



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA DE LOS RECURSOS  
NATURALES**

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD BIODEGRADADORA DE ACEITES Y  
GRASAS MEDIANTE CUBOS BIOLÓGICOS MICROBIANOS PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL HATO  
GANADERO DE LA *ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE TUNSHI. RIOBAMBA-  
ECUADOR***

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
Ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales**

**AUTOR: GRACE FERNANDA PORTILLA PAREDES**

**TUTOR: DANIEL ALBERTO FREIRE BALSECA**

**Quito-Ecuador**

**2024**

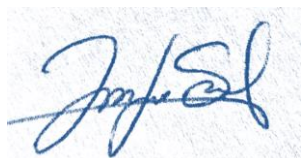
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Grace Fernanda Portilla Paredes con documento de identificación 1050480175 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



-----  
Grace Fernanda Portilla Paredes

1050480175

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Grace Fernanda Portilla Paredes con documento de identificación 1050480175, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo experimental: Evaluación de la capacidad biodegradadora de aceites y grasas mediante cubos biológicos microbianos para el tratamiento de aguas residuales provenientes del hato ganadero de la Estación Experimental de Tunshi. Riobamba-Ecuador, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



-----  
Grace Fernanda Portilla Paredes

1050480175

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Daniel Alberto Freire Balseca con documento de identificación N° 1720534468, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Evaluación de la capacidad biodegradadora de aceites y grasas mediante cubos biológicos microbianos para el tratamiento de aguas residuales provenientes del hato ganadero de la *Estación Experimental de Tunshi. Riobamba-Ecuador*, realizado por Grace Fernanda Portilla Paredes con documento de identificación N° 1050480175, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,

**DANIEL ALBERTO  
FREIRE BALSECA** Firmado digitalmente por  
DANIEL ALBERTO FREIRE  
BALSECA  
Fecha: 2024.02.19 08:27:59  
-05'00'

-----  
MSc. Daniel Alberto Freire Balseca

C.C:1720534468

## **Dedicatoria**

A mi madre Mónica por ser soporte fundamental en mi formación profesional y personal,  
siempre brindándome su apoyo, amor y confianza incansablemente.

A mi hermano Andre, quien siempre confió en mí capacidad y me proporcionó las fuerzas e  
inspiración para cumplir este objetivo.

A Jessica, mi gran amiga que ha sido mi soporte en los momentos más difíciles de superar  
quien me ha brindado su amistad incondicional y sus consejos.

Gracias a todos quienes hicieron posible este logro, esta tesis es reflejo de su apoyo,  
conocimiento y cariño.

*Grace Fernanda Portilla Paredes*

## **Agradecimientos**

A Dios por mantenerme de pie hasta este momento sin desfallecer y darme las herramientas necesarias para lograr mis objetivos.

A mi familia que siempre me ha apoyado y respaldado a mis objetivos y proyectos que me han permitido desarrollarme en esta nueva etapa.

A la Universidad Politécnica Salesiana por mi formación profesional que permitió el desarrollo de esta investigación.

A Bio\_Amazonas por facilitarme realizar esta investigación de manera exhaustiva y brindándome las facilidades pertinentes en el momento apropiado.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por brindarme el apoyo con sus instalaciones, equipo y personal para desarrollar mi investigación abriéndome totalmente las puertas de su institución.

De manera especial, al ingeniero Luis Andrés Tello, quien fue una persona clave para ejecutar esta investigación, prestándome su conocimiento, apoyo y tiempo para el desarrollo tanto profesional como personal. Al Ing. Daniel Freire quien me ha guiado en el diseño y planteamiento de esta tesis de manera paciente y profesional.

*Grace Fernanda Portilla Paredes*

## Resumen

El presente trabajo evaluó la capacidad biodegradadora de aceites y grasas en el tratamiento de aguas residuales provenientes del hato ganadero de la Estación Experimental de Tunshi, mediante tres tratamientos propuestos ( $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$ ,  $1 \times 10^8$  UFC/mL) representados en cubos biológicos microbianos más un tratamiento testigo o control, la evaluación se realizó por un periodo de 45 días y se monitoreó parámetros fisicoquímicos del agua residual como pH, temperatura, conductividad, alcalinidad, sólidos disueltos totales, número umbral de olor y presencia de materia flotante, así como análisis microbiológico de coliformes, esto se realizó antes y después de la inoculación de los biocubos. Además, se realizó un análisis periódico a los 0, 7, 15, 30 y 45 días después de la incorporación de los cubos biológicos en los biorreactores, de la cantidad de aceites y grasas presentes en el agua residual.

El experimento determinó que la aplicación de los cubos biológicos es efectiva para la reducción de aceites y grasas presentes en las aguas residuales reduciendo este contaminante por debajo de los límites máximos permisibles (menor a 50mg/L) descritos en la legislación ambiental ecuatoriana, siendo T3 ( $1 \times 10^8$  UFC/mL) el tratamiento con mayor capacidad biodegradadora ( $20,45 \pm 2,51$  mg/L de aceites y grasas) y finalmente determinando que dicha capacidad se encuentra en estrecha relación con la concentración de microorganismos que fueron inoculados mediante los cubos biológicos microbianos en los biorreactores, este fenómeno se comportó de manera similar para los parámetros fisicoquímicos evaluados siendo reducidos de manera directamente proporcional a la concentración de materia biológica inoculada en los biorreactores.

**Palabras clave:** Microorganismos eficientes, biotecnología, biorremediación de aguas, bioaumentación.

## Abstract

This study evaluated the biodegradation capacity of oil and grease in the wastewater treatment from the Tunshi Experimental Station stable, using three treatments ( $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$ ,  $1 \times 10^8$  CFU/mL) and a control treatment of biocubes. The evaluation was carried out for a period of 45 days and monitored physicochemical parameters of the wastewater such as pH, temperature, conductivity, alkalinity, total dissolved solids, odor threshold number and presence of floating matter, as well as microbiological analysis of coliforms, before and after inoculation of the biocubes. In addition, a periodic analysis was performed at 0, 7, 15, 15, 30 and 45 days after the incorporation of the biological cubes in the bioreactors, of the amount of oil and grease present in the wastewater.

The experiment determined that the application of the biological cubes is effective for the reduction of oils and fats present in the wastewater, reducing this contaminant below the maximum permissible limits (less than 50mg/L) of the Ecuadorian environmental legislation, being T3 ( $1 \times 10^8$  CFU/mL) the treatment with the highest biodegrading capacity ( $20,45 \pm 2,51$  mg/L oil and grease) and finally determining that this capacity is closely related to the concentration of microorganisms that were inoculated by the microbial biological cubes; this phenomenon behaved similarly for the physicochemical parameters evaluated, being reduced in a directly proportional way to the concentration of biological matter inoculated in the bioreactors.

**Key words:** Efficient microorganisms, biotechnology, water bioremediation, bioaugmentation



## Índice de contenidos

1. Introducción .....	1
2. Fundamentación teórica .....	4
2.1. Calidad del agua .....	4
2.1.1. Parámetros para la evaluación de la calidad del agua .....	4
Parámetros fisicoquímicos.....	4
Parámetros microbiológicos .....	5
2.2. Marco legal .....	5
2.3. Aguas residuales .....	6
2.3.1. Características y composición de las aguas residuales.....	7
2.3.2. Tipos de agua residual.....	8
2.3.2.1. Impacto ambiental ocasionado por las aguas residuales pecuarias .....	9
2.3.3. Tratamiento de aguas residuales.....	10
2.3.3.1. Tipos de tratamiento.....	12
2.3.3.2. Niveles de tratamiento de agua residual.....	13
2.4. Microorganismos biodegradadores.....	14
2.4.1. Especies microbianas biodegradadoras .....	15
2.4.1.1. Microorganismos con capacidad biodegradadora de aceites y grasas .....	15
2.4.2. Consorcio microbiano .....	18
2.4.3. Cóctel microbiano Bio_Amazonas.....	18
2.4.4. Cubos biológicos microbianos .....	19
3. Materiales y métodos .....	20

3.1.	Fase preliminar .....	20
3.1.1.	Escalado del cóctel bacteriano .....	20
3.1.2.	Formulación de las concentraciones de microorganismos .....	21
	Siembra en placa .....	21
	Recuento de microorganismos viables .....	22
	Obtención de las concentraciones .....	23
	Determinación de los tratamientos .....	23
	Elaboración de los cubos biológicos microbianos .....	24
3.1.3.	Obtención de muestras .....	25
3.2.	Fase experimental .....	26
3.2.1.	Implementación del sistema de biorremediación .....	26
3.2.2.	Parámetros de estudio.....	27
3.3.	Análisis estadístico .....	38
4.	Resultados y discusión.....	39
4.1.	Análisis fisicoquímicos.....	39
	pH.....	40
	Temperatura.....	41
	Conductividad .....	43
	Alcalinidad .....	44
	Sólidos Disueltos Totales .....	46
	Materia flotante .....	47
	Umbral de olor .....	48
4.2.	Análisis microbiológico.....	50
4.3.	Evaluación de la degradación de aceites y grasas .....	51
5.	Conclusiones.....	54

6. Bibliografía .....	56
7. Anexos .....	67

## Índice de figuras

Figura 1. Hidrólisis de lípidos mediante enzimas lipídicas.....	16
Figura 2. Interfase entre el agua y el aceite.....	17
Figura 3. Diluciones seriadas .....	21
Figura 4. Siembra de microorganismos en los medios de cultivo por la técnica de vertido en placa .....	22
Figura 5. Elaboración de los cubos biológicos microbianos .....	25
Figura 6. Diseño de biorreactores.....	26
Figura 7. Colocación de muestras de agua residual en los biorreactores .....	27
Figura 8. Cultivo de coliformes.....	35
Figura 9. Separación de la parte acuosa de la oleosa del agua residual .....	37
Figura 10. Extracción de aceites y grasas.....	38

## Índice de tablas

Tabla 1. Criterios de calidad de aguas para descarga al sistema de alcantarillado .....	6
Tabla 2. Microorganismos y tipos de biosurfactantes que producen. ....	17
Tabla 3. Concentraciones de los tratamientos.....	24
Tabla 4. Parámetros evaluados en la fase experimental.....	27
Tabla 5. Diseño experimental para la determinación de aceites y grasas a escala de laboratorio .....	28
Tabla 6. Disposición de los tratamientos.....	29
Tabla 7. Diluciones para varias intensidades de olor.....	32
Tabla 8. Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos frente a los tratamientos.....	39
Tabla 9. Evaluación de materia flotante.....	47
Tabla 10. Resultados de la prueba de umbral de olor .....	48
Tabla 11. Análisis estadístico de aceites y grasas. ....	51

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación para el conteo de células viables.....	23
Ecuación 2. Fórmula para calcular diluciones.....	23
Ecuación 3. Ecuación para obtener la alcalinidad.....	31
Ecuación 4. Ecuación para obtener el número umbral de olor.....	33
Ecuación 5. Fórmula para obtener Sólidos Disueltos Totales.....	34

## Índice de gráficas

Gráfica 1 Análisis comparativo antes y después de la aplicación de los tratamientos.....	40
Gráfica 2. Análisis comparativo de la temperatura antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	42
Gráfica 3. Análisis comparativo de la conductividad antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	43
Gráfica 4. Análisis comparativo de alcalinidad antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	44
Gráfica 5. Análisis comparativo de SDT antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	46
Gráfica 6. Resultados del número umbral de olor.....	49
Gráfica 7. Conteo de coliformes.....	50
Gráfica 8. Evaluación de aceites y grasas .....	52

## Índice de anexos

Anexo 1. Carta de auspicio y autorización de publicación de Bio_Amazonas S.A.....	67
Anexo 2. Proceso de activación y escalado del cóctel microbiano Bio_Amazonas S.A .....	68
Anexo 3. Cultivo del cóctel microbiano en medios de cultivo sólidos .....	69
Anexo 4. Conteo de microorganismos viables del cóctel Bio_Amazonas S.A.....	70
Anexo 5. Montaje de los biorreactores.....	71
Anexo 6. Preparación de las concentraciones para los tratamientos propuestos.....	72
Anexo 7. Elaboración de los biocubos .....	73
Anexo 8. Sistema de biorremediación a escala de laboratorio.....	74
Anexo 9. Análisis de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos .....	75
Anexo 10. Evaluación de aceites y grasas.....	76
Anexo 11. Tabla para el recuento de coliformes por NMP/100mL para tres tubos.....	77
Anexo 12. Formato para la evaluación de umbral de olor .....	78
Anexo 13. Análisis estadístico .....	108



## **1. Introducción**

El incremento exponencial de la contaminación del agua es cada vez un problema mayor, el impacto ambiental que genera la mayoría de las actividades humanas y el incremento de la población provoca que se agote de manera preocupante este recurso hídrico y la generación de aguas residuales que comprometen la salud humana y la contaminación de los ecosistemas al ser vertidas de manera irresponsable a los cuerpos de agua sin haber sido sometidas previamente a un tratamiento que permita la disminución de los contaminantes presentes como lo menciona la ONU indicando que más de un 80% de las aguas residuales que se generan son descargadas al ambiente sin ser tratadas (Denchak, 2023).

El abastecimiento de agua en el país cuenta con una limitada inversión económica y una ínfima parte es destinada a la remediación y disminución de contaminantes presentes en las aguas residuales para su reutilización, muchas zonas agropecuarias del Ecuador buscan reutilizar el agua que se encuentra en los cuerpos de agua cercanos debido a los precarios sistemas de abastecimiento, sin embargo al no ser tratadas significan un riesgo para fauna y flora del sector sin contar con los problemas de salubridad que podrían presentarse ante la acumulación de contaminantes y materia orgánica siendo una fuente para la proliferación de patógenos (Reinoso & Reinoso, 2022).

El empleo de la tecnología de bioaumentación para ejecutar una biorremediación de aguas residuales proporciona cepas bacterianas que se encuentran especializadas y seleccionadas por su capacidad de degradar contaminantes específicos logrando así, poder remover determinados compuestos que permitan mejorar la calidad de aguas residuales logrando apegarse a los límites permisibles establecidos por la normativa (Ome Barrera & Zafra Mejía, 2018).

Una parte de los contaminantes presentes en las aguas residuales son los compuestos orgánicos como los aceites y grasas los cuales pueden ser fácilmente visibles ya que al ser menor densos que el agua se encuentran en la superficie con un brillo característico, el problema de la presencia de estas sustancias oleosas es que, como se llega a formar una capa esto impide la oxigenación interfiriendo con los procesos naturales del sector evitando el paso de oxígeno hacia el agua y de dióxido de carbono a la atmósfera (Jiménez, 2008).

La Estación Experimental de Tunshi se encuentra dentro de la parroquia de Licto en el Cantón Riobamba en el sector de Tunshi, esta estación pertenece a la Escuela Politécnica Superior de Chimborazo (ESPOCH), en donde sus principales actividades son la agricultura y ganadería (Parra-León et al., 2021). Dentro de la Estación experimental se cuenta con un establo para ganado vacuno en donde los desechos generados por los animales son recolectados para su uso en compostaje y el agua con la que lavan en establo es vertida directamente a una vertiente del sector y parcialmente recolectada para ser destinada al riego de los pastizales

Cabe destacar que, la importancia de esta investigación radica en que, el agua al ser un elemento indispensable e insustituible pero mayormente contaminado, es necesario promover alternativas que permita recuperar y reutilizar al máximo este recurso. Es por ello por lo que, la razón de evaluar la capacidad biodegradadora de aceites y grasas de los cubos biológicos, es emplearlos para el tratamiento de aguas residuales, siendo este trabajo de gran relevancia en la investigación de tecnologías que permitan biodegradar compuestos contaminantes presentes los recursos hídricos para que, de esta manera, se pueda alargar la vida útil de aguas residuales para inclusive ser recicladas en actividades pecuarias bajo la normativa vigente establecida. A su vez, esta investigación se la realizará con la intención de contribuir a la disminución del impacto ambiental que provocan las distintas actividades antropogénicas en el ámbito pecuario reduciendo así significativamente la contaminación en los recursos hídricos.

Por todo lo mencionado en esta investigación se quiere solventar las siguientes interrogantes: ¿Existe variación en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual si se aplica los cubos biológicos microbianos? y ¿La implementación de cubos biológicos microbianos aporta en el proceso de biodegradación de aceites y grasas para el tratamiento de aguas residuales que provienen del hato ganadero de la Estación Experimental de Tunshi, Riobamba-Ecuador? Para responder a esto se propone el objetivo de evaluar la capacidad biodegradadora de aceites y grasas mediante cubos biológicos microbianos para el tratamiento de aguas residuales provenientes del hato ganadero de la Estación Experimental de Tunshi. Riobamba-Ecuador mismo que se verá sustentado en los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente las aguas residuales del hato ganadero de la Estación Experimental de Tunshi antes y después del tratamiento biorremediador.
- Establecer el proceso de escalado del cóctel microbiano de la empresa Bio\_Amazonas S.A para el inóculo de los biorreactores.
- Implantar el sistema de biorremediación a escala de laboratorio.
- Analizar periódicamente la variabilidad del contenido de aceites y grasas presentes en las aguas residuales obtenidas del hato ganadero de la Estación Experimental de Tunshi durante 45 días, empleando 3 distintas concentraciones de microorganismos en los cubos biológicos microbianos.

## **2. Fundamentación teórica**

### **2.1. Calidad del agua**

El agua presenta parámetros físico químicos diferentes dependiendo del origen de este recurso y que sus características varían en función de diversas condiciones además de ser un vehículo de nutrientes, minerales entre otros compuestos por lo que no se puede definir exactamente la calidad del agua, sin embargo para ello existen normativas y reglamentos que en los que se definen parámetros y rangos permisibles dependiendo del uso que se le vaya a dar al agua y bajo estos criterios se puede dar garantía a la inocuidad y seguridad del agua (Pradana & García, 2019).

Las normativas en este caso se encuentran generalmente basadas tanto En el establecimiento de la calidad de las aguas en los diferentes receptores y en el punto de descarga y la limitación de vertidos (Jiménez et al., 2003). En Latinoamérica las empresas están obligada a tratar sus aguas residuales antes de ser vertidos a la red de alcantarillado acatándose a los valores máximos permisibles que se encuentran en las normas y reglamentos para la regulación de vertimientos (Lazcano Carreño, 2016).

#### **2.1.1. Parámetros para la evaluación de la calidad del agua**

##### **Parámetros fisicoquímicos**

Dentro de los principales parámetros fisicoquímicos para poder medir la calidad del agua tenemos la temperatura, turbidez, color, olor, conductividad eléctrica, pH, alcalinidad, sulfatos, dureza, DBO, DQO (Hassan, 2019).

## **Parámetros microbiológicos**

La presencia o ausencia de microorganismos son uno de los principales indicadores en cuanto a calidad de agua se refiere, los coliformes son indicadores de contaminación debido a que existen en el intestino y los excrementos por lo tanto si el agua está contaminada habrá presencia de estos microorganismos (Hassan, 2019).

### **2.2.Marco legal**

La Organización de Naciones unidas busca una gestión sostenible de las aguas residuales ante la constante amenaza de salud y pérdida de recursos, por ello ha establecido parámetros de calidad de agua (Organización de las Naciones Unidas, 2023). La ONU en su resolución de Asamblea General en la resolución A/RES/64/292 establece el derecho humano al acceso a agua limpia y saneamiento (Organización de las Naciones Unidas, 2014).

En el Ecuador dentro de la Ley orgánica de Recursos Hídricos y aprovechamiento del agua en el artículo 80 menciona la prohibición en cuanto a los vertidos de agua residual ya sea directa o indirectamente sin previo tratamiento y que estén susceptibles a ser un medio de contaminación. Además, menciona que el tratamiento de aguas residuales se encuentra a cargo de los GAD's municipales quienes deberán evitar al máximo la contaminación de los cuerpos de agua. Para realizar la descarga de aguas residuales, estas deben contar con la respectiva autorización regulada por la Autoridad Nacional Ambiental (Asamblea Nacional del Ecuador, 2015).

En la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, se encuentra en el Anexo 1 del libro del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, establece los criterios para la determinación de calidad de aguas según los usos

que se les fuera a dar además establece los límites permisibles a los que se debe acatar en cuestión de las descargas de aguas residuales y los permisos para realizarlo (TULSMA, 2011).

**Tabla 1**

*Criterios de calidad de aguas para descarga al sistema de alcantarillado*

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
<b>Aceites y grasas</b>	Solubles en hexano	mg/L	50,0
<b>Coliformes Totales</b>	NMP	NMP/100 mL	2000
<b>Conductividad eléctrica</b>		milimhos/cm	0,7- 3,0
<b>Materia flotante</b>			Ausencia
<b>pH</b>	pH		6-9
<b>Olor y sabor</b>			Es permitido removible por tratamiento convencional
<b>Sólidos disueltos totales</b>	mg/L	mg/L	450-2000
<b>Temperatura</b>	°C		<45,0

Fuente: (TULSMA, 2011)

### **2.3. Aguas residuales**

Las aguas residuales se definen como aquellas aguas que, tanto las propiedades químicas, físicas o biológicas han sido alteradas debido a la introducción de sustancias inseguras para usos determinados como, por ejemplo, el consumo doméstico e industrial siendo consideradas como un subproducto de los tantos usos que se le da al agua (Amoatey & Bani, 2011).

Las aguas residuales son un valioso recurso debido a que a partir de estas puede aprovecharse varios elementos reduciendo así el consumo de agua a pesar de que el 80% de los

efluentes no reciben un tratamiento, sino que por el contrario son vertidas al ambiente (Baeza, 2023).

Dentro de los países industrializados existen tratamientos y sistemas de gestión para que las aguas residuales pueden ser trasladadas de manera segura lejos de la comunidad sin embargo esto no ocurre en los países subdesarrollados debido a que no le dan la importancia necesaria a este fenómeno y sin un control cada vez existen más fuentes para la contaminación de aguas ocasionando un gran perjuicio para el medio ambiente (López et al., 2017; Quispe et al., 2020).

Debido a que, en su mayoría las actividades humanas emplean el recurso agua, generan una gran cantidad de aguas residuales mientras aumenta su demanda, aumentando así la carga contaminante total continuamente al ser vertidas directamente, sin un tratamiento adecuado perjudicando así principalmente la salud humana, la productividad económica y la calidad de los recursos ambientales (UNESCO, 2017).

### **2.3.1. Características y composición de las aguas residuales**

Como lo menciona Quiroz et al., (2019) Dependiendo de su origen, las aguas residuales pueden presentar características significativamente diferentes, es decir el agua residual municipal o de origen doméstico presentan características similares independientemente del sector en el que se produzcan, pero esto no sucede con las aguas residuales industriales. Para una caracterización de aguas residuales se tiene que plantear los siguientes objetivos: primero está determinar el poder contaminante del agua residual para saber si debe ser sometida a tratamiento o no y segundo elegir el tratamiento más adecuado para el diseño de la instalación de tratamiento de aguas residuales ya que dependiendo de los procesos industriales las aguas residuales requerirán caracterizar indicadores específicos para medir el grado de contaminación de sus vertidos.

Dentro de las características físicas se encuentran los sólidos totales, olor, temperatura, turbidez, color y densidad mientras que en las características químicas encontramos a la materia orgánica, materia inorgánica y finalmente a los gases presentes en el agua residual, por otra parte, en las características biológicas encontramos microorganismos, organismos patógenos y finalmente ensayos de toxicidad (Zambrano, 2009)

Por lo expuesto anteriormente se puede decir que, de acuerdo con el uso que se les haya dado a las aguas residuales, estas van a diferir en su composición.

### **2.3.2. Tipos de agua residual**

- **Aguas residuales domésticas**

Las aguas residuales domésticas o denominadas también como aguas servidas son efluentes descargados a través del sistema de alcantarillado y tienen origen dentro de las actividades de rutina diaria del ser humano. Se encuentra conformada por una mezcla tanto de materiales orgánicos (residuos de alimentos, heces, material vegetal, detergentes, etc.) como inorgánicos que están suspendidos o disueltos en el agua (Granja & Tapia, 2013; Osorio-Rivera et al., 2021)

- **Aguas residuales industriales**

Es considerada agua industrial a aquella que es empleada por las industrias para llevar a cabo sus diferentes procesos de producción, transformación o manipulación de cualquier taller o negocio incluyendo las aguas de proceso, líquidos residuales y aguas de refrigeración (Bernal, 2015; Cortes et al., 2010).

- **Aguas de escorrentía urbana**

Se refiere a las aguas de lluvia que se recolectan y son vertidas en los distintos cuerpos de agua ayudando estos a la dilución de contaminantes entre otros usos que le da el ser humano,



estas aguas residuales son consideradas como puntos de contaminación tanto de manera puntual o difusa dentro de las áreas receptoras. Con la finalidad de disminuir la carga contaminante presente en los caudales de escorrentía urbana se puede implementar Sistemas de Drenaje Sostenible entre otros tratamientos para disminuir su impacto ambiental (García del Villar, 2020; Peña & Lara, 2012; Pla et al., 2019).

- **Aguas residuales agropecuarias**

Son aquellas escorrentías provenientes de las actividades agrícolas y ganaderas las cuales generan una contaminación directa tanto en aguas superficiales como en subterráneas presentando una gran cantidad de carga orgánica, grasas, sólidos sedimentables y suspendidos presentando un olor rancio y una coloración opaca deteriorando representativamente la calidad del agua principalmente por el estiércol con altas concentraciones de nutrientes como lo son el nitrógeno, potasio y fósforo dando lugar a la eutrofización, aumento microbiano excesivo, mal olor. Estas aguas generalmente son descargadas directamente a los cuerpos de agua dulce y escorrentía superficial (Albuja, 2014; Lazcano Carreño, 2016; Steinfeld et al., 2009).

### ***2.3.2.1. Impacto ambiental ocasionado por las aguas residuales pecuarias***

El sector pecuario es responsable del 64% de la contaminación atmosférica y ambiental a nivel mundial causada principalmente por la eutrofización y los malos olores, además, los sistemas pecuarios trabajan con altos niveles de requerimiento de agua en todos los segmentos de producción empleando un 8% más de lo que requiere cubrir las necesidades humanas. Por otra parte, el 55% de la erosión se da por parte del sector pecuario y en cuanto a recursos hídricos, y es el responsable de contaminar en un 32% con nitrógeno y 33% de fósforo además de contaminar con plaguicidas y antibióticos a los cuerpos de agua promoviendo así a la contaminación y agotamiento del agua (Steinfeld et al., 2009).

Los aceites y grasas que se encuentran presentes en las aguas residuales provenientes de las actividades pecuarias contribuyen a la contaminación ambiental debido a que, estos lípidos al ser inmiscibles con el agua forman una capa sobre la superficie de los cuerpos de agua lo cual reduce significativamente la tasa de oxígeno (Pacheco et al., 2018). Por otra parte, la presencia de aceites y grasas en aguas residuales entorpece que las mismas sean sometidas a algún tratamiento ya sea fisicoquímico o biológico, por esta razón, es recomendable que tanto aceites como grasas sean sometidos a tratamientos para su degradación en los pasos iniciales del tratamiento de aguas residuales para asegurar que estas se gestionen de una manera eficiente (Vidales et al., 2010).

### **2.3.3. Tratamiento de aguas residuales**

De acuerdo con la UNESCO(2017), el 70% de las aguas residuales generadas en países ricos son sometidas a algún tratamiento previo a su vertido, sin embargo, en países pobres tan solo el 8% de aguas residuales son tratadas. En conclusión, se estima que cerca del 80% de aguas residuales que se generan a nivel mundial son vertidas sin ningún tipo de tratamiento.

La elaboración de sistemas que puedan brindar un tratamiento adecuado a las aguas residuales se ha dado desde el siglo XX, siendo desde entonces la principal función de la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales el acelerar los procesos de purificación o descontaminación que se dan normalmente en el ambiente (Environment Protection Agency, 1998)

No darle un tratamiento adecuado a las aguas residuales previamente a que terminen en los cuerpos receptores genera efectos perjudiciales para la salud y el ambiente por ello es necesario mediante los diferentes tipos de tratamiento existentes ya sean físicos, químicos o biológicos disminuir lo mayormente posible la carga contaminante para que de esta manera

pueda reducirse el impacto ambiental que genera y a su vez aprovechar la recuperación de productos que se encuentren en estos efluentes como el agua mismo, y los distintos nutrientes presentes (López et al., 2017).

El objetivo de realizar un tratamiento a las aguas residuales es eliminar o disminuir los contaminantes presentes para alcanzar los límites permisibles que rigen las normas de calidad de aguas y descarga de efluentes nacionales e internacionales (Díaz et al., 2012).

A nivel de Latinoamérica el 34% del agua residual llega a ser tratada de manera convencional con tecnologías de bajo costo y se colocan en los sistemas de alcantarillado empleando fosas sépticas mientras que el resto son vertidas directamente a los cuerpos de agua (Lazcano Carreño, 2016; Proaño & Gualoto, 2018).

El ejecutar el tratamiento adecuado de los efluentes garantiza que los recursos hídricos se encuentren disponibles a largo plazo y permite su reutilización (Llano et al., 2014) antes de que las aguas residuales sean vertidas tienen que pasar por procesos que permitan que las mismas se encuentren bajo los estándares de calidad ambiental para una preservación del ambiente (Lazcano Carreño, 2016).

Existen muchas industrias que aun vierten sus efluentes directamente al alcantarillado y a los arroyos sin darles ningún tratamiento. Para el tratamiento de aguas residuales se requiere primero la separación de los sólidos presentes en el líquido, segundo la oxidación de materiales orgánicos, tercero la neutralización y eliminación de sustancias venenosas y finalmente la eliminación de residuos. Los métodos que se emplean pueden ser físicos, químicos o biológicos o a su vez se puede combinar varios métodos (Patel, 2015).

### ***2.3.3.1. Tipos de tratamiento***

- **Tratamientos químicos**

Se incorporan productos químicos para así eliminar o convertir a los contaminantes presentes en el agua residual y así poder llegar a los límites permisibles establecidos por la norma, generalmente se agrega cal para modificar el valor del pH de los efluentes y se incorporan sales para provocar una precipitación de los contaminantes (Duarte & Galindo, 2018).

- **Tratamientos fisicoquímicos**

La aplicación de tratamientos fisicoquímicos en el tratamiento de efluentes ha sido empleada desde comienzos del siglo XX utilizando sales metálicas como coagulante. La finalidad de este tratamiento es lograr aumentar lo máximo posible tanto la tasa de sedimentación, así como también la eficiencia de la remoción de la carga contaminante con la adición de coagulantes que permitan la aglutinación de la parte sólida de las aguas residuales para que pueda ser separadas por sedimentación (Carrasco, 2007).

- **Tratamientos biológicos**

Se basa en crear y explotar nichos ecológicos seleccionando los microorganismos que se encuentren mejor adaptados para reproducirse en condiciones en donde los contaminantes se encuentren presentes y que dichos microorganismos estén capacitados para lograr una bioconversión entre los tratamientos más comúnmente aplicados se puede encontrar a los lodos activados, biodigestión anaerobia, lagunas aireadas, filtros percoladores (Baeza, 2023; López et al., 2017). Los microorganismos utilizan como fuente de carbono a los contaminantes presentes en el agua residual

Existen procesos biológicos en medio líquido los cuales son mezclados con el agua residual y procesos biológicos de soporte sólido en donde los microorganismos crezcan adheridos a un soporte sólido (Ferrer et al., 2022).

#### ***2.3.3.2. Niveles de tratamiento de agua residual***

El grado de tratamiento que se le dé a las aguas residuales varía dependiendo de su origen y su carga contaminante por ello existe tratamiento primario empleando barreras físicas, el tratamiento secundario empleando sistemas biológicos para promover la biodegradación de contaminantes y un tratamiento terciario para purificar y desinfectar las aguas residuales (Doom et al., 2006).

- **Tratamiento primario**

En esta etapa de tratamiento se busca reducir la cantidad de sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales, para esto se aplica técnicas de filtración, fosas sépticas, tamizado o tanques Imhoff mediante procesos de sedimentación, flotación, floculación o separación sólido-líquido entre otros (Wiki, 2007).

- **Tratamiento secundario**

Este tratamiento busca reducir los sólidos sedimentables que no fueron eliminados en el tratamiento primario replicando fenómenos naturales con sistemas biológicos facilitando la descomposición de materia orgánica y reduciendo el DBO (Monzón Martínez, 2022)

- **Tratamiento terciario**

En esta fase se remueven contaminantes de manera específica que no hayan sido biodegradados en los tratamientos previos (Monzón Martínez, 2022)

- **Nuevas tecnologías**

El ultrasonido se ha considerado una alternativa más ecológica para el tratamiento de aguas residuales, así como la adsorción con nanopartículas y la electrocoagulación para el caso del cromo sin embargo son métodos de alto costo, por otro lado, para la remoción del Nitrógeno han sido estudiadas las microalgas con un alto porcentaje de remoción (Monzón Martínez, 2022).

#### **2.4. Microorganismos biodegradadores**

Los microorganismos son participes de los distintos procesos ecológicos, siendo considerados los principales encargados de la descomposición de materia orgánica y del reciclaje de los nutrientes brindando indispensables servicios ambientales teniendo así, una gran influencia en los sistemas biológicos y biotecnológicos, considerados como un significativo recurso para la elaboración de nuevas tecnologías ecológicas y ambientales que posibilitan la conservación y recuperación de recursos que por las diversas actividades antropogénicas se han visto afectadas y contaminadas con el tiempo (Montaño et al., 2010). Existen una gran variedad de microorganismos con la capacidad de degradar compuestos considerados nocivos o contaminantes para el entorno humano, gracias a dichos microorganismos se pueden efectuar distintos métodos de biorremediación con la finalidad de reducir o transformar sustancias perjudiciales a unas de carácter menos tóxico que incluso pueden llegar a ser consideradas como inocuas tanto para el ambiente como para la salud humana (Torres, 2003).

La biorremediación utiliza el potencial metabólico de los microorganismos para la eliminación o reducción a niveles aceptables de contaminantes, siendo una tecnología prometedora pudiendo realizarse ex situ o in situ (Coelho et al., 2020). Una de las alternativas para reducir de la contaminación hídrica es el empleo de microorganismos capaces de utilizar los compuestos contaminantes presentes en las aguas como fuente de carbono y energía, el empleo de estos microorganismos posibilita que las aguas residuales sean tratadas de tal manera

que puedan reutilizarse de manera segura y eficiente tal como lo realizó Romero & Vargas (2017) en su estudio, monitoreando los cambios fisicoquímicos y microbiológicos en aguas contaminadas concluyendo en su investigación que, éstos tienen la capacidad de ejercer su influencia degradadora en materia orgánica así como también en la disminución de la presencia de microorganismos propios de las aguas contaminadas.

#### **2.4.1. Especies microbianas biodegradadoras**

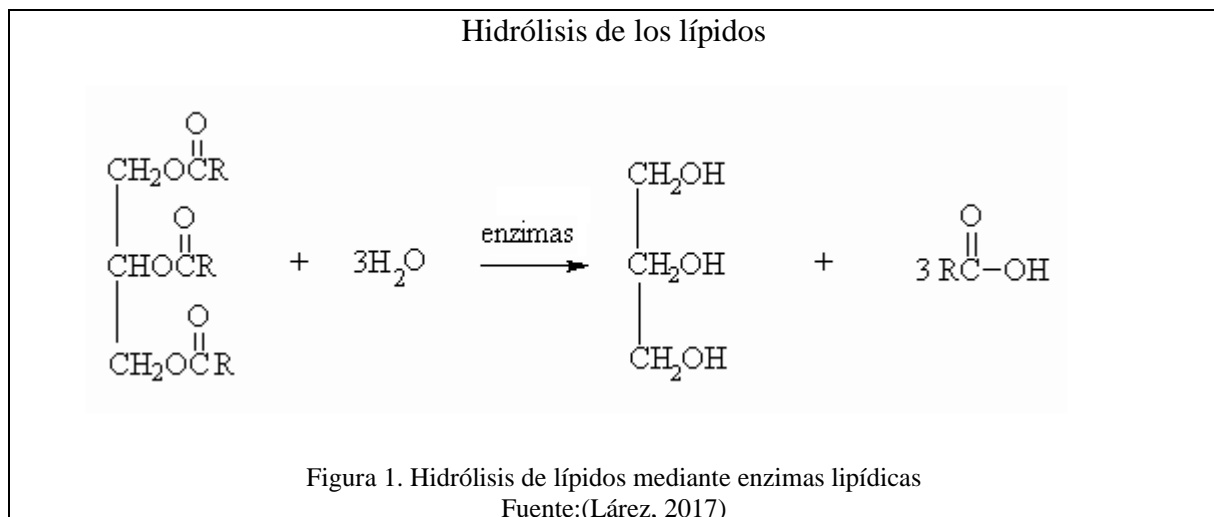
Dentro de ecosistemas en los que se encuentren presentes contaminantes se puede encontrar especies de bacterias y hongos que presentan un metabolismo muy amplio capaz de adecuarse y emplear los mismos contaminantes como fuente de energía dentro de este grupo de microorganismos se encuentran géneros de *Pseudomonas* y *Aspergillus* (Rabelo, 2023). Para el tratamiento de aguas residuales se ha comprobado que el uso de microorganismos inmovilizados presenta una alta capacidad de biodegradación de materia orgánica suspendida y disuelta (Prócel et al., 2016).

Durante los procesos de degradación de contaminantes intervienen varias especies dependiendo la afinidad de estas hacia los diferentes tipos de contaminantes, por ejemplo, las cianobacterias del género *Fischerella* o *Phormidium* participan en la degradación de hidrocarburos que se encuentran en aguas residuales. Bacterias como *Acinetobacter*, *Actinomycetes*, *Arthrobacter*, *Micrococcus* entre otras, presentan preferencia por la degradación de alcanos mientras que *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Rhodococcus* se inclinan hacia los compuestos aromáticos (García et al., 2019).

##### **2.4.1.1. Microorganismos con capacidad biodegradadora de aceites y grasas**

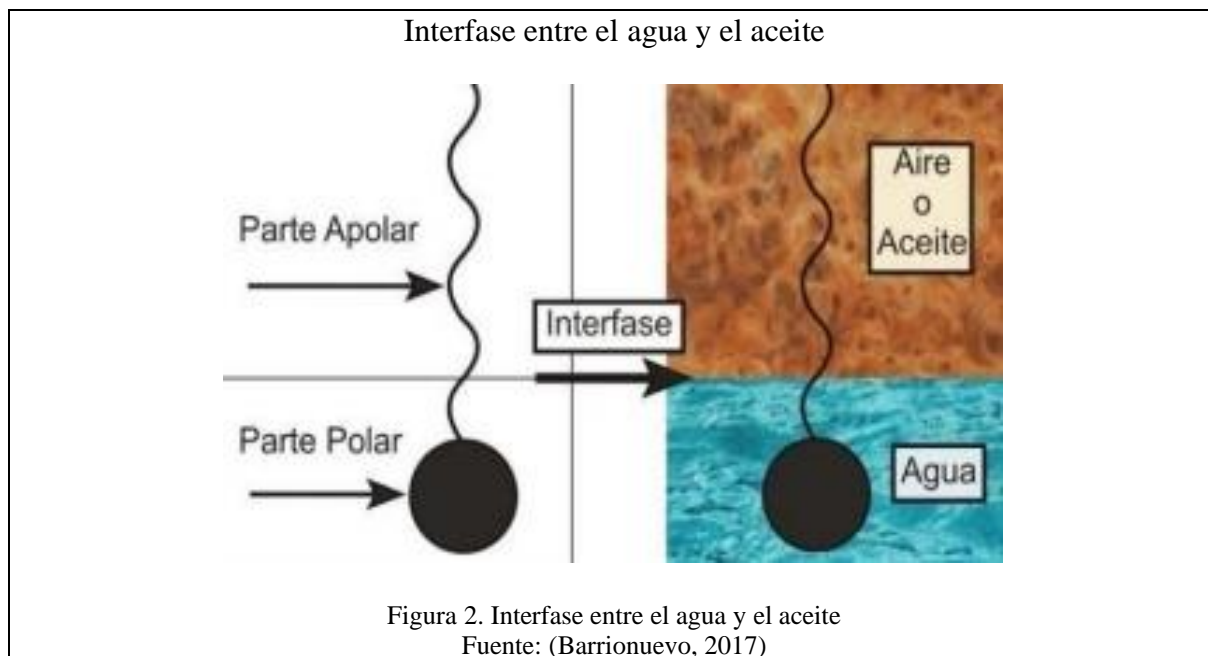
Este grupo de microorganismos son conocidas como lipolíticas, los cuales generan enzimas lipasas que hidrolizan los aceites y grasas transformándolas en componentes más sencillos (Figura 1), pueden ser aerobias o anaerobias y entre ellas se tiene principalmente al género

*Bacillus*, *Clostridium* y *Pseudomonas* en cuanto a bacterias se refiere (Pazmiño, 2016). Por otro lado, también existen hongos que presentan esta capacidad como *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium* y *Amorphoteca*. Se ha demostrado que, el uso de estos microorganismos de manera combinada es más eficiente que si se los emplean por sí solos (Moya-Salazar & Moya-Salazar, 2020).



Algunos microorganismos tienen la capacidad de aumentar la solubilidad de compuestos orgánicos como los aceites y grasas de aguas residuales a estos se los conoce como biosurfactantes, los cuales rompen la interfase como se observa en la Figura 2 eliminando la película de grasa que se forma en la superficie de los cuerpos de agua por la diferencia de densidades entre el recurso hídrico y los aceites y grasa (Barrionuevo, 2017; Lama, 2017); algunos de estos microorganismos se encuentran en la tabla 2 que detalla el tipo de biosurfactante y el microorganismo que lo produce.





**Tabla 2.**

*Microorganismos y tipos de biosurfactantes que producen*

<b>Tipo de biosurfactante</b>	<b>Microorganismo</b>
Trehalose lipids	<i>Arthrobacter paraffineus</i>
	<i>Corynebacterium sp.</i>
	<i>Mycobacterium sp.</i>
Rhamnolipids	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
	<i>Pseudomonas sp</i>
Sophorolipids	<i>Candida apicola</i>
	<i>Candida bombicola</i>
	<i>Candida lipolytica</i>
	<i>Candida bogoriensis</i>
Glycolipids	<i>Alcanivoras Borkumensis</i>
	<i>Tsukamurella sp.</i>
Lichenysin	<i>Bacillus licheniformis</i>
Surfactin	<i>Bacillus subtilis</i>

	<i>Bacillus pumilus</i>
Fatty acids	<i>Penicillium spicutisporum</i> <i>Arthrobacter paraffineus</i>

Fuente: (Lama, 2017)

#### 2.4.2. Consorcio microbiano

Estos sistemas biológicos permiten reducir los niveles de contaminación presentes degradando o transformando los compuestos contaminantes de manera colectiva mostrando su potencial para la biorremediación, dependiendo tanto del contaminante como el grado o nivel de contaminación, así como también la localización y tipo de ambiente (Aguilar, 2021). Siendo así la aplicación de consorcios bacterianos una alternativa biológica para el tratamiento de aguas residuales (Aguilar, 2021; Díaz-Borrego et al., 2017).

Los consorcios microbianos realizan procesos más complejos y permiten una mayor eficiencia en el aprovechamiento de los recursos realizando varias actividades metabólicas a la vez dando como resultado un sistema menos complejo para la degradación de contaminante (Macchi, 2018).

#### 2.4.3. Cóctel microbiano Bio\_Amazonas

Se trata de una solución biológica compuesta por un conjunto de microorganismos eficientes que gracias a su actividad enzimática degradan ácidos grasos, hidrocarburos, compuestos fenólicos y compuestos orgánicos recalcitrantes, siendo capaces de hidrolizar grasas aglomeradas en los residuos generados por la actividad industrial. Este cóctel microbiano se encuentra destinado para mejorar la calidad y funcionamiento de los procesos agroindustriales, entre ellos la reducción de agentes contaminantes en la crianza de animales de granja, a nivel industrial se destaca por la capacidad de control de olores evitando la proliferación de moscas y por consecuencia la transmisión de enfermedades (Bio\_Amazonas, 2022).

Presenta, además la capacidad de reducir compuestos nitrogenados y sulfúrales evitando que el sector a tratar sea un punto de ovoposición de las moscas debido a los malos olores causados por la putrefacción y descomposición de materia orgánica que se desprende del sector contaminado controlando patógenos por competencia de espacio en lodos, lixiviado y aguas residuales (Bio\_Amazonas, 2022).

#### **2.4.4. Cubos biológicos microbianos**

Empresas enfocadas al biotratamiento de aguas residuales como BIOMERK® SAS han desarrollado inoculantes biológicos de forma sólida (biocubos), utilizando la microbiología como la principal herramienta para la degradación de aceites y grasas; debido a que el producto presenta microorganismos benéficos, permite la distribución periódica de los mismos en las aguas residuales para su tratamiento, reduciendo así el porcentaje presente de compuestos oleosos (BiomerK, 2018).

Un cubo biológico para la degradación de aceites y grasas se trata de una formulación en forma de un bloque sólido a base de microorganismos que tiene la intención de acelerar la biodegradación de compuestos contaminantes reduciendo así, el tiempo de trabajo para el tratamiento de aguas residuales (BiomerK, 2013).

BioAlkim (2019), indica que los biocubos gracias a la formulación bio-enzimática con microorganismos que degradan aceites y grasas de origen vegetal y animal permite mejorar la calidad de aguas residuales además que, a nivel de industria, evita que las tuberías y conductos destinados a la descarga de efluentes se incrusten de material oleoso obteniendo así tuberías limpias de residuos y previniendo tanto el anidamiento de animales como evitando los malos olores y la atracción de moscas y mosquitos.

### **3. Materiales y métodos**

La presente investigación se ejecutó gracias a la colaboración de la empresa Bio\_Amazonas S.A y la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo quienes proporcionaron el material biológico, reactivos e instalaciones haciendo posible realizar los estudios correspondientes los cuales se realizaron en tres fases: preliminar, experimental y análisis de datos.

#### **3.1.Fase preliminar**

##### **3.1.1. Escalado del cóctel bacteriano**

Para el proceso de escalado primero se activó el consorcio microbiano liofilizado, el cual fue otorgado por la empresa Bio\_Amazonas S.A, para ello se utilizó 10 tubos de ensayo estándar cada uno conteniendo 10 mL de medio de cultivo líquido Nutrient Broth marca “TM MEDIA” enriquecido con extracto de carne marca “TM MEDIA” previamente esterilizado en un autoclave vertical marca “Quimis” a 121 °C durante 20 minutos. En cada tubo de ensayo se inoculó 1 gramo del consorcio microbiano para su proliferación en una incubadora marca “Biobase BJPX-H” a 35 °C durante 36 horas para comprobar su viabilidad.

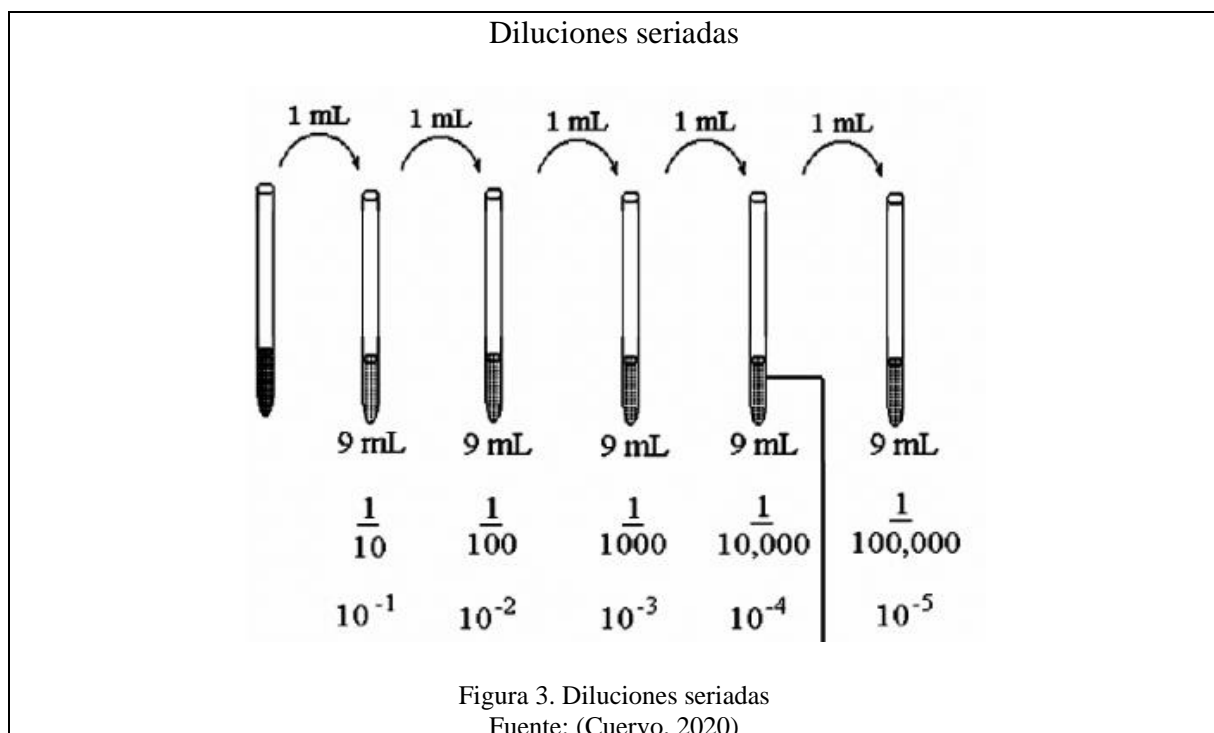
Transcurridas 48 horas de incubación, se esterilizó 5 matraces Erlenmeyer marca “Glassco” con capacidad de 125 mL con 100mL de medio de cultivo líquido cada uno, posterior a ello, empleando una cámara de flujo laminar marca “Indelab” se vertió en cada matraz, 20 mL de cóctel microbiano activado previamente en los tubos de ensayo, con la finalidad de obtener una mayor cantidad de biomasa incubándose durante 5 días.

### 3.1.2. Formulación de las concentraciones de microorganismos

#### *Siembra en placa*

Para determinar las unidades formadoras de colonias viables en el cóctel microbiano activado, se preparó por duplicado diluciones seriadas 1/1000 en agua con peptona marca “TM MEDIA” al 10% con pH neutro, las diluciones se realizaron de la siguiente manera:

Se tomó 1 mL del cóctel microbiano con la ayuda de una micropipeta marca “Sumedix” con capacidad de 1000  $\mu\text{L}$  y se inoculó en el primer tubo de ensayo con 9 mL de agua peptonada, para posteriormente ser homogeneizado con la ayuda de un vortex marca “Scilogex” durante 30 segundos a 3000 rpm obteniéndose la dilución 1/10, luego de ello, se tomó 1 mL de la primera dilución (1/10) para colocarla en un segundo tubo de ensayo que contenía 9 mL de agua peptonada y se homogeneizó la segunda dilución (1/100), finalmente se repite este proceso por tercera vez como se muestra en la figura 1 hasta obtener una dilución 1/1000 o  $10^{-3}$ .



Una vez obtenida la dilución final, se inoculó 1 mL en cajas Petri con medio de cultivo sólido por el método de vertido en placa, esto se realizó por triplicado y se agregó una placa sin inóculo para el control de esterilidad como lo solicita la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 1205-1. Después de ello, se incubó durante 48 horas a 35°C para su posterior conteo.

Siembra del cóctel activado en medio de cultivo sólido



Figura 4. Siembra de microorganismos en los medios de cultivo por la técnica de vertido en placa  
Elaborado por: (La autora, 2024)

### ***Recuento de microorganismos viables***

Transcurrido el tiempo indicado, se empleó un contador de colonias marca “Boeco” para realizar el recuento de colonias visibles en las cajas Petri, para esto se tomó los cuadrantes representativos de 1 cm<sup>2</sup> que presenten carga baja, media y alta obteniendo su promedio del número de colonias/cm<sup>2</sup> y multiplicando por el factor de dilución como se muestra en la ecuación 1 con esto se determinó en número de UFC/mL presentes en el cóctel microbiano activado para así establecer las diferentes concentraciones que fueron tomadas como tratamientos.

### Ecuación 1. Ecuación para el conteo de células viables

$$\frac{UFC}{ml} = \frac{\text{media de las cargas/cm}^2}{\text{recíproco de la dilución más alta sembrada}}$$

Fuente: (Norma Técnica Ecuatoriana, 2013)

### ***Obtención de las concentraciones***

Una vez determinadas las UFC/mL de cóctel microbiano se utilizó la siguiente fórmula (ecuación 2) para obtener las tres diluciones propuesta para ser inoculadas en los tratamientos ( $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$  y  $1 \times 10^8$  UFC/mL).

### Ecuación 2. Fórmula para calcular diluciones

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Donde:

$C_1$ =Concentración molar de la disolución

$V_1$ = volumen de la alícuota por tomar de la disolución

$C_2$ = concentración molar de la disolución diluida

$V_2$ = volumen de la disolución diluida

Fuente:(Salpúveda, 2020)

### ***Determinación de los tratamientos***

Una vez se conoció la concentración de microorganismos biorremediadores presentes en el cóctel microbiano se realizaron una serie de diluciones empleando la ecuación 3 para obtener los tratamientos propuestos como se observa en la Tabla 3.

**Tabla 3.***Concentraciones de los tratamientos*

	<b>Concentración de microorganismos (UFC/mL)</b>	<b>Muestra de cóctel microbiano (mL)</b>	<b>Agua estéril (mL)</b>
<b>Tratamiento testigo (T0)</b>	0	0	0
<b>Tratamiento 1 (T1)</b>	$1 \times 10^6$	1	99
<b>Tratamiento 2 (T2)</b>	$1 \times 10^7$	10	90
<b>Tratamiento 3 (T3)</b>	$1 \times 10^8$	100	0

Elaborado por: (La autora, 2024)

*Elaboración de los cubos biológicos microbianos*

Después de haber obtenido las tres diferentes concentraciones (tabla 2), se preparó la mezcla los agentes solidificantes otorgados por Bio\_Amazonas (mezcla de carragenina, agar agar y glicerina) en un vas de precipitación de 150mL, se mezcló con la ayuda de un agitador magnético marca “Tecnal” y una varilla de agitación magnética durante 15 min a 37°C hasta observar una mezcla homogénea, luego de ello, la mezcla fue llevada a esterilizar en autoclave a 121 °C por 20 minutos.

Transcurrido el tiempo la mezcla se dejó enfriar en moldes de plástico y se dejó en reposo sobre una superficie plana hasta que se pudo observar su gelificación, una vez el cubo se encontró solidificado se agregó 5 mL de cada una de las concentraciones previamente obtenidas como se muestra en la Figura 5 y fueron sellados con calor dejando la superficie porosa de cada uno de los cubos biológicos microbianos, para la distribución constante de microorganismos dentro de los biorreactores.



### Elaboración de los biocubos



Figura 5. Elaboración de los cubos biológicos microbianos  
Elaborado por: (La autora, 2024)

### 3.1.3. Obtención de muestras

El muestreo fue efectuado en el establo perteneciente a la Estación Experimental de Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que está ubicada en el cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo, con coordenadas  $1^{\circ}45'00.5''S$   $78^{\circ}37'39.1''W$ . Con el propósito de que el muestreo sea representativo y se pueda mostrar el estado promedio del agua residual considerando: el sitio de muestreo, el tiempo, y técnica correcta; se realizó siguiendo tanto la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98 como la NTE INEN 2176:98 por lo que se tomó una muestra compuesta del agua residual en un recipiente plástico con tapa con capacidad de 45 litros y se selló para evitar derrames y fue transportada desde la Estación Experimental hacia las instalaciones de los laboratorios de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Politécnica Superior de Chimborazo.

## 3.2. Fase experimental

### 3.2.1. Implementación del sistema de biorremediación

Primero se realizó una limpieza con agua y jabón a los biorreactores de cristal cada uno con capacidad de 15 litros para luego enjuagarlos con n-hexano para análisis marca “Emsure” con la finalidad de que se haya retirado cualquier resto de aceite o grasa luego de ello, los biorreactores fueron esterilizados por calor seco en una estufa marca “Memmert” a 180°C durante 2 horas, posteriormente, se colocaron 2 bombas de aire marca JAD SC-7500” con caudal máximo de agua de 3 L/min de las cuales cada bomba otorgaba oxígeno a dos biorreactores utilizando manguera de acuario como se observa en la figura 6



Una vez colocado el sistema, se añadió 10 litros de agua residual en cada biorreactor y se colocaron en uno de los mesones del laboratorio; cada biorreactor contó con su respectiva tapa de cristal y con su línea de oxígeno funcionando como lo muestra la figura 7.

## Biorreactores



Figura 7. Colocación de muestras de agua residual en los biorreactores  
Elaborado por: (La autora, 2024)

### 3.2.2. Parámetros de estudio

Las variables evaluadas fueron: potencial de hidrógeno, temperatura, conductividad, alcalinidad, materia flotante, umbral de olor, sólidos disueltos totales y análisis microbiológicos (coliformes totales) como se muestra en la Tabla 4 la evaluación se realizó antes de aplicar los tratamientos y después de 45 días mientras que, el análisis de la degradación de aceites y grasas se lo realizó en 5 ocasiones (0, 7, 15, 30 y 45 días) a partir de la aplicación de los cubos biológicos (Tabla 5). Todos los parámetros mencionados fueron evaluados a partir de los 3 tratamientos propuestos y del tratamiento testigo.

#### Tabla 4

*Parámetros evaluados en la fase experimental*

<b>Parámetro</b>	<b>Método de evaluación</b>
pH	SM-4500H <sup>+</sup> B
<b>Temperatura (°C)</b>	SM-2550 B
<b>Conductividad (µS/cm)</b>	SM-2510 B
<b>Alcalinidad (mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b>	SM- 2320 B
<b>Materia flotante (presencia/ausencia)</b>	NMX-AA-006-SCFI-2000
<b>Umbral de olor (TON)</b>	SM- 2150 B
<b>Sólidos disueltos Totales (mg/L)</b>	SM- 2540 B
<b>Coliformes totales (NMP/100mL)</b>	NTE INEN- ISO 9308-3
<b>Aceites y grasas (mg/L)</b>	SM- 5520 B

Elaborado por: (La autora, 2024)

Nota: SM se refiere al libro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (2017) y NTE INEN-ISO 9308-3 se refiere a la Norma Técnica Ecuatoriana para el recuento de coliformes por la técnica de NMP, NMX-AA-006-SCFI-2000 se refiere a la norma mexicana para la determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas.

**Tabla 5**

*Diseño experimental para la determinación de aceites y grasas a escala de laboratorio*

		mg/L aceites y grasas														
		V1 (0 días)			V2 (7 días)			V3 (15 días)			V4 (30 días)			V5 (45 días)		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>T 0</b>	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
	V1	V1	V1	V2	V2	V2	V3	V3	V3	V4	V4	V4	V5	V5	V5	
<b>T 1</b>	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
	V1	V1	V1	V2	V2	V2	V3	V3	V3	V4	V4	V4	V5	V5	V5	

<b>T 2</b>	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
	V1	V1	V1	V2	V2	V2	V3	V3	V3	V4	V4	V4	V5	V5	V5
<b>T 3</b>	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
	V1	V1	V1	V2	V2	V2	V3	V3	V3	V4	V4	V4	V5	V5	V5

Elaborado por: (La autora, 2024)

Nota: T0= tratamiento testigo, T1= tratamiento 1 ( $1 \times 10^6$ UFC/mL), T2= tratamiento 2 ( $1 \times 10^7$ UFC/mL), T3= tratamiento 3 ( $1 \times 10^8$ UFC/mL); R1= repetición 1, R2= repetición 2, R3= repetición 3; V1= primera evaluación de aceites y grasas (0 días), V2= segunda evaluación de aceites y grasas (7 días), V3= tercera evaluación de aceites y grasas (15 días), V4= cuarta evaluación de aceites y grasas (30 días), V5= quinta evaluación de aceites y grasas (45 días).

Los tratamientos aplicados fueron 3, los cuales consistieron en una diferencia de concentraciones en los biocubos más la implementación de un tratamiento testigo, el cual carecía de la aplicación del cubo biológico microbiano como se detalló en la tabla 3. Los tratamientos para la evaluación de los parámetros escogidos fueron colocados en base a un Diseño Completamente al Azar como se observa en la tabla 6

**Tabla 6**

*Disposición de los tratamientos*

T2 R1	T3 R3	T0 R2	T1 R1
T1 R3	T2 R2	T1 R2	T0 R3
T3 R2	T0 R1	T2 R3	T3 R1

Elaborado por: (La autora, 2024)

Nota: T0= tratamiento testigo, T1= tratamiento 1 ( $1 \times 10^6$ UFC/mL), T2= tratamiento 2 ( $1 \times 10^7$ UFC/mL), T3= tratamiento 3 ( $1 \times 10^8$ UFC/mL); R1= repetición 1, R2= repetición 2, R3= repetición 3.

En base a lo mencionado anteriormente se procedió a la evaluación de los parámetros de la siguiente manera:

- **pH**

Se tomó tres alícuotas de 15 mL en matraces Erlenmeyer por cada tratamiento incluyendo al tratamiento testigo, en cada una de las alícuotas fue sumergido completamente el electrodo del potenciómetro marca “Oakton” y se esperó alrededor de 1 minuto hasta que la lectura que mostró el equipo se encontró estable, las lecturas se realizaron a temperatura ambiente en un horario entre las 10 y 11 de la mañana antes y después de la aplicación de los tratamientos (45 días), previo a tomar cada uno de los datos la sonda fue limpiada con agua destilada y sumergida en una solución Buffer 7,0 marca “Oakton” con lo que se evitó la descalibración del equipo.

- **Temperatura**

Empleando un termómetro electrónico marca “Oakton”, se sumergió la sonda en 3 vasos de precipitación 50 mL por cada tratamiento, dichos recipientes contenían 15 mL de muestra cada uno debidamente etiquetado con el tratamiento y repetición correspondiente, el electrodo o sonda se introdujo en los vasos de precipitación hasta observar la lectura en el panel del equipo y se registró los datos, para tomar cada una de las lecturas, el electrodo fue debidamente limpiado con agua destilada y secado en su totalidad. Las lecturas fueron tomadas a las 11 de la mañana antes y después de la aplicación de los tratamientos (45 días) en cada uno de los biorreactores.

- **Conductividad**

Con la ayuda de un potenciómetro marca “Oakton”, se obtuvo las mediciones sumergiendo el electrodo de platino en las muestras de 15 mL tomadas previamente de cada uno de los tratamientos en vasos de precipitación de 50 mL, esto se realizó por triplicado hasta que el equipo que reflejó las lecturas en el panel, la toma de muestras y la medición se realizó antes y después de la aplicación de los tratamientos (45 días) a las 12 del mediodía a temperatura

ambiente y para cada repetición se limpió el electrodo con agua destilada y se secó completamente.

- **Alcalinidad**

Se preparó la solución titulante (ácido sulfúrico) a una concentración del 0,02N y se tomó 100 mL de muestra por cada uno de los tratamientos para colocarlos en matraces Erlenmeyer, luego de esto, a cada matraz que contenía la muestra se le añadió 3 gotas de la solución indicadora (fenolftaleína). Después de ello, se colocó la solución titulante en una bureta automática Schilling marca “Brand” con capacidad de 25 mL y se procedió a titular hasta que se observó el viraje, seguido de observar el cambio de coloración, se marcó el volumen de ácido consumido y se aplicó la fórmula detallada en la Ecuación 3 con lo que se obtuvo los datos de alcalinidad, este proceso se realizó por 3 ocasiones para cada tratamiento tanto antes de la aplicación como después de la aplicación de los biocubos (45 días).

Ecuación 3. Ecuación para obtener la alcalinidad

$$\frac{mg\ CaCO_3}{L} = \frac{Va\ (mL) \times N\ \left(\frac{Eq}{L}\right) \times 50000}{Vm\ (mL)}$$

Donde:

Va= volumen consumido de ácido

N= Normalidad del ácido

Vm= volumen de la muestra de agua residual

Fuente: (Baird et al., 2017)

- **Materia flotante**

Se tomó 1L de agua residual de cada tratamiento incluyendo el tratamiento control y se vertió en un vaso de precipitación acondicionado con una malla metálica de 3.3 mm verificando

si en la malla se observó materia retenida registrando como presencia o ausencia de sólidos retenidos por la malla, esto se realizó por triplicado en cada uno de los tratamientos en el día 0 y día 45 del ensayo a temperatura ambiente a las 11 de la mañana.

- **Umbral de olor**

Para la cuantificación del umbral de olor, se realizó con un método sensorial detectando la presencia o ausencia de olor de las diferentes diluciones propuestas en el método 2150 B del Standard Methods (Tabla 7), para esto, el agua residual se sometió a 4 diferentes diluciones y se convocó a 5 panelistas que determinaron en que dilución fue detectado algún olor de agua residual. Esto se realizó en un laboratorio libre de olores en un horario de 2 de la tarde antes y después (45 días) de la aplicación de los cubos biológicos en el agua residual. Los panelistas primero fueron capacitados explicándose que en la hoja de registro (anexo 12), se debía marcar el casillero correspondiente a la muestra en la que percibieron olor (el panelista no debía conocer la concentración).

**Tabla 7.**

*Diluciones para varias intensidades de olor*

<b>Volumen de la muestra en la que el olor fue notado (mL)</b>	<b>Volumen a ser diluido para 200 mL (mL)</b>
200	200, 140, 100, 70, 50
50	50, 35, 25, 17, 12
12	12, 8.3, 5.7, 4.0, 2.8
2.8	Dilución intermedia

Fuente: (Baird et al., 2017)



Para la elaboración de las concentraciones se tomó alícuotas de 200 mL, 50 mL, 12 mL y 2,8 mL, todas ellas fueron aforadas a 200 mL en balones de aforo, adicionalmente, se preparó 2 blancos, es decir con 2 balones de aforo sin muestra, solo con agua sin olor.

Las concentraciones y los blancos fueron colocadas en vasos de precipitación limpios de 250 mL sin etiquetar la concentración y sin algún orden, pero si colocando una enumeración, para que los panelistas no puedan identificarlos de manera visual ya que debían usar únicamente el sentido del olfato, el umbral de olor fue considerado como la concentración más baja detectada por los panelistas.

Ecuación 4. Ecuación para obtener el número umbral de olor

$$\text{TON} = \frac{(\text{mL de muestra}) + (\text{mL de agua para dilución})}{\text{ml de muestra}}$$

Fuente: (Baird et al., 2017)

- Sólidos disueltos totales

Como primer paso se colocaron 3 crisoles por tratamiento debidamente etiquetados en la parte inferior y previamente limpios en una estufa marca “Mettler” a 105 °C durante 1 hora, transcurrido el tiempo indicado, se posicionaron en un desecador que contenía sílica gel con indicador de humedad marca “JT Baker”, durante 20 minutos hasta que los crisoles se encontraron a temperatura ambiente, luego de ello, los crisoles fueron pesados en una balanza analítica marca “Ohaus” y se registraron los datos arrojados.

Después de ello, en cada crisol se colocó 10 mL de muestra previamente homogeneizada y se trasladó hacia la estufa marca “Mettler” a 98 °C hasta que la muestra se evaporó, una vez se observó que no existía contenido de agua visible, la muestra se secó a 105 °C durante 1 hora, después de ese tiempo, los crisoles fueron introducidos nuevamente en el desecador hasta

que se encontraron a temperatura ambiente y se procedió a pesar y registrar los datos. Finalmente, se vuelve a colocar los crisoles en la estufa durante otra hora y se repitió el procedimiento las veces necesarias hasta que el cambio de peso fue de 0,5 mg. Este ensayo se realizó a partir de las 8 de la mañana hasta las 4 de la tarde antes y después de la aplicación de los biocubos (45 días). Para obtener los datos de sólidos disueltos totales se aplicó la fórmula que se muestra en la ecuación 5.

Ecuación 5. Fórmula para obtener Sólidos Disueltos Totales

$$SDT \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(A - B) \times 1000}{Vm (mL)}$$

Donde:

A= Peso del residuo seco + crisol (mg)

B= Peso del crisol (mg)

Vm= volumen de la muestra (mL)

Fuente: (Baird et al., 2017)

- **Análisis microbiológicos**

Para realizar el recuento de coliformes totales se empleó la técnica del número más probable descrito por la norma mencionada en la tabla 4, para esto, primero se realizó diluciones seriadas 1/10, 1/100 y 1/1000 en agua peptona marca “TM Media” la cual fue esterilizada por calor húmedo en un autoclave vertical marca “Quimib” a 121 °C por 25 min en tubos de ensayo estándar, cada uno conteniendo 9 mL de la solución diluyente estéril (agua peptona). Una vez que fue esterilizada la solución diluyente, se inoculó 1 mL de muestra por cada tratamiento en el primer tubo de ensayo y se homogeneizó en un vortex marca “Scilogex” durante 30 segundos a 3000 rpm” para tener la primera dilución (1/10), luego se tomó 1 mL de la primera dilución para colocarlo en el segundo tubo de ensayo para tener la dilución 1/100 y se repitió el

procedimiento a un tercer tubo de ensayo con los 9 mL de agua peptonada hasta obtener una dilución de 1/1000.

Empleando una micropipeta autoclavable marca “Oxford BenchMate” se tomó 1 mL de cada una de las diluciones que ya fueron preparadas y se inoculó en 3 tubos de ensayo con tapa rosca que contenían 10 mL de caldo lactosa bilis brillante marca “TM Media” por tratamiento, adicionalmente cada tubo de ensayo contenía una campana de Durham para comprobar la presencia de gas y fueron cerrados con tapa rosca como lo muestra la figura 8. Estos cultivos se incubaron a 37 °C durante 48 horas en una incubadora marca “Biobase”. Transcurrido el tiempo se registró si existía o no presencia de gas dentro de la campana de Durham registrando la muestra como positiva para la presencia de coliformes en el caso de la presencia de gas y negativo si en la campana no se observó burbujas para luego obtener el NMP/100 mL de muestra empleando la tabla del anexo 11.

#### Preparación de los medios de cultivo con campana de Durham



Figura 8. Cultivo de coliformes  
Elaborado por: (La autora, 2024)

## **Aceites y grasas**

Para el análisis de mg/L de aceites y grasas contenidas en el agua residual se utilizó el método de extracción líquido-líquido y gravimetría descrito en el SM- 5520 B y para esto primero se lavó con agua y jabón frascos termorresistentes de 500 mL marca “Boeco” para luego ser enjuagados con n-hexano marca “Emsure”, una vez limpios, se colocaron en una estufa a 200 °C durante 1 hora, cuando los frascos enfriaron hasta temperatura ambiente, se tomó con ellos muestras de 500mL por cada tratamiento y fueron acidificadas con ácido clorhídrico 1:1 hasta llegar a pH 2 marcando en los frascos el menisco del agua con un marcador permanente. Con la ayuda de un embudo de cristal se vertió la muestra en un embudo de separación con capacidad de 1 L marca “Glassco” y se enjuagó el frasco termorresistente con 10 mL de n-hexano por tres veces, el enjuague se añadió al embudo de separación junto 30 mL más de disolvente (n-hexano) luego se agitó hasta que se pudo observar una separación de capas (acuosa y oleosa) como se observa en la figura 9. Después con la ayuda de la llave del embudo de separación, se retiró la parte acuosa y fue vertida en nuevamente en el frasco termorresistente reservándola para repetir el proceso de extracción por 2 ocasiones más hasta que se observó que ya la muestra no presentó más una separación de fases indicando que se extrajo toda la parte oleosa de la muestra.

### Separación de fases



Figura 9. Separación de la parte acuosa de la oleosa del agua residual  
Elaborado por: (La autora, 2024)

Por otra parte, la fase oleosa fue transferida desde el embudo de separación hasta un vaso de cristal de borosilicato para extracción de grasa marca “Labconco” con capacidad de 100 mL que previamente fue pesado en una balanza analítica marca “Ohaus” para registrar el peso inicial, esto se realizó con la ayuda de un embudo de cristal acondicionado con papel filtro número 40 marca “Whatman” y 10 gramos de sulfato de sodio. Los vasos de cristal fueron trasladados a un equipo de extracción de grasas Goldfish marca “Labconco” para la recuperación del disolvente (Figura 10). Una vez que el equipo extrajo todo el hexano de los vasos de cristal, se pesa nuevamente el vaso de Goldfish y se registran los datos de peso final.

### Montaje del equipo de extracción de grasa Goldfish



Figura 10. Extracción de aceites y grasas  
Elaborado por: (La autora, 2024)

### 3.3. Análisis estadístico

Para la toma de datos se empleó un cuaderno de campo registrando cada una de los datos que se obtuvieron de los parámetros que fueron evaluados con sus respectivas repeticiones y para el procesamiento de los mismos, se elaboraron las diferentes matrices necesarias en el software Microsoft Excel y el análisis estadístico se efectuó en el software Minitab 19, empleando un análisis de varianza de un solo factor para el caso de aceites y grasas complementado con pruebas de Tukey para determinar si existió o no diferencia significativa entre los tratamientos propuestos; en el caso del resto de parámetros al ser evaluadas antes y después de aplicar los tratamientos, se empleó pruebas t-pareadas debido a que se realizó un análisis comparativo entre dos medias dependientes con una distribución paramétrica comprobada con pruebas de distribución normal de los datos, finalmente se complementó con pruebas de Tukey para determinar si hubo o no diferencia significativa entre los tratamientos al final del estudio .

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Análisis fisicoquímicos

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos evaluados se obtuvo el análisis observado en la Tabla 8

**Tabla 8**

*Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos frente a los tratamientos*

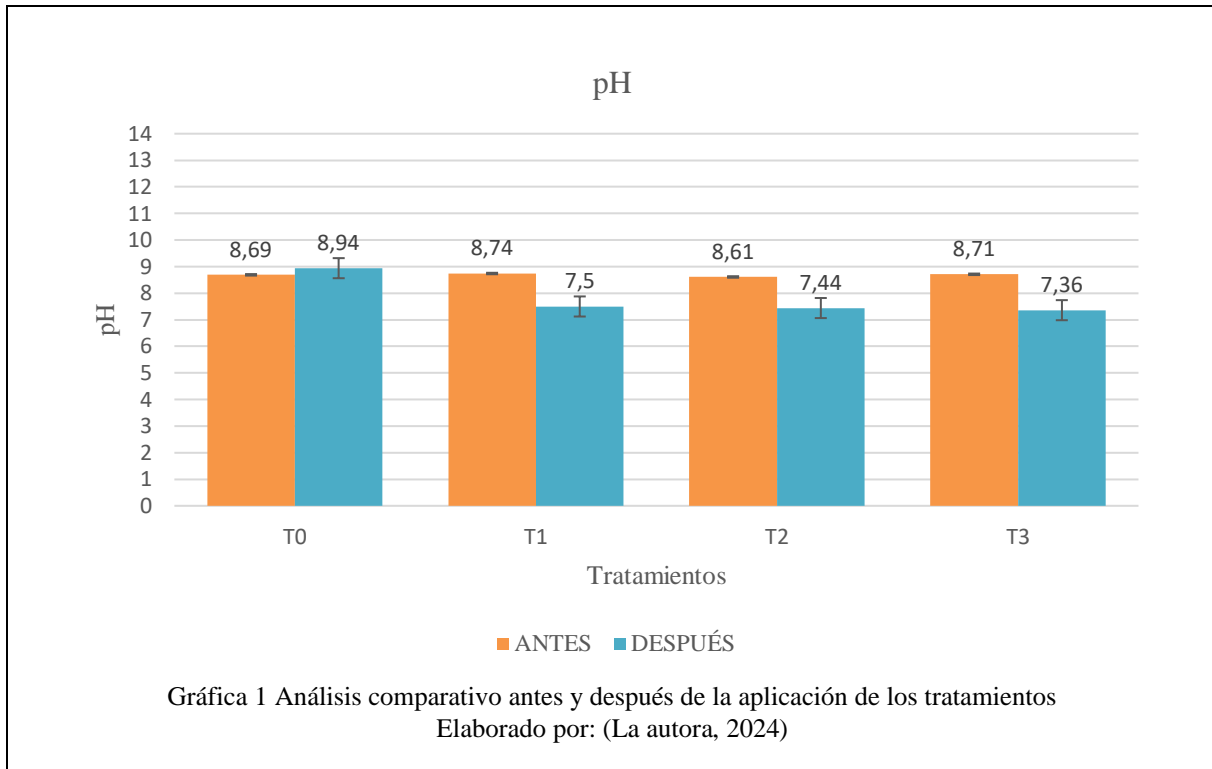
	Antes	Después (45 días)			
	(0 días)	T0	T1	T2	T3
<b>pH</b>	8,69±0,06	8,94±0,10 a	7,50±0,05 b	7,44±0,04 b	7,36±0,08 b
<b>Temperatura</b> (°C)	22,39± 0,14	22,96±0,28 a	23,16±0,49 a	23,17±0,46 a	23,36±0,11 a
<b>Conductividad</b> (µS/cm)	2453,25±3,98	2566,11±6,05 a	1477±2,71 b	656,11±4,44 c	243,44±3,10 d
<b>Alcalinidad</b> (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	126,25±0,90	146,25±5,73 a	105,00±6,96 b	99,17±3,15 b	79,17 ± 3,31 c
<b>SDT (mg/L)</b>	2153,45±1,33	2122,48±6,12 a	858,19±7,20 b	567,62±3,39 c	239,48 ± 8,92 d

Elaborado por: (La autora, 2024)

**Nota:** Si los valores que no presentan la misma letra son estadísticamente diferentes basados en un nivel de significancia del 0,05

Para evaluar si existió o no una diferencia significativa entre el antes y después (45 días) de la aplicación de cada tratamiento se empleó la prueba t pareada con un límite de confianza del 0,05 teniendo los siguientes resultados:

## pH



La evaluación del pH se realizó previamente a la incorporación de los cubos biológicos microbianos, arrojando valores que reflejaron que el agua residual se encontraba alcalina en un punto inicial, sin embargo, mientras fue transcurriendo el tiempo, el pH del agua residual se encontró en valores cercanos a 7 lo que indica que para el final del ensayo, el agua residual de los distintos tratamientos se encontraba en un punto más neutral con respecto al pH a excepción del tratamiento testigo que, por el contrario su pH se acidificó.

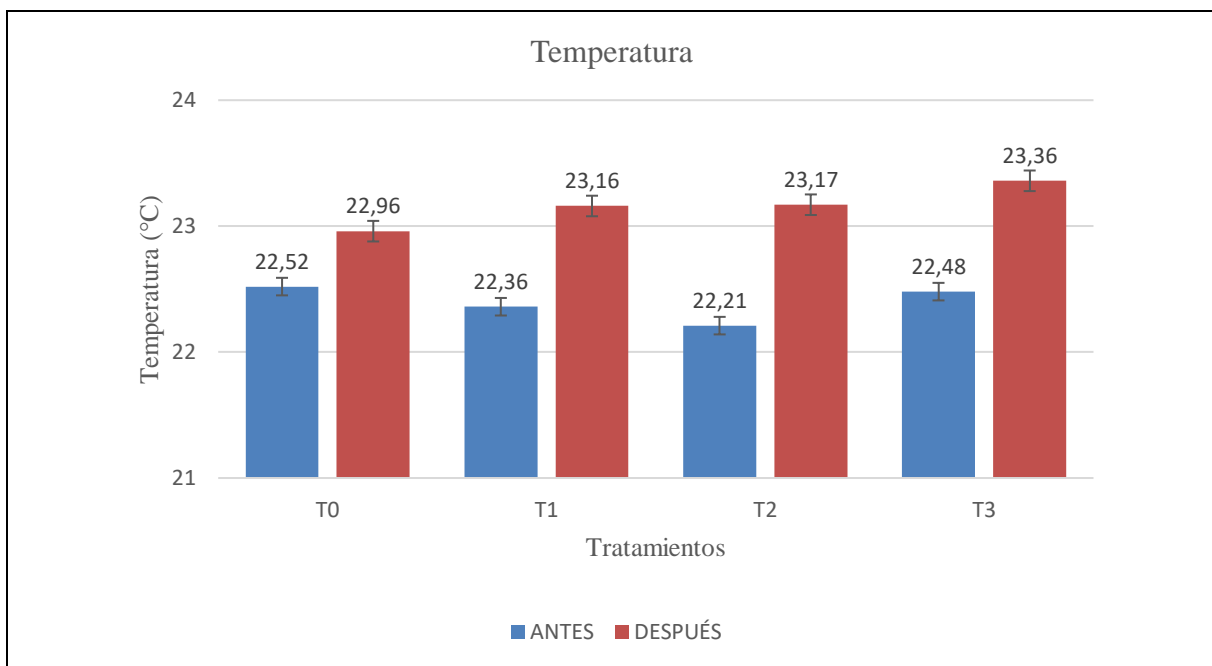
Con la prueba estadística t apareada se pudo comprobar que los valores obtenidos antes y después de T0 son estadísticamente diferentes con un valor igual a 0,004 indicando hubo diferencia de este parámetro en el agua residual en la que no se aplicó ningún tipo de tratamiento biológico, pero en este caso el pH aumentó llegando a valores cercanos al límite máximo permisible que establece la normativa de descarga de efluentes (citar). Para el caso de T1, T2 y



T3 el análisis estadístico demostró un cambio significativo entre el antes y el después del experimento.

En cuanto al análisis estadístico entre tratamientos se pudo visualizar que, transcurridos los 45 días de ensayo, T1 (7,50, T2 (7,44) y T3 (7,36) son estadísticamente iguales en cuanto al cambio de pH, pero significativamente diferentes a T0 (8,94) comprobando lo que dice Ome Barrera & Zafra Mejía (2018) en sus hallazgos obtenidos dentro de su investigación que, detallan como resultado positivo un valor de pH aproximado de 7,1 demostrando la eficiencia para la remoción de contaminantes en sistemas de biorremediación, por el contrario valores de pH más a distantes a 7 demostraron inhibición para la depuración de aguas empleando sistemas biológicos. La disminución de pH en los biorreactores a los que se les aplicó los biocubos puede deberse a la acción enzimática de los microorganismos adicionados siendo relacionado con la producción de ácidos orgánicos y dióxido de carbono, lo cual forma parte del proceso para la biodegradación de compuestos lipídicos (Casals et al., 2020).

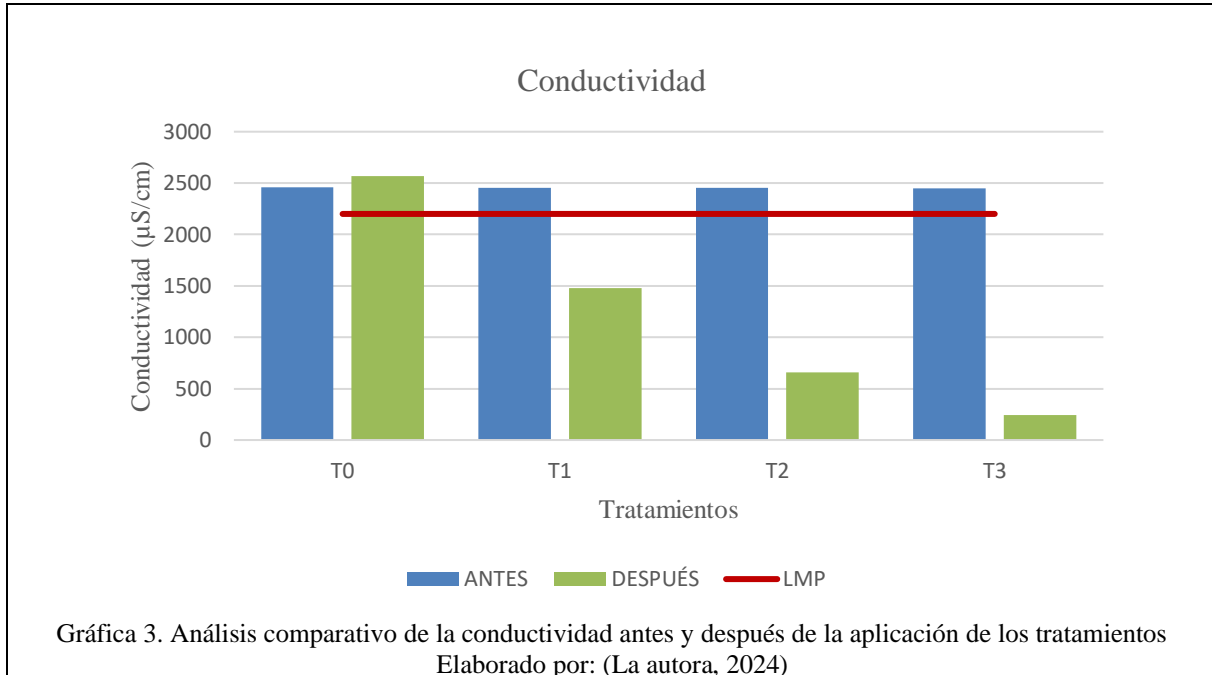
### ***Temperatura***



Gráfica 2. Análisis comparativo de la temperatura antes y después de la aplicación de los tratamientos  
Elaborado por: (La autora, 2024)

Para el caso de la temperatura en todos los tratamientos se observó un aumento de la misma después de la aplicación de los biocubos pero estadísticamente no hubo diferencia significativa entre el antes y el después del tratamiento ya que se observaron valores mayores a 0,05 en la prueba t apareada de T0 (0,327), T1 (0,102), T2 (0,144) indicando que, los valores tanto iniciales como finales obtenidos de cada tratamiento, son estadísticamente iguales a excepción de T3 que presentó un valor de 0,004 mostrando así una diferencia significativa frente al testigo y los demás tratamientos. En cuanto al análisis de varianza efectuado entre tratamientos como lo refleja en la tabla 2, transcurrido el tiempo del ensayo se observa que no hay diferencia significativa entre tratamientos debido a que presentan valores estadísticos similares evaluados a un 95% de límite de confianza. La tendencia es el aumento ligero de temperatura con la aplicación de los biocubos pudiendo ser este ocasionado por el calor de reacción presentado en los sistemas biológicos (Casals et al., 2020).

## Conductividad

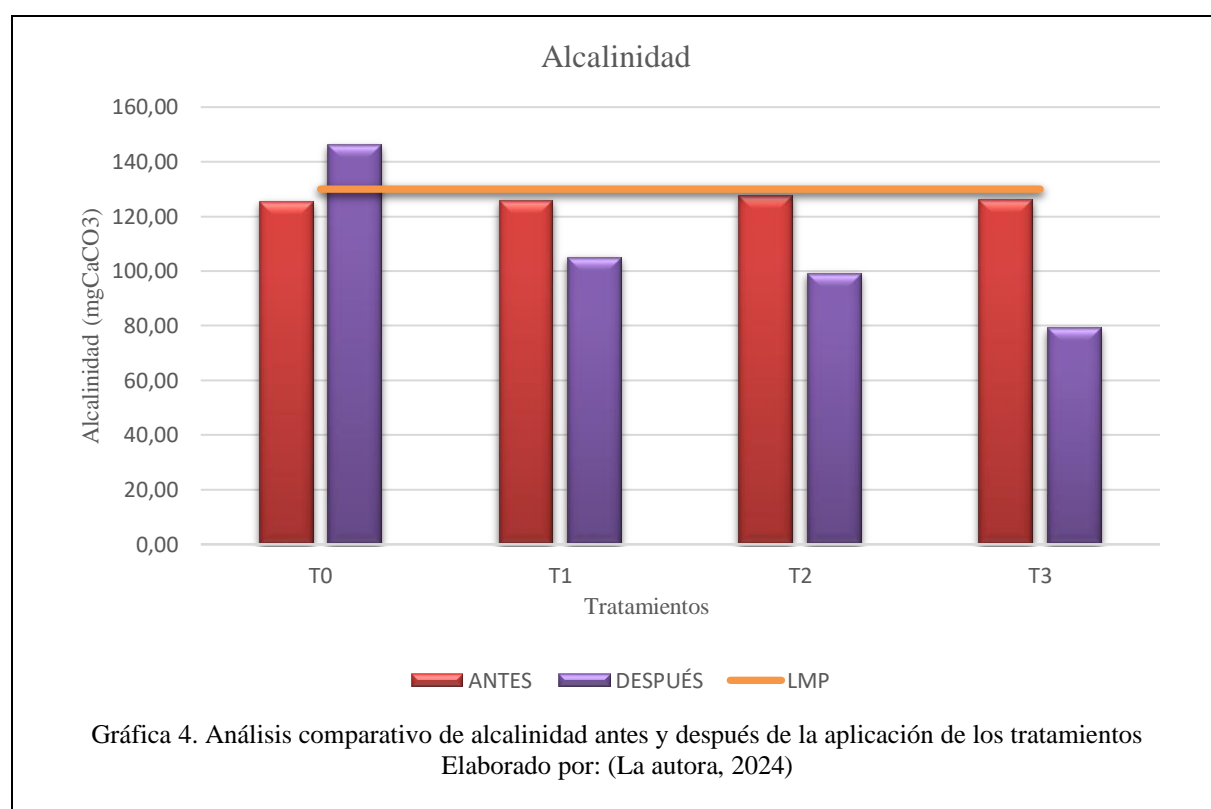


El análisis de conductividad al inicio del ensayo presentó valores por encima del límite máximo permisible que establece la norma para descarga de efluentes para todos los tratamientos, sin embargo, al final del experimento se observa que en el caso de T0 el valor promedio aumenta ya que al realizar la prueba estadística se observa un valor de 0,001 demostrando así su diferencia significativa entre el antes y el después pero aumentando su valor sobrepasando aún más el límite permisible establecido. Para el caso de T1 (1477), T2 (656,11) y T3 (243,44) ocurre algo similar ya que como resultado se obtuvo un valor menor a 0,05 en la prueba t pareada para los tres casos indicando que hubo diferencia significativa para todos los tratamientos.

Tras el experimento y el análisis estadístico, se pudo determinar que estadísticamente ningún tratamiento es igual al otro, comportándose cada uno de manera diferente. Por otra parte, T1, T2 y T3 se encontraron dentro de los valores establecidos en la normativa de descarga de

efluentes porque arrojaron valores por debajo de lo establecido. la conductividad es un factor importante para los procesos biológicos ya que (Calderon & Pulgar Andres, 2023) comprobaron en su estudio que este parámetro está relacionado directamente con los procesos de remoción de contaminantes con la incorporación de microorganismos indicando que una alta conductividad puede afectar negativamente al proceso de remediación de aguas residuales con sistemas biológicos.

### ***Alcalinidad***

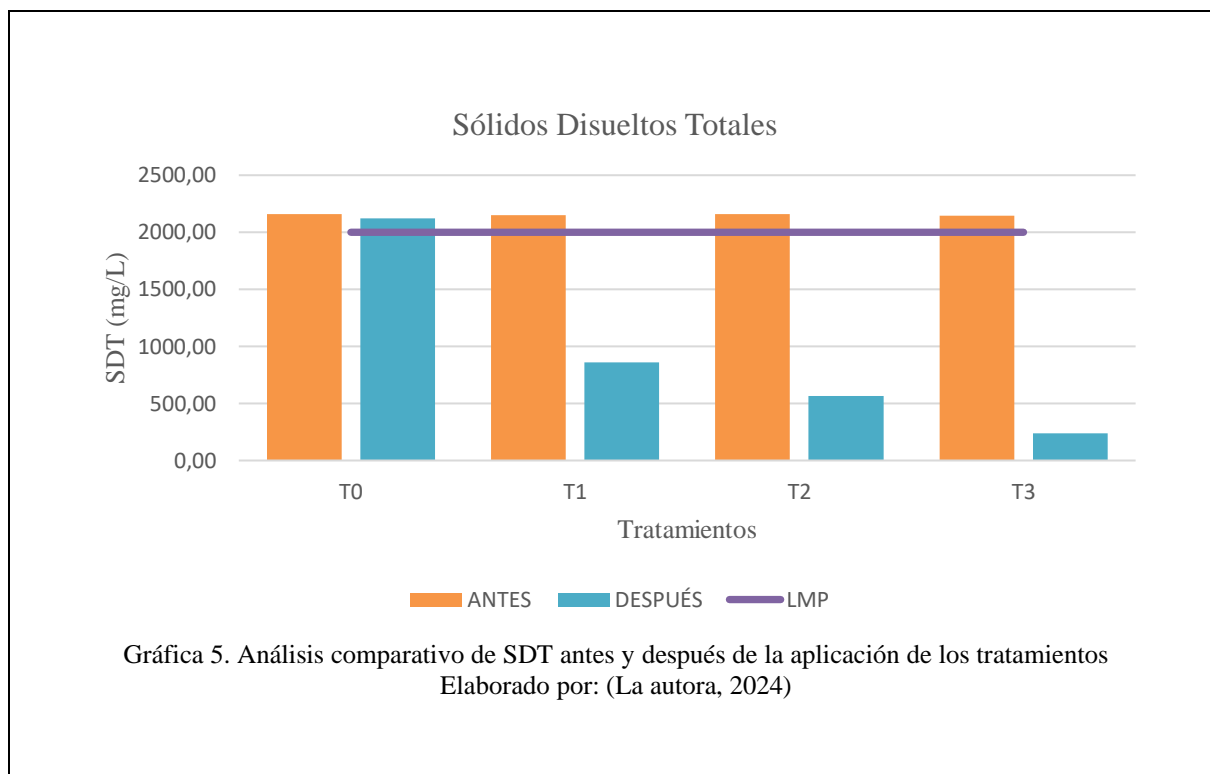


El comportamiento de la alcalinidad fue estadísticamente igual para T0 al realizar la prueba t se determinó un valor de 0,061 dando a conocer que estadísticamente son iguales los valores antes del tratamiento y después del tratamiento, de igual manera respondió estadísticamente T1 reflejando un valor de 0,102 indicando que no hay diferencia significativa

al aplicar el cubo biológico sin embargo, esto no ocurre en el caso del resto de tratamientos que se observa una diferencia significativa, para T2 el resultado fue 0,003 y finalmente T3 fue 0,016 dando a notar que la aplicación de los respectivos tratamientos sí provocaron cambios en este parámetro. Para el caso de T1 (105,00) Y T2 (99,17), en el análisis de varianza se demostró que son estadísticamente iguales por lo que no hubo diferencia en la concentración de microorganismos propuestas para la elaboración de T1 y T2 dentro de este parámetro.

Se pudo deducir que el mejor tratamiento para reducir la cantidad de mg de  $\text{CaCO}_3$  fue T3 (79,19) siendo diferente al resto de tratamientos y con el valor más bajo obtenido y presentando diferencia estadística ante el resto de los tratamientos y del tratamiento control (T0). La tendencia a reducir la cantidad de carbonato de calcio se puede otorgar a que la introducción de microorganismos biorremediadores aceleró el proceso natural de descontaminación haciendo que se produzca más rápidamente ácidos grasos que las sales presentes ( $\text{CaCO}_3$ ) lograron neutralizar manteniendo a la vez un pH estable y neutralizando además los ácidos volátiles presentes actuando como un amortiguador dentro de los sistemas biológicos (Castro et al., 2008).

### Sólidos Disueltos Totales



Los valores para sólidos disueltos totales al inicio del ensayo presentaron valores sobre lo indicado como límite máximo permisible propuesto por la normativa de descarga de efluentes y al ser evaluados estadísticamente, arrojaron valores diferentes en el antes y después en todos los tratamientos incluyendo al tratamiento testigo. Por otro lado, al finalizar el estudio se determinó que cada uno de los tratamientos T0 (2122,48), T1 (858), T2 (567,62), T3 (239,48) son estadísticamente diferentes entre sí y consiguen estar por debajo del límite permisible.

Cabe detallar que la cantidad de sólidos disueltos totales es proporcional al valor obtenido a la conductividad lo cual ocurre en este ensayo al igual que en la investigación de (Fiallos, 2021) en la cual evaluó estos parámetros y conforme se redujo la conductividad también redujo los ppm de sólidos disueltos totales conforme transcurre el tiempo. En resumen, los valores de sólidos disueltos totales que se obtuvo descendieron progresivamente al igual

que la conductividad hasta el final del ensayo y a mayor cantidad de microorganismos que fueron inoculados, mayor fue la reducción de sólidos disueltos totales.

### *Materia flotante*

Para el caso de la materia flotante la normativa indica que no debe visualizarse este parámetro como se indicó en la Tabla 1, el agua residual al ser filtrada el agua por la malla metálica, los resultados que se obtuvieron se encuentran detallados en la tabla 9 indicando que, al principio del ensayo (0 días), en todos los tratamientos se encontró materia flotante visible y a pesar de ser incorporados los biocubos no hubo alguna diferencia en este parámetro puesto que tanto antes como después se pudo visualizar materia flotante en la malla.

**Tabla 9**

### *Evaluación de materia flotante*

<b>Tratamiento</b>	<b>Antes (0 días)</b>	<b>Después (45 días)</b>
<b>T0</b>	1	1
<b>T1</b>	1	1
<b>T2</b>	1	1
<b>T3</b>	1	1

Elaborado por: (La autora, 2024)

**Nota:** El valor 1 hace referencia a la presencia de materia flotante y el valor 0 ausencia de materia flotante

Dentro de la normativa de calidad ambiental para descarga de efluentes, indica que la materia flotante no debe ser visible una vez realizada la filtración, es decir debe haber ausencia en este parámetro (TULSMA, 2011), sin embargo, en esta investigación no se observó ningún cambio de este parámetro en ninguno de los tratamientos propuestos, por lo tanto, no fue eficaz para la reducción o eliminación de materia flotante.

### *Umbral de olor*

Los valores que se obtuvieron de este parámetro fueron a partir de la evaluación de 5 panelistas los cuales debían marcar como respuesta positiva (+) si detectaban algún tipo de olor desagradable en el agua residual y marcar negativo (-) si no se detectaba olor alguno esto se realizó a diferentes concentraciones y para todos los tratamientos incluyendo el testigo, el resultado de ello se puede observar en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Resultados de la prueba de umbral de olor*

		<b>Antes</b>				<b>Después</b>			
		<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>T0</b>	<b>P1</b>	-	+	+	+	+	+	+	+
	<b>P2</b>	-	+	+	+	-	-	+	+
	<b>P3</b>	-	+	+	+	+	+	+	+
	<b>P4</b>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<b>P5</b>	-	-	+	+	+	+	+	+
<b>T1</b>	<b>P1</b>	+	+	+	+	-	-	-	+
	<b>P2</b>	-	-	+	+	-	-	-	+
	<b>P3</b>	-	-	+	+	-	-	-	+
	<b>P4</b>	+	+	+	+	-	-	+	+
	<b>P5</b>	-	-	+	+	-	-	-	+
<b>T2</b>	<b>P1</b>	-	+	+	+	-	-	-	+
	<b>P2</b>	+	+	+	+	-	-	-	+
	<b>P3</b>	+	+	+	+	-	-	-	+
	<b>P4</b>	-	+	+	+	-	-	+	+
	<b>P5</b>	-	+	+	+	-	-	-	+
<b>T3</b>	<b>P1</b>	-	+	+	+	-	-	-	+
	<b>P2</b>	-	-	+	+	-	-	-	+

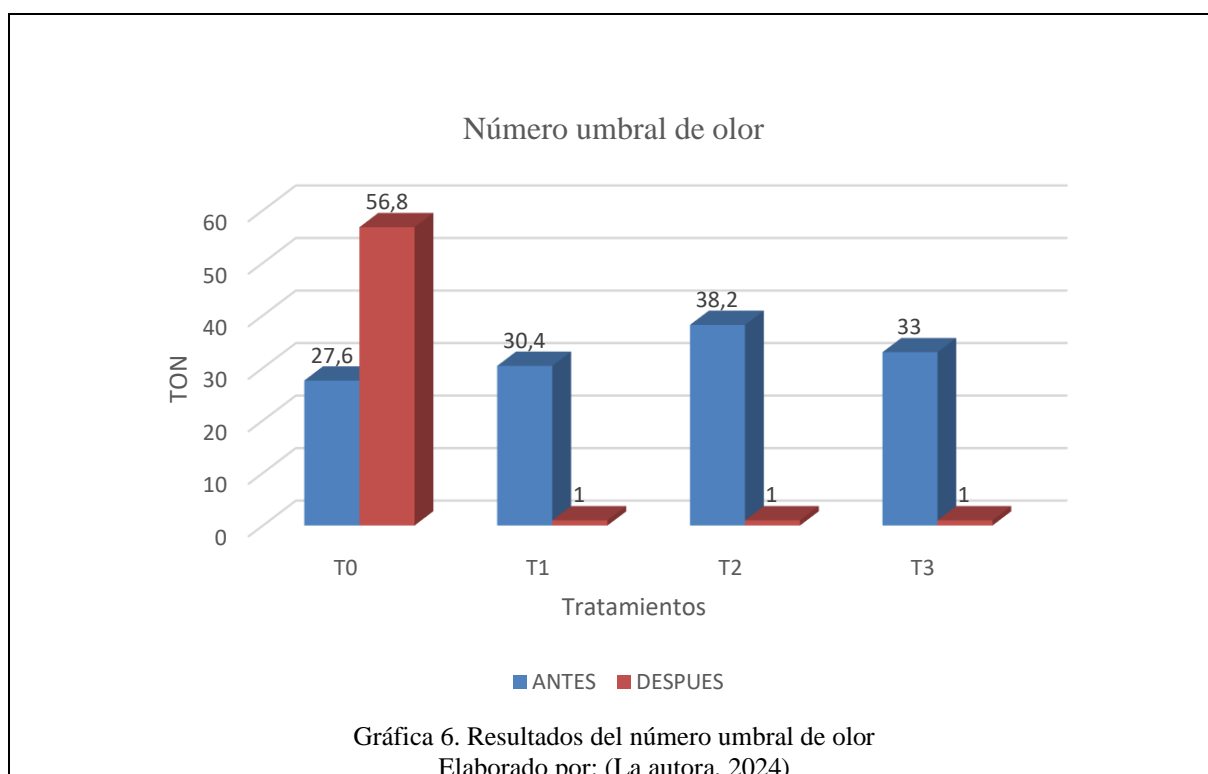


<b>P3</b>	-	-	+	+	-	-	-	+
<b>P4</b>	+	+	+	+	-	-	-	+
<b>P5</b>	-	+	+	+	-	-	-	+

Elaborado por: (La autora, 2024)

**Nota:** C1=2,8mL agua residual, C2=12mL de agua residual, C3=50 mL de muestra y C4=200mL de agua residual, todas las concentraciones fueron aforadas a 200 mL de agua inodora; T0= tratamiento testigo, T1= tratamiento 1 ( $1 \times 10^6$ UFC/mL), T2= tratamiento 2 ( $1 \times 10^7$ UFC/mL), T3= tratamiento 3 ( $1 \times 10^8$ UFC/mL); P1 = panelista 1, P2= panelista 2, P3= panelista 3, P4= panelista 4 y P5= panelista 5.

A partir ello, se obtiene los datos cuantitativos aplicando la ecuación 4 y se obtuvieron los siguientes datos del número umbral de olor (TON):

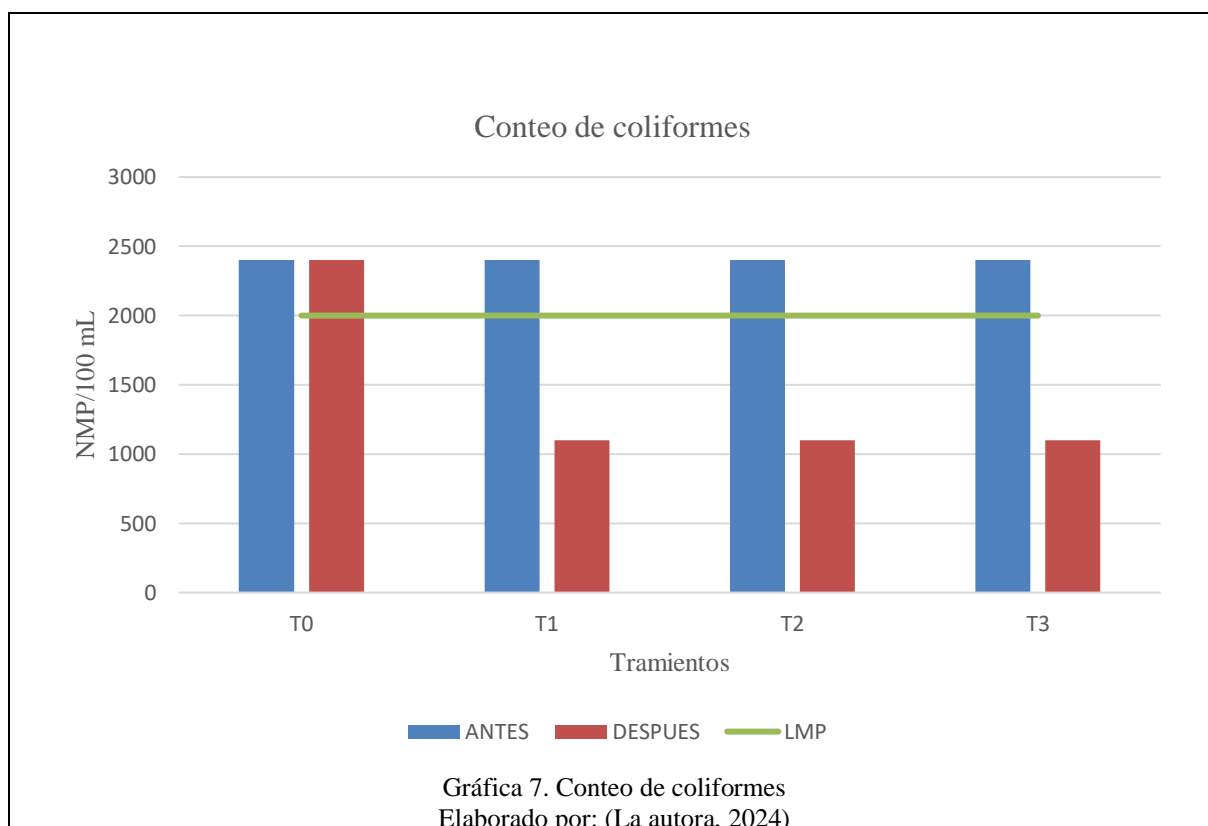


En la gráfica 6 se puede observar que la aplicación de los cubos biológicos microbianos redujo de manera significativa el olor del agua residual, otorgando a los microorganismos de por Bio\_Amazonas S.A empleados para la elaboración de cubos microbianos, la capacidad de controlar olores en las aguas residuales.

Aunque existen varios compuestos que causan mal olor en las aguas residuales, principalmente son compuestos orgánicos que contengan azufre y ácido sulfhídrico pero también puede ser causado por bajos niveles de oxígeno (Lozada & Giraldo, 2019), uno de los factores de esto, es la presencia de aceites y grasas que, al haber sido removidos en gran proporción en este ensayo, el oxígeno disuelto pudo volver a presentarse en condiciones normales, así que, por consiguiente, puede decirse que, gracias a la biodegradación por parte de los microorganismos presentes en los cubos biológicos microbianos de compuestos orgánicos, esto permite la reducción notable de malos olores, siendo una de las características que se le atribuye a los biocubos.

#### 4.2. Análisis microbiológico

Para la determinación de coliformes totales se realizó un análisis antes y otro después del tratamiento con la técnica de recuento por el NMP obteniendo los siguientes resultados



A partir de los resultados obtenidos se puede decir que, la aplicación de material biológico a manera de biocubos ha permitido dentro del sistema de los biorreactores, que exista una disminución significativa de la cantidad de coliformes, sin embargo no ha inhibido su crecimiento y una de sus causas se podría acreditar a que, el sistema biológico de cada uno de los tratamientos se encontró estable en cuanto a pH y temperatura, factores importantes para el desarrollo de microorganismos, por tanto hubo disminución de coliformes pero no ausencia de los mismos (Ome Barrera & Zafra Mejía, 2018).

### 4.3.Evaluación de la degradación de aceites y grasas

**Tabla 11.**

*Análisis estadístico de aceites y grasas*

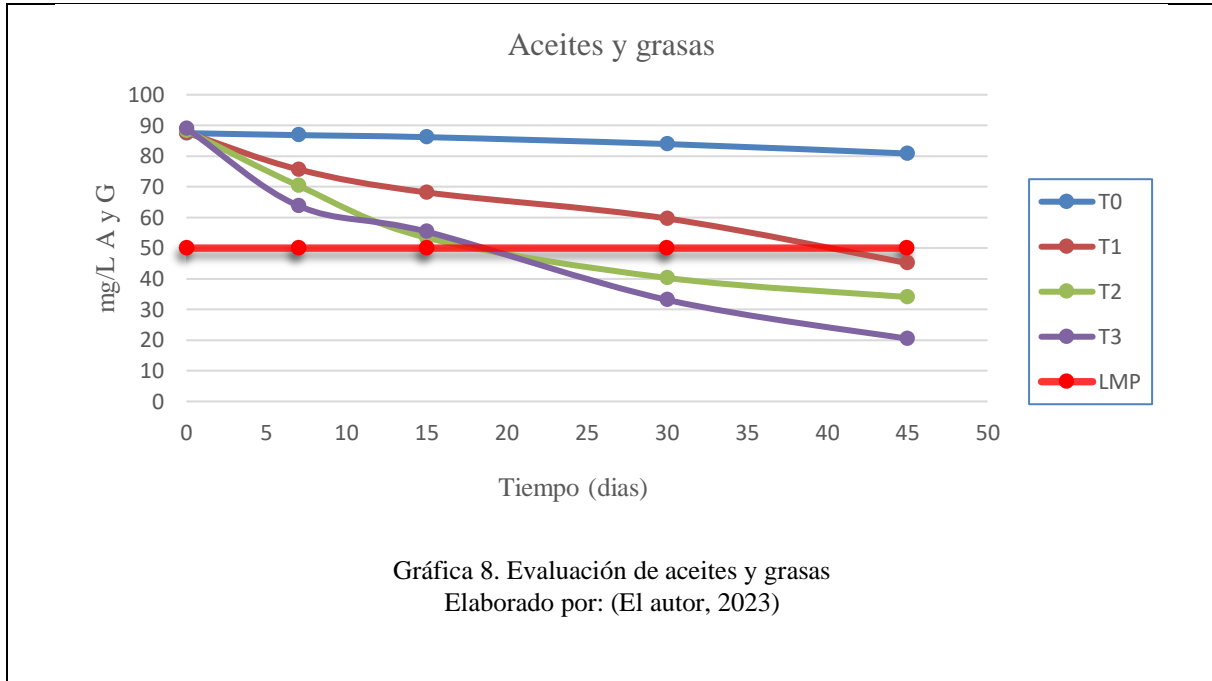
<b>Tratamiento</b>	<b>0 días</b>	<b>7 días</b>	<b>15 días</b>	<b>30 días</b>	<b>45 días</b>
<b>T0</b>	87,48 ± 1,18 a	86,84 ± 2,38 a	86,17 ± 2,80 a	83,93 ± 0,47 a	80,84 ± 1,60 a
<b>T1</b>	87,67 ± 1,33 a	75,65 ± 1,61 b	68,15 ± 0,88 b	59,65 ± 1,61 b	45,11 ± 2,45 b
<b>T2</b>	88,35 ± 1,58 a	70,33 ± 0,41 c	53,39 ± 1,91 c	40,28 ± 1,02 c	34,05 ± 2,78 c
<b>T3</b>	89,04 ± 0,81 a	63,79 ± 0,82 d	55,35 ± 1,90 c	33,12 ± 0,99 d	20,45 ± 2,51 d

Elaborado por: (La autora, 2024)

**Nota:** Si los valores que no presentan la misma letra son estadísticamente diferentes basados en un nivel de significancia del 0,05. Los valores mostrados se encuentran en unidades de mg/L de aceites y grasas

Como lo detalla la Tabla 11, al inicio del tratamiento (0 días) no se observó diferencias significativas entre los tratamientos, pero a medida que paso el tiempo, en la segunda evaluación (7 días), se observó diferencia significativa entre los tratamientos, pudiendo decir que cada tratamiento propuesto respondió de manera diferente, pero para el día 15 se notó que el T2 (53,39) y T3 (55,35) arrojaron valores estadísticamente iguales por ende, ambos tratamientos trabajaron de manera similar en ese transcurso de tiempo. Finalmente, para los días 30 y 45 se

volvió a observar que cada uno de los tratamientos son estadísticamente diferentes, por lo tanto, esto indica que cada tratamiento respondió de manera diferente para cada una de las concentraciones propuestas en los cubos biológicos microbianos.



Como se puede observar en la gráfica 8 el valor determinado como límite máximo permisible es de 50mg de aceites y grasas por cada litro de agua residual que vaya a ser vertido, sin embargo al evaluar este parámetro en esta investigación se obtuvo que, el agua residual sobrepasaba dicho valor al inicio del experimento no obstante, una vez aplicados los diferentes tratamientos se pudo notar que, los tratamientos T2 (40,28) y T3 (33,12) lograron alcanzar valores por debajo del límite permisible cumpliendo así con la normativa de descarga de efluentes.

Por otra parte, transcurridos los 45 días de tratamiento, se pudo observar que todos los tratamientos en los que se incorporó los cubos biológicos microbianos respondieron positivamente reduciendo el contaminante por debajo del límite permisible mientras que, el

tratamiento testigo (T0) no presentó una diferencia significativa en el transcurso del experimento, resultado similar en el estudio presentado por Pacheco et al. (2018), en donde se evaluó la efectividad de consorcios microbianos los cuales mostraron una alta capacidad de remoción del contenido de aceites y grasas de las aguas residuales evaluadas y en el caso de su tratamiento control no presentó reducción de este contaminante.

## 5. Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que, en cuanto a los parámetros fisicoquímicos analizados, la implementación de cubos biológicos microbianos para el tratamiento de aguas residuales provoca un cambio significativo de tal manera que se logró reducir sus valores hasta límites permisibles para que el agua residual pueda ser vertida por tanto los microorganismos presentes en los biocubos pueden ser considerados aptos para el tratamiento de aguas residuales, mejorando así su calidad y como consecuencia, aspirando a que esta agua tratada pueda llegar a ser reutilizada para diferentes fines, entre ellos para ser utilizado como agua de riego.

En cuanto al proceso de escalado, este se realizó con éxito ya que el material biológico otorgado por Bio\_Amazonas S.A respondió de manera favorable y pudo obtenerse mayor cantidad de biomasa requerida para el ensayo, por otra parte, el proceso para el sistema de biorremediación fue logrado con éxito creando biorreactores capaces de satisfacer las necesidades y condiciones para contener a los cubos biológicos microbianos.

Referente a la implantación del sistema de biorremediación a nivel de laboratorio, fue exitoso de tal manera que brindó las condiciones necesarias para la proliferación de los microorganismos benéficos inoculados mediante la aplicación de los biocubos, siendo una alternativa a escala piloto para la evaluación de microorganismos con potencial para la biorremediación.

En base a los resultados obtenidos de la cantidad de aceites y grasas se puede concluir que, la aplicación de cubos biológicos microbianos ha presentado efectividad para la biodegradación de este contaminante por lo cual llega a ser una herramienta útil para la reducción de aceites y grasas presentes en las aguas residuales. Se puede atribuir que, al final del ensayo todos los tratamientos propuestos han logrado reducir el contaminante hasta los límites permisibles

propuestos por la normativa ambiental para descarga de efluentes y que responden directamente proporcional a la concentración de microorganismos presentes en los biocubos.

## 6. Bibliografía

- Aguilar, S. (2021). *Análisis de la composición de consorcios microbianos de Galápagos con capacidad de remediación de aguas residuales* [Universidad San Francisco de Quito]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/11289/1/200842.pdf>
- Albuja, Z. (2014). *Implementación de un sistema de descontaminación productivo de aguas residuales de origen pecuario en la granja La Prades, en la provincia de Imbabura* [Universidad de las Fuerzas Armadas]. <https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/10428/T-ESPE-048396.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amoatey, P., & Bani, R. (2011). *Wastewater Management*. <https://www.researchgate.net/publication/221911472>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2015). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos y Aprovechamiento del Agua*. [www.fielweb.com](http://www.fielweb.com)
- Baeza, E. (2023). *Plantas de tratamiento para las aguas residuales y análisis de sus costos de inversión Autor*. <http://bcn.cl/33fbr>
- Baird, R., Eaton, A., & Rice, E. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
- Barrionuevo, M. (2017). *Producción de biosurfactantes bacterianos para su uso en procesos de biotratamiento de efluentes industriales con contenido en metales* [Universidad de Buenos Aires]. [https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis\\_n6463\\_Barrionuevo](https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6463_Barrionuevo)
- Bernal, A. (2015). *Las aguas residuales de la planta piloto de procesos agroindustriales de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, su incidencia en la calidad ambiental del*



- entorno y diseño de un proyecto de intervención* [Universidad Técnica de Cotopaxi].  
<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6568/1/MUTC-000276.pdf>
- BioAlkim. (2019). *Formulación bio-enzimática para la degradación de grasas y aceites de origen animal y vegetal*. <https://www.bioalkim.net/bioalkim-tgd>
- Bio\_Amazonas. (2022). Ficha técnica del cóctel microbiano Bio amazonas. *Proyecto de Control y Mitigación de Olores y Vectores En Complejos Ambientales*, 1–6.
- BiomerK. (2013). *BiomerK TG Biocubo Biotratamiento de grasas*. [https://aqtindustrial.com/wp-content/uploads/2020/12/FICHA\\_TECNICA\\_\\_BIOMERK\\_TG\\_BioCubo.pdf](https://aqtindustrial.com/wp-content/uploads/2020/12/FICHA_TECNICA__BIOMERK_TG_BioCubo.pdf)
- BiomerK. (2018). *BIOMERK®TG BioCubo. Inoculante Biológico Ambiental*. .
- Calderon, J., & Pulgar Andres. (2023). *Efecto de la conductividad eléctrica a partir de la salinidad y sólidos disueltos en los procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación para la remoción de compuestos nitrogenados en aguas residuales domésticas* [Universidad de la Costa].  
<https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/10205/Proyecto%20de%20grado%20juana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carrasco, C. (2007). *Tratamiento Físico Químico de Aguas Residuales* [Universidad de Chile].  
[https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2007/carrasco\\_c/sources/carrasco\\_c.pdf](https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2007/carrasco_c/sources/carrasco_c.pdf)
- Casals, E., Rabassa, D., Viera, O., Gutiérrez, O., & Castro, D. (2020). Comportamiento de factores abióticos en la biorremediación de residuos petrolizados mediante biopilas a escala semi-piloto. *Revista Centro Azúcar*, 47(3), 36–46.  
<http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v47n3/2223-4861-caz-47-03-36.pdf>

- Castro, F., Fernández, N., & Chávez Magaly. (2008). Diminution of the COD in Formation Waters Using Bacterial Stocks. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia*, 31(3), 256–265. <https://www.researchgate.net/publication/228343684>
- Coelho, E., Alves, T., Cotrim, M., Rizzutto, M., & Corrêa, B. (2020). Bioremediation of water contaminated with uranium using *Penicillium piscarium*. *Biotechnology Progress*, 36(5). <https://doi.org/10.1002/btpr.3032>
- Cortes, F., Betancourt, F., & Medrano, F. (2010). Control Inicial de la Descarga de Aguas Residuales Industriales y Comerciales. *Conciencia Tecnológica*, 39, 43–49. <https://www.redalyc.org/pdf/944/94415753008.pdf>
- Cuervo, L. (2020). Optimización enzimática de los tiempos de fermentación de lactosuero en la producción de ácido láctico para la aplicación de ácido poliláctico. *Virtualpro*. [https://www.researchgate.net/publication/341507579\\_Optimizacion\\_enzimatica\\_de\\_los\\_tiempos\\_de\\_fermentacion\\_de\\_lactosuero\\_en\\_la\\_produccion\\_de\\_acido\\_lactico\\_para\\_la\\_aplicacion\\_de\\_acido\\_polilactico/link/5ec4a41e458515626cb8462a/download?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoicHVibGljYXRpb24iLCJwcmV2aW91c1BhZ2UiOiJfZGlyZW50In19](https://www.researchgate.net/publication/341507579_Optimizacion_enzimatica_de_los_tiempos_de_fermentacion_de_lactosuero_en_la_produccion_de_acido_lactico_para_la_aplicacion_de_acido_polilactico/link/5ec4a41e458515626cb8462a/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoicHVibGljYXRpb24iLCJwcmV2aW91c1BhZ2UiOiJfZGlyZW50In19)
- Denchak, M. (2023). Water Pollution: Everything You Need to Know. *NRDC*.
- Díaz, E., Alvarado, A., & Camacho, K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, Mexico. *Quivera*, 14(1), 78–97. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>

Díaz-Borrego, L. C., Marín Leal, J. C., Alburgue Díaz, D. A., Carrasquero Ferrer, S. J., & Morales Avendaño, E. D. (2017). Consorcio microbiano autóctono para el tratamiento de aguas contaminadas con gasoil del puerto de Isla de Toas (Venezuela). *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 28(2), 5–28. <https://doi.org/10.18359/rcin.2792>

Doom, M., Towprayoon, S., Manso, S., Irving, W., Palmer, C., Pipatti, R., & Wang, C. (2006). Wastewater Treatment and Discharge. In *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_6\\_Ch6\\_Wastewater.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf)

Duarte, M., & Galindo, M. (2018). *Descripción de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas más utilizados en Colombia y Análisis de la situación actual de los vertimientos directos de los Efluente Líquidos producidos por la red del alcantarillado urbano del municipio de Silvania (Cundinamarca)* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/21083/3171831-.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Environment Protection Agency. (1998). *How wastewater treatment works*.

Ferrer, J., Seco, A., & Robles, Á. (2022). *Tratamientos Biológicos de aguas residuales* (4ta ed). Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.

Fiallos, L. (2021). *Innovación Biológica para la depuración de aguas contaminadas en la estación “El Peral”, EMAPA-Ambato*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/3086>

- García del Villar, C. (2020). *Escorrentía urbana: Sistemas de recogida y drenaje* [Universidad Politécnica de Madrid].  
[https://oa.upm.es/57970/1/TFG\\_20\\_Garcia\\_del\\_Villar\\_Cristina.pdf](https://oa.upm.es/57970/1/TFG_20_Garcia_del_Villar_Cristina.pdf)
- García, J., Peñafiel, D., & Rodríguez Remberto. (2019). Bioremediation of hydrocarbons in wastewater with mixed culture of microorganisms: case car washers Puyango. *Enfoque UTE*, 10(1), 185–196.  
<https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/312/296>
- Granja, M., & Tapia, S. (2013). *Evaluación, Caracterización y propuesta de tratamiento del agua residual proveniente de la cafetería del Campus El Girón de la Universidad Politécnica Salesiana*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7085/1/UPS-QT05866.pdf>
- Hassan, N. (2019). Water Quality Parameters. In *Water Quality-Science, Assessments and Policy*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89657>
- Jiménez, D., de Lora, F., & Sette Ramalho, R. (2003). *Introduction to Wasterwater Treatment Processes*. Academic Press.
- Jiménez, S. (2008). *Estudio teórico para el control de la contaminación por grasas y aceites generada por la actividad industrial, doméstica y de servicios* [Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/18479/1/25-1-16898.pdf>
- Lama, D. (2017). *Aislamiento y caracterización de bacterias con potencial producción de biosurfactantes para la degradación de aceites de cocina industrial* [Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/84ea4d25-b3d1-4f71-890b-7ade37861eb8/content>

- Lárez, C. (2017). Determinación del índice de saponificación en aceite de maíz usando una lipasa de procedencia nacional. *ResearchGate*, 26–42.  
[https://www.researchgate.net/publication/320622547\\_Determinacion\\_del\\_indice\\_de\\_saponificacion\\_en\\_aceite\\_de\\_maiz\\_usando\\_una\\_lipasa\\_de\\_procedencia\\_nacional](https://www.researchgate.net/publication/320622547_Determinacion_del_indice_de_saponificacion_en_aceite_de_maiz_usando_una_lipasa_de_procedencia_nacional)
- Lazcano Carreño, C. (2016). *Bioteología ambiental de aguas y aguas residuales* (Eco Ediciones, Ed.; 2 ed).
- Llano, B., Cardona, J., Ocampo, D., & Ríos, L. (2014). Tratamiento Físicoquímico de las Aguas Residuales Generadas en el Proceso de Beneficio de Arcillas y Alternativas de Uso de los Lodos Generados en el Proceso. *Informacion Tecnologica*, 25(3), 73–82.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>
- López, C., Buitrón, G., García, H., & Cervantes, francisco. (2017). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño*. IWA Publishing.
- Lozada, D., & Giraldo, E. (2019). *Origen de los olores en plantas de tratamiento de aguas residuales*.  
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/981/Giraldo%20Jurado%2C%20Elkin%20Alirio-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Macchi, M. (2018). *Desarrollo de consorcios bacterianos con alta eficiencia de degradación de PAH para su aplicación a la recuperación de suelos crónicamente contaminados* [Universidad Nacional de la Plata].  
[https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/100574/CONICET\\_Digital\\_Nro.c3b7a65a-a974-4ea1-9b40-c2c6f211e8ed\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/100574/CONICET_Digital_Nro.c3b7a65a-a974-4ea1-9b40-c2c6f211e8ed_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

- Montaño, N., Sandoval, A., Camargo, S., & Sánchez, J. (2010). Los microorganismos: pequeños gigantes. *Elementos: Ciencia y Cultura*, 17(77), 15–23. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=29411989003>
- Monzón Martínez, L. J. (2022). *Caracterización del crecimiento y composición bioquímica del consorcio microalga-bacteria mediante un sistema Air-Lift a escala laboratorio usando como fuente de nutrientes el agua residual de curtiembre*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Moya-Salazar, M. M., & Moya-Salazar, J. (2020). Biodegradation of waste used cooking oil by lipolytic fungi: An in vitro study. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 36(2), 351–359. <https://doi.org/10.20937/RICA.53054>
- Norma Técnica Ecuatoriana. (2013). *Agua- Determinación del número total de bacterias en placa*.
- Ome Barrera, Ó., & Zafra Mejía, C. (2018). Factores clave en procesos de biorremediación para la depuración de aguas residuales. Una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1037>
- Organización de las Naciones Unidas. (2014). *El derecho humano al agua y al saneamiento*.
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Las aguas residuales pueden proporcionar energía a 500 millones de personas*.
- Osorio-Rivera, M., Carrillo-Barahona, W., Negrete-Costales, J., Loor-Lalvay, X., & Riera-Guanchichullca. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo Del Conocimiento*, 6(3), 228–245. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>

- Pacheco, J., Lizarraga, L., Caceda, J., & Bernabé, J. (2018). Biorremediación de residuos industriales (aceite y grasas) mediante in contactor biológico rotativo con biopelículas formadas por cepas nativas de *Planococcus* sp. *Scientiarvm*, 4(1), 23–29. <https://doi.org/10.26696/sci.epg.0068>
- Parra-León, V., Guilcapi-Pacheco, E., Velastegui-Cáceres, & Ortiz-Cruz. (2021). Servicios ecosistémicos generados por el fomento de la agrobiodiversidad, manejo del suelo y del territorio en el Centro de Bioconocimiento de la Estación experimental Tunshi-ESPOCH. *Polo Del Conocimiento*, 6(6), 777–794. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i6.2787>
- Patel, H. (2015). Characterization and treatment of textile wastewater. In *Characterization and Treatment of Textile Wastewater* (pp. 9–17). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802326-6.00001-0>
- Pazmiño, Y. (2016). *Evaluación de la eficiencia de las bacterias lipolíticas de rumen de vaca para la degradación de aguas residuales con grasas y aceites* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6254/1/236T0239.pdf>
- Peña, C., & Lara, J. (2012). Tratamiento de aguas de escorrentía mediante humedales artificiales: estado del arte. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(2), 39–61. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91126903003>
- Pla, C., Benavente, D., Valdés-Abellán, J., Jodar-Abellan, A., & Trapote, A. (2019). Eliminación de metales pesados en aguas de escorrentía urbana: resultados preliminares. *Congreso Nacional Del Agua 2019: Innovación y Sostenibilidad. Temática: Agua y Ciudades*, 1499–1509.

[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88490/1/Congreso\\_Nacional\\_Agua\\_2019\\_1499-1509.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88490/1/Congreso_Nacional_Agua_2019_1499-1509.pdf)

Pradana, J., & García, J. (2019). *Criterios de calidad y gestión del agua potable*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Proaño, R. G. S., & Gualoto, K. J. G. (2018). Wastewater treatment of industrial loads with advanced oxidation in conventional systems. *Granja*, 27(1), 103–111. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.08>

Prócel, D., Posligua, P., & Banchón, C. (2016). Biodegradation of organic contaminants from the dairy industry. *Enfoque UTE*, 7(1), 22–32. <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>

Quiroz, S., Menéndez Carlos, & Izquierdo, E. (2019). *Tratamiento de agua y aguas residuales* (UTM). [https://www.researchgate.net/publication/338490931\\_Tratamiento\\_de\\_aguas\\_y\\_aguas\\_residuales](https://www.researchgate.net/publication/338490931_Tratamiento_de_aguas_y_aguas_residuales)

Quispe, M., Piñas, L., Del Valle, J., & Aguirre, F. (2020). *Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales*. Voces de la Educación. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/58476.pdf>

Rabelo, R. (2023). Bacterias y hongos utilizados en la biodegradación de hidrocarburos: Una Revisión de literatura y Análisis Bibliométrico. *EIA*, 20(39), 1–35. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8721230.pdf>

Reinoso, S., & Reinoso, D. (2022). *Biorremediación de aguas residuales urbanas provenientes de las descargas hacia el río Yasnán-Pulamarín del cantón Cayambe-Ecuador mediante*



*el uso de Chlorella sp.*

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23231/1/TTQ909.pdf>

Romero, T., & Vargas, D. (2017). Efficient microorganisms in polluted water treatment. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), 88–100. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n3/riha08317.pdf>

Salpúveda, E. (2020). *Dulición de las soluciones*. <https://sanfernandocollege.cl/wp-content/uploads/2020/05/GUIA-6-QUIMICA-2%C2%B0MEDIO.pdf>

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Rosales, M., & de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones*. FAO. <https://www.fao.org/3/a0701s/a0701s.pdf>

Torres, D. (2003). El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Ecosistemas Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 12(2), 1–5. <https://www.redalyc.org/pdf/540/54012219.pdf>

TULSMA. (2011). *Revisión y actualización de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua*.

UNESCO. (2017). *Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017: Las aguas residuales: el recurso desaprovechado, resumen ejecutivo; 2017*.

Vidales, A., Leos, M., & Campos, M. (2010). Extracción de Grasas y Aceites en los Efluentes de una Industria Automotriz. *Conciencia Tecnológica*, 40, 30–34.

Wiki. (2007). *Ingeniería de aguas residuales* (Wiki, Ed.).

Zambrano, C. (2009). *Aguas residuales: Clasificación, características y composición.*

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO%202.pdf>

## 7. Anexos

### Carta de auspicio por parte de Bio\_Amazonas S.A



**BIO-AMAZONAS**  
MUCHOS YAMAZONAS

Proyecto de control y mitigación de olores y vectores en el Complejo Ambiental

### CARTA DE AUSPICIO Y AUTORIZACIÓN PUBLICACIÓN TRABAJO EXPERIMENTAL

Riobamba, 17 de junio del 2023

Señora:

Marta Elena Maldonado Rodríguez, PhD, Msc  
DIRECTORA DE CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA DE LOS RECURSOS NATURALES  
Presente. -

De mi consideración:

Yo, Ing Mario Moisés Salazar Alcivar en mi calidad de Gerente General de la empresa Bio\_Amazonas S.A., me comprometo a otorgar auspicio a la señorita Grace Fernanda Portilla Predes con C.I: 1050480175, para que realice su trabajo experimental, titulado: "Evaluación de la capacidad biodegradadora de aceites y grasas mediante cubos biológicos microbianos para el tratamiento de aguas residuales provenientes del hato ganadero de la Estación Experimental de Tunshi, Riobamba, Ecuador", a ser desarrollado por nuestra empresa desde agosto del 2023 hasta febrero del 2024.

Adicionalmente, al firmar el presente documento, AUTORIZO la posterior publicación del documento escrito final del trabajo experimental (según formato de la universidad) en el repositorio digital DSpace de la Universidad Politécnica Salesiana, y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación e investigación.

Atentamente:



Ing Mario Salazar  
Gerente General  
Bio\_Amazonas S.A.  
Ruc: 2191773309001

Av. Jambell - Nueva Loja - Lago Agrio - Sucumbios  
Email: [bio.amazonas2023@gmail.com](mailto:bio.amazonas2023@gmail.com)  
Teléfono/WhatsApp: 0995840200

Anexo I. Carta de auspicio y autorización de publicación de Bio\_Amazonas S.A  
Elaborado por: (La autora, 2024).

## Escalado



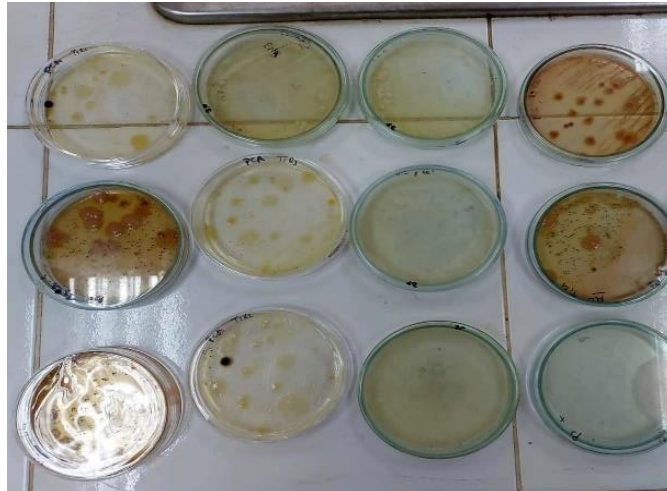
Anexo 2. Proceso de activación y escalado del cóctel microbiano Bio\_Amazonas S.A  
Elaborado por: (La autora, 2024).

## Siembra de microorganismos presentes en el cóctel microbiano



Anexo 3. Cultivo del cóctel microbiano en medios de cultivo sólidos  
Elaborado por: (La autora, 2024).

## Recuento de microorganismos presentes en el cóctel bacteriano



Anexo 4. Conteo de microorganismos viables del cóctel Bio\_Amazonas S.A  
Elaborado por: (La autora, 2024).

## Implementación del sistema de biorremediación



Anexo 5. Montaje de los biorreactores  
Elaborado por: (La autora, 2024).

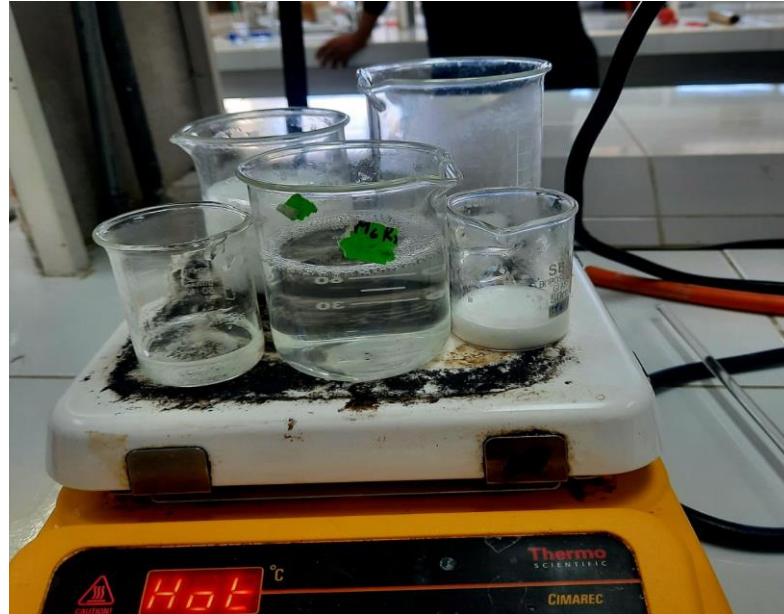
## Preparación de las concentraciones



Anexo 6. Preparación de las concentraciones para los tratamientos propuestos  
Elaborado por: (La autora, 2024).



## Elaboración de los cubos biológicos



Anexo 7. Elaboración de los biocubos  
Elaborado por: (La autora, 2024).

## Implementación del sistema de biorremediación



Anexo 8. Sistema de biorremediación a escala de laboratorio  
Elaborado por: (La autora, 2024).

## Análisis de los parámetros



Anexo 9. Análisis de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos  
Elaborado por: (La autora, 2024).

## Análisis de aceites y grasas



Anexo 10. Evaluación de aceites y grasas  
Elaborado por: (La autora, 2024).

Tabla NMP/100mL

Número de tubos positivos			Combinaciones de tubos positivos									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			0	1	1	2	2	3	3	4	4	5
10 ml	1 ml	0.1 ml	0	0	1	2	1	2	0	1	2	3
0	1	0	.....	3,3	8,3	3,3	3,2	3,2	3,1	3,1	3,1	3,0
1	0	0	4,1	3,9	3,9	3,8	3,7	3,7	3,6	3,6	3,6	3,6
1	1	0	.....	3,1	8,0	7,7	7,7	7,7	7,4	7,4	7,4	7,2
1	2	0	.....	.....	.....	12	13	12	12	11	11	11
1	2	1	.....	.....	.....	.....	19	16	.....	16	15	13
1	3	0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	15	16	16	16
1	3	1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	20	20	20
2	0	0	41	19	10	9,8	9,8	9,7	9,3	9,3	9,2	9,1
2	0	1	.....	.....	16	.....	18	15	.....	15	14	14
2	1	0	.....	.....	17	17	16	16	15	15	16	14
2	1	1	.....	.....	.....	24	.....	22	22	.....	21	20
2	2	0	.....	.....	.....	.....	23	23	21	21	21	21
2	2	1	.....	.....	.....	.....	.....	20	20	.....	28	28
2	3	0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	29	29	29	29
2	3	1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	37	36	36
2	4	0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	4	1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	5	0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	5	1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	5	2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	0	0	.....	34	23	28	27	27	24	24	25	23
3	0	1	.....	.....	23	.....	53	51	.....	40	39	39
3	0	2	.....	.....	.....	.....	.....	65	.....	.....	65	64
3	0	3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	85
3	1	0	.....	.....	.....	71	66	68	66	45	44	43
3	1	1	.....	.....	.....	.....	140	130	.....	81	78	73
3	1	2	.....	.....	.....	.....	.....	210	.....	.....	120	120
3	2	0	.....	.....	.....	.....	300	290	110	380	38	93
3	2	1	.....	.....	.....	.....	.....	700	.....	170	180	150
3	2	2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	230	210
3	3	2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	290
3	3	4	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	3	5	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	3	0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	340	390	240
3	3	1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	630	460
3	3	2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	3	3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.100

Anexo 11. Tabla para el recuento de coliformes por NMP/100mL para tres tubos  
Elaborado por: (La autora, 2024)

## Formato para la evaluación sensorial



**ESPOCH**  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS

Formato utilizado para realizar la evaluación sensorial para la determinación del Número Umbral de olor (TON) para los tratamientos de aplicación de cubos biológicos microbianos en tres concentraciones ( )

### BOLETA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

Cubos biológicos microbianos para el tratamiento de aguas residuales

**Producto:**

**Fecha:**

**Temperatura:**

**Hora:**

Tome cada una de las muestras y acérquelas a su olfato durante 10 segundos, si percibe algún tipo de olor, marcar la casilla con (+) y si no percibe ningún olor marcar (-) en el código correspondiente:

#### Muestra #1

Concentración	1	2	3	4	5	6
Respuesta						

#### Muestra #2

Concentración	1	2	3	4	5	6
Respuesta						

#### Muestra #3

Concentración	1	2	3	4	5	6
Respuesta						

Anexo 12. Formato para la evaluación de umbral de olor  
Elaborado por: (La autora, 2024)

## Análisis estadístico

PH T0

### pH - T pareada T0

#### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	8,6933	0,1014	0,0585
DESPUES	3	8,9422	0,1008	0,0582

#### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
-0,2489	0,0267	0,0154	(-0,3153; -0,1825)

Diferencia\_μ: media de población de (ANTES - DESPUES)

#### Prueba

Hipótesis nula H<sub>0</sub>: diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna H<sub>1</sub>: diferencia\_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
-16,12	0,004

PH T1

### pH T pareada T1

#### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	8,7444	0,0885	0,0511
DESPUES	3	7,4956	0,0499	0,0288

#### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
1,2489	0,1373	0,0793	(0,9078; 1,5899)

Diferencia\_μ: media de población de (ANTES - DESPUES)

#### Prueba

Hipótesis nula H<sub>0</sub>: diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna H<sub>1</sub>: diferencia\_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
15,76	0,004

PH T2

## pH T pareada T2

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	8,608	0,217	0,126
DESPUES	3	7,439	0,043	0,025

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia $\mu$
1,169	0,177	0,102	(0,729; 1,609)

Diferencia  $\mu$ : media de población de (ANTES - DESPUES)

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia  $\mu = 0$

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia  $\mu \neq 0$

Valor T	Valor p
11,42	0,008

PH T3

## pH T pareada T3

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	8,7089	0,0255	0,0147
DESPUES	3	7,3644	0,0800	0,0462

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia $\mu$
1,3444	0,0870	0,0502	(1,1283; 1,5606)

Diferencia  $\mu$ : media de población de (ANTES - DESPUES)

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia  $\mu = 0$

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia  $\mu \neq 0$

Valor T	Valor p
26,76	0,001

T T0



## T T pareada T0

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	22,517	0,431	0,249
DESPUES	3	22,956	0,283	0,164

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia $\mu$
-0,439	0,591	0,341	(-1,906; 1,029)

Diferencia  $\mu$ : media de población de (ANTES - DESPUES)

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia  $\mu = 0$

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia  $\mu \neq 0$

Valor T	Valor p
-1,29	0,327

T T1

## T T pareada T1

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	22,356	0,317	0,183
DESPUES	3	23,156	0,488	0,282

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia $\mu$
-0,800	0,481	0,278	(-1,994; 0,394)

Diferencia  $\mu$ : media de población de (ANTES - DESPUES)

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia  $\mu = 0$

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia  $\mu \neq 0$

Valor T	Valor p
-2,88	0,102

T T2

## T T pareada T2

## Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	22,211	0,310	0,179
DESPUES	3	23,167	0,463	0,267

## Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
-0,956	0,707	0,408	(-2,713; 0,802)

Diferencia\_μ: media de población de (ANTES - DESPUES)

## Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia\_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
-2,34	0,144

T T3

## T T pareada T3

## Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	22,4778	0,1711	0,0988
DESPUES	3	23,3556	0,1072	0,0619

## Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
-0,8778	0,1018	0,0588	(-1,1307; -0,6248)

Diferencia\_μ: media de población de (ANTES - DESPUES)

## Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia\_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
-14,93	0,004

C T0

## C T pareada T0

## Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	2458,00	5,70	3,29
DESPUES	3	2566,11	6,05	3,49

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
-108,11	6,01	3,47	(-123,05; -93,18)

Diferencia\_μ: media de población de (ANTES - DESPUES)

### Prueba

Hipótesis nula H<sub>0</sub>: diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna H<sub>1</sub>: diferencia\_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
-31,14	0,001

C T1

### C T pareada T1

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	2452,33	3,84	2,22
DESPUES	3	1477,11	2,71	1,57

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
975,22	6,15	3,55	(959,95; 990,50)

Diferencia\_μ: media de población de (ANTES - DESPUES)

### Prueba

Hipótesis nula H<sub>0</sub>: diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna H<sub>1</sub>: diferencia\_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
274,68	0,000

C T2

### C T pareada T2

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
---------	---	-------	-----------	----------------

				de la media
ANTES	3	2454,22	5,06	2,92
DESPUES	3	656,11	4,44	2,56

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
1798,11	3,20	1,85	(1790,15; 1806,07)

Diferencia\_μ: media de población de (ANTES - DESPUES)

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia\_μ = 0  
 Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia\_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
972,34	0,000

C T3

### C T pareada T3

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	2448,44	5,59	3,23
DESPUES	3	243,44	3,10	1,79

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
2205,00	6,89	3,98	(2187,89; 2222,11)

Diferencia\_μ: media de población de (ANTES - DESPUES)

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia\_μ = 0  
 Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia\_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
554,47	0,000

A T0

### A T pareada T0

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	125,42	4,02	2,32

DESPUES 3 146,25 5,73 3,31

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la IC de 95% para la diferencia $\mu$	
		Media	IC de 95% para la diferencia $\mu$
-20,83	9,38	5,42	(-44,14; 2,47)

Diferencia  $\mu$ : media de población de (ANTES - DESPUES)

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia  $\mu = 0$

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia  $\mu \neq 0$

Valor T	Valor p
-3,85	0,061

A T1

## A T pareada T1

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	125,83	10,10	5,83
DESPUES	3	105,00	5,73	3,31

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la IC de 95% para la diferencia $\mu$	
		Media	IC de 95% para la diferencia $\mu$
20,83	12,52	7,23	(-10,27; 51,94)

Diferencia  $\mu$ : media de población de (ANTES - DESPUES)

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia  $\mu = 0$

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia  $\mu \neq 0$

Valor T	Valor p
2,88	0,102

A T2

## A T pareada T2

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	127,50	5,45	3,15
DESPUES	3	99,17	4,39	2,53

### Estimación de la diferencia pareada

<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>Error estándar de la media</u>	<u>IC de 95% para la diferencia <math>\mu</math></u>
28,33	2,60	1,50	(21,87; 34,80)

Diferencia  $\mu$ : media de población de (ANTES - DESPUES)

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia  $\mu = 0$

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia  $\mu \neq 0$

<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
18,86	0,003

A T3

### A T pareada T3

### Estadísticas descriptivas

<u>Muestra</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>Error estándar de la media</u>
ANTES	3	126,25	8,75	5,05
DESPUES	3	79,17	1,91	1,10

### Estimación de la diferencia pareada

<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>Error estándar de la media</u>	<u>IC de 95% para la diferencia <math>\mu</math></u>
47,08	10,48	6,05	(21,04; 73,12)

Diferencia  $\mu$ : media de población de (ANTES - DESPUES)

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia  $\mu = 0$

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia  $\mu \neq 0$

<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
7,78	0,016

SDT T0

### SDT T pareada T0

### Estadísticas descriptivas

<u>Muestra</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>Error estándar de la media</u>
ANTES	3	2157,17	3,52	2,03
DESPUES	3	2122,48	6,12	3,53

### Estimación de la diferencia pareada

<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>Error estándar</u>	<u>IC de 95% para la diferencia <math>\mu</math></u>
--------------	------------------	-----------------------	--

de la media			
34,69	8,28	4,78	(14,12; 55,26)

Diferencia\_μ: media de población de (ANTES - DESPUES)

## Prueba

Hipótesis nula H<sub>0</sub>: diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna H<sub>1</sub>: diferencia\_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
7,26	0,018

SDT T1

## SDT T pareada T1

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	2150,59	5,96	3,44
DESPUES	3	858,19	7,20	4,16

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
1292,40	12,11	6,99	(1262,31; 1322,49)

Diferencia\_μ: media de población de (ANTES - DESPUES)

## Prueba

Hipótesis nula H<sub>0</sub>: diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna H<sub>1</sub>: diferencia\_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
184,79	0,000

SDT T2

## SDT T pareada T2

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
ANTES	3	2158,71	4,78	2,76
DESPUES	3	567,62	3,39	1,96

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
1591,09	7,19	4,15	(1573,22; 1608,96)

Diferencia\_μ: media de población de (ANTES - DESPUES)

## Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia\_μ ≠ 0

<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
383,07	0,000

SDT T3

## SDT T pareada T3

### Estadísticas descriptivas

<u>Muestra</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>Error estándar de la media</u>
ANTES	3	2147,35	2,99	1,72
DESPUES	3	239,48	8,92	5,15

### Estimación de la diferencia pareada

<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>Error estándar de la media</u>	<u>IC de 95% para la diferencia_μ</u>
1907,87	7,32	4,23	(1889,68; 1926,05)

Diferencia\_μ: media de población de (ANTES - DESPUES)

## Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia\_μ ≠ 0

<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
451,34	0,000

ANOVA PH

## pH ANOVA de un solo factor: DESPUES vs. TRATAMIENTO

### Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales  
Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

### Información del factor

<u>Factor</u>	<u>Niveles</u>	<u>Valores</u>
TRATAMIENTO	4	T0; T1; T2; T3

### Análisis de Varianza

<u>Fuente</u>	<u>GL</u>	<u>SC Ajust.</u>	<u>MC Ajust.</u>	<u>Valor F</u>	<u>Valor p</u>
TRATAMIENTO	3	5,15114	1,71705	328,74	0,000
Error	8	0,04179	0,00522		



Total 11 5,19292

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,0722714	99,20%	98,89%	98,19%

### Medias

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T0	3	8,9422	0,1008	(8,8460; 9,0384)
T1	3	7,4956	0,0499	(7,3993; 7,5918)
T2	3	7,4389	0,0429	(7,3427; 7,5351)
T3	3	7,3644	0,0800	(7,2682; 7,4607)

Desv.Est. agrupada = 0,0722714

### Comparaciones en parejas de Tukey

#### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

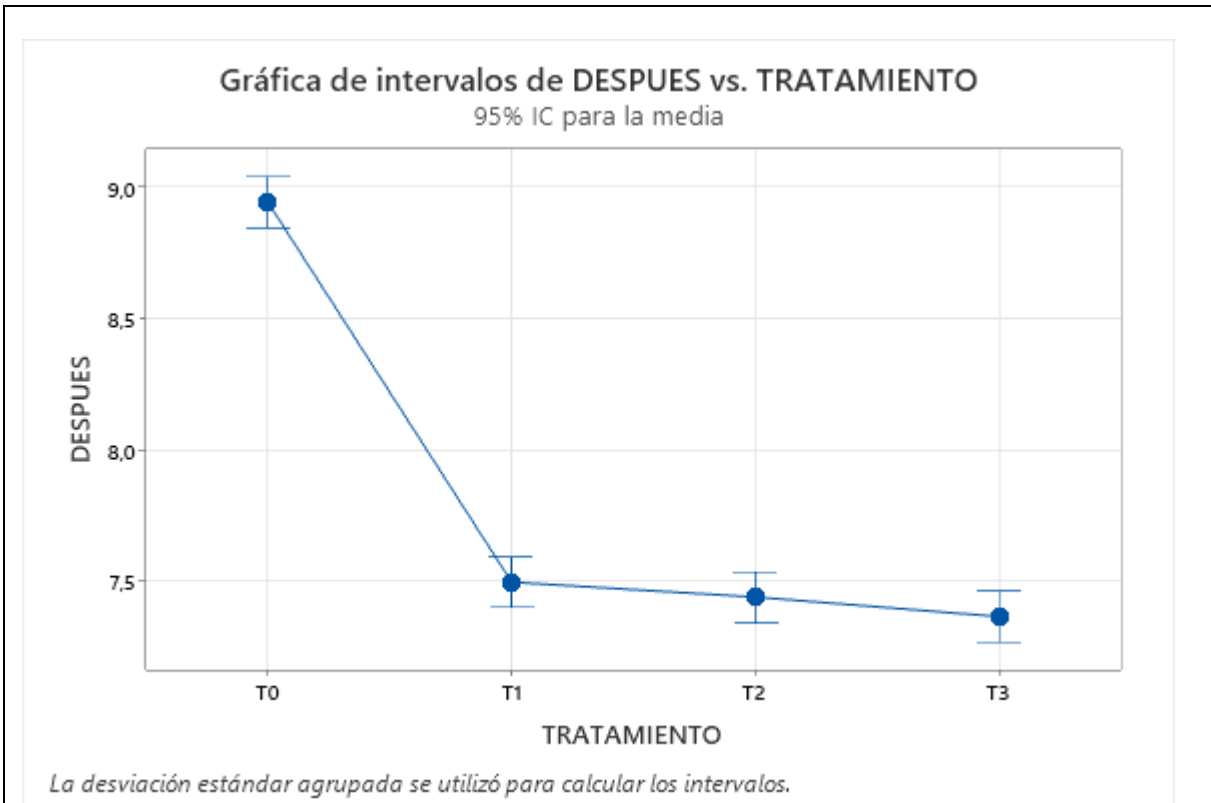
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T0	3	8,9422	A
T1	3	7,4956	B
T2	3	7,4389	B
T3	3	7,3644	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
T1 - T0	-1,4467	0,0590	(-1,6357; -1,2576)	-24,52	0,000
T2 - T0	-1,5033	0,0590	(-1,6924; -1,3143)	-25,48	0,000
T3 - T0	-1,5778	0,0590	(-1,7668; -1,3888)	-26,74	0,000
T2 - T1	-0,0567	0,0590	(-0,2457; 0,1324)	-0,96	0,775
T3 - T1	-0,1311	0,0590	(-0,3201; 0,0579)	-2,22	0,197
T3 - T2	-0,0744	0,0590	(-0,2635; 0,1146)	-1,26	0,609

Nivel de confianza individual = 98,74%



ANOVA T

## T ANOVA de un solo factor: DESPUES vs. TRATAMIENTO

### Método

Hipótesis nula      Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna      No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia       $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	4	T0; T1; T2; T3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	0,2403	0,08009	0,59	0,640
Error	8	1,0889	0,13611		
Total	11	1,3292			

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,368932	18,08%	0,00%	0,00%

### Medias

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T0	3	22,956	0,283	(22,464; 23,447)

T1	3	23,156	0,488	(22,664; 23,647)
T2	3	23,167	0,463	(22,675; 23,658)
T3	3	23,3556	0,1072	(22,8644; 23,8467)

*Desv.Est. agrupada = 0,368932*

### Comparaciones en parejas de Tukey

#### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

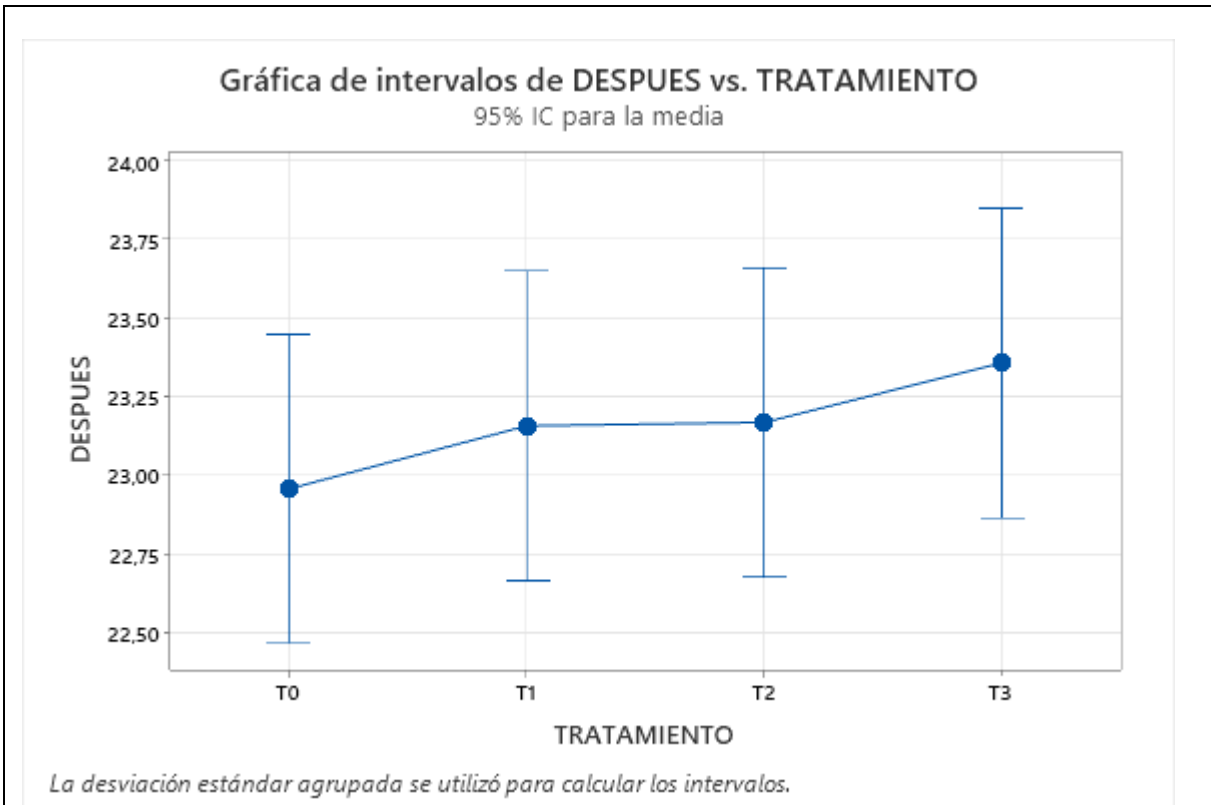
<u>TRATAMIENTO</u>	<u>N</u>	<u>Media Agrupación</u>
T3	3	23,3556 A
T2	3	23,167 A
T1	3	23,156 A
T0	3	22,956 A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

<b>Diferencia de niveles</b>	<b>Diferencia de las medias</b>	<b>EE de diferencia</b>	<b>IC de 95%</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p ajustado</b>
T1 - T0	0,200	0,301	(-0,765; 1,165)	0,66	0,908
T2 - T0	0,211	0,301	(-0,754; 1,176)	0,70	0,894
T3 - T0	0,400	0,301	(-0,565; 1,365)	1,33	0,572
T2 - T1	0,011	0,301	(-0,954; 0,976)	0,04	1,000
T3 - T1	0,200	0,301	(-0,765; 1,165)	0,66	0,908
T3 - T2	0,189	0,301	(-0,776; 1,154)	0,63	0,920

*Nivel de confianza individual = 98,74%*



ANOVA CONDUCTIVIDAD

## Conductividad ANOVA de un solo factor: DESPUES vs. TRATAMIENTO

### Método

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna        No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia     $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	4	T0; T1; T2; T3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	9446302	3148767	171924,61	0,000
Error	8	147	18		
Total	11	9446449			

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
4,27958	100,00%	100,00%	100,00%

### Medias

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>IC de 95%</b>
T0	3	2566,11	6,05	(2560,41; 2571,81)
T1	3	1477,11	2,71	(1471,41; 1482,81)
T2	3	656,11	4,44	(650,41; 661,81)
T3	3	243,44	3,10	(237,75; 249,14)

*Desv.Est. agrupada = 4,27958*

### Comparaciones en parejas de Tukey

#### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

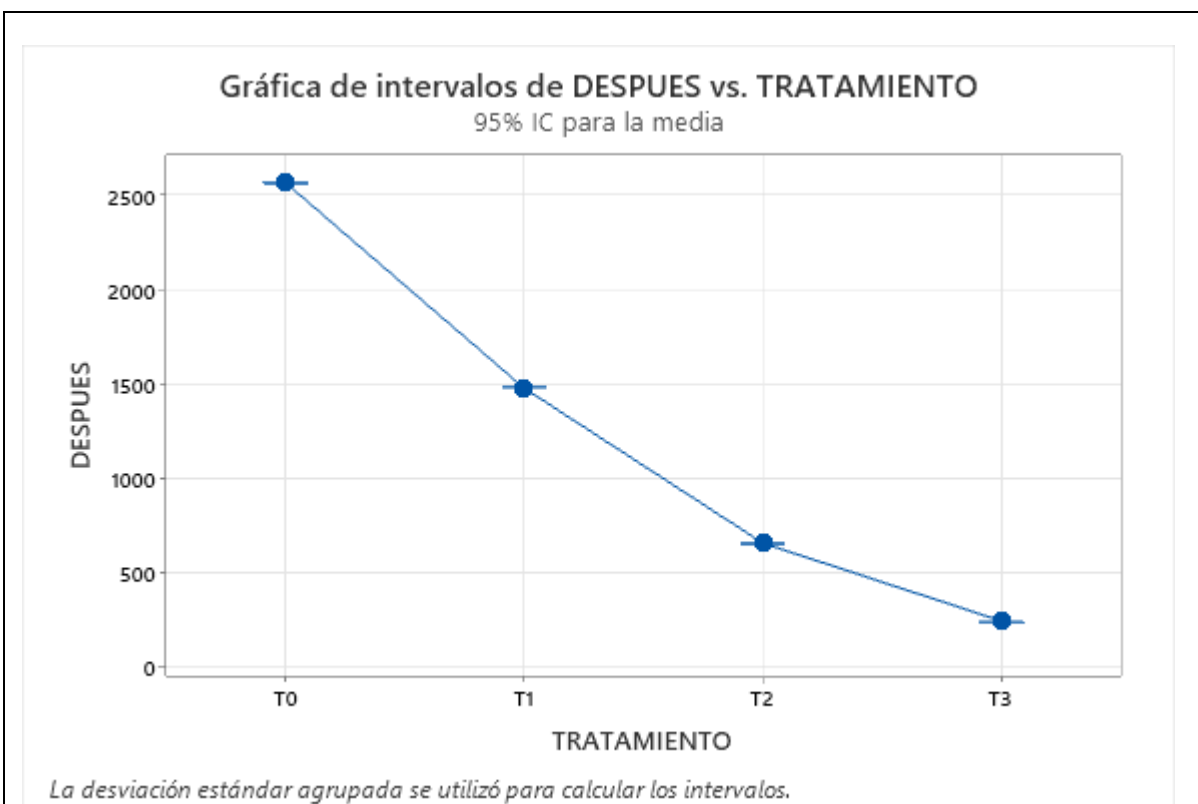
<b>TRATAMIENTO</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
T0	3	2566,11	A
T1	3	1477,11	B
T2	3	656,11	C
T3	3	243,44	D

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

<b>Diferencia de niveles</b>	<b>Diferencia de las medias</b>	<b>EE de diferencia</b>	<b>IC de 95%</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p ajustado</b>
T1 - T0	-1089,00	3,49	(-1100,19; -1077,81)	-311,65	0,000
T2 - T0	-1910,00	3,49	(-1921,19; -1898,81)	-546,61	0,000
T3 - T0	-2322,67	3,49	(-2333,86; -2311,47)	-664,71	0,000
T2 - T1	-821,00	3,49	(-832,19; -809,81)	-234,96	0,000
T3 - T1	-1233,67	3,49	(-1244,86; -1222,47)	-353,05	0,000
T3 - T2	-412,67	3,49	(-423,86; -401,47)	-118,10	0,000

*Nivel de confianza individual = 98,74%*



ANOVA ALCALINIDAD

## Alcalinidad ANOVA de un solo factor: DESPUES vs. TRATAMIENTO

### Método

Hipótesis nula      Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna      No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia       $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	4	T0; T1; T2; T3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	7140,0	2379,99	107,52	0,000
Error	8	177,1	22,14		
Total	11	7317,1			

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
4,70483	97,58%	96,67%	94,55%

### Medias

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T0	3	146,25	5,73	(139,99; 152,51)

T1	3	105,00	5,73	(98,74; 111,26)
T2	3	99,17	4,39	(92,90; 105,43)
T3	3	79,17	1,91	(72,90; 85,43)

*Desv.Est. agrupada = 4,70483*

### Comparaciones en parejas de Tukey

#### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

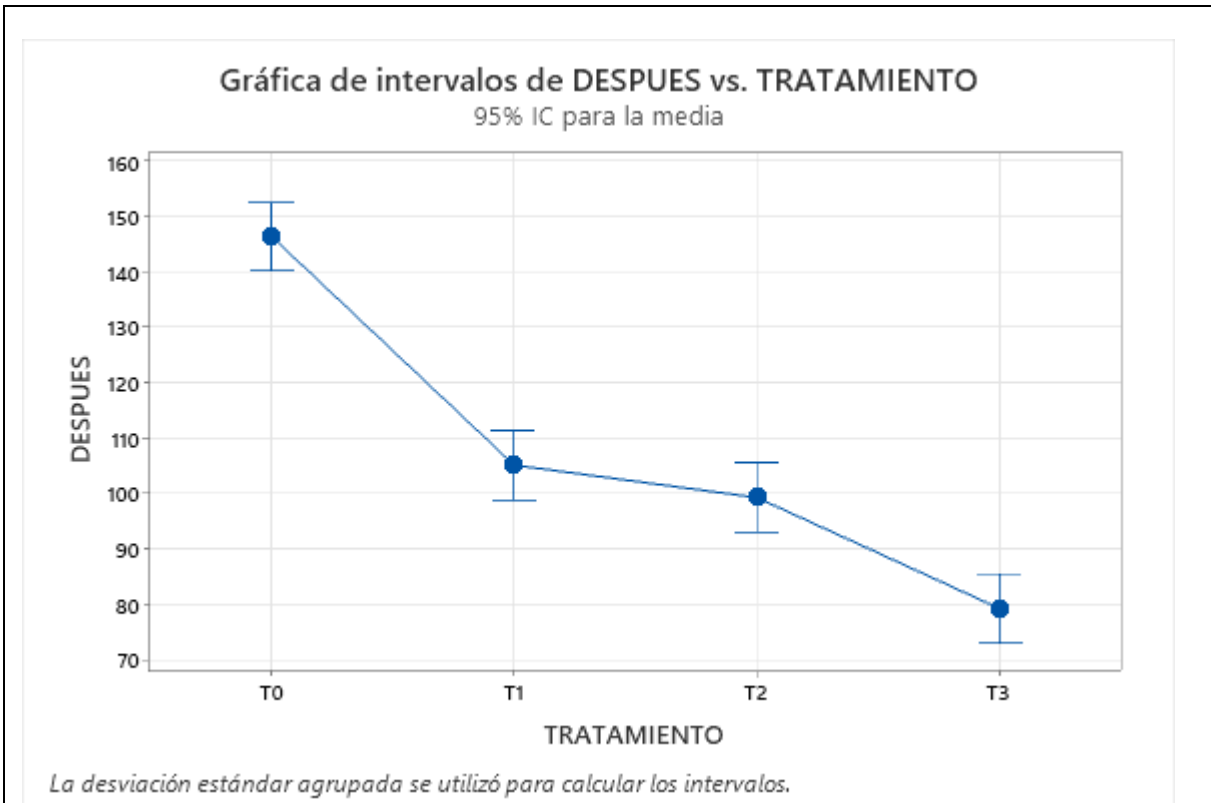
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T0	3	146,25	A
T1	3	105,00	B
T2	3	99,17	B
T3	3	79,17	C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
T1 - T0	-41,25	3,84	(-53,55; -28,95)	-10,74	0,000
T2 - T0	-47,08	3,84	(-59,39; -34,78)	-12,26	0,000
T3 - T0	-67,08	3,84	(-79,39; -54,78)	-17,46	0,000
T2 - T1	-5,83	3,84	(-18,14; 6,47)	-1,52	0,471
T3 - T1	-25,83	3,84	(-38,14; -13,53)	-6,72	0,001
T3 - T2	-20,00	3,84	(-32,30; -7,70)	-5,21	0,004

*Nivel de confianza individual = 98,74%*



ANOVA SDT

## SDT ANOVA de un solo factor: DESPUES vs. TRATAMIENTO

### Método

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna        No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia     $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	4	T0; T1; T2; T3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	6102431	2034144	45116,31	0,000
Error	8	361	45		
Total	11	6102791			

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
6,71466	99,99%	99,99%	99,99%

### Medias

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T0	3	2122,48	6,12	(2113,54; 2131,42)



T1	3	858,19	7,20	(849,25; 867,13)
T2	3	567,62	3,39	(558,68; 576,56)
T3	3	239,48	8,92	(230,54; 248,42)

*Desv.Est. agrupada = 6,71466*

### Comparaciones en parejas de Tukey

#### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

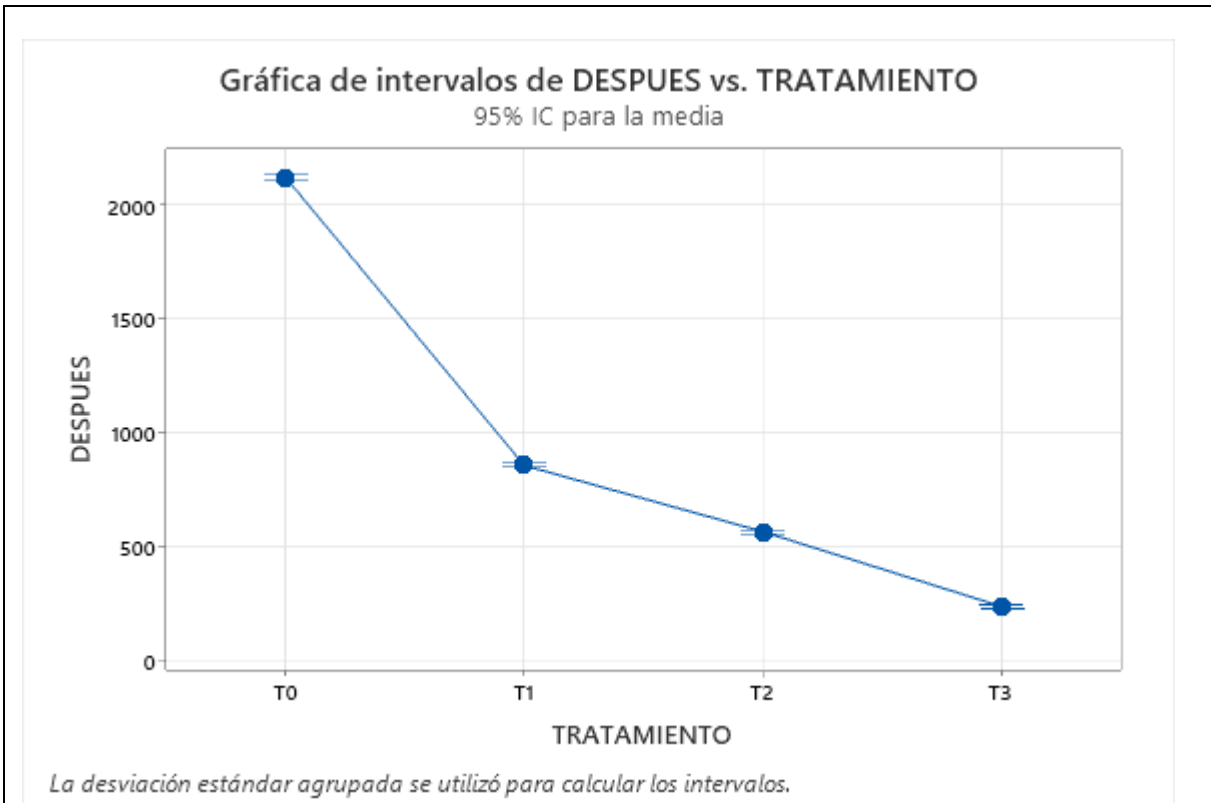
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T0	3	2122,48	A
T1	3	858,19	B
T2	3	567,62	C
T3	3	239,48	D

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
T1 - T0	-1264,28	5,48	(-1281,84; -1246,72)	-230,60	0,000
T2 - T0	-1554,86	5,48	(-1572,42; -1537,30)	-283,60	0,000
T3 - T0	-1882,99	5,48	(-1900,55; -1865,43)	-343,46	0,000
T2 - T1	-290,58	5,48	(-308,14; -273,02)	-53,00	0,000
T3 - T1	-618,71	5,48	(-636,27; -601,15)	-112,85	0,000
T3 - T2	-328,13	5,48	(-345,69; -310,57)	-59,85	0,000

*Nivel de confianza individual = 98,74%*



ANOVA A Y G (0DÍAS)

## 0 días de un solo factor: A y G (0 días) vs. TRATAMIENTO

### Método

Hipótesis nula      Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna    No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia       $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	4	T0; T1; T2; T3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	4,537	1,512	0,96	0,458
Error	8	12,629	1,579		
Total	11	17,166			

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
1,25645	26,43%	0,00%	0,00%

### Medias

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T0	3	87,480	1,181	(85,807; 89,153)

T1	3	87,667	1,330 (85,994; 89,339)
T2	3	88,347	1,580 (86,674; 90,019)
T3	3	89,040	0,809 (87,367; 90,713)

*Desv.Est. agrupada = 1,25645*

### Comparaciones en parejas de Tukey

#### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

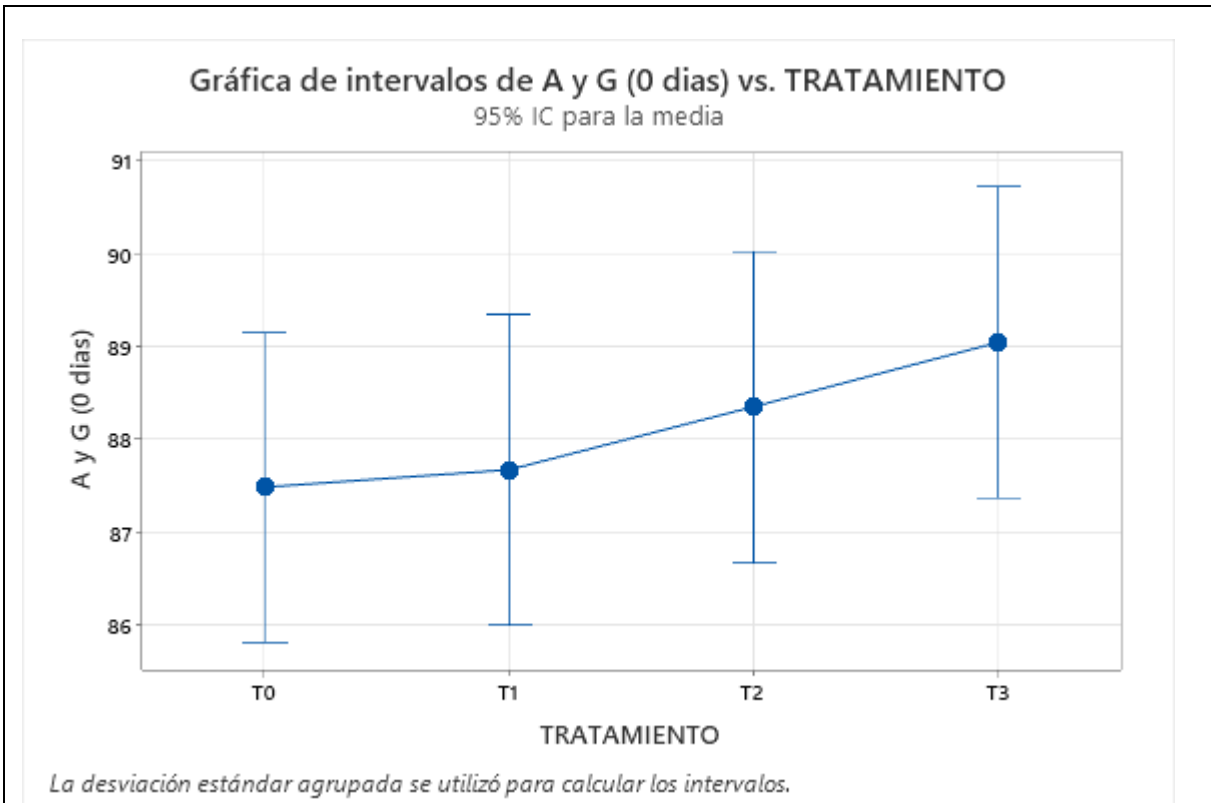
<u>TRATAMIENTO</u>	<u>N</u>	<u>Media Agrupación</u>
T3	3	89,040 A
T2	3	88,347 A
T1	3	87,667 A
T0	3	87,480 A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

<u>Diferencia de niveles</u>	<u>Diferencia de las medias</u>	<u>EE de diferencia</u>	<u>IC de 95%</u>	<u>Valor T</u>	<u>Valor p ajustado</u>
T1 - T0	0,19	1,03	(-3,10; 3,47)	0,18	0,998
T2 - T0	0,87	1,03	(-2,42; 4,15)	0,84	0,832
T3 - T0	1,56	1,03	(-1,73; 4,85)	1,52	0,469
T2 - T1	0,68	1,03	(-2,61; 3,97)	0,66	0,908
T3 - T1	1,37	1,03	(-1,91; 4,66)	1,34	0,566
T3 - T2	0,69	1,03	(-2,59; 3,98)	0,68	0,903

*Nivel de confianza individual = 98,74%*



ANOVA A Y G (7DÍAS)

## ANOVA de un solo factor: A y G (7 días) vs. TRATAMIENTO

### Método

Hipótesis nula      Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna      No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia       $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	4	T0; T1; T2; T3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	855,79	285,262	125,20	0,000
Error	8	18,23	2,278		
Total	11	874,01			

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
1,50944	97,91%	97,13%	95,31%

### Medias

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T0	3	86,84	2,38	(84,83; 88,85)

T1	3	75,653	1,610 (73,644; 77,663)
T2	3	70,333	0,409 (68,324; 72,343)
T3	3	63,787	0,822 (61,777; 65,796)

*Desv.Est. agrupada = 1,50944*

### Comparaciones en parejas de Tukey

#### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

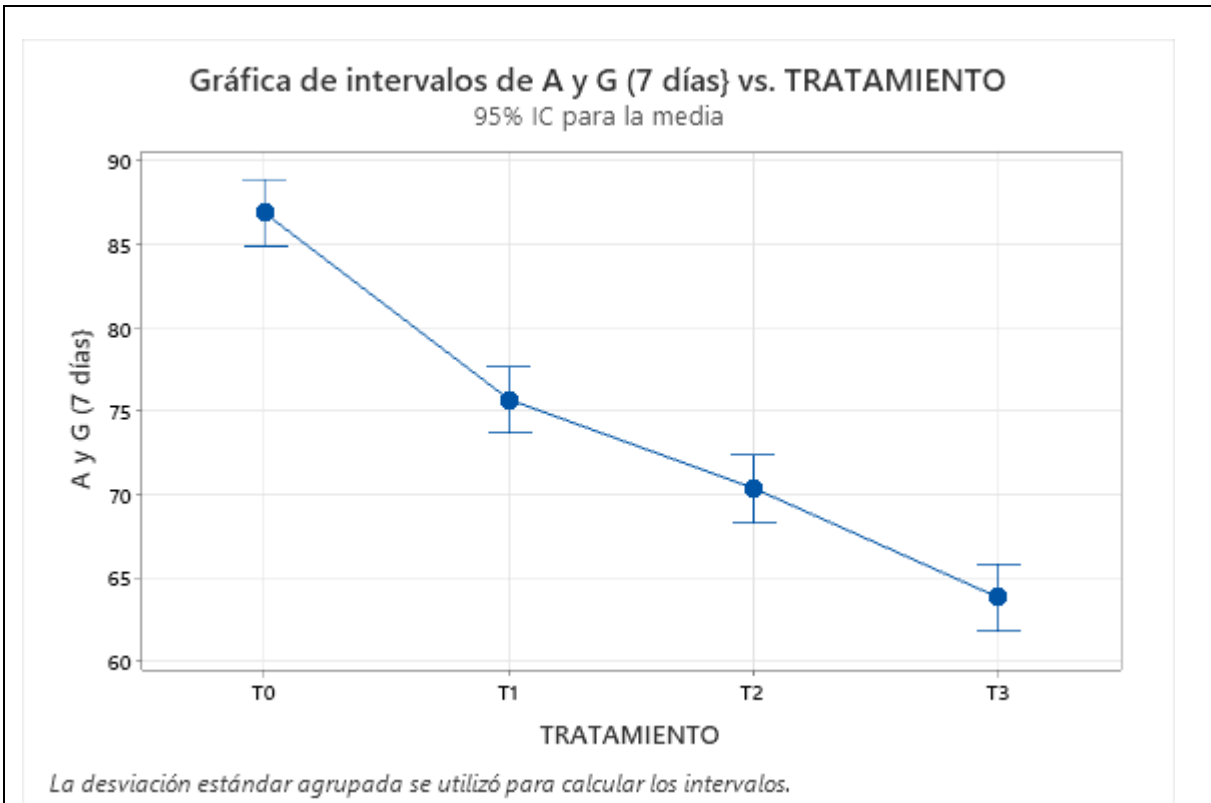
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T0	3	86,84	A
T1	3	75,653	B
T2	3	70,333	C
T3	3	63,787	D

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
T1 - T0	-11,19	1,23	(-15,13; -7,24)	-9,08	0,000
T2 - T0	-16,51	1,23	(-20,45; -12,56)	-13,39	0,000
T3 - T0	-23,05	1,23	(-27,00; -19,11)	-18,71	0,000
T2 - T1	-5,32	1,23	(-9,27; -1,37)	-4,32	0,011
T3 - T1	-11,87	1,23	(-15,81; -7,92)	-9,63	0,000
T3 - T2	-6,55	1,23	(-10,49; -2,60)	-5,31	0,003

*Nivel de confianza individual = 98,74%*



ANOVA A Y G (15 DIAS)TRATAMIENTO REPETICION A Y G

## ANOVA de un solo factor: A y G (15 Días) vs. TRATAMIENTO

### Método

Hipótesis nula      Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna      No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia       $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	4	T0; T1; T2; T3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	2051,81	683,937	172,64	0,000
Error	8	31,69	3,962		
Total	11	2083,51			

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
1,99041	98,48%	97,91%	96,58%

### Medias

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T0	3	86,17	2,79	(83,52; 88,82)

T1	3	68,147	0,878	(65,497; 70,797)
T2	3	53,39	1,91	(50,74; 56,04)
T3	3	55,35	1,90	(52,70; 58,00)

*Desv.Est. agrupada = 1,99041*

### Comparaciones en parejas de Tukey

#### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

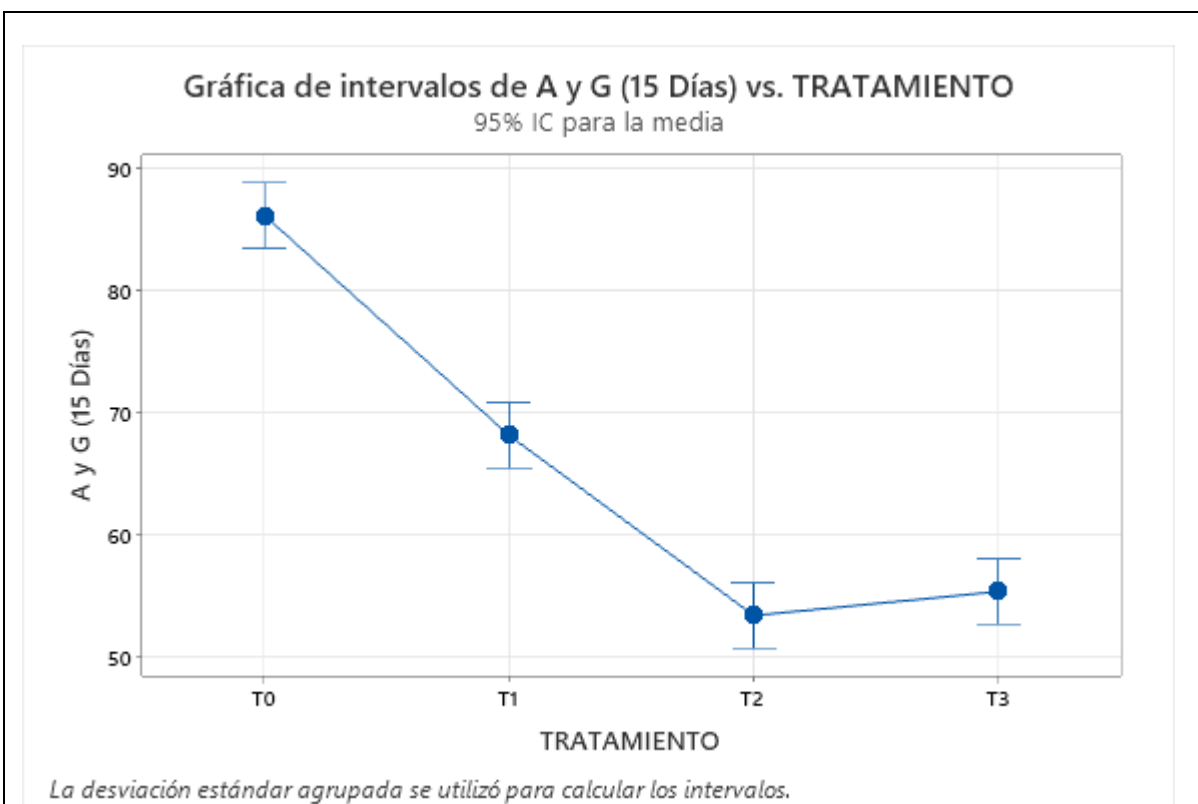
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T0	3	86,17	A
T1	3	68,147	B
T3	3	55,35	C
T2	3	53,39	C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
T1 - T0	-18,03	1,63	(-23,23; -12,82)	-11,09	0,000
T2 - T0	-32,79	1,63	(-37,99; -27,58)	-20,17	0,000
T3 - T0	-30,83	1,63	(-36,03; -25,62)	-18,97	0,000
T2 - T1	-14,76	1,63	(-19,97; -9,55)	-9,08	0,000
T3 - T1	-12,80	1,63	(-18,01; -7,59)	-7,88	0,000
T3 - T2	1,96	1,63	(-3,25; 7,17)	1,21	0,640

*Nivel de confianza individual = 98,74%*



ANOVA AY G (30 DÍAS)

## ANOVA de un solo factor: A y G (30 días) vs. TRATAMIENTO

### Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	4	T0; T1; T2; T3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	4655,80	1551,93	1281,88	0,000
Error	8	9,69	1,21		
Total	11	4665,49			

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
1,10030	99,79%	99,71%	99,53%

### Medias

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T0	3	83,933	0,474	(82,468; 85,398)



T1	3	59,653	1,608 (58,188; 61,118)
T2	3	40,280	1,021 (38,815; 41,745)
T3	3	33,120	0,995 (31,655; 34,585)

*Desv.Est. agrupada = 1,10030*

### Comparaciones en parejas de Tukey

#### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

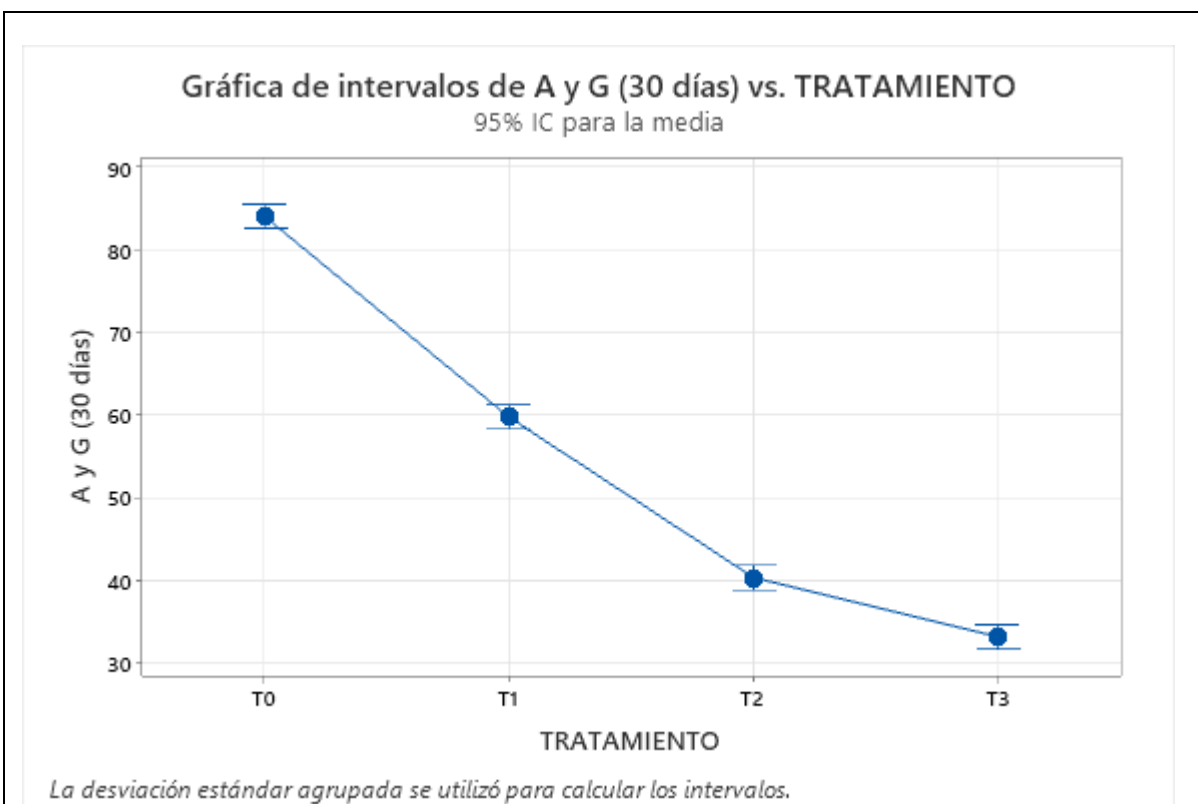
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T0	3	83,933	A
T1	3	59,653	B
T2	3	40,280	C
T3	3	33,120	D

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
T1 - T0	-24,280	0,898	(-27,158; -21,402)	-27,03	0,000
T2 - T0	-43,653	0,898	(-46,531; -40,776)	-48,59	0,000
T3 - T0	-50,813	0,898	(-53,691; -47,936)	-56,56	0,000
T2 - T1	-19,373	0,898	(-22,251; -16,496)	-21,56	0,000
T3 - T1	-26,533	0,898	(-29,411; -23,656)	-29,53	0,000
T3 - T2	-7,160	0,898	(-10,038; -4,282)	-7,97	0,000

*Nivel de confianza individual = 98,74%*



ANOVA A Y G (45 DÍAS)

## ANOVA de un solo factor: A y G (45 Días) vs. TRATAMIENTO

### Método

Hipótesis nula      Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna      No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia       $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	4	T0; T1; T2; T3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	6020,50	2006,83	355,52	0,000
Error	8	45,16	5,64		
Total	11	6065,66			

### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
2,37588	99,26%	98,98%	98,32%

### Medias

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T0	3	80,840	1,598	(77,677; 84,003)

T1	3	45,11	2,45	(41,94; 48,27)
T2	3	34,05	2,78	(30,89; 37,22)
T3	3	20,45	2,51	(17,29; 23,62)

*Desv.Est. agrupada = 2,37588*

### Comparaciones en parejas de Tukey

#### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

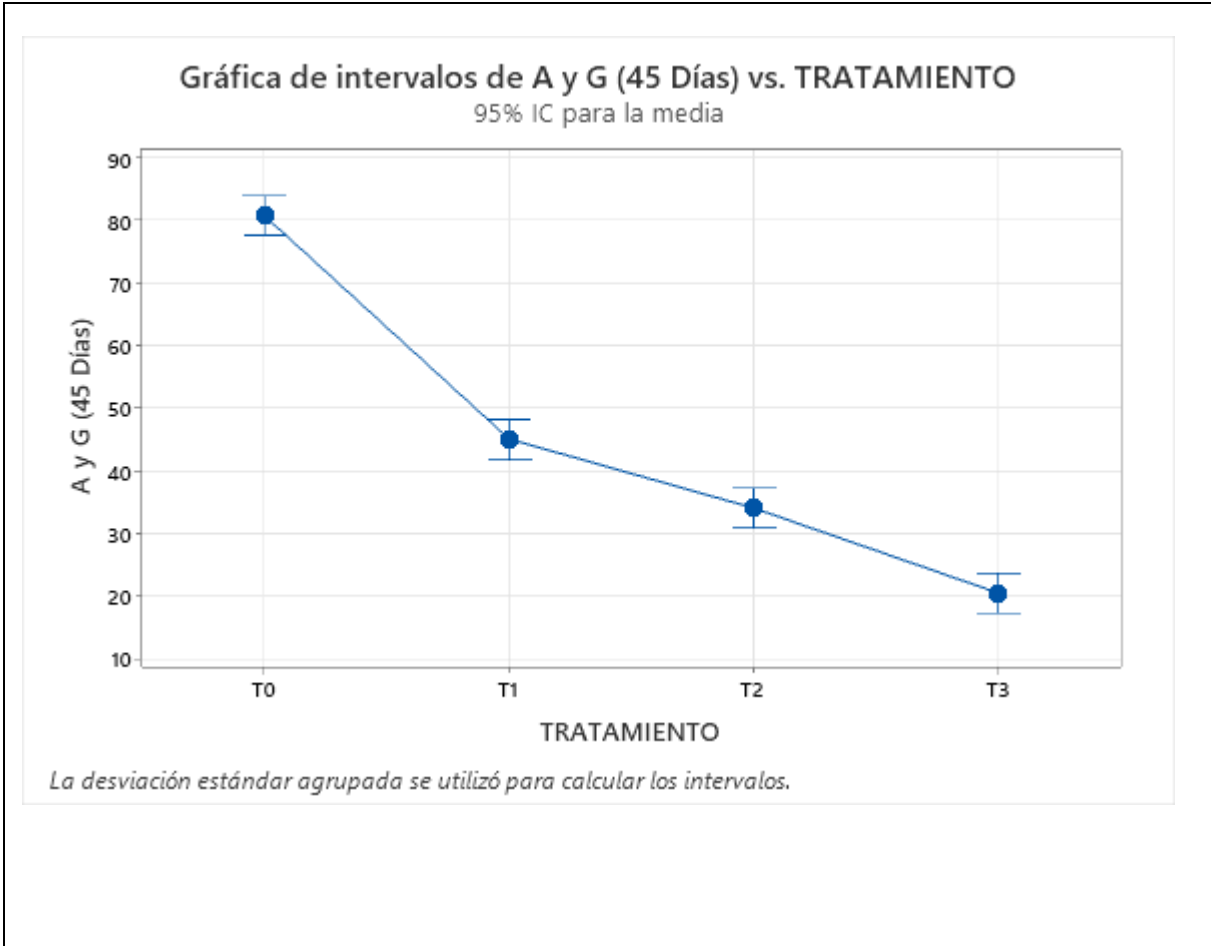
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T0	3	80,840	A
T1	3	45,11	B
T2	3	34,05	C
T3	3	20,45	D

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
T1 - T0	-35,73	1,94	(-41,95; -29,52)	-18,42	0,000
T2 - T0	-46,79	1,94	(-53,00; -40,57)	-24,12	0,000
T3 - T0	-60,39	1,94	(-66,60; -54,17)	-31,13	0,000
T2 - T1	-11,05	1,94	(-17,27; -4,84)	-5,70	0,002
T3 - T1	-24,65	1,94	(-30,87; -18,44)	-12,71	0,000
T3 - T2	-13,60	1,94	(-19,81; -7,39)	-7,01	0,001

*Nivel de confianza individual = 98,74%*



Anexo 13. Análisis estadístico  
Elaborado por: (La autora, 2024)