agua* . Huancayo.

METCALF & EDDY, I. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales.Tratamiento, Vertido y Reutilización. España, Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPANA, S. A.

Mueller J., B. W. (2002). Aeration: Principles and Practice. En W. C. James Mueller, *Aeration: Principles and Practice* (pág. 368). Florida: CRC - Press.

OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.* Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Ramirez Burgos, L., & Duran Dominguez, M. (2008). *Demanda Química de Oxígeno.* México,D.F: UMAN,Facultad de Química,PIQAyQA.

Shammas, N. K. (2009). *Pure Oxygen Activated Sludge Process.* Totowa, NJ: Humana Press.

Tamayo, M. (2004). En *El proceso de la investigación cientifica* (pág. 42). México: Limusa S.A.

TECNOLOGÍA, A. (2020). *Ingeniería en Tratamiento de Agua de Procesos.* Obtenido de https://acquatecnologiaperu.com/producto/difusores-2

Toro González Carmen . (2011). *Monitoreo de Calidad del agua* .

Vasquez Contreras Edgar,Rojas Pérez Guadalupe Tania. (Mayo de 2016). *pH: Teoría y 232*. Obtenido de http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf

LISTA DE ABREVIATURAS

ST : Sólidos Totales

SST : Sólidos Suspendidos totales

pH : Potencial de Hidrógeno

DBO : Demanda Biológica de Oxígeno

HP : Caballos de fuerza

OD : Oxígeno disuelto

ºC : Grados Celsius

mg/L : Concentración en gramos litros

NH_3 : Amoníaco

CO_2 : Dióxido de Carbono

HNO_2 : Ácido Nitroso

ASF : Agua sin airear - Burbuja Fina

ASG : Agua sin airear – Burbuja Gruesa

AAF : Agua aireada – Burbuja Fina

AAG : Agua aireada – Burbuja Gruesa

GLOSARIO

Biomasa: "Es una fuente de energía renovable basada en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o por productos derivados de esta" (Fernández, 2003, pág. 2)

Sedimentación: "Proceso mediante el cual las partículas solidad suspendidas en un líquido se van hacia el fondo, mediante a la gravedad y/o fuerza de centrifugación" (Gàndara, 2011, pág. 257)

Condiciones anóxicas: "Ocurren mayormente cuando la condición de las tasas de oxidación suele ser más elevada que el suministro de oxígeno disuelto"

7. ANEXOS

7.1.Panel Fotográfico

Figura 24: Diseño y armado de reactores para emplear en experimento

Figura 25: Instalación de difusores de burbuja fina y gruesa dentro de reactores

Figura 26: Instalación in situ de reactores

Figura 27: Recolección de afluente para colocar en reactores

Figura 28: Prueba de reactores con inyección de oxígeno

Figura 29: Toma de OD en los reactores de aireación

Figura 30: Muestreo y seguimiento de OD y DBO_5

Figura 31: Muestreo de DBO_5, en los diferentes ciclos.

Figura 32: Formación de Foaming, durante proceso de aireación.

Figura 33: Formación de sedimentos en reactores

7.2.Informes de ensayo de laboratorio

Innodevel
INNOVACIÓN Y DESARROLLO PARA SU COMPAÑIA

LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE1805210100
REV. 00

DATOS DEL CLIENTE

Solicitante:	Jackeline Gunner Gamboa Aliaga
RUC / DNI:	71136748
Dirección fiscal:	Jr. los Andes N° 265
Representante:	Jackeline Gunner Gamboa Aliaga
Correo Electronico:	jacky92ga@gmail.com
Teléfono:	987 740 642
Proyecto:	EFICACIA DE LOS DIFUSORES DE BURBUJA GRUESA Y FINA EN LA DISMINUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA-CAJAMARCA 2021

CONTROL DEL LABORATORIO

Fecha de recepción:	18/05/2021
Fecha de ejecución:	18/05/2021
Fecha de reporte:	19/05/2021
Cadena de custodia:	---

MUESTREO

Muestreo realizado por:	Innodevel
N° de muestras:	8
Procedencia:	Agua residual doméstica

ESTACIÓN DE MUESTREO
ASF1-001
AAF1-002
ASG1-001
AAG1-002
ASF2-001
AAF2-002
ASG2-001
AAG2-002

Jefe del Laboratorio de Ensayos

Página 1 de 3 Impreso el 6/07/2021

Innodevel
INNOVACIÓN Y DESARROLLO PARA SU COMPAÑÍA

LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE1805210100
REV. 00

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			ASF1-001	AAF1-002	ASG1-001	AAG1-002
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			18-0501	18-0502	18-0503	18-0504
FECHA DE MUESTREO			18/05/2021	18/05/2021	18/05/2021	18/05/2021
HORA DE MUESTREO			13:40	13:40	13:40	13:40
MATRIZ			AR	AR	AR	AR
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO
Oxígeno disuelto	mg/L	----	2.38	6.87	8.26	8.50
Demada Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.6	370.7	35.1	370.7	52.50

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			ASF2-001	AAF2-002	ASG2-001	AAG2-002
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			18-0505	18-0506	18-0507	18-0508
FECHA DE MUESTREO			18/05/2021	18/05/2021	18/05/2021	18/05/2021
HORA DE MUESTREO			17:00	17:00	17:00	17:00
MATRIZ			AR	AR	AR	AR
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO
Oxígeno disuelto	mg/L	----	5.68	8.86	6.71	9.16
Demada Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.6	262.5	39.4	262.5	78.80

Página 2 de 3 Impreso el 6/07/2021

Innodevel
INNOVACIÓN Y DESARROLLO PARA SU COMPAÑIA

LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE1805210100
REV. 00

REFERENCIA DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Parámetro	Método de ensayo
4500 H. Optical - Probe. Method. SM Ed 23th.	Oxígeno disuelto	LE-ME-026
SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B ;23rd Ed	DBO	LE-ME-027

OBSERVACIONES

Página 3 de 3 Impreso el 6/07/2021

Innodevel
INNOVACIÓN Y DESARROLLO PARA SU COMPAÑIA

LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE1905210800
REV. 00

DATOS DEL CLIENTE

Solicitante:	Jackeline Gunner Gamboa Aliaga
RUC / DNI:	71136748
Dirección fiscal:	Jr. los Andes N° 265
Representante:	Jackeline Gunner Gamboa Aliaga
Correo Electronico:	jacky92ga@gmail.com
Teléfono:	987 740 642
Proyecto:	EFICACIA DE LOS DIFUSORES DE BURBUJA GRUESA Y FINA EN LA DISMINUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA-CAJAMARCA 2021

CONTROL DEL LABORATORIO

Fecha de recepción:	19/05/2021
Fecha de ejecución:	19/05/2021
Fecha de reporte:	20/05/2021
Cadena de custodia:	---

MUESTREO

Muestreo realizado por:	Innodevel
N° de muestras:	8
Procedencia:	Agua residual doméstica

ESTACIÓN DE MUESTREO
ASF3-001
AAF3-002
ASG3-001
AAG3-002
ASF4-001
AAF4-002
ASG4-001
AAG4-002

Jefe del Laboratorio de Ensayos

Página 1 de 3 Impreso el 6/07/2021

Innodevel
INNOVACIÓN Y DESARROLLO PARA SU COMPAÑIA

LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE1905210800
REV. 00

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			ASF3-001	AAF3-002	ASG3-001	AAG3-002
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			19-0501	19-0502	19-0503	19-0504
FECHA DE MUESTREO			19/05/2021	19/05/2021	19/05/2021	19/05/2021
HORA DE MUESTREO			08:00	08:00	08:00	08:00
MATRIZ			AR	AR	AR	AR
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO
Oxígeno disuelto	mg/L	0.28	6.47	8.13	6.6	7.36
Demada Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.6	306.4	31.5	306.4	59.20

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			ASF4-001	AAF4-002	ASG4-001	AAG4-002
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			19-0505	19-0506	19-0507	19-0508
FECHA DE MUESTREO			19/05/2021	19/05/2021	19/05/2021	19/05/2021
HORA DE MUESTREO			11:20	11:20	11:20	11:20
MATRIZ			AR	AR	AR	AR
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO
Oxígeno disuelto	mg/L	0.28	4.71	7.76	7.37	8.16
Demada Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.6	336.2	43.1	336.2	67.90

Página 2 de 3 Impreso el 6/07/2021

Innodevel
INNOVACIÓN Y DESARROLLO PARA SU COMPAÑÍA

LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE1905210800
REV. 00

REFERENCIA DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Parámetro	Método de ensayo
4500 H. Optical - Probe. Method. SM Ed 23th.	Oxígeno disuelto	LE-ME-026
SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B ;23rd Ed	DBO	LE-ME-027

OBSERVACIONES

Página 3 de 3 Impreso el 6/07/2021