

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UPLA**  
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

**TESIS**

**EFFECTOS DE LA FRECUENCIA DE ROTACIÓN DE  
UN SISTEMA DE BIODISCOS EN LA CALIDAD DEL  
TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. JOSIP ABNER CCOICCA RODRIGUEZ.**

**Línea de Investigación Institucional:**

Salud y gestión de la salud

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

Huancayo – Perú

2022

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UPLA**  
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

**TESIS**

**EFFECTOS DE LA FRECUENCIA DE ROTACIÓN DE  
UN SISTEMA DE BIODISCOS EN LA CALIDAD DEL  
TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. JOSIP ABNER CCOICCA RODRIGUEZ.**

**Línea de Investigación Institucional:**

Salud y gestión de la salud

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

Huancayo – Perú

2022

Mg. Henry Gustavo Pautrat Egoavil.

**Asesor**

### **Dedicatoria**

- A mi familia por el apoyo constante para la culminación de este trabajo de investigación.

Josip Abner Ccoicca Rodríguez.

## **Agradecimientos**

- A la Universidad Peruana Los Andes.

Josip Abner Ccoicca Rodríguez.

## HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

---

Dr. Rubén Darío Tapia Silguera.  
Presidente

---

Ing. Edmundo Muñico Casas  
Jurado

---

Ing. Yina Milagro Ninahuanca Zavala  
Jurado

---

Mg. Erika Genoveva Zúñiga Almonacid  
Jurado

---

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza.  
Secretario docente

## ÍNDICE

<b>Dedicatoria</b>	<b>iv</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>17</b>
<b>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>17</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema</b>	<b>17</b>
<b>1.2. Formulación del problema</b>	<b>19</b>
1.2.1. Problema general	19
1.2.2. Problemas específicos	19
<b>1.3. Justificación</b>	<b>19</b>
1.3.1. Práctica o social	19
1.3.2. Científica o teórica	19
1.3.3. Metodológica	20
<b>1.4. Delimitación del problema</b>	<b>20</b>
1.4.1. Espacial	20
1.4.2. Temporal	20
1.4.3. Económica	21
<b>1.5. Limitaciones</b>	<b>21</b>
<b>1.6. Objetivos</b>	<b>21</b>
1.6.1. Objetivo general	21
1.6.2. Objetivos específicos	21
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>22</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>22</b>
<b>2.1. Antecedentes</b>	<b>22</b>
2.1.1. Nacionales	22
2.1.2. Internacionales	26
<b>2.2. Marco teórico</b>	<b>30</b>
2.2.1. Aguas residuales	30

2.2.2. Tipos de agua residual	32
2.2.3. Tratamiento de aguas residuales	33
2.2.4. Biodiscos	35
2.2.5. Cálculo del diámetro de los biodiscos	38
2.2.6. Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales	39
<b>2.3. Definición de términos</b>	<b>40</b>
<b>2.4. Hipótesis</b>	<b>41</b>
2.4.1. Hipótesis general	41
2.4.2. Hipótesis específicas	41
<b>2.5. Variables</b>	<b>41</b>
2.5.1. Definición conceptual de las variables	41
2.5.2. Definición operacional de las variables	42
2.5.3. Operacionalización de las variables	43
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>44</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>44</b>
<b>3.1. Método de investigación</b>	<b>44</b>
<b>3.2. Tipo de investigación</b>	<b>44</b>
<b>3.3. Nivel de investigación</b>	<b>45</b>
<b>3.4. Diseño de investigación</b>	<b>45</b>
<b>3.5. Población y muestra</b>	<b>45</b>
3.5.1. Población	45
3.5.2. Muestra	45
<b>3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b>	<b>46</b>
<b>3.7. Procesamiento de la información</b>	<b>46</b>
3.7.1. Descripción del equipo de sistemas de biodiscos	47
<b>3.8. Técnicas y análisis de datos</b>	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>49</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>49</b>
<b>4.1. Descripción de resultados</b>	<b>49</b>
4.1.1. Variación de los parámetros físicos de aguas grises con el sistema de biodiscos	50
4.1.2. Variación de los parámetros químicos de aguas grises con el sistema de biodiscos	53
4.1.3. Variación de los parámetros biológicos de las aguas grises con el sistema de biodiscos	65

4.1.4. Efecto de la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la calidad del tratamiento de aguas grises	67
<b>4.2. Contratación de hipótesis</b>	<b>68</b>
4.2.1. Prueba de normalidad de los datos	68
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>84</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>84</b>
<b>5.1. Variación de los parámetros físicos del agua tratada con el sistema biodiscos</b>	<b>84</b>
<b>5.2. Variación de los parámetros químicos del agua tratada con el sistema de biodiscos</b>	<b>85</b>
<b>5.3. Variación de los parámetros biológicas del agua tratada con el sistema de biodiscos</b>	<b>87</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>89</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>90</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>94</b>
<b>Anexo N° 01: matriz de consistencia</b>	<b>95</b>
<b>Anexo N° 02: Ensayos de laboratorio</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valores del coeficiente “X”.	38
<b>Tabla 2.</b> Valores del coeficiente “Y”.	39
<b>Tabla 3.</b> LMP para los efluentes de plantas de tratamiento.	40
<b>Tabla 4.</b> Operacionalización de las variables.	43
<b>Tabla 5.</b> Parámetros del agua gris antes del tratamiento biodiscos.	49
<b>Tabla 6.</b> Temperatura de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.	50
<b>Tabla 7.</b> pH las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.	51
<b>Tabla 8.</b> Conductividad eléctrica de las aguas grises, después del tratamiento.	52
<b>Tabla 9.</b> Cantidad de sulfatos de las aguas grises, después del tratamiento.	54
<b>Tabla 10.</b> Cantidad de cloruros de las aguas grises, después del tratamiento.	55
<b>Tabla 11.</b> Dureza total de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.	56
<b>Tabla 12.</b> Alcalinidad de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.	57
<b>Tabla 13.</b> Sólidos disueltos de las aguas grises, después del tratamiento.	57
<b>Tabla 14.</b> Sólidos suspendidos de las aguas grises, después del tratamiento.	58
<b>Tabla 15.</b> Sólidos totales de las aguas grises, después del tratamiento.	59
<b>Tabla 16.</b> Óxido de magnesio de las aguas grises, después del tratamiento.	60
<b>Tabla 17.</b> Oxígeno disuelto de las aguas grises, después del tratamiento.	61
<b>Tabla 18.</b> Acetites y grasas de las aguas grises, después del tratamiento.	62
<b>Tabla 19.</b> Demanda bioquímica de oxígeno de las aguas grises.	63
<b>Tabla 20.</b> Demanda química oxígeno de las aguas grises, después del tratamiento.	64
<b>Tabla 21.</b> Materia orgánica de las aguas grises, después del tratamiento.	65
<b>Tabla 22.</b> Coliformes termotolerantes de las aguas grises, después del tratamiento.	66
<b>Tabla 23.</b> Comparación de parámetros del agua con diferentes periodos de rotación.	67
<b>Tabla 24.</b> Análisis de la normalidad de los datos obtenidos en laboratorio.	68
<b>Tabla 25.</b> Análisis ANOVA de los parámetros físicos del agua gris tratada con biodiscos.	70

<b>Tabla 26.</b> Análisis post hoc de los parámetros físicos.	72
<b>Tabla 27.</b> Análisis ANOVA de los parámetros químicos.	74
<b>Tabla 28.</b> Prueba post hoc de los parámetros químicos.	76
<b>Tabla 29.</b> Análisis ANOVA de los parámetros biológicos.	82
<b>Tabla 30.</b> Prueba post hoc de los parámetros biológicos.	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sectorización de la zona de trabajo.	20
<b>Figura 2.</b> Tratamiento de aguas residuales mediante biodiscos.	36
<b>Figura 3.</b> Proceso de formación de una biopelícula.	37
<b>Figura 4.</b> Dimensionamiento en función de la carga orgánica.	38
<b>Figura 5.</b> Dimensionamiento en función de la carga hidráulica.	39
<b>Figura 6.</b> Vista del sistema de biodiscos para el tratamiento de aguas grises.	48
<b>Figura 7.</b> Variación de la temperatura de las aguas grises al aplicar el tratamiento	51
<b>Figura 8.</b> Variación del pH de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.	52
<b>Figura 9.</b> Conductividad eléctrica de las aguas grises al aplicar el tratamiento.	53
<b>Figura 10.</b> Variación de sulfatos en las aguas grises al aplicar el tratamiento.	54
<b>Figura 11.</b> Variación del cloruro en las aguas grises al aplicar el tratamiento.	55
<b>Figura 12.</b> Variación de la dureza total de las aguas grises al aplicar el tratamiento.	56
<b>Figura 13.</b> Sólidos disueltos de las aguas grises al aplicar el tratamiento.	58
<b>Figura 14.</b> Sólidos suspendidos de las aguas grises al aplicar el tratamiento.	59
<b>Figura 15.</b> Sólidos totales de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.	60
<b>Figura 16.</b> Óxido de magnesio de las aguas grises al aplicar el tratamiento.	61
<b>Figura 17.</b> Óxido disuelto de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.	62
<b>Figura 18.</b> Aceites y grasas de las aguas grises al aplicar el tratamiento.	63
<b>Figura 19.</b> Demanda bioquímica de oxígeno de las aguas grises.	64
<b>Figura 20.</b> Demanda química de oxígeno de las aguas grises.	65
<b>Figura 21.</b> Materia orgánica de las aguas grises al aplicar el tratamiento.	66

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como principal problema: ¿Cuál es el efecto de la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la calidad del tratamiento de aguas grises?, para lo cual consideró como principal objetivo: Evaluar el efecto de la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la calidad del tratamiento de aguas grises; para lo cual se ha considerado contrastar la hipótesis general: La mayor frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos mejora la calidad de las aguas grises.

El método de investigación fue el científico, del tipo aplicado, con un nivel explicativo y un diseño experimental. La población considerada fue las aguas grises procedente de los domicilios ubicados en la urbanización la Merced del distrito de Huancayo, mientras que la muestra de acuerdo a +l método de muestreo no probabilístico fueron 80 L de aguas grises.

Como principal conclusión se ha obtenido que la frecuencia de rotación mejorar de manera significativa la calidad de las aguas grises, pues no modifican de manera significativa los parámetros físicos, además reducen la cantidad de parámetros químicos y la cantidad de los parámetros biológicos; siendo la frecuencia de rotación óptima de 3 RPM.

**Palabras clave:** Biodiscos, tratamiento de aguas, aguas grises.

## **ABSTRACT**

The main problem of this research was: What is the effect of the rotation frequency of a biodisc system on the quality of graywater treatment? The main objective of this research was: To evaluate the effect of the rotation frequency of a biodisc system on the quality of graywater treatment; for this purpose, the general hypothesis was considered: The higher rotation frequency of a biodisc system improves the quality of graywater.

The research method was scientific, of the applied type, with an explanatory level and an experimental design. The population considered was the graywater from the homes located in the urbanization of La Merced in the district of Huancayo, while the sample, according to the non-probabilistic sampling method, was 80 L of graywater.

The main conclusion is that the frequency of rotation significantly improves the quality of graywater, since it does not significantly modify the physical parameters, and also reduces the amount of chemical parameters and the amount of biological parameters; the optimum rotation frequency is 3 RPM.

**Key words:** Biodiscs, water treatment, gray water.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la presente investigación surge de la necesidad de establecer la validez de nuevos métodos de tratamiento de aguas residuales, pues los establecidos actualmente, muchas veces, no cumplen su función de manera adecuada. Siendo unos de los sistemas con posibilidad de estudio los biodiscos, los cuales tienen la capacidad de depurar elementos contaminantes de aguas residuales.

Si bien el uso del sistema de biodiscos, tiene mayor aplicabilidad en el tratamiento de las aguas negras, no se puede dejar de lado su potencial aplicación en aguas grises, las cuales suelen tener menor concentración de contaminantes, haciéndola factible para su reciclado. Esto hace que la implementación del sistema mencionado sea adecuada en viviendas unifamiliares y multifamiliares.

Con los resultados obtenidos se pretendió dar validez a un sistema de tratamiento de aguas grises, estableciéndose un uso alternativo al agua generadas en viviendas, y que cuyo tratamiento puede aplicarse a usos como la limpieza de pisos.

Para un mejor entendimiento del desarrollo de la presente investigación se ha considerado los siguientes capítulos:

**Capítulo I.** El problema de investigación: En este capítulo se ha establecido plantear el problema, la formulación del problema, la justificación, delimitación, sus limitaciones y finalmente los objetivos.

**Capítulo II.** Marco teórico: Corresponde a la descripción de los antecedentes de investigación, el marco teórico, la definición de términos, las hipótesis concluyendo con la descripción de las variables.

**Capítulo III.** Metodología: Corresponde a los principales parámetros considerados, para el desarrollo del aspecto metodológico de la investigación, los cuales comprendieron el método, tipo, nivel, diseño, población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, el procesamiento de la información y finalmente las técnicas y análisis de los datos.

**Capítulo IV.** Resultados: En este capítulo se describen de manera detallada los principales resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación.

**Capítulo V.** Discusión de resultados: En este capítulo se detalla y sustenta la consistencia de los resultados obtenidos, para lo cual se describen los resultados y se detalla las principales variaciones con otros autores.

Finalmente, la investigación tiene como parte final el planteamiento de las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

Bach. Josip Abner Ccoicca Rodriguez.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Las aguas grises, según Niño y Martínez (2013) son las que se producen después del uso de duchas, lavabos y lavaderos; los cuales al no tener elementos fecales contenidas en excretas y orinas son de fácil reciclaje mediante tratamientos relativamente sencillos y eficaces. Sin embargo, a pesar de las ya mencionadas facilidades, este tipo de aguas se unen a los sistemas de drenaje de aguas negras de una red pública, generando así un incremento en el volumen para su tratamiento.

A nivel mundial los países industrializados, han buscado el desarrollo de nuevas tecnologías con las que se puedan establecer mejoras de la calidad del agua y evitar así la contaminación de ecosistemas que perjudican directa o indirectamente la salud de la población aledaña. Esto se demuestra en base a lo explicado por la Organización Mundial de la Salud, el cual estima que cada día mueren alrededor de 1.8 millones de niños menores de 5 años debido a enfermedades relacionada con la calidad el agua (Senante, Sancho, y Garrido, 2012).

En Latinoamérica muchas ciudades que no cuentan con un sistema de depuración, estas aguas incrementan el daño al medio ambiente; tal como sucede en Bogotá, donde se generan aproximadamente 190 millones de

metros cúbicos de agua residual, de las cuales un gran porcentaje no tienen tratamiento ni reúso alguno.

En el Perú, al igual que en muchos países latinoamericanos, el tratamiento de aguas residuales como el de las grises, no son mencionados en los reglamentos; por lo que, al no existir tratamiento ni un aprovechamiento secundario terminan mezclándose con las aguas negras, que en la actualidad debido a la escasez de agua que se vive en muchas ciudades del país, es necesario su reutilización. Esto se puede constatar en el informe de la Autoridad Nacional del Agua, donde da a conocer que el volumen total de aguas residuales tratadas en el año 2015 disminuyó de 22.4 millones a 16.5 millones; perjudicando al medio ambiente y a las especies que habitan en estas (Meseth, 2015).

En el departamento de Junín y en especial en la ciudad de Huancayo, en la actualidad no existe un tratamiento adecuado de las aguas residuales domésticas, contaminando así fuentes de agua como el río Shullcas, Áncala, Chilca, Florido y el Mantaro, originando daños de salud pública (Bendezu y Martínez, 2017); ante esta problemática la idea de poder reutilizar cierta cantidad de agua que se genera en las viviendas, disminuiría considerablemente el volumen de aguas negras y por ende la contaminación a los medios naturales; sin embargo, hasta la actualidad son pocos los estudios referentes a nuevos sistemas que puedan tratar las aguas grises con el fin de ser vertidos sin que afecten a ríos, riachuelos, o lugares que se pueda dar su disposición.

Ante esta problemática, se conoce que sistemas como los biodiscos son eficaces para el tratamiento de las aguas residuales, sin embargo, no existe un consenso en las dimensiones que esta debería de tener y en especial de la frecuencia de rotación de los componentes para asegurar un adecuado tratamiento para tratar aguas grises domésticas. Es por tal razón que la presente investigación buscará determinar como la frecuencia de rotación de los biodiscos inciden en el tratamiento de las aguas grises y de esta manera poder establecer si es factible o no reusarla.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el efecto de la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la calidad del tratamiento de aguas grises?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿De qué manera la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos varía los parámetros físicos de aguas grises?
- b) ¿Cómo la frecuencia rotación de un sistema de biodiscos varían los parámetros químicos de aguas grises?
- c) ¿Cuál es la forma en que afecta la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la remoción de los parámetros microbiológicos de aguas grises?

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Práctica o social**

La justificación práctica según Bernal (2006), es cuando la investigación mediante sus resultados brinda posibles soluciones a los distintos problemas que se presentan dentro de nuestro contexto.

Por ende, en esta investigación se estudió un sistema de tratamiento de aguas grises, mediante un sistema de biodiscos como tratamiento para reducir las sustancias contaminantes con el fin de reutilizarlas para la descarga de inodoros y el lavado de pisos; además esto mejorará la calidad de vida de los pobladores de la zona de estudio.

### **1.3.2. Científica o teórica**

La justificación teórica está presente en una investigación cuando con su desarrollo se pretende establecer nuevos conocimientos, o modificar y discutir los ya existentes; por ello, las características de desarrollo de esta tesis, no establecen las condiciones necesarias para esta justificación, por lo que no se cuenta con ella.

### 1.3.3. Metodológica

La justificación metodológica según Bernal (2006), se da cuando mediante la investigación se plantean nuevas estrategias con el fin de lograr conocimientos más confiable y verídico.

En tal sentido, el desarrollo de esta investigación considerará una nueva metodología para el tratamiento de las aguas grises producido en viviendas unifamiliares, el cual servirá de punto de partida a nuevos estudios relacionados con el tema estudiado.

## 1.4. Delimitación del problema

### 1.4.1. Espacial

La presente investigación se desarrolló en la ciudad de Huancayo, provincia de Huancayo del departamento de Junín, específicamente en la urbanización la Merced, el cual es delimitado en la siguiente figura.

**Figura 1.**  
Sectorización de la zona de trabajo.



Fuente: Elaboración propia.

### 1.4.2. Temporal

La presente investigación fue desarrollada en dos etapas, la primera en el trabajo experimental y la segunda basada en el

procesamiento de la información. Todas estas etapas tomaron un tiempo de ejecución de 6 meses el cual inició en agosto de 2021 y culminó en enero de 2022.

#### **1.4.3. Económica**

El desarrollo de la presente investigación consideró recursos propios, por lo que no ha existido financiamiento de fuentes privadas ni públicas.

### **1.5. Limitaciones**

Las limitaciones presentadas en el desarrollo de la presente investigación, lindan con el aspecto económico, pues al no contar con financiamientos de instituciones, no fue factible la puesta en campo del prototipo desarrollado. Además, desde el punto de vista de la accesibilidad, se puede mencionar que el ingreso a las viviendas de la zona de estudio para el control de la producción de aguas grises fue restringido, por ello, solo se tomaron en cuenta las viviendas voluntarias.

### **1.6. Objetivos**

#### **1.6.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la calidad del tratamiento de aguas grises.

#### **1.6.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar de qué manera la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos varía los parámetros físicos de aguas grises.
- b) Establecer cómo la frecuencia rotación de un sistema de biodiscos varían los parámetros químicos de aguas grises.
- c) Determinar la forma en que afecta la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la remoción de los parámetros microbiológicos de aguas grises.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Nacionales**

Alejo (2021) en su investigación denominada “Efecto de la velocidad de rotación en la eficiencia energética de un oxigenador de agua residual con discos rotativos”, consideró como principal finalidad establecer si existe influencia de la velocidad de rotación en la eficiencia para el tratamiento de aguas residuales con discos rotativos, por lo que como parte de la parte metodología ha considerado la evaluación de la concentración del oxígeno disuelto y la velocidad de rotación de los discos de un aparato aireador, para lo cual determinaron el índice de transferencia de oxígeno ( $I_{eto}$ ), para esto consideró la ejecución de un ensayo experimental que contó con 12 discos rotativos, para lo cual consideró como patrón el agua potable, y una cantidad de agua residual sintética el cual poseía una demanda química de oxígeno de 400 ppm, para lo cual se programaron que la frecuencia de rotación del biodisco fue de 30, 40 y 50 RPM, mientras que las concentraciones de oxígeno disuelto fueron de 1,2 ,3, 4 y 5 ppm en la cuales se midieron de manera complementaria la temperatura, tensión de corriente, e intensidad de corriente que se suministra al motor de los discos. Los resultados que

obtuvo dan cuenta de que el coeficiente global de transferencia de oxígeno es de 0.1392 min<sup>-1</sup>, 0.164 min<sup>-1</sup>, 0.2057 min<sup>-1</sup> en frecuencias de revoluciones de 30 rpm, 40 rpm y 50 rpm respectivamente, concluyendo finalmente que si existe una influencia de la velocidad de rotación de los discos en la concentración del oxígeno disuelto.

Céliz (2019) en su investigación denominada “Efecto del tiempo de retención hidráulica en un reactor de biodiscos a escala de laboratorio, en la depuración de efluentes del matadero Municipal de Tingo María-Huánuco” tuvo como principal objetivo evaluar el efecto que tiene la retención hidráulica del reactor de biodiscos para poder mejorar la calidad de efluentes en un matadero de Tingo María. Como metodología ha considerado una investigación experimental basada en la medición de parámetros fisicoquímicos como el DBO, el DQO, sólidos, nitratos y fosfatos, los cuales están bajo el control de la temperatura, el pH, oxígeno disuelto los cuales fueron medidos con tiempos de retención. Con dichos datos diseñó un reactor a escala con 48 discos de poliestireno dividido en 04 etapas los cuales giran a una velocidad de 0.18 m/s. Los resultados que obtuvieron muestran que el valor de la demanda química de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno, los sólidos totales, nitratos fue para un tiempo de retención de 2 horas fue de 65.90 %, mientras que para 4 horas fue de 73.10 %, y para 8 horas fue de 80.18 %; llegando a la conclusión de que el tiempo de retención si influye en los parámetros fisicoquímicas de las aguas residuales.

Delgado (2019) en su investigación denominada “Estudio de biodiscos como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas” consideró como principal finalidad diseñar un sistema de biodiscos a pequeña escala como tratamiento secundario para un efluente de un reactor UASB. Como parte de la metodología considerada, en el desarrollo de la investigación se construyó un modelo a escala teniendo en cuenta dos etapas en serie en el que

cada etapa posee un volumen de 81 litros con 7 reactores de PVC que poseen un diámetro de 0.60 m, lo cual hace un área efectiva de 7.48 m<sup>2</sup>, además el caudal del sistema fue de 432 L/día y un tiempo de retención 4.5 horas por cada etapa. Para el estudio experimental consideró modificar la velocidad de rotación de los discos a 3 rpm en un periodo de estudio de 3 meses y 5 rpm durante 3 meses. Bajo estas condiciones tomaron como parámetros de medición la demanda bioquímica de oxígeno, los sólidos suspendidos totales, turbiedad, pH y la temperatura; complementariamente midió las características biológicas y físicas de una biopelícula en todo el proceso de la investigación. Los resultados que obtuvo dan a conocer que el sistema genera una mejor oxigenación, obteniéndose solo en la primera etapa un valor de 5.21 mg. O<sub>2</sub>/l, la eficiencia de remoción del sistema de la demanda bioquímica de oxígeno fue el 90 % con una velocidad de remoción de 3 rpm, mientras que con 5 rpm la eficiencia de remoción fue de 78%. De esta manera puedo concluir que en las dos etapas en serie en tratamiento es mejor que considerar solo una serie.

Vásquez (2018) en su tesis denominada “Efecto de la velocidad rotacional en reactor biodisco sobre la remoción de materia orgánica en un agua residual doméstica de campamento minero La Libertad-Perú” ha considerado como principal objetivo estudiar el efecto que tiene las velocidades de rotaciones de un biodisco para remover la materia orgánica de aguas residuales en un campamento minero; para tal objetivo ha considerado como parte de la metodología experimental con un diseño de bloques aleatorios de tres repeticiones, la cual es aplicados a velocidades de rotación de 1 rpm, 2 rpm, 3 rpm y 4 rpm, en los que cada velocidad poseía una concentración de demanda bioquímica de oxígeno de 48.19 mg/l, 37.06 mg/l, 46.98 mg/l, además que consideró otros parámetros como la materia orgánica. Los resultados muestran que la eficiencia de remoción no es la esperada debido a la falta de oxigenación cuando las velocidades de rotaciones son de 1 y 2 rpm, mientras que cuando

la velocidad de rotación es de 4 rpm, pudo visualizar desprendimientos. Es de esta manera que, al considerar una frecuencia de rotación de 3 RPM, la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno promedio fue de 19.15 mg/l; concluyendo de esta manera que la velocidad al que rotan los discos es un factor de suma importancia que incide en el rendimiento de los biodiscos y por ende en la calidad de los efluentes de agua.

Gutarra (2016) en su tesis “Diseño de la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales mediante biodiscos del sistema de alcantarillado de la localidad de Huayllaspanca – Sapallanga” planteó como objetivo general demostrar el diseño adecuado en la infraestructura, así como la utilización de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales, en el sistema de alcantarillado en la localidad de Huayllaspanca – Sapallanga, su metodología consistió en la comparación de dos sistemas de dos plantas de agua residual, el primero está compuesto por un PTAR - 01 convencional con tanque Imhoff, filtro biológico, lecho de secado y cámara de contacto, mientras que el segundo está compuesto por un PTAR - 02 que incluye un tanque Imhoff, biodisco, lecho de secado y cámara de contacto. En sus resultados determinó las principales diferencias entre las dos plantas de tratamiento, el efluente del sistema con biodiscos presentó 15 mg/L de DBO<sub>5</sub> y 313 NMP/100 mL de coliformes fecales mientras que el efluente del sistema con filtro biológico presentó 80 mg/L de DBO<sub>5</sub> y 313 NMP/100 mL de coliformes fecales. Concluyó que con el uso de los biodiscos existe un ahorro de los costos en la construcción, mejora la eficiencia en los tratamientos para la reducción de DBO<sub>5</sub>, y además reduce los espacios para construir un PTAR. Este método resulta una buena alternativa para el tratamiento de las aguas servidas que destruyen el ecosistema y generan enfermedades.

### 2.1.2. Internacionales

Auz (2019) en su investigación “Evaluación de la capacidad de biorremediación de la especie *Scenedesmus* sp. y *Chlorella* sp. mediante la construcción de un sistema de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales del río El Tejar” estableció como objetivo principal evaluar la capacidad de biorremediación de las especies *Chlorella* sp. y *Scenedesmus* sp. mediante la construcción de un sistema de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales del río El Tejar, por lo que su metodología consistió en la construcción del sistema de biodiscos, considerando la utilización de tres tipos de texturas en el cual se formó la biopelícula de microalgas, para la formación de la biopelícula utilizó dos especies: *Chlorella* sp. en la concentración de  $3.74 \times 10^6$  cel. ml y *Scenedesmus* sp. en  $3.81 \times 10^6$  cel. ml; la toma de muestras fue durante siete días debido a que este es el tiempo promedio en el cual las microalgas se adhieren y reproducen en los biodiscos. En sus resultados, a partir de la evaluación de los parámetros físicos – químicos determinó que los valores de DQO y  $DBO_5$  presente en las aguas residuales se reducen, con el uso de la especie *Chlorella* sp. el valor de DQO se redujo de 9890 mg/L a 1860 mg/L y con la especie *Scenedesmus* sp. se redujo a 2566 mg/L, mientras que para los valores de DBO se redujo en 71 % y 51 % respectivamente, además la conductividad eléctrica disminuyó de  $1161 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $609.3 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  con la especie *Chlorella* sp. y a  $516 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  con la especie *Scenedesmus* sp. Concluyó que las condiciones ambientales influyen directamente en el crecimiento de las microalgas, por otro lado, el sistema de biodiscos estuvo conformado por un tanque de material acrílico, dividido en tres tanques reactores de 20 cm, en cada tanque colocó 8 discos forrados con diferentes texturas, los cuales fueron de policarbonato de plástico con diámetro de 12 cm; debido a los resultados obtenidos consideró que los reactores de biodiscos son una alternativa muy efectiva para

depuración de agua residual ya que remueve más del 50 % del DQO y DBO.

Iurchenko et al. (2022) en su investigación denominada “Tratamiento de aguas residuales mediante la conversión de la contaminación que contiene nitrógeno por micro biocenosis inmovilizada en una instalación de biodiscos” consideró como principal objetivo de establecer la eficacia de la desamonización y la desnitrificación de las aguas residuales durante el tratamiento en una instalación de biodiscos. Para ello consideraron como hipótesis de trabajo - la inmovilización de la micro biocenosis puede proporcionar un tratamiento profundo simultáneo de las aguas residuales de los compuestos orgánicos y de los compuestos inorgánicos que contienen nitrógeno. El método de investigación fue experimental y consistió en el estudio a aguas residuales naturales y modelo – hidro químicos; Como resultados establecieron que en la micro biocenosis inmovilizada en discos se crean condiciones que permiten a los microorganismos heterótrofos y autótrofos metabolizar activamente compuestos orgánicos e inorgánicos en condiciones aeróbicas y anóxicas. También determinaron indicadores cuantitativos de la influencia en la cinética de los procesos de la concentración de sustancias orgánicas en las aguas residuales tratadas. Sobre la base de los estudios microbiológicos, fisiológicos y bioquímicos en la micro biocenosis inmovilizada, encontraron bacterias amoniacales (y, posiblemente, arqueas) nitrito-ácidas y bacterias desnitrificantes, y en ausencia de sustancias orgánicas en el medio ambiente - bacterias anammox. Además, en la biopelícula que se formó en ausencia de sustancias orgánicas en el medio, la actividad de las bacterias anammox en la desamonización superó significativamente la actividad de las bacterias oxidantes del amonio y de las arqueas.

Blanco y Guzman (2020) en su tesis denominada “Implementación de una planta piloto usando biodiscos para la remoción de la DBO5

en un agua residual doméstica” tuvo como principal objetivo establecer el tratamiento de las aguas residuales domésticas para de esta manera poder comparar el sistema convencional y el de biodiscos, para de esta manera establecer la eficiencia de los sistemas de depuración. Como parte de la metodología, el desarrollo de la investigación ha considerado la ejecución de 6 experimentos en una planta piloto que posee un sistema de biodiscos con 4 procesos con el fin de tratar el agua residual de un EDAR; para lo cual es necesario establecer y obtener las alturas del agua, la transferencia de velocidad para la generación de movimiento en los biodiscos. Los resultados que obtuvo muestra que la implementación de este sistema puede ser útil y sobre todo más económico en comparación de otros sistemas de tratamiento, además que con la aplicación del sistema de biodiscos se puede lograr una eficiencia de remoción 72.87 % de la demanda bioquímica de oxígeno, asimismo también se ha denotado que este sistema cumple con los límites para ser efluente de las aguas residuales; de esta manera ha concluido que la implementación del método de biodiscos disminuyen la materia orgánica y el DBO<sub>5</sub> del agua residual generada en la zona de estudio.

Molinos-senante et al. (2018) en su investigación denominada “Modelización de la intensidad energética de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales” tuvieron como principal objetivo de investigación comprobar el grado de influencia de la intensidad eléctrica (IE) en las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR), pues estas plantas son instalaciones que consumen mucha energía, por lo que se ha incrementado la presión sobre los gestores y los responsables políticos para que reduzcan el uso energético de las instalaciones. En el estudio, comprobaron el grado de influencia de la IE en las EDAR mediante un conjunto de variables técnicas, modelando la IE de una muestra de 305 EDAR agrupadas en cinco tecnologías de tratamiento secundario. Los resultados indicaron que: i) las EDAR que utilizan lodos activados convencionales, aireación prolongada, biofiltros percoladores y biodiscos mostraron importantes

economías de escala en el uso de la energía; y ii) la eficiencia de la eliminación de contaminantes demostró un bajo impacto en la IE de las EDAR. Además, concluyen que la metodología y los resultados de este estudio son valiosos para los responsables políticos a la hora de planificar nuevas EDAR y desarrollar planes de gestión para mejorar la eficiencia energética del tratamiento de aguas residuales.

Ibrahim et al. (2018) en la investigación denominada “Detección de sapovirus en dos líneas biológicas de tratamiento de aguas residuales de hospitales tunecinos” consideraron como principal objetivo investigar la eficacia de los procedimientos de biodiscos rotatorios y de laguna de oxidación natural en una planta piloto semiindustrial tunecina, El Menzeh I, cuyas aguas residuales proceden principalmente de tres clínicas hospitalarias vecinas. Como parte de la metodología, en el año 2011, recogieron 102 muestras de aguas residuales de los dos procedimientos de tratamiento de aguas mencionados. Los resultados mostraron que la frecuencia de Sapovirus (SaV) era de aproximadamente el 29.4% utilizando la técnica de reacción en cadena de la polimerasa con transcripción inversa en tiempo real (RT-PCR), y de aproximadamente el 16.6% utilizando la RTPCR convencional. Asimismo, se identificaron los genogrupos y genotipos del SaV y el genotipado reveló que las cuatro cepas tunecinas del SaV obtenidas pertenecían a los dos genogrupos GIV.1 y GGI.3. También detectaron dos nuevos genotipos, D y C. Asimismo observaron una disminución moderada de las frecuencias del VAS a la salida de los dos procesos de tratamiento y la tasa de eliminación del VAS se situó en torno al 90% en las lagunas de oxidación natural y al 94% en el procedimiento de biodiscos rotatorios, lo que demuestra la moderada sensibilidad de estos virus a las aguas residuales biológicas aplicadas. Por lo tanto, debería implementarse un proceso de desinfección urgente a la salida de los dos procedimientos de tratamiento biológico para la liberación segura del efluente tratado en los diferentes entornos naturales.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Aguas residuales**

El agua residual es la combinación de los desechos líquidos producidas en las viviendas, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, además de las aguas subterráneas, superficiales y pluviales que tengan contacto con compuestos contaminantes (Bendezu y Martínez, 2017). Las características importantes de las aguas residuales son:

#### **Características físicas**

- **Sólidos totales:** Son los sedimentos que quedan en el fondo de un recipiente cónico a partir de un período de 60 minutos, es decir, es el material que se obtiene de la decantación primaria del agua residual. Se clasifican en filtrantes y no filtrantes, para lo cual se hace uso de un filtro de fibra de vidrio (Domínguez y Rojas, 2019).
- **Olores:** Son producidos por los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El olor característico del agua residual séptico es debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno, que se produce cuando los sulfatos se reducen en sulfitos mediante microorganismos anaeróbicos (Domínguez y Rojas, 2019).
- **Temperatura:** Es un parámetro que influye en las características de las aguas residuales durante el proceso de tratamiento y en la disposición final. La temperatura modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto, como también de las velocidades de las reacciones químicas y actividades bacterianas, por otro lado, cuando se incrementa la temperatura el pH se reduce, debido a que las moléculas de hidrógeno y oxígeno tienden a separarse (Domínguez y Rojas, 2019).

- Turbiedad: Es un parámetro que sirve para medir la calidad de las aguas vertidas en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Su medición se realiza a través de la intensidad de la luz dispersada en la muestra tomada (Domínguez y Rojas, 2019).

### **Características químicas**

- Materia orgánica: Es el material sólido producido por el reino animal y vegetal, así como de la síntesis de compuestos orgánicos por parte de las personas. Se miden mediante la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y la demanda química de oxígeno (DQO) (Domínguez y Rojas, 2019).
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>): Es el parámetro más usado en aguas residuales como en aguas superficiales, a los 5 días. Su medición consiste en determinar la cantidad de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.
- Demanda química de oxígeno (DQO): Su mediación se realiza determinando el contenido de materia orgánica tanto en aguas residuales y naturales, por lo que se hace uso de un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para calcular el equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse.
- Materia inorgánica: La concentración de sustancias inorgánicas es debido a que el agua tiene contacto con diferentes formaciones geológicas y aguas residuales que descargan sobre ella, ya sean tratadas o sin tratar (Domínguez y Rojas, 2019).
- Potencial de hidrógeno (pH): Es un parámetro de calidad muy importante tanto en aguas naturales como residuales, indica la concentración de ion hidrógeno que varía de

acuerdo a la temperatura. El agua residual con un valor bajo de pH presenta dificultades durante los tratamientos con procesos biológicos.

- Características biológicas: Es una de las características principales que relaciona los principales grupos de microorganismo biológicos, organismos patógenos presentes en las aguas residuales, organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia, métodos empleados para determinar los organismos indicadores y métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas (Domínguez y Rojas, 2019).
- Coliformes termotolerantes (CTT): Se emplean como organismo indicador de contaminación humana, ya que es fácil de determinar. El tracto intestinal almacena numerosos organismos coliformes, los cuales son evacuados aproximadamente entre 100 000 a 400 000 millones cada día, la ausencia de estos organismos indica que las aguas están libres de organismos que puedan ocasionar enfermedades.

### **2.2.2. Tipos de agua residual**

Según Domínguez y Rojas (2019), el tipo de agua residual depende de su origen, se pueden distinguir tres tipos, los cuales son:

#### **Aguas residuales domésticas**

Estas aguas se originan en las áreas residenciales y comerciales, es decir, de los centros urbanos. Las características de estas aguas varían de acuerdo a las condiciones socioeconómicas, clima y otros factores propios de cada localidad. Las aguas residuales domésticas se clasifican en:

- Aguas negras: Son las aguas que contienen sustancia fecal y orina, procedente de los desechos orgánicos tanto de animales como de las personas. El adjetivo de negras, hace

referencia a la coloración que adoptan, también son denominadas como aguas servidas, aguas fecales o aguas cloacales.

- Aguas grises: Son las aguas que se producen por actividades domésticas como el lavado de ropa, vajilla y el baño de las personas, la principal diferencia con las aguas negras es que no contienen desechos de inodoro, por lo que no presentan bacterias fecales como la *Escherichia coli*.

### **Aguas residuales industriales**

Son las aguas que se producen a partir de los procesos y operaciones de transformación, su composición va depender del tipo de producción industrial, los cuales son diversos debido a la multiplicidad de procesos y productos que se fabrican (Domínguez y Rojas, 2019).

### **Aguas residuales agro industriales**

Son originadas durante los procesos de explotaciones pecuarias y procesos de cosecha de cultivos, contienen cantidades apreciables de materia orgánica biodegradable, fósforo, materia en suspensión y nitrógeno.

## **2.2.3. Tratamiento de aguas residuales**

Según Jurado y Vargas (2015) el tratamiento de aguas residuales es un proceso para reducir o eliminar la mayor cantidad posible de contaminación presente en los vertidos, antes de que tenga contacto con aguas naturales. Este proceso contiene procedimientos mecánicos, químicos, biológicos y desde hace algunos años fisicoquímicos, los cuales se agrupan en tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Las etapas de los procesos de tratamiento de aguas residuales son:

## **Pre tratamiento**

Esta etapa consiste en separar los sólidos mayores o flotantes, eliminar los sólidos inorgánicos pesados como también la cantidad de aceites y grasas (Jurado y Vargas, 2015). Pueden ser mediante:

- Rejas para gruesos y finos.
- Desarenadores.
- Desinfección.
- Cribas para gruesos.
- Flotación.
- Tamizado.
- Lagunas.
- Neutralización.
- Separadores de grasas y aceites.

## **Tratamiento primario**

Consiste en preparar las aguas residuales para su tratamiento biológico, eliminando algunos contaminantes y reduciendo las concentraciones de agua que llega a la planta. Mediante este proceso se reduce entre 60 % y 65 % de sólidos en suspensión totales y entre 25 % y 40 % de materia orgánica y bacterias (Jurado y Vargas, 2015). Los métodos pueden ser:

- Sedimentación.
- Flotación.
- Neutralización.

## **Tratamiento secundario**

Este tratamiento es usado principalmente para reducir la cantidad de DBO<sub>5</sub> soluble, sólidos suspendidos y organismos patógenos. Este proceso se desarrolla mediante el uso de

microorganismos en condiciones controladas, están conformadas por dos etapas: la de naturaleza bioquímica y la de naturaleza físico – química (Jurado y Vargas, 2015). Los procesos pueden ser:

- Filtro percolador.
- Lodos activados.
- Lagunas de estabilización.

#### **Tratamiento terciario**

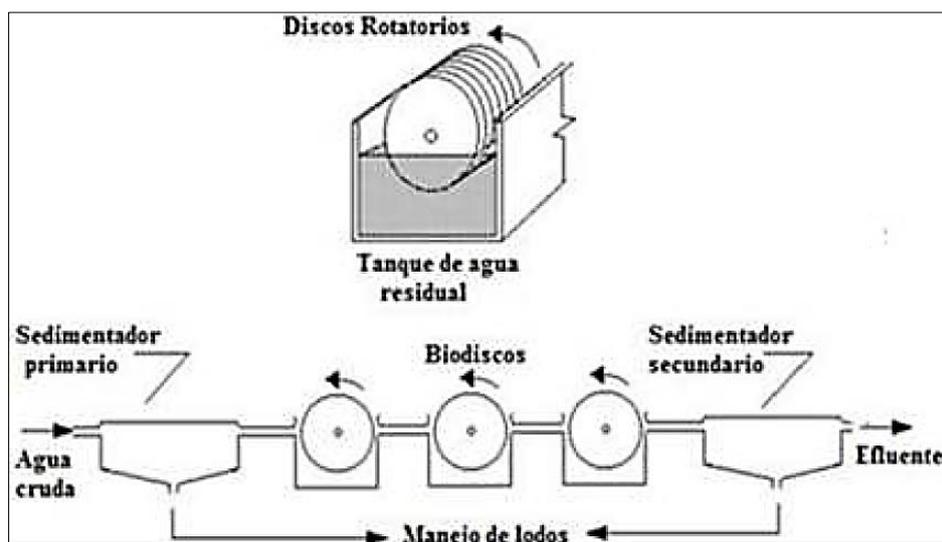
Son empleados cuando existe la necesidad de remoción de nutrientes para que no se produzca eutrofización de las fuentes receptoras o en caso de mejorar la calidad del efluente secundario. Es un proceso más intenso, en consecuencia, más costoso (Jurado y Vargas, 2015). Algunos de los procesos pueden ser:

- Coagulación, filtración terciaria y lagunas de afino.
- Adsorción sobre carbón activado y oxidación química.
- Métodos químicos y métodos biológicos.

#### **2.2.4. Biodiscos**

El sistema de tratamiento de aguas residuales con biodiscos es simple, está compuesto por un sedimentador primario, donde se separan las partículas más grandes por acción de la gravedad; posteriormente el agua tratada pasa a un reactor de contactores biológicos rotatorios, en el cual se forma una biomasa fija, y finalmente pasa a un sedimentador secundario para retirar los sólidos del agua (Gutarra, 2016).

**Figura 2.**  
Tratamiento de aguas residuales mediante biodiscos.



Fuente: Gutarra (2016).

En caso que haya poca concentración de sólidos sedimentables puede omitirse el sedimentador primario, ya que con los biodiscos se asegura un efluente con buenas características de sedimentación. El principio de los biodiscos consiste en que los microorganismos se adhieren a la superficie del disco, el cual está parcialmente sumergido en aproximadamente 40 %, los microorganismos comienzan a fijarse y multiplicarse en la superficie de los discos que van cubriéndose por una película biológica de 2 a 4 mm de espesor (Gutarra, 2016).

En el proceso de rotación, el reactor es impregnado con una película de agua residual, la cual absorbe oxígeno del aire con el fin de que los organismos presentes en la película biológica fijos a los discos puedan realizar su metabolismo, y así eliminar la materia orgánica soluble del agua dentro del reactor (Gutarra, 2016).

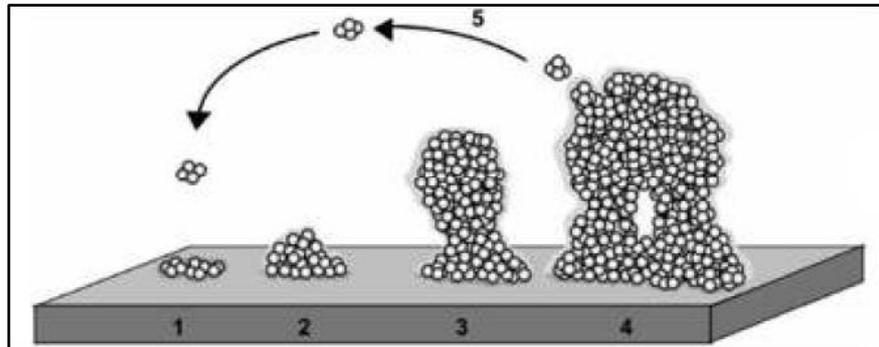
Según Jurado y Vargas (2015), la formación de biopelícula consta de cinco etapas:

- Acondicionamiento de la superficie por adsorción de materia orgánica.
- Transporte de células y nutrientes al sitio de adherencia.

- Inicio del proceso de adhesión bacteriana, por atracción electrostática.
- Crecimiento celular, colonización y adhesión irreversible.
- Biopelícula presenta alta actividad metabólica y liberación de células localizadas en la periferia.

**Figura 3.**

Proceso de formación de una biopelícula.



Fuente: Gutarra (2016).

Factores que influyen en los tratamientos de agua residual con biodiscos:

Según Jurado y Vargas (2015), el proceso de biodiscos depende de varios factores, los cuales van a determinar el nivel de depuración, rendimiento del sistema y la capacidad de acción:

- Temperatura, al aumentar la temperatura se incrementa el rendimiento del sistema, mejorando el proceso biológico.
- Precipitaciones verticales, como la lluvia y el granizo, los cuales pueden retirar la biopelícula adherida a los discos, por lo que se recomienda que estos sistemas estén cubiertos.
- Velocidad de giro de los discos, los valores óptimos se consideran entre 1 rpm y 5 rpm.
- Potencia del motor que hace girar los discos, se recomienda que sea pequeño, ya que la potencia necesaria es baja.
- Características del agua residual.

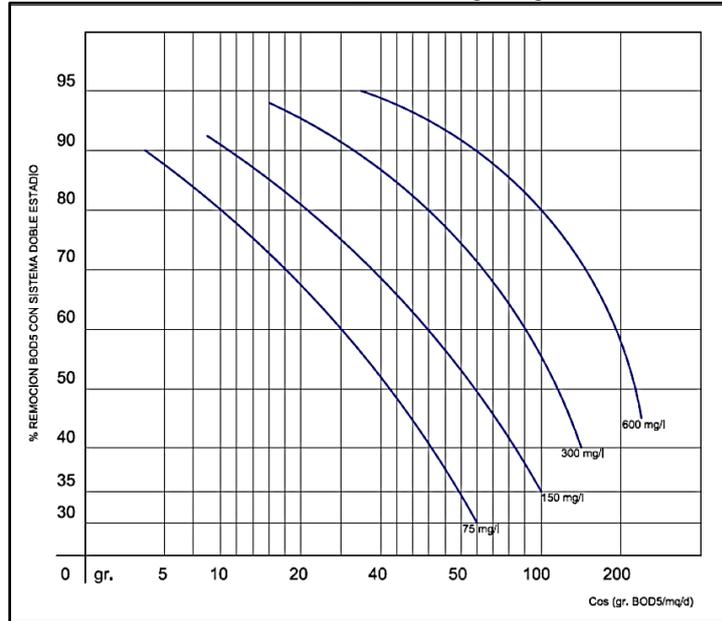
- Área sumergida de los discos.

### 2.2.5. Cálculo del diámetro de los biodiscos

Según Iglesias (2013), el cálculo del diámetro de los biodiscos depende de la relación entre la concentración de DBO<sub>5</sub> tanto de entrada como de salida y el caudal del afluente.

**Figura 4.**

Dimensionamiento en función de la carga orgánica.



Fuente: Iglesias (2013).

Con esos valores se determinará la superficie de los biodiscos, el cual tendrá que ser corregido con el coeficiente de corrección "X", elegido de acuerdo a la cantidad de población beneficiada.

**Tabla 1.**

Valores del coeficiente "X".

Coeficiente "X"	Población
1.0	≥ 10000
1.1 - 1.2	10000 - 5000
1.2 - 1.3	5000 - 1500
1.3 - 1.5	1500 - 400
1.5	≤ 400

Fuente: Iglesias (2013).

Después será corregido por el coeficiente de corrección "Y", el cual depende del número de etapas empleados en el sistema de biodiscos.

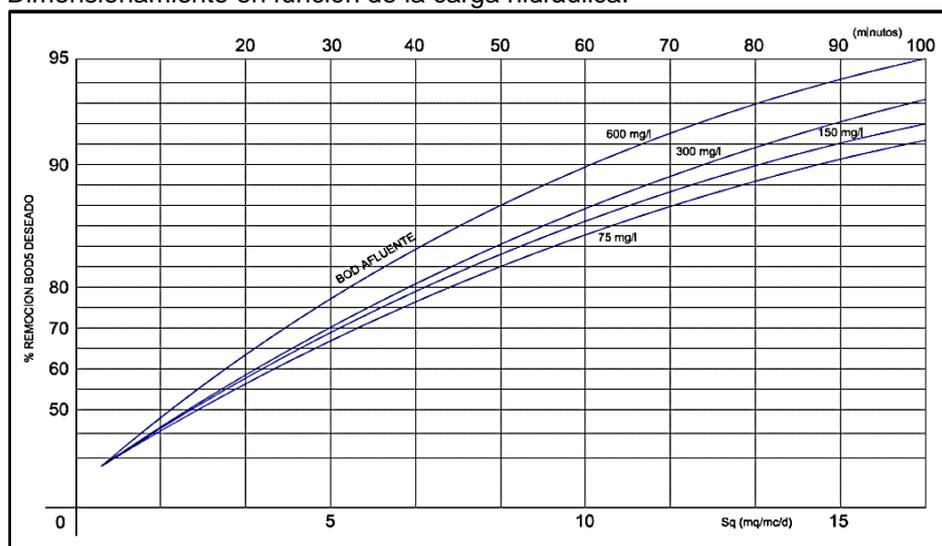
**Tabla 2.**  
Valores del coeficiente "Y".

Coeficiente "Y"	Número de etapas
1	2 etapas
0.9	3 etapas
0.85	4 etapas

Fuente: Iglesias (2013).

Otro método para determinar el diámetro de los biodiscos es mediante la carga hidráulica, cuyos valores se muestran en la siguiente figura.

**Figura 5.**  
Dimensionamiento en función de la carga hidráulica.



Fuente: Iglesias (2013).

Un determinado la superficie se procede a calcular el diámetro de los biodiscos, teniendo en consideración el área sumergida dentro del reactor.

### 2.2.6. Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales

Según MINAM (2010), establece mediante Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM los límites máximos permisibles, los cuales son las medidas de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos o biológicos, que al ser excedidas podrían ocasionar daños a la salud, al bienestar humano o al medio ambiente, el cumplimiento de esta normativa es supervisada por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

**Tabla 3.**  
LMP para los efluentes de plantas de tratamiento.

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Temperatura	°C	< 35
Sólidos totales en suspensión	mL/L	150
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5 - 8.5
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10000

Fuente: MINAM (2010).

### 2.3. Definición de términos

**Aguas residuales.** – Es el agua que se obtiene de la mezcla de los desechos líquidos que se producen en las viviendas, instituciones, establecimientos comerciales y establecimientos industriales (Bendezu y Martínez, 2017).

**Biodigestor.** – Es un contenedor hermético de tratamiento primario de aguas residuales, con el cual se descompone la materia orgánica facilitando la extracción del gas resultante para utilizarla como energía, está compuesto por una entrada para el material orgánico, espacio para su descomposición, salida con válvula de control para el gas y una salida para el material ya procesado (Domínguez y Rojas, 2019).

**Coliformes termotolerantes.** – Bacterias en forma de bastoncillos, se emplean como organismo indicador de contaminación humana y su presencia sirve de indicio sobre la presencia de organismos patógenos (Domínguez y Rojas, 2019).

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).** – Cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para estabilizar la materia orgánica, considerando las condiciones de tiempo y temperatura específicos, siendo 5 días a 20 °C (Rondón, 2017).

**Filtro percolador.** – Es un sistema en el cual se aplica el agua residual sedimentada a un medio filtrante compuesto por piedra gruesa o material sintético, la película de microorganismos que se encuentra en el medio

filtrante es la que se encarga de estabilizar la materia orgánica (Rondón, 2017).

**Tratamiento aerobio.** – Proceso realizado principalmente por bacterias y protozoos, que actúan en presencia de oxígeno sobre la materia orgánica disuelta, convirtiéndola en productos inocuos y materia celular (Jurado y Vargas, 2015).

**Tratamiento anaerobio.** – Es un proceso en el cual se realiza la conversión de la materia orgánica a metano y CO<sub>2</sub>, en ausencia de oxígeno mediante la interacción de diversas poblaciones bacterianas (Jurado y Vargas, 2015).

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La mayor frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos mejora la calidad de las aguas grises.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a) La mayor frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos disminuye la concentración de los parámetros físicos de aguas grises.
- b) La mayor frecuencia rotación de un sistema de biodiscos disminuye la concentración de los parámetros químicos de aguas grises.
- c) La mayor frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos mejora la remoción de los parámetros microbiológicos de aguas grises.

## **2.5. Variables**

### **2.5.1. Definición conceptual de las variables**

**Variable independiente (X): Sistema de biodiscos.** – Es un sistema de tratamiento biológico secundario de aguas residuales

domésticas biodegradables, pueden ser de tipo de crecimiento adherido o reactor de película fija. Las películas biológicas se van formando sobre los discos en rotación mediante el agua residual (Jurado y Vargas, 2015).

**Variable dependiente (Y): Calidad del tratamiento de aguas grises.** – Es la condición que se logra mediante la eliminación de la mayor cantidad de contaminantes presentes en los vertidos de las aguas grises, con el fin de darle un uso a los efluentes tratados, de manera que el nivel de contaminación sea asimilado de forma natural (Jurado y Vargas, 2015).

### **2.5.2. Definición operacional de las variables**

**Variable independiente (X): Sistema de biodiscos.** – Será el tratamiento secundario del efluente tratado por un biodigestor, variando la velocidad de rotación de los biodiscos a velocidades de 1 rpm, 3 rpm y 5 rpm, con el fin de reducir las sustancias contaminantes.

**Variable dependiente (Y): Calidad del tratamiento de aguas grises.** – Se medirá a través del análisis del efluente procesado por un biodigestor como tratamiento primario y por un sistema de biodiscos como tratamiento secundario, considerando los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

### 2.5.3. Operacionalización de las variables

**Tabla 4.**

Operacionalización de las variables.

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente (X): Sistema de biodiscos	Frecuencia de rotación	Velocidad de rotación
Variable dependiente (Y): Calidad del tratamiento de aguas grises	Parámetros físicos	Temperatura
		pH
		Conductividad eléctrica
	Parámetros químicos	Sulfato
		Cloruros
		Dureza total
		Alcalinidad
		Sólidos disueltos
		Sólidos suspendidos
		Sólidos totales
		Óxido de magnesio
		Oxígeno disuelto
		Aceites y grasas
		DBO
	DQO	
	Parámetros microbiológicos	Coliformes termotolerantes
Materia orgánica		

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método de investigación**

El método que se utilizó en la presente investigación fue el científico, ya que según Borja (2016), este método permite realizar la investigación mediante una serie de secuencias de manera ordenada, con el fin de determinar los objetivos de manera metódica.

En consecuencia, en esta investigación se hizo uso del método mencionado, debido a que para lograr resultados confiables se ha seguido con el procedimiento recomendado por el método científico, el cual inicia en la observación y culmina con el planteamiento de las conclusiones.

### **3.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación fue la aplicada, pues según Borja (2016), este se presenta cuando se hace uso de conocimientos existentes, es decir, que durante el desarrollo se considerará teorías y definiciones planteadas y verificadas por anteriores investigadores con el fin de proponer soluciones a los problemas planteados en la investigación.

En tal sentido, la presente investigación tomo en cuenta la investigación aplicada, debido a que se ha considerado los conocimientos existentes relacionados con las aguas residuales, específicamente a aguas grises y de tratamiento de estas aguas con el sistema de biodiscos, con el fin de poder

establecer una solución a la actual oferta de aguas residuales que son desechadas a fuentes naturales sin recibir un tratamiento adecuado.

### **3.3. Nivel de investigación**

El nivel de investigación fue explicativo ya que, según Hernández et al., (2014), este nivel permite relacionar las causas y los efectos de un acontecimiento o fenómeno natural; es decir, con el desarrollo de esta investigación se ha podido verificar que el tiempo de rotación de los biodiscos es la principal causa para el mejoramiento de la calidad de las aguas grises, esto hace factible un mejor control para el diseño del sistema de biodiscos.

### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño de investigación fue experimental, pues según Hernández et al., (2014), este diseño permite diferenciar las variables de manera conveniente para lograr resultados más adecuados según los objetivos planteados en la investigación. Es por ello que, en la investigación se ha considerado como variable manipulable la frecuencia de rotación en velocidades de 1 rpm, 3 rpm y 5 rpm, para posteriormente medir los efectos en la calidad del tratamiento de estas aguas residuales grises

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población correspondió a las aguas grises procedente de los domicilios ubicados en la urbanización la Merced del distrito de Huancayo, provincia de Huancayo del departamento de Junín.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra de acuerdo al método no probabilístico intencional correspondió a 20 L de aguas grises analizadas en un periodo de 8 horas para cada velocidad de análisis; es decir que en total se ha considerado el estudio de 80 L de aguas grises.

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

**Observación directa.** – Esta técnica se aplicó a la hora de toma de muestras de las aguas residuales domésticas, para lo cual se ha considerado aspectos secundarios como olor y forma del agua antes del tratamiento y después del tratamiento.

**Revisión bibliográfica.** – Se realizó mediante la consulta de libros, tesis, revistas, artículos científicos, manuales, etc., impresos o virtuales, con el fin tener claro todos los conceptos relacionados al tratamiento de las aguas residuales.

**Trabajo en campo.** – El trabajo en campo consistió en la instalación del sistema de tratamiento en campo, para lo cual se afinaron los detalles, como el control de sus principales componentes.

### 3.7. Procesamiento de la información

El procesamiento de datos se realizó mediante el uso del software Excel, ya que brinda resultados con mayor exactitud y rapidez debido a su programación; con este software se podrán obtener gráficos que pueden facilitar el análisis de los resultados.

El análisis de los datos se realizó desde una perspectiva cuantitativa, por lo que se elaboraron cuadros estadísticos de acuerdo a las variables planteadas, el análisis de datos dependió del tipo de datos obtenidos durante los ensayos de laboratorio, en este caso se hizo uso de la estadística descriptiva e inferencial, con lo que se obtuvo tablas y figuras, para una mejor interpretación de los resultados.

El procedimiento de la investigación consistirá en:

- Captación del agua gris en una vivienda unifamiliar; este comprendió la captación del agua de duchas, lavadero y lavamanos.
- Primera toma de muestra de agua antes del ingreso del tratamiento primario.

- Se realizó el estudio de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua recolectada.
- Se realizó el diseño del sistema de biodiscos.
- Se realizó la instalación del sistema para luego establecer un control sobre la velocidad de rotación del sistema.
- Se prosiguió con el análisis de las muestras procedentes del efluente del sistema de biodiscos, considerando los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.
- Se compararon los resultados de ambos efluentes para determinar la reducción de sustancias contaminantes.

### **3.7.1. Descripción del equipo de sistemas de biodiscos**

El sistema de biodiscos que se consideró como prototipo constó de las siguientes especificaciones técnicas:

- Las dimensiones del tanque reactor fueron de 0.59 m de diámetro y una longitud de 0.91 m, lo cual da una capacidad máxima de 208 L en toda su capacidad.
- El volumen útil del tanque reactor fue de 71.71 L, el cual se obtiene de considerar la altura de agua como el nivel referente al radio del reactor más un borde libre de 0.10 m.
- Los discos fueron colocados de manera proporcional a la distancia libre del tanque reactor, el material fue de triplay forrado con un protector acrílico y un diámetro de 0.23 m.
- El tanque presentó un variador de velocidad y termostato que fue acoplado para realizar las respectivas mediciones.
- El eje de rotación del sistema estuvo compuesto por una barra de acero de 1" de diámetro, cuyos bordes estuvieron sujetos a chumaceras para su soporte.
- El agua que fue utilizada para el tratamiento fue la acumulación de las aguas grises reunidas en una vivienda y las cuales fueron

almacenas en baldes de las cuales se controló el caudal de salida para mantener un flujo constante en el sistema de tratamiento, para ello se utilizaron grifos de ½”.

- Finalmente se ha considerado un soporte metálico para poder tener una estructura capaz de simular la pendiente necesaria en el sistema de biodiscos.

**Figura 6.**

Vista del sistema de biodiscos para el tratamiento de aguas grises.



Fuente: Elaboración propia.

### **3.8. Técnicas y análisis de datos**

Para el desarrollo de esta investigación se ha considerado el enfoque cuantitativo de la investigación científica, por lo que para el análisis de los datos fue necesario la aplicación de métodos estadísticos descriptivos como la media o promedio, para parametrizar los datos obtenidos, mientras que para la contrastación de las hipótesis fue necesario la aplicación del método ANOVA.

## CAPÍTULO IV RESULTADOS

### 4.1. Descripción de resultados

El primer aspecto que se consideró en el desarrollo de la presente investigación fue la descripción de las características del agua a tratar, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 5.**  
Parámetros del agua gris antes del tratamiento.

Parámetros	Muestras			Promedio
	M-1	M-2	M-3	
Sulfatos	76.25	75.00	76.20	75.82
Cloruros	23.32	21.32	22.40	22.35
Dureza total	195.00	185.00	189.00	189.67
Alcalinidad	19.00	18.00	18.00	18.33
Conductividad	297.65	285.62	281.00	288.09
Sólidos disueltos	175.65	135.00	146.00	152.22
Sólidos suspendidos	146.32	79.00	105.00	110.11
Sólidos totales	257.95	240.00	255.00	250.98
pH	6.20	8.40	7.70	7.43
óxido de magnesio	32.65	28.00	30.80	30.48
oxígeno disuelto	7.95	6.57	7.12	7.21
Materia orgánica	1.25	0.21	0.80	0.75
Aceites y grasas	35.26	35.30	36.80	35.79
Coliformes termotolerantes	0.00	0.00	0.00	0.00
DBO	145.26	140.00	139.00	141.42
DQO	290.52	280.00	278.00	282.84
T°	21.00	20.50	22.00	21.17

Los datos que se muestran en la tabla anterior, fueron procesados de los informes de laboratorio ubicado en el anexo N°03; además los parámetros resaltados, son los establecidos en la norma DS N°003-2010-MINAM.

#### 4.1.1. Variación de los parámetros físicos de aguas grises con el sistema de biodiscos

El desarrollo de la investigación ha considerado el estudio y análisis de los principales parámetros físicos del agua, el cual al aplicar el tratamiento de las aguas grises mediante el sistema de biodiscos se ha podido determinar los siguientes valores.

##### Temperatura

La temperatura del agua fue uno de los principales factores considerados en el desarrollo de la tesis, pues mediante esta se puede controlar el crecimiento del material biológico en los discos, pues a temperaturas bajas estos elementos pueden no reproducirse y por ende perjudicar a la purificación del agua a tratar. En este contexto, se ha determinado que la revolución de los biodiscos en el agua modifica hasta en -10.39 % al valor inicial que fue de 21.17°C; esto se debe a que el proceso de rotación en todo el sistema logra incorporar aire frío del ambiente al sistema de tratamiento.

**Tabla 6.**

Temperatura de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

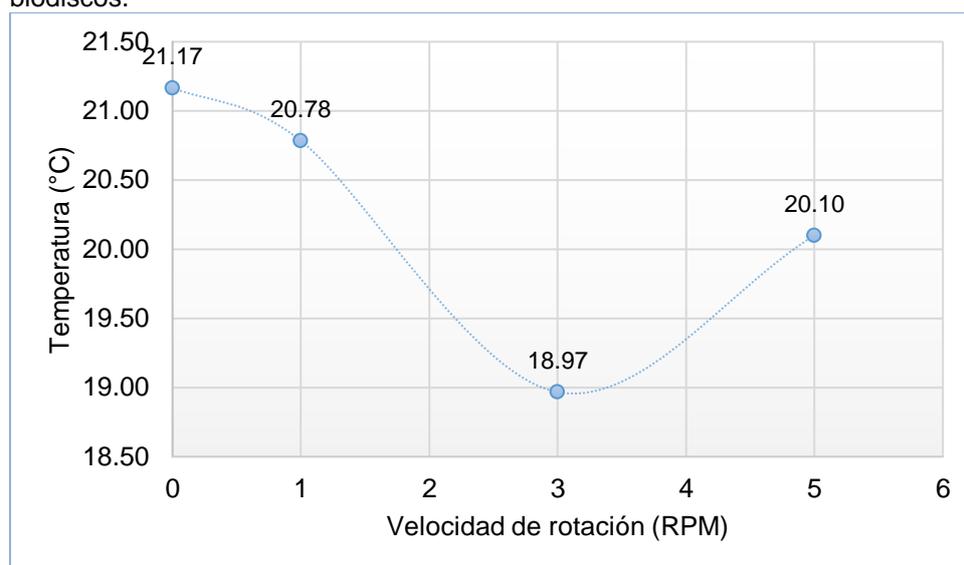
Velocidad de rotación (RPM)	Temperatura (°C)	Variación (%)
Sin tratamiento	21.17	
1	20.78	-1.81
3	18.97	-10.39
5	20.10	-5.04

Fuente: Elaboración propia.

La variación de la temperatura del agua tratada, se puede observar de mejor manera en la Tabla 6, donde en función a la cantidad de revoluciones del biodiscos, esta propiedad disminuye en 2 °C aproximadamente. Esta variación no ha afectado el crecimiento de los elementos bióticos encargado de la depuración del sistema, pues se encuentran dentro del rango aceptable para el desarrollo de este sistema.

**Figura 7.**

Variación de la temperatura de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.



Fuente: Elaboración propia.

### **Potencial de hidrógeno**

El potencial de hidrógeno en el agua, es un indicador de la acidez o alcalinidad, por lo que su control es de suma importancia, para determinar la posible aplicación como agua para consumo u otros fines. En este contexto, los resultados que se observan en la Tabla 7, demuestran que el valor del pH no tiene variaciones significativas y por ende estos se encuentran dentro del rango considerable por los LPM's (límites máximos permisibles), establecidos en la norma DS N°003-2010-MINAM.

**Tabla 7.**

pH las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

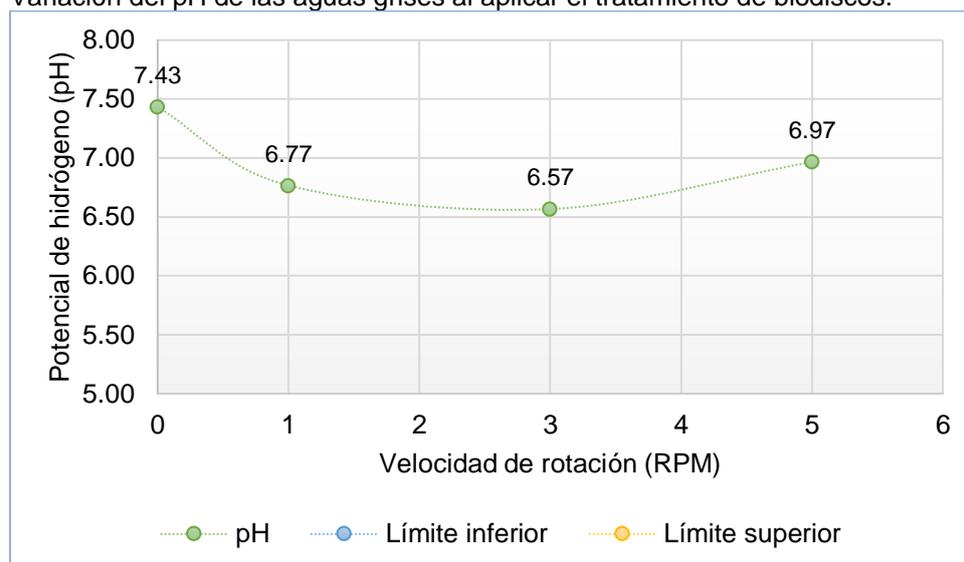
Velocidad de rotación (RPM)	Potencial de hidrógeno (pH)	Variación (%)
Sin tratamiento	7.43	
1	6.77	-8.97
3	6.57	-11.66
5	6.97	-6.28

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se muestra cómo se da la variación del potencial de hidrógeno en el agua en la que, a pesar de una tendencia negativa, esta variación no es considerable, especialmente desde el punto de vista técnico.

**Figura 8.**

Variación del pH de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.



Fuente: Elaboración propia.

El último parámetro físico considerado, fue la conductividad eléctrica, la cual es un indicador de la salinidad del agua, pues son estos elementos quienes dan la factibilidad de conducir la electricidad en el agua. En este contexto, se ha podido establecer que la aplicación del tratamiento con biodiscos disminuye su composición hasta en 37 %.

### Conductividad eléctrica

De acuerdo a lo establecido por Delgado (2019) menciona que la cantidad máxima para ser considerada como un agua de riego es de 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , cuyo valor no es superado en ninguno de los ensayos realizados, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 8.**

Conductividad eléctrica de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

Velocidad de rotación (RPM)	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Variación (%)
Sin tratamiento	288.09	
1	239.11	-17.00
3	181.50	-37.00
5	263.03	-8.70

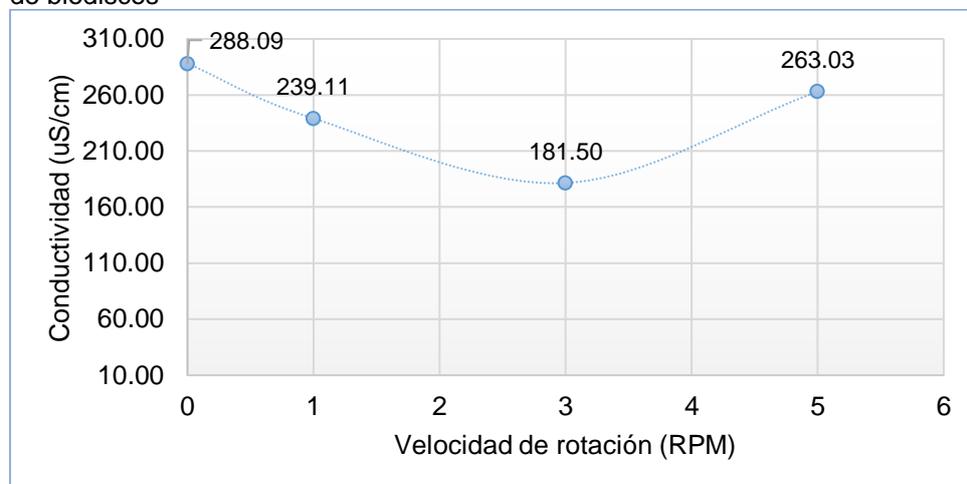
Fuente: Elaboración propia.

La esquematización del comportamiento analizado en la tabla anterior se muestra en la Tabla 8, donde se muestra el comportamiento de esta propiedad a medida que se modifica la cantidad de revoluciones del sistema de biodiscos. Donde se puede

denotar la disminución del contenido de sales y por ende la conductividad eléctrica cuando las revoluciones del sistema son de 3 RPM.

**Figura 9.**

Variación de la conductividad eléctrica de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. Variación de los parámetros químicos de aguas grises con el sistema de biodiscos

Los componentes químicos del agua es una gran gama de parámetros establecidos en las normativas vigentes; sin embargo, en el desarrollo de esta investigación solo se han considerado los más esenciales, los cuales se describen a continuación.

##### Cantidad de sulfatos

La cantidad de los sulfatos en el agua es un aspecto de suma importancia, especialmente si se considera para el riego o consumo humano. La cantidad de su concentración también es un indicador para su uso como material componente del concreto. En tal sentido, y según se muestra en la Tabla 9, los valores de este componente disminuyen a medida que se incrementa la cantidad de revoluciones hasta un valor de 3 RPM.

**Tabla 9.**

Cantidad de sulfatos de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos

Velocidad de rotación (RPM)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	Variación (%)
Sin tratamiento	75.82	
1	62.86	-17.10
3	52.83	-30.32
5	74.20	-2.13

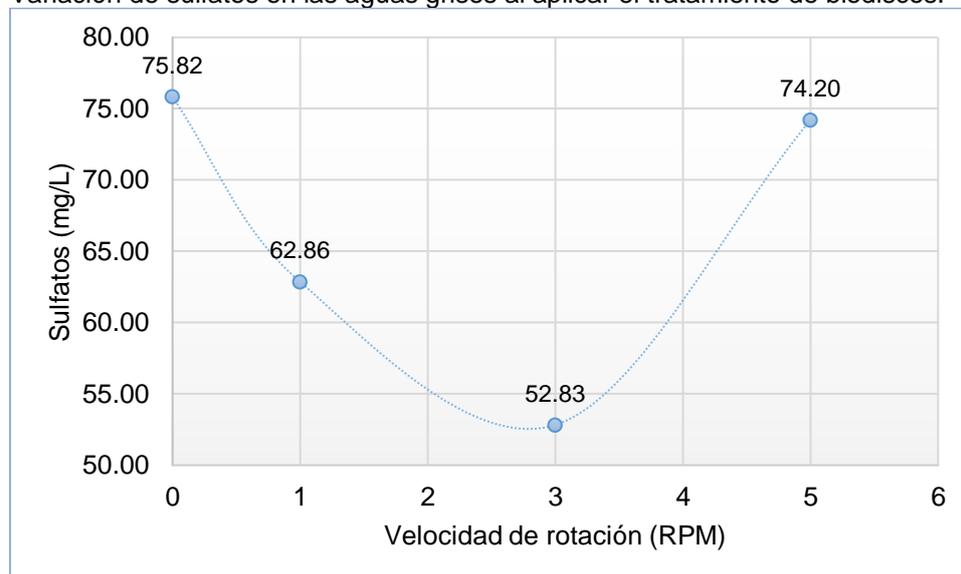
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 se muestra de manera esquemática el comportamiento de esta propiedad, los valores obtenidos en laboratorio muestran una reducción del valor de la concentración hasta una revolución de 3 RPM, después de ello la eficiencia del sistema disminuye.

Otro aspecto importante es que, según las normativas vigentes, la cantidad de sulfatos permisible en el agua para concreto, debe estar en un rango de concentración leve (0 – 1000 mg/L).

**Figura 10.**

Variación de sulfatos en las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.



Fuente: Elaboración propia.

### **Cantidad de cloruros**

Los cloruros es otro componente importante en el agua, pues es un elemento que puede formar sales como el cloruro de sodio, sin embargo, en concentraciones elevadas pueden ser perjudiciales para la salud o hasta estructuras de concreto. Es por esto que su control

fue importante, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10.**

Cantidad de cloruros de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

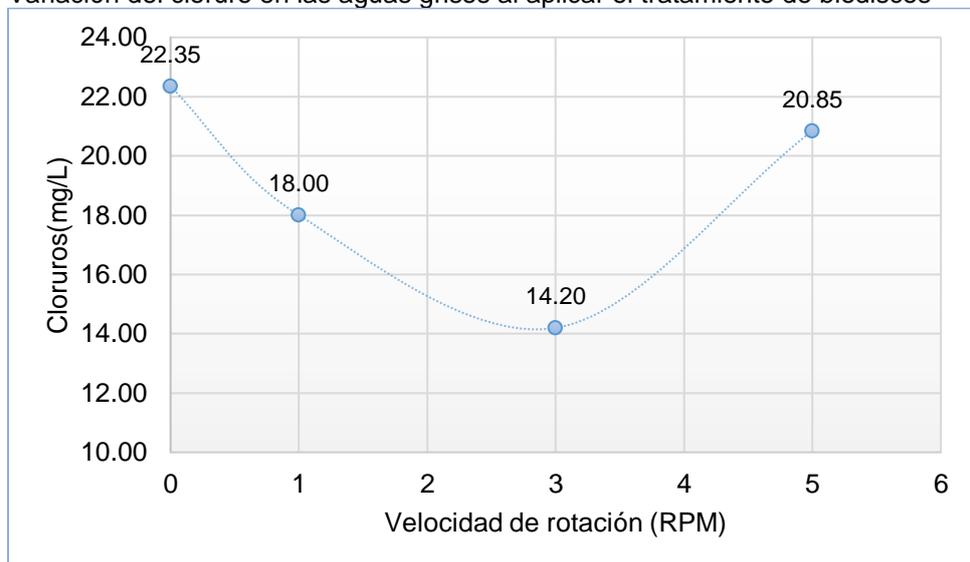
Velocidad de rotación (RPM)	Cloruros (mg/L)	Variación (%)
Sin tratamiento	22.35	
1	18.00	-19.43
3	14.20	-36.46
5	20.85	-6.68

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11 se muestra la variación esquemática de este parámetro del agua. Los principales puntos a resaltar es que el agua tratada no afecta el comportamiento del concreto, pues la concentración es leve; sin embargo, si se desea su aplicación como elementos para consumo humano, no es factible debido a las elevadas cantidades del cloruro.

**Figura 11.**

Variación del cloruro en las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos



Fuente: Elaboración propia.

### **Dureza total**

La dureza del agua es un indicador importante para determinar la cantidad de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) presente, por lo que en concentraciones inferiores a 60 ppm es considerada como agua blanda; mientras que valores superiores a 270 ppm, son catalogadas como aguas duras.

En tal contexto, los resultados de la Tabla 11 muestran valores dentro del rango de dureza normal, lográndose una disminución de 38.46 % respecto al agua sin tratamiento, cuando las revoluciones del biodiscos son de 3 RPM.

**Tabla 11.**

Dureza total de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

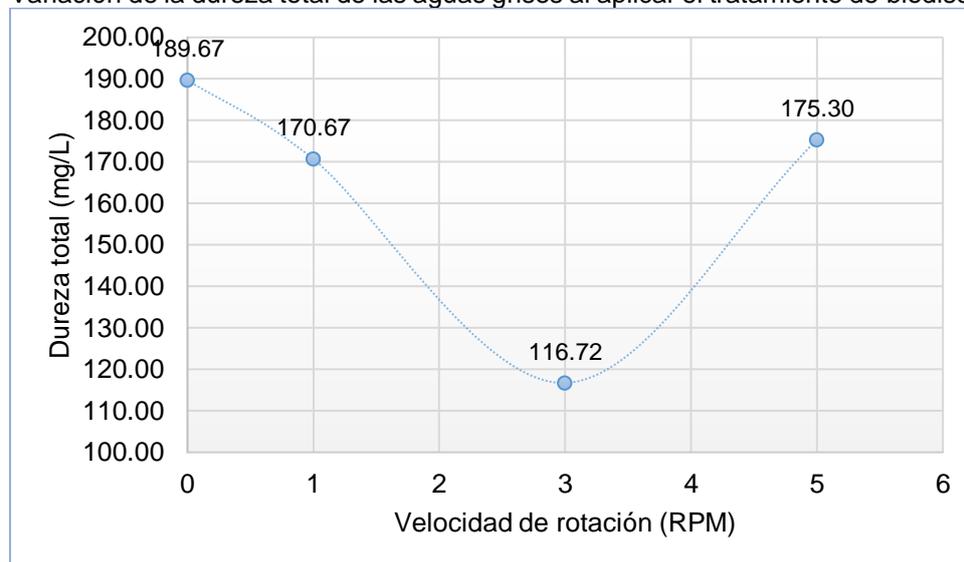
Velocidad de rotación (RPM)	Dureza total (mg/L)	Variación (%)
Sin tratamiento	189.67	
1	170.67	-10.02
3	116.72	-38.46
5	175.30	-7.58

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 se muestra cómo se da esta variación de la dureza de acuerdo a las revoluciones del sistema de biodiscos en el agua; denotando una eficiencia de remoción cuando las revoluciones son de 3 RPM.

**Figura 12.**

Variación de la dureza total de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos



Fuente: Elaboración propia.

### **Alcalinidad del agua gris**

La alcalinidad es la capacidad que tiene el agua para neutralizar los ácidos, por lo que es un indicativo de cuanto ácido es capaz de absorber el agua sin que el pH se modifique. La importancia de este elemento en el agua es ideal para establecer el proceso de su tratamiento, por lo que normativas internacionales mencionan que una

concentración ideal para el consumo humano es de 100 a 200 ppm. En este sentido, se ha podido establecer que los valores pueden presentar hasta una variación del 26.36 % respecto al agua sin tratamiento, esto perjudicaría la calidad del agua si se considera para consumo.

**Tabla 12.**

Alcalinidad de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

Velocidad de rotación (RPM)	Alcalinidad (mg/L)	Variación (%)
Sin tratamiento	18.33	
1	14.67	-20.00
3	13.50	-26.36
5	17.33	-5.45

Fuente: Elaboración propia.

### **Sólidos disueltos**

Los sólidos disueltos son uno de los parámetros para determinar la cantidad de elementos que quedaron disueltos en el agua y que solo pueden ser obtenidos tras una filtración de este material por una abertura de 1.5 micras y posteriormente evaporado a una temperatura de 180 °C.

Las normativas internacionales muestran que valores comprendidos entre 0 – 300 es una proporción excelente. En este sentido, los resultados que se muestran en la Tabla 13 dan a conocer una disminución de la concentración de los materiales disueltos de 152.22 ppm a 89.06 ppm, lo cual se encuentra dentro del rango recomendado.

**Tabla 13.**

Sólidos disueltos de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

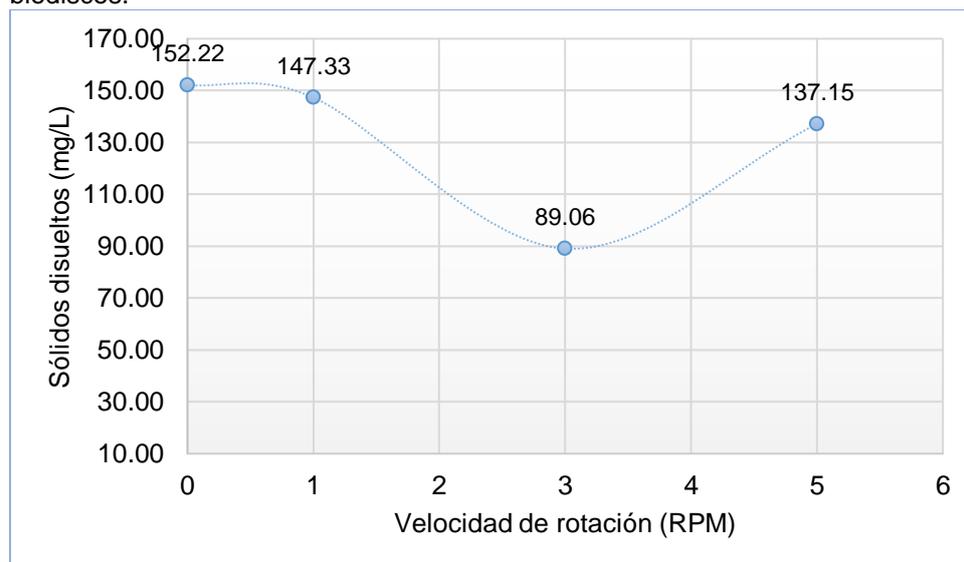
Velocidad de rotación (RPM)	Sólidos disueltos (mg/L)	Variación (%)
Sin tratamiento	152.22	
1	147.33	-3.21
3	89.06	-41.49
5	137.15	-9.90

Fuente: Elaboración propia.

La esquematización de estos parámetros físicos del agua se muestra en la Figura 13, donde se observa que la mayor disminución se da cuando el sistema de biodiscos es de 3 RPM.

**Figura 13.**

Variación de los sólidos disueltos de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.



Fuente: Elaboración propia.

### **Sólidos totales suspendidos**

La cantidad de sólidos totales suspendidos en el agua se puede asociar a la turbidez del agua, por lo que está muy relacionado a la calidad del agua especialmente cuando se da el tratamiento del agua.

Los resultados obtenidos para esta propiedad se muestran en la Tabla 14, donde se puede observar una disminución de hasta el 33.23 % respecto al agua con las características iniciales.

**Tabla 14.**

Sólidos totales suspendidos de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

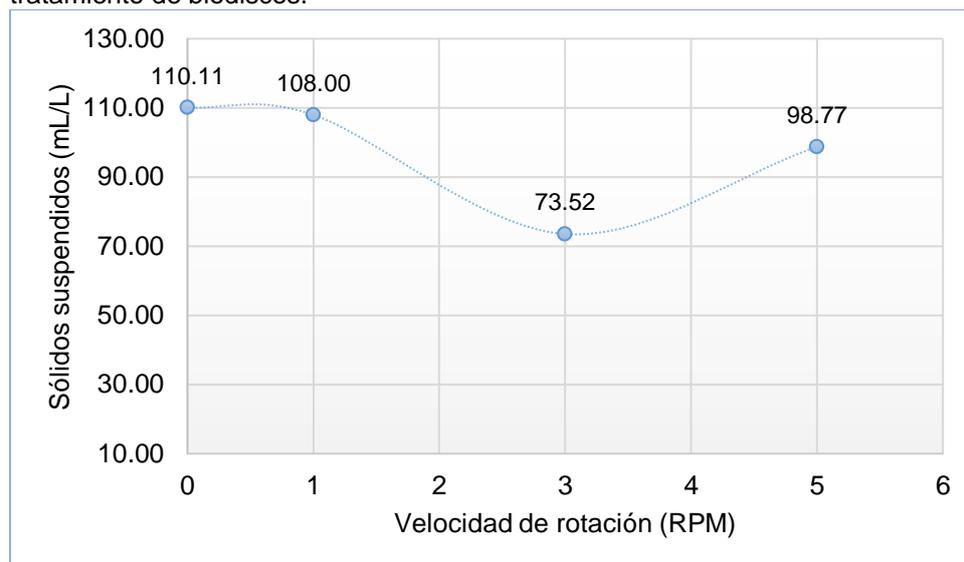
Velocidad de rotación (RPM)	Sólidos totales suspendidos (mL/L)	Variación (%)
Sin tratamiento	110.11	
1	108.00	-1.91
3	73.52	-33.23
5	98.77	-10.30

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14, se muestra cómo se da la variación de este parámetro en el agua, donde se puede visualizar que la mayor eficiencia de remoción se da cuando el sistema de biodiscos tiene una frecuencia de revoluciones de 3 RPM.

**Figura 14.**

Variación de los sólidos totales suspendidos de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.



Fuente: Elaboración propia.

### Sólidos totales

El siguiente parámetro analizado hace referencia a la cantidad de material sólido que queda después de la evaporación del agua en laboratorio, la importancia de la determinación de este parámetro está referida a que mediante su desarrollo puede determinarse la cantidad de elementos contaminantes en el agua, desde elementos fecales hasta sales y minerales.

Los resultados muestran una variación de hasta -46.06 % respecto al agua no tratada, logrando de esta manera disminuir su cantidad a medida que se incrementa la cantidad de revoluciones del sistema de biodiscos.

**Tabla 15.**

Sólidos totales de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

Velocidad de rotación (RPM)	Sólidos totales (mg/L)	Variación (%)
Sin tratamiento	250.98	
1	247.00	-1.59
3	135.37	-46.06
5	223.63	-10.90

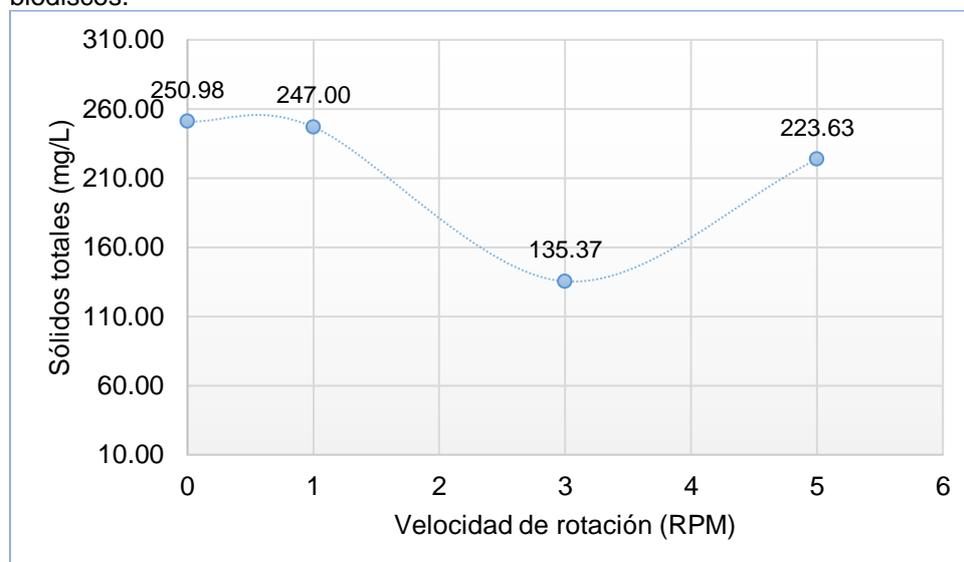
Fuente: Elaboración propia.

La esquematización de la variación de este parámetro se muestra en la Figura 15 donde se observa que la mayor reducción de la

concentración de este material se da cuando las revoluciones del sistema de biodiscos es de 3 RPM.

**Figura 15.**

Variación de los sólidos totales de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.



Fuentes: Elaboración propia.

### Óxido de magnesio

El óxido de magnesio es un elemento inorgánico que tiene la facilidad de mezclarse de manera rápida con el agua y así formar el hidróxido de magnesio. Los resultados obtenidos respecto a este parámetro muestran cómo se da la variación de hasta 32.62 % respecto al agua sin tratamiento.

**Tabla 16.**

Óxido de magnesio de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

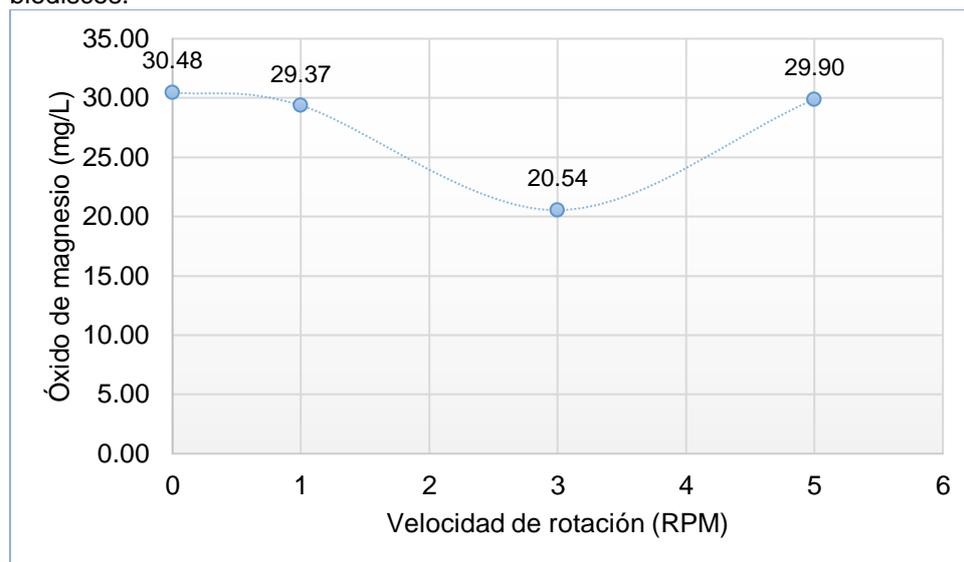
Velocidad de rotación (RPM)	Óxido de magnesio (mg/L)	Variación (%)
Sin tratamiento	30.48	
1	29.37	-3.66
3	20.54	-32.62
5	29.9	-1.91

Fuente: Elaboración propia.

Para un mejor entendimiento de la variación del óxido de magnesio, se ha desarrollado la Figura 16, en la cual se muestra la variación de la concentración de este parámetro cuando se modifican las velocidades del tratamiento del sistema de biodiscos.

**Figura 16.**

Variación del óxido de magnesio de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.



Fuente: Elaboración propia.

### **Oxígeno disuelto**

La otra propiedad importante al analizar el tratamiento de las aguas residuales es el Oxígeno disuelto, el cual se puede comprender como la cantidad de "Oxígeno disuelto" en el agua, el cual es un punto importante para la mayoría del organismo acuático. En este sentido los resultados obtenidos muestran que la cantidad de oxígeno disuelto solo posee una disminución de 11.28 %, sin embargo, como se describe en Tabla 17, dicha cantidad es aceptable solo para temperaturas de hasta 31 °C.

**Tabla 17.**

Oxígeno disuelto de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

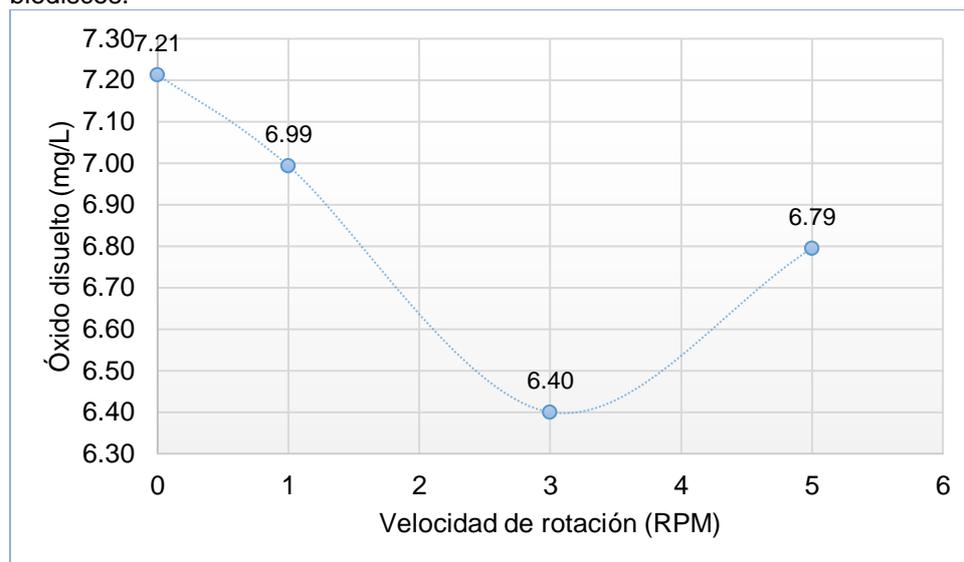
Velocidad de rotación (RPM)	Óxido disuelto (mg/L)	Variación (%)
Sin tratamiento	7.21	
1	6.99	-3.05
3	6.40	-11.28
5	6.79	-5.80

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 se muestra cómo se da el comportamiento de este parámetro en el agua, demostrándose que se logra una disminución de hasta 6.40 ppm.

**Figura 17.**

Variación del óxido disuelto de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.



Fuente: Elaboración propia.

### **Aceites y grasas**

Los acetites y grasa son parámetros que se ha considerado para el desarrollo de la investigación, pues es un indicador importante para establecer la calidad del agua. Las normativas vigentes señalan que su concentración máxima es de 20 mg/L.

En este sentido, los resultados muestran que el agua sin tratamiento no cumple con lo recomendado, sin embargo, cuando se aplica el tratamiento con sistemas de biodiscos este disminuye.

**Tabla 18.**

Aceites y grasas de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

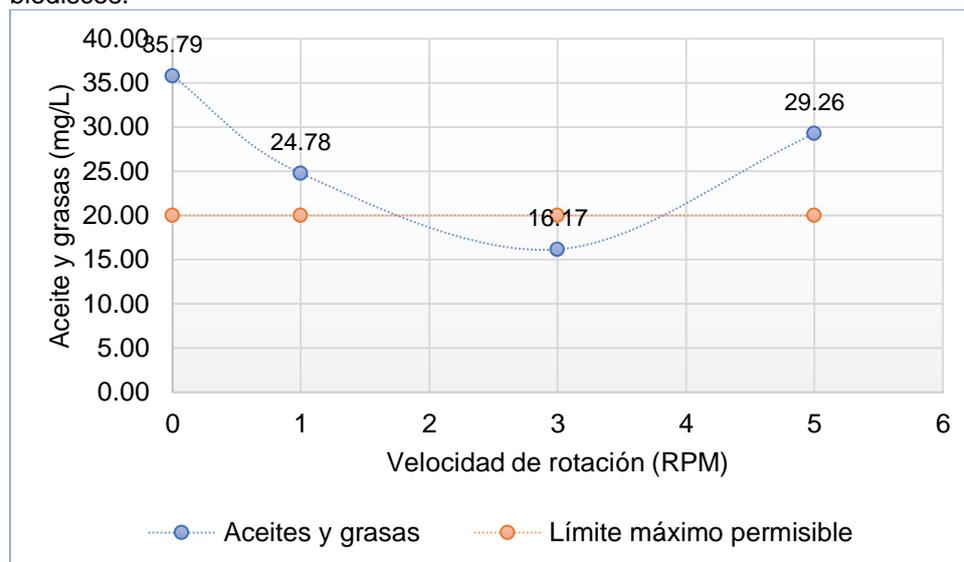
Velocidad de rotación (RPM)	Aceite y grasas (mg/L)	Variación (%)
Sin tratamiento	35.79	
1	24.78	-30.76
3	16.17	-54.81
5	29.26	-18.23

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 18 se muestra el valor límite que la norma establece, denotándose que solo se sustenta con una revolución de 3 RPM.

**Figura 18.**

Variación de los aceites y grasas de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.



Fuente: Elaboración propia.

### **Demanda bioquímica de oxígeno**

Otro parámetro importante analizado fue la demanda bioquímica de oxígeno, la cual es un indicador de la calidad del efluente del agua, pues muestra la cantidad de oxígeno necesario para que elementos como bacterias y algas necesitan para degradar los elementos contaminantes, por lo que, a mayor cantidad de elementos contaminantes, mayor es el valor de DBO.

Según los resultados obtenidos de laboratorio se ha podido observar que este parámetro es mayor a lo recomendado, pues supera el valor de 100 mg/L, sin embargo, a medida que se incrementa la cantidad de revoluciones del sistema de biodiscos, este puede reducirse hasta en 71.10 %, alcanzando un valor de 40.87 mg/L.

**Tabla 19.**

Demanda bioquímica de oxígeno de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

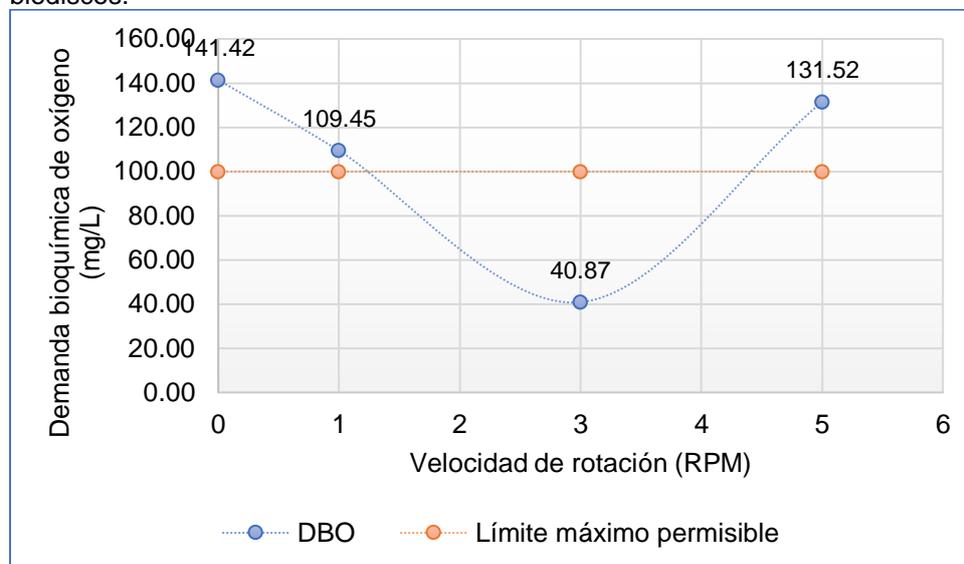
Velocidad de rotación (RPM)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	Variación (%)
Sin tratamiento	141.42	
1	109.45	-22.60
3	40.87	-71.10
5	131.52	-7.00

Fuente: Elaboración propio.

La variación de los valores obtenidos de este parámetro se puede denotar de mejor manera en la Figura 19, donde se observa que el sistema más eficiente es el de 3 RPM.

**Figura 19.**

Demanda bioquímica de oxígeno de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.



Fuente: Elaboración propia.

### **Demanda química de oxígeno**

La demanda química de oxígeno, representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica y poder convertirla en dióxido de carbono y agua.

Los resultados obtenidos muestran que, al igual que el DBO, su valor se reduce de 282.84 mg/L a 81.74 mg/L, pero cuando el sistema de biodiscos presenta una rotación de 3 RPM, sin embargo, cuando este se incrementa a 5 RPM la eficiencia de remoción disminuye, tal como se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 20.**

Demanda química oxígeno de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

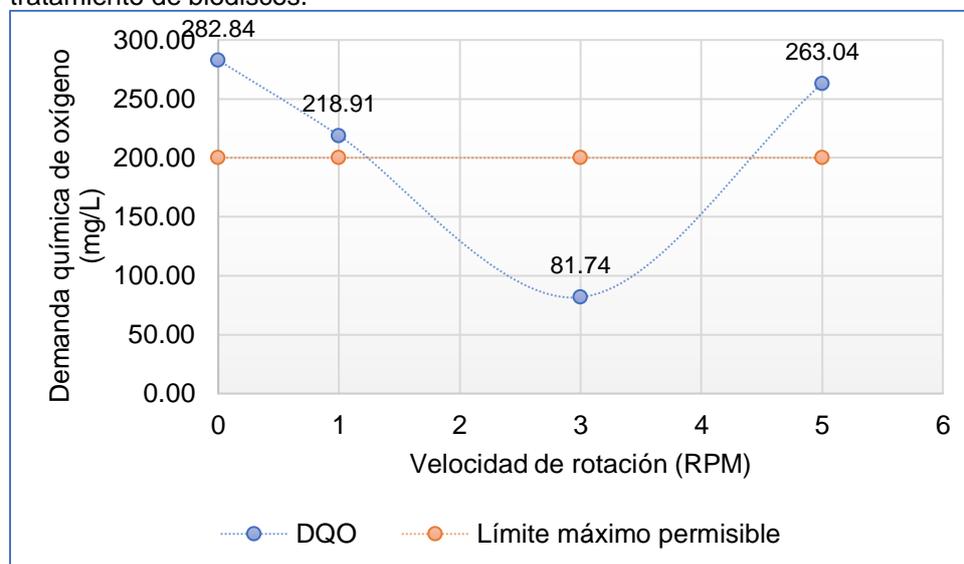
Velocidad de rotación (RPM)	Demanda química de oxígeno (mg/L)	Variación (%)
Sin tratamiento	282.84	
1	218.91	-22.60
3	81.74	-71.10
5	263.04	-7.00

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 20 se muestra cómo se da la variación de este parámetro químico, el cual presenta un comportamiento similar al DBO, esto debido a que ambos parámetros se encuentran relacionados.

**Figura 20.**

Variación de la demanda química de oxígeno de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3. Variación de los parámetros biológicos de las aguas grises con el sistema de biodiscos

##### Materia orgánica

Para la determinación de los parámetros biológicos se ha considerado el estudio de la cantidad de materia orgánica y los coliformes termotolerantes. El primer aspecto analizado fue la materia orgánica, en la que según la Tabla 21 se puede observar variaciones al modificar la cantidad de revoluciones del sistema de biodiscos, siendo el más eficiente el de 3 RPM, después de ello esta eficiencia disminuye.

**Tabla 21.**

Materia orgánica de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

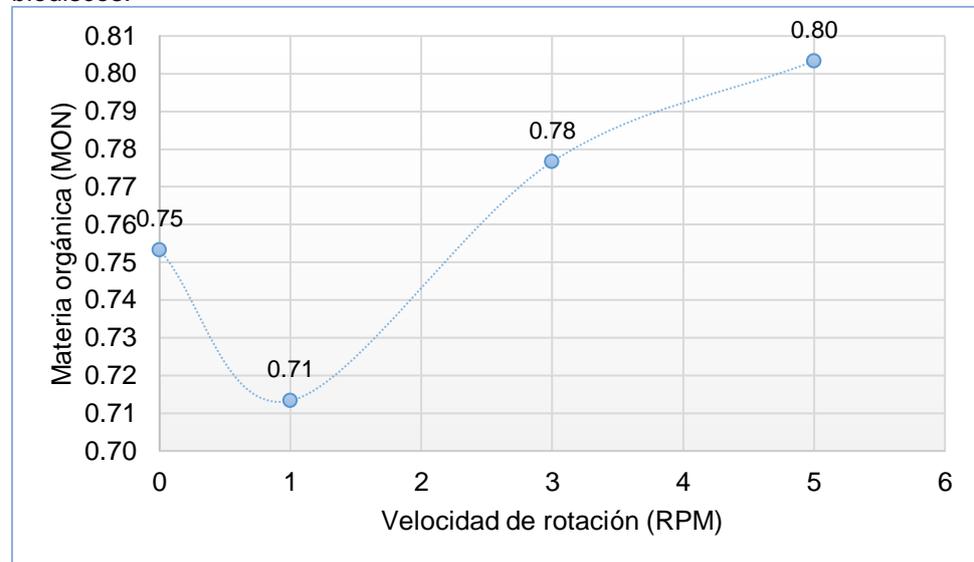
Velocidad de rotación (RPM)	Materia orgánica (MON)	Variación (%)
Sin tratamiento	0.75	
1	0.71	-5.31
3	0.78	3.10
5	0.80	6.64

Fuente: Elaboración propia.

La particularidad de este parámetro es que después de que el sistema incrementa su velocidad de tratamiento a 3 RPM, su valor se incrementa hasta alcanzar un valor 0.80 con una velocidad de 5 RPM, tal como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 21.**

Variación de la materia orgánica de las aguas grises al aplicar el tratamiento de biodiscos.



Fuente: Elaboración propia.

### **Coliformes termotolerantes**

Otro aspecto determinado fue la cantidad de coliformes termotolerantes presente en el agua, el cual como se muestra en la Tabla 22 su concentración fue nula, esto debido a que el agua recolectada no consideró el sistema de desagüe principal, solo el secundario, que consta de duchas, lavavajillas y lavabos.

**Tabla 22.**

Coliformes termotolerantes de las aguas grises, después del tratamiento con biodiscos.

Velocidad de rotación (RPM)	Coliformes termotolerantes	Variación (%)
Sin tratamiento	0.00	
1	0.00	0.00
3	0.00	0.00
5	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.4. Efecto de la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la calidad del tratamiento de aguas grises

Para denotar con mayor notoriedad la variación de los parámetros físicos, químicos y biológicos del uso de los biodiscos se muestra a continuación una tabla de comparación, donde se puede distinguir con claridad la variación de los parámetros con el sistema de biodisco con rotaciones de 1, 3 y 5 RPM.

**Tabla 23.**

Comparación de parámetros del agua con diferentes periodos de rotación.

Parámetro	Unidad	Rotación de biodiscos					
		Muestra patrón	1 RPM	3 RPM	5 RPM	LMP	ECA *
Sulfatos	mg/L	75.82	62.86	52.83	74.20	-	1000
Cloruros	mg/L	22.35	18.00	14.20	20.85	-	-
Dureza total	mg/L	189.67	170.67	116.72	175.30	-	-
Alcalinidad	mg/L	18.33	14.67	13.50	17.33	-	-
Conductividad	uS/cm	288.09	239.11	181.50	263.03	-	2500
Sólidos disueltos	mg/L	152.22	147.33	89.06	137.15	-	-
Sólidos totales suspendidos	mL/L	110.11	108.00	73.52	98.77	150	-
Sólidos totales	mg/L	250.98	247.00	135.37	223.63	-	-
pH	Unidad de pH	7.43	6.77	6.57	6.97	6.5-8.5	6.5-8.5
óxido de magnesio	mg/L	30.48	29.37	20.54	29.90	-	-
oxígeno disuelto	mg/L	7.21	6.99	6.40	6.79	-	≥4
Materia orgánica	MON	0.75	0.71	0.78	0.80	-	-
Aceites y grasas	mg/L	35.79	24.78	16.17	29.26	20	5
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	0.00	0.00	0.00	0.00	10000	1000
DBO	mg/L	141.42	109.45	40.87	131.52	100	15
DQO	mg/L	282.84	218.91	81.74	263.04	200	40
T°	°C	21.17	20.78	18.97	20.10	<35	Δ3

\*Riego de vegetales para agua de riego no restringido

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos en laboratorio fueron comparados con las principales normas establecidas por el Ministerio del Ambiente (DS N°003-2010-MINAM “Límites máximos permisibles” y DS N°004-2017-MINAM “Estándares de calidad ambiental para agua”); en ellas se denota que los valores obtenidos, especialmente para el sistema con 3 RPM, cumplen de manera adecuada con los límites máximos permisibles para efluentes de PTAR, mientras que al comparar con lo establecido en las ECA’s, para un uso de agua que fuese usado en

riego de vegetales con uso no restringido, solo se cumple de manera parcial; sin embargo se debe tener en cuenta que la cantidad de coliformes son menores a los límites establecidos, lo cual puede dar factibilidad para su uso en limpieza u otros actividades similares.

#### 4.2. Contrastación de hipótesis

Para la determinación de la contrastación de la hipótesis fue necesario la realización de las pruebas de normalidad, con el fin de establecer el estadístico óptimo para establecer la hipótesis correcta.

Para la prueba de normalidad se ha considerado el estadístico desarrollado por Shapiro – Wilk, debido a que la cantidad de datos analizados por cada grupo fue menor a 50.

##### 4.2.1. Prueba de normalidad de los datos

La prueba de Shapiro – Wilk comprende la hipótesis de que si la significancia determinada es mayor a 0.05, entonces los datos poseen una distribución normal.

En tal contexto, se puede observar que según los datos analizados y que se muestran en la Tabla 24, la significancia obtenida en todos los parámetros determinados es mayor a 0.05; por lo que se establece que todas las muestras obtenidos en laboratorio presentan una distribución normal.

**Tabla 24.**  
Análisis de la normalidad de los datos obtenidos en laboratorio.

Revoluciones		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Sulfatos	SIN TRATAMIENTO	0.78	3	0.067
	1 RPM	0.903	3	0.394
	3 RPM	0.925	3	0.472
	5 RPM	0.979	3	0.724
Cloruros	SIN TRATAMIENTO	0.998	3	0.912
	1 RPM	0.982	3	0.742
	3 RPM	0.762	3	0.026
	5 RPM	0.995	3	0.867
Dureza_total	SIN TRATAMIENTO	0.987	3	0.78
	1 RPM	0.964	3	0.637
	3 RPM	0.869	3	0.293
	5 RPM	0.93	3	0.488

Continuación de la Tabla 24.

Revoluciones		Estadístico	gl	Sig.
Alcalinidad	SIN TRATAMIENTO	0.75	3	0
	1 RPM	0.75	3	0
	3 RPM	0.893	3	0.363
	5 RPM	0.964	3	0.637
Conductividad	SIN TRATAMIENTO	0.938	3	0.52
	1 RPM	0.938	3	0.52
	3 RPM	0.938	3	0.52
	5 RPM	0.938	3	0.52
Sólidos disueltos	SIN TRATAMIENTO	0.934	3	0.505
	1 RPM	0.964	3	0.637
	3 RPM	0.892	3	0.361
	5 RPM	0.934	3	0.505
Sólidos suspendidos	SIN TRATAMIENTO	0.983	3	0.75
	1 RPM	0.942	3	0.537
	3 RPM	0.94	3	0.526
	5 RPM	0.983	3	0.75
Sólidos totales	SIN TRATAMIENTO	0.869	3	0.294
	1 RPM	1	3	1
	3 RPM	0.914	3	0.433
	5 RPM	0.869	3	0.294
pH	SIN TRATAMIENTO	0.958	3	0.605
	1 RPM	0.987	3	0.78
	3 RPM	0.75	3	0
	5 RPM	0.923	3	0.463
Óxido de magnesio	SIN TRATAMIENTO	0.986	3	0.776
	1 RPM	0.75	3	0
	3 RPM	0.966	3	0.646
	5 RPM	1	3	1
Oxígeno disuelto	SIN TRATAMIENTO	0.986	3	0.777
	1 RPM	0.987	3	0.78
	3 RPM	0.976	3	0.702
	5 RPM	0.986	3	0.777
Materia orgánica	SIN TRATAMIENTO	0.994	3	0.852
	1 RPM	0.871	3	0.298
	3 RPM	0.923	3	0.463
	5 RPM	0.937	3	0.516
Aceites y grasas	SIN TRATAMIENTO	0.769	3	0.044
	1 RPM	0.999	3	0.934
	3 RPM	0.993	3	0.834
	5 RPM	0.916	3	0.44
DBO	SIN TRATAMIENTO	0.866	3	0.285
	1 RPM	0.899	3	0.381
	3 RPM	0.866	3	0.285
	5 RPM	0.866	3	0.285
DQO	SIN TRATAMIENTO	0.866	3	0.285
	1 RPM	0.899	3	0.381
	3 RPM	0.866	3	0.285
	5 RPM	0.866	3	0.285
Temperatura	SIN TRATAMIENTO	0.964	3	0.637
	1 RPM	0.999	3	0.956
	3 RPM	0.832	3	0.194
	5 RPM	1	3	1

Fuente: Elaboración propia.

En concordancia a lo descrito anteriormente, se ha podido establecer que para la prueba de hipótesis se podrá escoger entre los estadísticos paramétricos, por lo que se considerará el análisis ANOVA de un solo factor.

### Pruebas de hipótesis a

La hipótesis específica “a” consta de los siguientes enunciados:

H<sub>a0</sub>: La mayor frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos disminuye la concentración de los parámetros físicos de aguas grises.

H<sub>a1</sub>: La mayor frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos disminuye la concentración de los parámetros físicos de aguas grises.

Para determinar la demostración de la existencia de variación entre la velocidad de rotación del sistema de biodiscos, fue necesario aplicar el estadístico ANOVA de un solo factor mediante el uso del programa SPSS; los cuales se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 25.**

Análisis ANOVA de los parámetros físicos del agua gris tratada con biodiscos.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Temperatura	Entre grupos	8.382	3	2.794	8.888	.006
	Dentro de grupos	2.515	8	.314		
	Total	10.897	11			
pH	Entre grupos	1.240	3	.413	1.195	.372
	Dentro de grupos	2.767	8	.346		
	Total	4.007	11			
Conductividad	Entre grupos	18695.665	3	6231.888	115.573	.000
	Dentro de grupos	431.374	8	53.922		
	Total	19127.039	11			

Los datos mostrados en la anterior tabla muestran que las significancias de los parámetros físicos son variables, pues a temperatura y la conductividad son menores a 0.05, por lo que presentan una variación significativa; mientras que el potencial de hidrógeno, posee una significancia mayor a 0.05, por lo que no existe una variación significativa en este parámetro. En tal sentido, se acepta

parcialmente la hipótesis alterna, pues como se ha descrito no todos los parámetros físicos presentan variaciones significativas.

Complementario al análisis anterior se ha realizado la prueba post hoc de Tukey en la que se puede obtener la significancia entre los grupos analizados, los cuales se muestran en la ..., donde se observa que para la temperatura solo tratamiento con biodiscos a una revolución de 3 RPM. Respecto al potencial de hidrógeno, ninguno de los grupos presentó variación significativa, mientras que, en la conductividad, solo el tratamiento de 5 RPM no presentó variación significativa.

**Tabla 26.**

Análisis post hoc de los parámetros físicos.

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Temperatura	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	.383	.458	.836	-1.083	1.849
		3 RPM	2.200	.458	.006	.734	3.666
		5 RPM	1.067	.458	.170	-.399	2.533
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-.383	.458	.836	-1.849	1.083
		3 RPM	1.817	.458	.017	.351	3.283
		5 RPM	.683	.458	.484	-.783	2.149
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-2.200	.458	.006	-3.666	-.734
		1 RPM	-1.817	.458	.017	-3.283	-.351
		5 RPM	-1.133	.458	.139	-2.599	.333
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-1.067	.458	.170	-2.533	.399
		1 RPM	-.683	.458	.484	-2.149	.783
		3 RPM	1.133	.458	.139	-.333	2.599
pH	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	.667	.480	.539	-.871	2.204
		3 RPM	.867	.480	.338	-.671	2.404
		5 RPM	.467	.480	.769	-1.071	2.004
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-.667	.480	.539	-2.204	.871
3 RPM		.200	.480	.974	-1.338	1.738	

		5 RPM		-.200	.480	.974	-1.738	1.338
		SIN TRATAMIENTO		-.867	.480	.338	-2.404	.671
	3 RPM	1 RPM		-.200	.480	.974	-1.738	1.338
		5 RPM		-.400	.480	.838	-1.938	1.138
		SIN TRATAMIENTO		-.467	.480	.769	-2.004	1.071
	5 RPM	1 RPM		.200	.480	.974	-1.338	1.738
		3 RPM		.400	.480	.838	-1.138	1.938
		1 RPM		48.975	5.996	.000	29.775	68.175
	SIN TRATAMIENTO	3 RPM		106.593	5.996	.000	87.393	125.793
		5 RPM		25.064	5.996	.013	5.864	44.264
		SIN TRATAMIENTO		-48.975	5.996	.000	-68.175	-29.775
	1 RPM	3 RPM		57.618	5.996	.000	38.418	76.818
		5 RPM		-23.911	5.996	.017	-43.112	-4.711
		SIN TRATAMIENTO		-106.593	5.996	.000	-125.793	-87.393
	3 RPM	1 RPM		-57.618	5.996	.000	-76.818	-38.418
		5 RPM		-81.529	5.996	.000	-100.730	-62.329
		SIN TRATAMIENTO		-25.064	5.996	.013	-44.264	-5.864
	5 RPM	1 RPM		23.911	5.996	.017	4.711	43.112
		3 RPM		81.529	5.996	.000	62.329	100.730

Fuente: Elaboración propia.

### Hipótesis específica b

La prueba de hipótesis b considera los siguientes enunciados:

H<sub>b0</sub>: La mayor frecuencia rotación de un sistema de biodiscos no disminuye la concentración de los parámetros químicos de aguas grises.

H<sub>b1</sub>: La mayor frecuencia rotación de un sistema de biodiscos disminuye la concentración de los parámetros químicos de aguas grises.

Para probar la hipótesis se ha considerado el análisis ANOVA de un solo factor, los cuales se muestra en la Tabla 27; donde se muestra la significancia de todos los parámetros analizados. En tal sentido se puede observar que la significancia de los sólidos suspendidos y oxígeno disuelto son mayores a 0.05, por lo que en dicho análisis no existe una variación significativa, a diferencia del resto de parámetros analizados; por lo que se acepta la hipótesis alterna de manera parcial.

**Tabla 27.**  
Análisis ANOVA de los parámetros químicos.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Sulfatos	Entre grupos	1038.917	3	346.306	280.607	0
	Dentro de grupos	9.873	8	1.234		
	Total	1048.791	11			
Cloruros	Entre grupos	115.754	3	38.585	50.431	0
	Dentro de grupos	6.121	8	0.765		
	Total	121.875	11			
Dureza total	Entre grupos	9188.675	3	3062.892	172.697	0
	Dentro de grupos	141.885	8	17.736		
	Total	9330.56	11			
Alcalinidad	Entre grupos	45.729	3	15.243	12.836	0.002
	Dentro de grupos	9.5	8	1.188		
	Total	55.229	11			
Sólidos disueltos	Entre grupos	7539.68	3	2513.227	10.554	0.004
	Dentro de grupos	1904.982	8	238.123		
	Total	9444.662	11			

Continuación de la Tabla 27.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Sólidos suspendidos	Entre grupos	2537.066	3	845.689	1.299	0.34
	Dentro de grupos	5207.159	8	650.895		
	Total	7744.225	11			
Sólidos totales	Entre grupos	26193.96	3	8731.32	132.939	0
	Dentro de grupos	525.433	8	65.679		
	Total	26719.392	11			
Óxido de magnesio	Entre grupos	199.704	3	66.568	26.528	0
	Dentro de grupos	20.075	8	2.509		
	Total	219.779	11			
Oxígeno disuelto	Entre grupos	1.074	3	0.358	1.164	0.382
	Dentro de grupos	2.462	8	0.308		
	Total	3.536	11			
Aceites y grasas	Entre grupos	610.521	3	203.507	157.864	0
	Dentro de grupos	10.313	8	1.289		
	Total	620.834	11			
DBO	Entre grupos	18478.609	3	6159.536	179.376	0
	Dentro de grupos	274.709	8	34.339		
	Total	18753.319	11			
DQO	Entre grupos	73914.438	3	24638.146	179.376	0
	Dentro de grupos	1098.836	8	137.355		
	Total	75013.274	11			

Fuente: elaboración propia.

Debido a la presencia de parámetros cuya significancia fue inferior a 0.05, se ha realizado la prueba post hoc de Tuckey, en la cual se puede establecer una comparación entre todos los grupos involucrados y en cada parámetro analizado. En tal sentido, se puede destacar que el grupo con mayor incidencia en la modificación de los parámetros químicos fue el sistema de biodiscos con una revolución de 3 RPM, tal como se puede observar en la Tabla 28.

**Tabla 28.**

Prueba post hoc de los parámetros químicos.

Variable dependiente		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza		
					Límite inferior	Límite superior	
Sulfatos	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	12.96103	0.90706	0	10.0563	15.8657
		3 RPM	22.99083	0.90706	0	20.0861	25.8955
		5 RPM	1.61833	0.90706	0.346	-1.2864	4.523
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-12.96103	0.90706	0	-15.8657	-10.0563
		3 RPM	10.0298	0.90706	0	7.1251	12.9345
		5 RPM	-11.3427	0.90706	0	-14.2474	-8.438
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-22.99083	0.90706	0	-25.8955	-20.0861
		1 RPM	-10.0298	0.90706	0	-12.9345	-7.1251
		5 RPM	-21.3725	0.90706	0	-24.2772	-18.4678
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-1.61833	0.90706	0.346	-4.523	1.2864
		1 RPM	11.03427	0.90706	0	8.438	14.2474
		3 RPM	21.3725	0.90706	0	18.4678	24.2772
Cloruros	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	4.34257	0.71419	0.001	2.0555	6.6297
		3 RPM	8.14735	0.71419	0	5.8603	10.4344
		5 RPM	1.49325	0.71419	0.235	-0.7938	3.7803
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-4.34257	0.71419	0.001	-6.6297	-2.0555
		3 RPM	3.80477	0.71419	0.003	1.5177	6.0919
		5 RPM	-2.84932	0.71419	0.017	-5.1364	-0.5622
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-8.14735	0.71419	0	-10.4344	-5.8603
		1 RPM	-3.80477	0.71419	0.003	-6.0919	-1.5177
		5 RPM	-6.65409	0.71419	0	-8.9412	-4.367
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-1.49325	0.71419	0.235	-3.7803	0.7938
		1 RPM	2.84932	0.71419	0.017	0.5622	5.1364
		3 RPM	6.65409	0.71419	0	4.367	8.9412

Fuente: Elaboración propia.

Continuación de la **Tabla 28**.

Variable dependiente		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza		
					Límite inferior	Límite superior	
Dureza total	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	19	3.43856	0.002	7.9885	30.0115
		3 RPM	72.946	3.43856	0	61.9345	83.9575
		5 RPM	14.368	3.43856	0.013	3.3565	25.3795
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-19	3.43856	0.002	-30.0115	-7.9885
		3 RPM	53.946	3.43856	0	42.9345	64.9575
		5 RPM	-4.632	3.43856	0.562	-15.6435	6.3795
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-72.946	3.43856	0	-83.9575	-61.9345
		1 RPM	-53.946	3.43856	0	-64.9575	-42.9345
		5 RPM	-58.578	3.43856	0	-69.5895	-47.5665
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-14.368	3.43856	0.013	-25.3795	-3.3565
		1 RPM	4.632	3.43856	0.562	-6.3795	15.6435
		3 RPM	58.578	3.43856	0	47.5665	69.5895
Alcalinidad	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	3.66667	0.88976	0.014	0.8174	6.516
		3 RPM	4.83333	0.88976	0.003	1.984	7.6826
		5 RPM	1	0.88976	0.686	-1.8493	3.8493
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-3.66667	0.88976	0.014	-6.516	-0.8174
		3 RPM	1.16667	0.88976	0.582	-1.6826	4.016
		5 RPM	-2.66667	0.88976	0.067	-5.516	0.1826
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-4.83333	0.88976	0.003	-7.6826	-1.984
		1 RPM	-1.16667	0.88976	0.582	-4.016	1.6826
		5 RPM	-3.83333	0.88976	0.011	-6.6826	-0.984
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-1	0.88976	0.686	-3.8493	1.8493
		1 RPM	2.66667	0.88976	0.067	-0.1826	5.516
		3 RPM	3.83333	0.88976	0.011	0.984	6.6826

Fuente: Elaboración propia.

Continuación de la **Tabla 28.**

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Sólidos disueltos	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	4.88333	12.59954	0.979	-35.4648	45.2315
		3 RPM	63.16047	12.59954	0.005	22.8123	103.5086
		5 RPM	15.06945	12.59954	0.646	-25.2787	55.4176
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-4.88333	12.59954	0.979	-45.2315	35.4648
		3 RPM	58.27713	12.59954	0.007	17.929	98.6253
		5 RPM	10.18612	12.59954	0.849	-30.1621	50.5343
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-63.16047	12.59954	0.005	-103.5086	-22.8123
		1 RPM	-58.27713	12.59954	0.007	-98.6253	-17.929
		5 RPM	-48.09102	12.59954	0.021	-88.4392	-7.7428
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-15.06945	12.59954	0.646	-55.4176	25.2787
		1 RPM	-10.18612	12.59954	0.849	-50.5343	30.1621
		3 RPM	48.09102	12.59954	0.021	7.7428	88.4392
Sólidos suspendidos	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	2.10667	20.83098	1	-64.6015	68.8148
		3 RPM	36.58473	20.83098	0.358	-30.1234	103.2929
		5 RPM	11.34099	20.83098	0.945	-55.3672	78.0491
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-2.10667	20.83098	1	-68.8148	64.6015
		3 RPM	34.47806	20.83098	0.404	-32.2301	101.1862
		5 RPM	9.23432	20.83098	0.969	-57.4738	75.9425
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-36.58473	20.83098	0.358	-103.2929	30.1234
		1 RPM	-34.47806	20.83098	0.404	-101.1862	32.2301
		5 RPM	-25.24374	20.83098	0.637	-91.9519	41.4644
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-11.34099	20.83098	0.945	-78.0491	55.3672
		1 RPM	-9.23432	20.83098	0.969	-75.9425	57.4738
		3 RPM	25.24374	20.83098	0.637	-41.4644	91.9519

Fuente: Elaboración propia.

Continuación de la **Tabla 28**.

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Sólidos totales	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	3.98333	6.6171	0.929	-17.207	25.1736
		3 RPM	115.60987	6.6171	0	94.4196	136.8002
		5 RPM	27.35718	6.6171	0.014	6.1669	48.5475
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-3.98333	6.6171	0.929	-25.1736	17.207
		3 RPM	111.62653	6.6171	0	90.4362	132.8168
		5 RPM	23.37385	6.6171	0.032	2.1836	44.5641
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-115.60987	6.6171	0	-136.8002	-94.4196
		1 RPM	-111.62653	6.6171	0	-132.8168	-90.4362
		5 RPM	-88.25268	6.6171	0	-109.443	-67.0624
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-27.35718	6.6171	0.014	-48.5475	-6.1669
		1 RPM	-23.37385	6.6171	0.032	-44.5641	-2.1836
		3 RPM	88.25268	6.6171	0	67.0624	109.443
Óxido de magnesio	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	1.11667	1.29341	0.823	-3.0253	5.2586
		3 RPM	9.94353	1.29341	0	5.8016	14.0855
		5 RPM	0.58333	1.29341	0.968	-3.5586	4.7253
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-1.11667	1.29341	0.823	-5.2586	3.0253
		3 RPM	8.82687	1.29341	0.001	4.6849	12.9688
		5 RPM	-0.53333	1.29341	0.975	-4.6753	3.6086
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-9.94353	1.29341	0	-14.0855	-5.8016
		1 RPM	-8.82687	1.29341	0.001	-12.9688	-4.6849
		5 RPM	-9.3602	1.29341	0	-13.5021	-5.2183
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-0.58333	1.29341	0.968	-4.7253	3.5586
		1 RPM	0.53333	1.29341	0.975	-3.6086	4.6753
		3 RPM	9.3602	1.29341	0	5.2183	13.5021

Fuente: Elaboración propia.

Continuación de la **Tabla 28.**

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Oxígeno disuelto	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	0.22	0.45296	0.96	-1.2305	1.6705
		3 RPM	0.81333	0.45296	0.342	-0.6372	2.2639
		5 RPM	0.41837	0.45296	0.794	-1.0322	1.8689
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-0.22	0.45296	0.96	-1.6705	1.2305
		3 RPM	0.59333	0.45296	0.582	-0.8572	2.0439
		5 RPM	0.19837	0.45296	0.97	-1.2522	1.6489
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-0.81333	0.45296	0.342	-2.2639	0.6372
		1 RPM	-0.59333	0.45296	0.582	-2.0439	0.8572
		5 RPM	-0.39496	0.45296	0.819	-1.8455	1.0556
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-0.41837	0.45296	0.794	-1.8689	1.0322
		1 RPM	-0.19837	0.45296	0.97	-1.6489	1.2522
		3 RPM	0.39496	0.45296	0.819	-1.0556	1.8455
Aceites y grasas	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	11.00813	0.92705	0	8.0394	13.9769
		3 RPM	19.61457	0.92705	0	16.6458	22.5833
		5 RPM	6.52335	0.92705	0	3.5546	9.4921
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-11.00813	0.92705	0	-13.9769	-8.0394
		3 RPM	8.60643	0.92705	0	5.6377	11.5752
		5 RPM	-4.48479	0.92705	0.006	-7.4535	-1.516
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-19.61457	0.92705	0	-22.5833	-16.6458
		1 RPM	-8.60643	0.92705	0	-11.5752	-5.6377
		5 RPM	-13.09122	0.92705	0	-16.06	-10.1225
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-6.52335	0.92705	0	-9.4921	-3.5546
		1 RPM	4.48479	0.92705	0.006	1.516	7.4535
		3 RPM	13.09122	0.92705	0	10.1225	16.06

Fuente: Elaboración propia.

Continuación de la **Tabla 28**.

Variable dependiente		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza		
					Límite inferior	Límite superior	
DBO	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	31.96647	4.7846	0.001	16.6445	47.2884
		3 RPM	100.54962	4.7846	0	85.2276	115.8716
		5 RPM	9.8994	4.7846	0.241	-5.4226	25.2214
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-31.96647	4.7846	0.001	-47.2884	-16.6445
		3 RPM	68.58315	4.7846	0	53.2612	83.9051
		5 RPM	-22.06707	4.7846	0.007	-37.389	-6.7451
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-100.54962	4.7846	0	-115.8716	-85.2276
		1 RPM	-68.58315	4.7846	0	-83.9051	-53.2612
		5 RPM	-90.65022	4.7846	0	-105.9722	-75.3282
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-9.8994	4.7846	0.241	-25.2214	5.4226
		1 RPM	22.06707	4.7846	0.007	6.7451	37.389
		3 RPM	90.65022	4.7846	0	75.3282	105.9722
DQO	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	63.93293	9.56921	0.001	33.289	94.5769
		3 RPM	201.09924	9.56921	0	170.4553	231.7432
		5 RPM	19.7988	9.56921	0.241	-10.8452	50.4428
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-63.93293	9.56921	0.001	-94.5769	-33.289
		3 RPM	137.16631	9.56921	0	106.5223	167.8103
		5 RPM	-44.13413	9.56921	0.007	-74.7781	-13.4902
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	-201.09924	9.56921	0	-231.7432	-170.4553
		1 RPM	-137.16631	9.56921	0	-167.8103	-106.5223
		5 RPM	-181.30044	9.56921	0	-211.9444	-150.6565
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	-19.7988	9.56921	0.241	-50.4428	10.8452
		1 RPM	44.13413	9.56921	0.007	13.4902	74.7781
		3 RPM	181.30044	9.56921	0	150.6565	211.9444

Fuente: Elaboración propia.

### Prueba de hipótesis c

La prueba de hipótesis “c”, surge de las siguientes proposiciones:

H<sub>c0</sub>: La mayor frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos mejora la remoción de los parámetros microbiológicos de aguas grises.

H<sub>c1</sub>: La mayor frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos mejora la remoción de los parámetros microbiológicos de aguas grises.

Como se ha mencionado, para la demostración de esta hipótesis se ha considerado el método ANOVA de un solo factor. Es en este sentido que, mediante el desarrollo de este método se ha podido demostrar que la cantidad de materia orgánica no presenta una variación significativa, pues el valor de “p” fue menor a 0.05. En este sentido, se puede mencionar que la hipótesis planteada es rechazada y se acepta la hipótesis nula.

**Tabla 29.**  
Análisis ANOVA de los parámetros biológicos.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Coliformes	Entre grupos	0.000	3	0.000		
	Dentro de grupos	0.000	8	0.000		
	Total	0.000	11			
Materia orgánica	Entre grupos	.013	3	.004	.059	.980
	Dentro de grupos	.592	8	.074		
	Total	.605	11			

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se ha complementado el estudio con la prueba post hoc de Tuckey, en la que se ha comparado todos los grupos involucrados en la investigación, y en el que además en ninguno de las velocidades de revoluciones del sistema de biodiscos se ha podido denotar una reducción significativa de la cantidad de materia orgánica en el agua ni de la concentración de coliformes fecales.

Lo descrito anteriormente se describe en la Tabla 30, donde, además, se puede denotar que no se ha considerado la cantidad de coliformes termotolerantes, debido a que en el estudio se obtuvo un valor de cero para este parámetro.

**Tabla 30.**

Prueba post hoc de los parámetros biológicos.

Variable dependiente		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza		
					Límite inferior	Límite superior	
Materia orgánica	SIN TRATAMIENTO	1 RPM	.04000	.22209	.998	-.6712	.7512
		3 RPM	-.02333	.22209	1.000	-.7345	.6879
		5 RPM	-.05000	.22209	.996	-.7612	.6612
	1 RPM	SIN TRATAMIENTO	-.04000	.22209	.998	-.7512	.6712
		3 RPM	-.06333	.22209	.991	-.7745	.6479
		5 RPM	-.09000	.22209	.976	-.8012	.6212
	3 RPM	SIN TRATAMIENTO	.02333	.22209	1.000	-.6879	.7345
		1 RPM	.06333	.22209	.991	-.6479	.7745
		5 RPM	-.02667	.22209	.999	-.7379	.6845
	5 RPM	SIN TRATAMIENTO	.05000	.22209	.996	-.6612	.7612
		1 RPM	.09000	.22209	.976	-.6212	.8012
		3 RPM	.02667	.22209	.999	-.6845	.7379

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. Variación de los parámetros físicos del agua tratada con el sistema biodiscos**

Las propiedades físicas analizadas en el desarrollo de esta investigación fueron la temperatura, el potencial de hidrógeno y la conductividad eléctrica, de los cuales la norma DS N°003-2010-MINAM, solo regula la temperatura y el pH, cuando se trata de analizar efluentes de aguas residuales.

En tal sentido se ha podido observar en los resultados, comportamiento variados de los mencionados parámetros, pues el potencial de hidrógeno (pH), es una variable que no varía de manera significativa (si se analiza desde el punto de vista estadístico) al momento de analizar las diferentes velocidades del sistema de tratamiento de biodiscos; sin embargo, de manera técnica se puede mencionar que sí existió una variación de -11.66 % respecto al agua sin tratamiento, lo cual no ha afectado ningún proceso de crecimiento bacteriológico, pues se encuentra dentro del rango recomendado (6.5 – 8.5), esto concuerda con lo estimado por Céliz (2019), quien en su investigación pudo establecer que el valor de pH fue 7.3, lo cual demuestra que el uso de este tipo de tratamiento no afecta la acidez del agua tratada; lo cual también son validados por Auz (2019) y Delgado (2019), quienes mencionan que no existe grandes variaciones del pH ni de la temperatura al momento de realizar el tratamiento de las agua residuales,

y que la mayor diferencia es de 0.50, el cual es muy parecido a lo obtenido en esta tesis (una variación de 0.96).

La temperatura, al igual que el potencial de hidrógeno no se ha modificado de manera significativa, pues la variación máxima fue de 2.2 °C, esto no ha perjudicado la formación de la biopelícula en los biodiscos, por lo que el tratamiento de las aguas grises permaneció de manera constante, esta variación, presenta cierta concordancia con lo determinado por Alejo (2021), quien pudo establecer que en los sistemas de biodiscos se observa de una disminución de la temperatura aproximada de 1 °C, la cual se debe a la rotación de los biodiscos. Otro aspecto importante según Delgado (2019), con este parámetro se puede controlar la velocidad de proliferación de elementos como algas que son los encargados del tratamiento de las aguas grises.

Finalmente, el otro aspecto considerado en los parámetros físicos fue la conductividad eléctrica del agua, el cual es un indicador de la cantidad de sales que el agua puede contener. Si bien, los resultados muestran bajas concentraciones de estos elementos, el uso del sistema de biodiscos puede disminuirlo en 37 % respecto al agua gris sin tratamiento, pero solo cuando se considere una velocidad de rotación del disco de 3 RPM, después de ello la eficiencia de remoción disminuye. Dichos valores no pudieron ser contrastados con otros autores ya que la mayoría se enfoca en la determinación de los parámetros químicos.

## **5.2. Variación de los parámetros químicos del agua tratada con el sistema de biodiscos**

Los parámetros químicos que se consideran para la evaluación del sistema de biodiscos pueden variar en función de la aplicabilidad del agua tratada, es por ello que en esta investigación se ha considerado la norma DS N°003-2010-MINAM, establecida por el Ministerio del Ambiente, la cual establece valores de límite máximo para que un agua tratada pueda ser considerado como efluente, y por ende mejorar su calidad. En este contexto, se puede mencionar que los principales parámetros son: la demanda

bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, el oxígeno disuelto, la cantidad de sólidos totales y la concentración de grasas y aceites; sin embargo, también se ha considerado, la cantidad sulfatos, cloruros, la dureza total, la alcalinidad, los sólidos disueltos y la cantidad de óxido de magnesio.

Respecto a los parámetros mencionados, se ha podido denotar un comportamiento similar en la mayoría de estos, pues se ha observado que, con una velocidad de rotación de 3 RPM todos los elementos analizados disminuyen, sin embargo, al incrementarse la cantidad de revoluciones el sistema pierde su eficiencia de remoción. Auz (2019), menciona que esto se debe a que, en un sistema de rotación más lento, la adherencia de la biopelícula en los discos es más eficiente, mientras que a mayor velocidad de rotación este puede generar desprendimiento, que afecta la calidad del agua. Otro aspecto complementario obtenido fue que el mismo problema sucede al considerar 1 RPM de velocidad de rotación, pues este hace que la biopelícula sea más gruesa y por ende haya desprendimiento del material orgánico.

Como se ha descrito, el uso del sistema de biodiscos es un tanto complejo al inicio del tratamiento, sin embargo, es asimilable luego de que se haya obtenido la óptima frecuencia de rotación. Otro aspecto importante es que en los antecedentes con este tipo de sistema solo analizaron agua tratada de efluentes de plantas de tratamiento de aguas negras, dejando de lado la investigación de la eficiencia que poseen al momento de tratar aguas grises.

En tal sentido, los resultados obtenidos muestran que la mayor eficiencia de remoción se da cuando los disco poseen una frecuencia de rotación de 3 RPM, esto coincide con lo estimado por Vásquez (2018), quien en su investigación pudo determinar que la cantidad de  $DBO_5$  puede reducirse en 94.96 % con sistema de biodisco con una rotación de 3 RPM. También se pudo contrastar dichos valores con lo estimado por Delgado (2019), quien pudo estimar que con una frecuencia de rotación de 3 RPM, el valor del  $DBO_5$  se reduce hasta en 90 %.

Por su parte investigaciones como las realizadas por Blanco (2020) Mencionan que la mejor eficiencia de remoción se obtiene cuando la frecuencia de rotación es mayor a 4 RPM, con lo cual se puede lograr eficiencias de remoción de hasta 86.20 %. Si bien la frecuencia es diferente a lo estimado en la presente investigación, en general la eficiencia de remoción es similar a lo estimado en la presente investigación.

Con respecto a los valores de DQO, los resultados obtenidos en el desarrollo en laboratorio muestran que con un sistema de biodiscos de 3 RPM, su valor puede reducirse hasta en 71.10 %; valores que son similares a los determinados por Auz (2019), quien determinó un valor de 74 %, sin embargo, se debe de precisar que dicho valor de remoción fue determinado con revoluciones de 1 a 2 RPM, los cuales fueron muy cercanos a los estimados en el desarrollo de la presente investigación.

Otro aspecto considerado en esta investigación fue la cantidad de oxígeno disuelto, el cual se redujo en 11.28 % cuando la velocidad de rotación fue de 3 RPM; esto fue un valor contradictorio con lo estimado por Delgado (2019) y Vásquez (2018) quienes obtuvieron un incremento de esta característica del agua tratada; sin embargo se debe de tener en cuenta que las condiciones de medición de este parámetros fueron diferentes, ya que en las investigaciones mencionadas se ha considerado el tratamiento de aguas residuales o aguas negras.

### **5.3. Variación de los parámetros biológicas del agua tratada con el sistema de biodiscos**

Los parámetros biológicos considerados en esta investigación fueron la cantidad de materia orgánica y los coliformes termotolerantes. En este contexto, según los resultados se ha observado una disminución de sus valores cuando se considera una frecuencia de rotación de 3 RPM y bajando su eficiencia cuando se obtiene una frecuencia de 5 RPM y 1 RPM.

Si bien las normativas peruanas estandarizan la cantidad de coliformes termotolerantes, un indicador importante es también la cantidad de materia orgánica en el agua, pues como menciona Delgado (2019), este puede

modificarse en función del óptimo funcionamiento del sistema y se modifica con la cantidad de revoluciones del sistema de biodiscos.

Lo destacable en la presente investigación es que, el agua considerada no es el agua de alcantarillado o agua negra, por lo que los valores de los coliformes termotolerantes fueron nulos.

En tal sentido se puede concluir que la aplicación del sistema de tratamiento con biodiscos mejora la remoción de materia orgánica, sin embargo, este debe ser controlado con la frecuencia de rotación. Además, es importante señalar que los valores cumplen de manera eficiente los parámetros que establecen los límites máximos permisibles para efluentes de aguas residuales, pero al comparar con los Estándares de Calidad Ambiental para agua de riego, los resultados no son los adecuados, especialmente en la cantidad de aceites y grasas y el DBO y DQO, es por ello que para el reciclaje de estas aguas grises debe ser necesario complementar con otro sistema de tratamiento.

## CONCLUSIONES

1. La frecuencia de rotación mejorar de manera significativa la calidad de las aguas grises, pues no modifican de manera significativa los parámetros físicos, además reducen la cantidad de parámetros químicos y la cantidad de los parámetros biológicos; siendo la frecuencia de rotación óptima de 3 RPM.
2. Los parámetros físicos de las aguas grises no se modifican de manera significativa, pues propiedades como la temperatura y la conductividad eléctrica varían en -10.39 % y -37 % respectivamente; mientras que el pH se reduce de 7.43 a 6.57; todo ello con un sistema con una frecuencia de 3 RPM. Lo cual asegura un ambiente ideal para el desarrollo de elementos de bacterias y algas, las cuales son las encargadas de la depuración de elementos contaminantes del agua.
3. Los parámetros químicos considerados fueron la cantidad de sulfatos, cloruros, dureza total, alcalinidad, sólidos disueltos, sólidos totales, óxido de magnesio, oxígeno disuelto aceites y grasas, la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno; los cuales presentaron disminuciones significativas cuando la velocidad de tratamiento del sistemas de biodiscos fue de 3 RPM; siendo la demanda bioquímica de oxígeno el parámetro más importante pues, se logra una reducción de hasta el 71.10 %, cumpliendo de esta manera con lo especificado en las normativas actuales.
4. El análisis de los parámetros biológicos solo consideró la cantidad de materia orgánica, pues debido a que solo se trataron las aguas grises domésticas, el análisis de agua no presentó grandes concentraciones de coliformes termotolerantes. En este sentido se ha demostrado que la frecuencia de rotación de los discos influye de manera significativa en su concentración, pues mientras mayor sea esta frecuencia, la concentración de materia orgánica se incrementa.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que el diseño del sistema de biodiscos para aguas grises en viviendas unifamiliares debe considerar una frecuencia de rotación de 3 RPM, pues valores superiores e inferiores a este valor, puede disminuir la eficiencia de tratamiento del sistema.
2. Se ha demostrado que la variación que se dio en los parámetros físicos, no afecta el normal desarrollo de las especies encargadas de la depuración de contaminantes en el agua; sin embargo, se recomienda que de manera complementaria se considere la variación del tiempo de retención hidráulica que es otro aspecto que puede modificar la calidad el tratamiento.
3. Para la instalación de este sistema en una vivienda unifamiliar y no perjudicar el adecuado tratamiento de las aguas grises, se recomienda la instalación de un sistema preliminar de tratamiento, de esta manera, se puede separar los elementos sólidos o las grasas.
4. Para mejores resultados de adherencia de la biopelícula en los biodiscos, se recomienda el uso de elementos rugosos, pues en aquellos demasiados lisos no se da una buena adherencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejo, L. (2021). *Efecto de la velocidad de rotación en la eficiencia energética de un oxigenador de agua residual con discos rotativos* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7372/T010\\_46520084\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7372/T010_46520084_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Auz, C. (2019). *Evaluación de la capacidad de biorremediación de la especie *Scenedesmus sp.* y *Chlorella sp.* mediante la construcción de un sistema de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales del río El Tejar*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Bendezu, R., & Martínez, A. (2017). *Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales utilizando filtros percoladores - lodos anaeróbicos ecológicos para el distrito de Huancayo, provincia de Huancayo - Junín*. Universidad Peruana Los Andes.
- Bernal, C. (2006). *Metodología de la investigación. Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. (L. Gaona (ed.); Segunda). Pearson Educación.
- Blanco, G. (2020). *Implementación de una planta piloto usando biodiscos para la remoción de la DBO5 en un agua residual doméstica* [Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil]. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/3993>
- Borja, M. (2016). *Metodología de la investigación científica para ingenieros* (U. Ibañez (ed.); Primera). <https://es.slideshare.net/manborja/metodologia-de-inv-cientifica-para-ing-civil>
- Céliz, E. (2019). *Efecto del tiempo de retención hidráulica en un reactor de biodiscos a escala de laboratorio, en la depuración de efluentes del matadero Municipal de Tingo María-Huánuco* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1554>
- Delgado, G. (2019). Estudio de biodiscos como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas. *Universidad Nacional de Ingeniería*, 29, 1–7.

- Domínguez, L., & Rojas, K. (2019). *Eficacia de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH) en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Gutarra, R. (2016). *Diseño de la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales mediante biodiscos del sistema de alcantarillado de la localidad de Huayllaspanca - Sapallanga*. Universidad Peruana Los Andes.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. del P., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. In J. Mares (Ed.), *Mc Graw Hill* (Sexta). McGRAW-HILL.
- Ibrahim, C., Hammami, S., Chérif, N., Mejri, S., Hassen, A., Ibrahim, C., Hammami, S., Chérif, N., Mejri, S., & Pothier, P. (2018). Detection of sapoviruses in two biological lines of Tunisian hospital wastewater treatment. *International Journal of Environmental Health Research*, 00(00), 1–14. <https://doi.org/10.1080/09603123.2018.1546835>
- Iglesias, J. (2013). *Cálculo y diseño de una EDAR de biodiscos*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Iurchenko, V., Tsytkushvili, K., & Malovanyy, M. (2022). Wastewater treatment by conversion of nitrogen-containing pollution by immobilized microbiocenosis in a biodisk installation. *Ecological Questions*, 33, 1–17. <https://apcz.umk.pl/EQ/article/view/37766/31852>
- Jurado, J. C., & Vargas, E. (2015). *Remoción de materia orgánica en un sistema biodiscos en el tratamiento de aguas residuales urbanas de los efluentes “Las Vírgenes” – Huancayo a nivel de laboratorio*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Meseth, E. (2015). El reuso de aguas residuales tratadas en el Perú. *Universidad Peruana Cayetano Heredia*, 6.
- MINAM. (2010). *Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*.
- Molinos-senante, M., Sala-garrido, R., & Iftimi, A. (2018). Energy intensity

modeling for wastewater treatment technologies. *Science of the Total Environment*, 630, 1565–1572.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.327>

Niño, E., & Martínez, N. (2013). *Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá*. Pontificia Universidad Javeriana.

Rondón, N. (2017). *Análisis y propuesta de uso de biodigestor en el tratamiento de aguas residuales del sistema de desagüe del poblado de Pocrac del distrito de Ticapampa, Recuay - Ancash*. Universidad Nacional de Ancash “Santiago Antúnez de Mayolo.”

Senante, M. M., Sancho, F. H., & Garrido, R. S. (2012). Estado actual y evolución del saneamiento y la depuración de aguas residuales en el contexto nacional e internacional. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 32(1), 69–89. <https://doi.org/10.5209/rev-AGUC.2012.v32.n1.39309>

Vásquez, E. (2018). *Efecto de la velocidad rotacional en reactor biodisco sobre la remoción de materia orgánica en un agua residual doméstica de campamento minero La Libertad-Perú* [Universidad de Trujillo]. [https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/11867/Vásquez Salazar Edgar Enrique.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/11867/Vásquez%20Salazar%20Edgar%20Enrique.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## **ANEXOS**

**Anexo N° 01: matriz de consistencia**

**Matriz de consistencia**

**Tesis: “Efecto de la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la calidad del tratamiento de aguas grises”**

<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Metodología</b>
<p><b>Problema general:</b> ¿Cuál es el efecto de la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la calidad del tratamiento de aguas grises?</p> <p><b>Problemas específicos:</b> a) ¿De qué manera la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos varía los parámetros físicos de aguas grises? b) ¿Cómo la frecuencia rotación de un sistema de biodiscos varían los parámetros químicos de aguas grises? c) ¿Cuál es la forma en que afecta la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la remoción de los parámetros microbiológicos de aguas grises?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Evaluar el efecto de la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la calidad del tratamiento de aguas grises.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b> a) Determinar de qué manera la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos varía los parámetros físicos de aguas grises. b) Establecer cómo la frecuencia rotación de un sistema de biodiscos varían los parámetros químicos de aguas grises. c) Determinar la forma en que afecta la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la remoción de los parámetros microbiológicos de aguas grises.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> La mayor frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos mejora la calidad de las aguas grises.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b> a) La mayor frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos disminuye la concentración de los parámetros físicos de aguas grises. b) La mayor frecuencia rotación de un sistema de biodiscos disminuye la concentración de los parámetros químicos de aguas grises. c) La mayor frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos mejora la remoción de los parámetros microbiológicos de aguas grises.</p>	<p><b>Variable independiente (X):</b> Sistema de biodiscos.</p> <p><b>Variable dependiente (Y):</b> Calidad de tratamiento de las aguas grises.</p>	<p>- Frecuencia de rotación.</p> <p>- Parámetros físicos.</p> <p>- Parámetros químicos.</p> <p>- Parámetros biológicos.</p>	<p>- Velocidad de rotación.</p> <p>- Temperatura.</p> <p>- pH.</p> <p>- Conductividad eléctrica.</p> <p>- Sulfato</p> <p>- Cloruros</p> <p>- Dureza total</p> <p>- Alcalinidad</p> <p>- Sólidos disueltos</p> <p>- Sólidos suspendidos</p> <p>- Sólido totales</p> <p>- Óxido de magnesio</p> <p>- Oxígeno disuelto.</p> <p>- Aceites y grasas</p> <p>- DBO.</p> <p>- DQO.</p> <p>- Materia orgánica.</p> <p>- Coliformes termotolerantes</p>	<p><b>Método de investigación:</b> Científico</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Explicativo</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Experimental</p> <p><b>Población:</b> La población corresponderá a las aguas grises procedente de los domicilios ubicados en la urbanización la Merced del distrito de Huancayo, provincia de Huancayo del departamento de Junín</p> <p><b>Muestra:</b> La muestra de acuerdo al método no probabilístico intencional correspondió a 20 L de aguas grises analizadas en un periodo de 8 horas para cada velocidad de análisis; es decir que en total se ha considerado el estudio de 80 L de aguas grises.</p>

## **Anexo N° 02: Ensayos de laboratorio**





# JAMP INGENIEROS S.R.L.

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA, MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

ANÁLISIS DE AGUA NATURAL, AGUAS RESIDUAL, ENSAYOS DE CBR Y MARSHALL DIGITAL, ENSAYO DE CORTE DIRECTO DIGITAL, ANÁLISIS DE PERMEABILIDAD, ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA LL, LP, DENSIDAD DE CAMPO, DISEÑO DE MEZCLA



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ANÁLISIS DE AGUA, MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTO

Informe N° JAMP0000070201

## CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA NTP 214.060.2016

### ANÁLISIS DE AGUAS GRISES

Peticionario: CCOICCA RODRIGUEZ JOSIP ABNER  
 Proyecto/Obra: EFECTO DE LA FRECUENCIA DE ROTACION DE UN SISTEMA DE BIODISCOS EN LA CALIDAD DEL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES  
 Forma de Present.: En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado.  
 Atención: JAMP INGENIEROS  
 Fecha de recepción: 24/10/2021  
 Fecha de emisión: 10/11/2021

UBICACION DE MUESTRA: URB. LA MERCED - SAN CARLOS - HUANCAYO JUNIN

### RESULTADOS ANÁLISIS DE AGUAS GRISES

PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS	UNIDAD	MUESTRA-1	MUESTRA-2	1-RPM	5-RPM
SULFATOS	SO42 (mg/L)	75	61.5	51	73.6
CLORUROS	CL (mg/L)	21.3	17.2	13.7	20.1
DUREZA TOTAL	CaCO3 (mg/L)	185	171	111	174
ALCALINIDAD	CaCO3 (mg/L)	18	14	12.5	16
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	286	237	180	261
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	135	150	80.1	122
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	79	111	54.8	70.9
SOLIDOS TOTALES	mg/L	240	246	128	214
pH	Unidad de pH	8.4	6.8	6.7	6.9
ÓXIDO DE MAGNESIO	Mg (mg/L)	28	28.7	18.3	29.7
OXIGENO DISUELTUO	(mg/L)	6.57	6.98	6.9	6.19
MATERIA ORGÁNICA	MON	0.21	0.7	0.76	0.76
ACEITES Y GRASAS	mg/L	35.3	24.1	16	29
COLORIMETROTERMOTOLERANTES	NMP/100 ML	0	0	0	0
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	mg/L	140	113	40.5	130
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	280	227	80.9	260
TEMPERATURA	°C	20.5	21.4	19.2	20.3

RPM= Revoluciones por minuto.

(\*) In situ

  
 Ing. ESPECIALISTA

  
 CIP. 206748

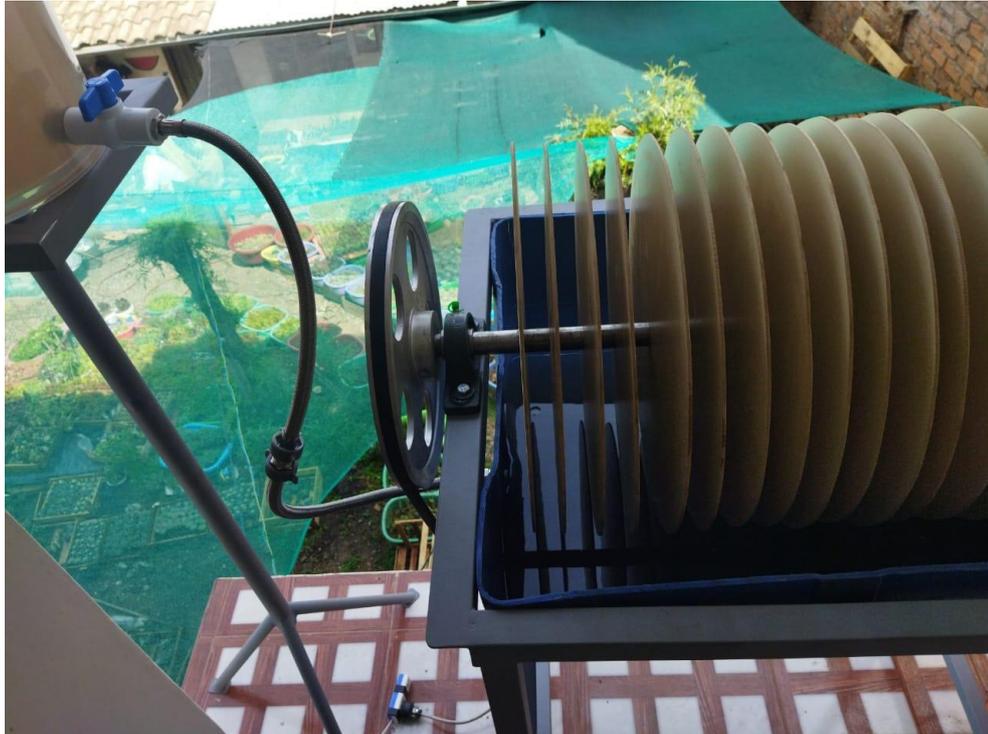
### OBSERVACIONES

\*Prohíbida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de JAMP INGENIEROS S.R.L.  
 \*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Dirección: Calle Huancayo N°: S/N P.J. Huancan. - CEL: 971545035 - 999941954



Anexo N° 04: Panel fotográfico



Fotografía 1. Construcción del sistema de biodiscos.



Fotografía 2. Evaluación del sistema de biodiscos con una velocidad de rotación de 1 RPM.



Fotografía 3. Evaluación del sistema de biodiscos con una velocidad de rotación de 3 RPM.



Fotografía 4. Evaluación del sistema de biodiscos con una velocidad de rotación de 3 RPM.



Fotografía 5. Control del sistema de biodiscos.



Fotografía 6. Vista del todo el sistema en funcionamiento



Fotografía 7. Vista de la muestra al inicio del sistema.



Fotografía 8. Toma de las muestras del agua gris tratada.