

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL



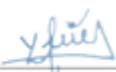
**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**EFFECTO EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD Y LOS
SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS DE LA VINAZA,
EMPLEANDO SULFATO DE ALUMINIO Y POLICLORURO
DE ALUMINIO EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN Y
FLOCULACIÓN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

Autoras : Bach. Yosely Vásquez Díaz
: Bach. María Yomar Villalobos Vásquez
Asesor : M.Cs. Jorge Antonio Delgado Soto
Línea de investigación : Innovación tecnológica para el desempeño y
competitividad para la calidad ambiental

JAÉN – PERÚ, SEPTIEMBRE, 2023


Vásquez Díaz Yosely


Villalobos Vasquez Maria Yomar


Delgado Soto Jorge Antonio

NOMBRE DEL TRABAJO

INFORME FINAL DE TESIS_VASQUEZ DIA
Z YOSELY_VILLALOBOS VASQUEZ MARI
A_25-09-2023.pdf

AUTOR

Yosely Vásquez Díaz y María Yo

RECuento DE PALABRAS

10208 Words

RECuento DE CARACTERES

53758 Characters

RECuento DE PÁGINAS

56 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.3MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 3, 2023 6:50 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 3, 2023 6:51 PM GMT-5

● 12% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Christian Robert Apaza Páez
RESPONSABLE DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Resumen


Vásquez Díaz Yosely


Villalobos Vasquez María Yomar


Delgado Soto Jorge Antonio



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de creación N°29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

El día 19 de septiembre del año 2023, siendo las 9:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado de manera presencial, en la sala de docentes del pabellón de ingeniería Forestal y Ambiental:

Presidente : Dr. Luis Arturo Gil Ramírez

Secretario : Dra. Mariela Núñez Figueroa

Vocal : Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano, para evaluar la Sustentación del Informe final

(X) Informe Final de Tesis

() Proyecto de Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "EFECTO EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD Y LOS SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS DE LA VINAZA, EMPLEANDO SULFATO DE ALUMINIO Y POLICLORURO DE ALUMINIO EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN", presentado por las Bachilleres: Yosely Vásquez Díaz y María Yomar Villalobos Vásquez, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

a) Excelente	18, 19, 20	()
b) Muy bueno	16, 17	()
c) Bueno	14, 15	()
d) Regular	13	(X)
e) Desaprobado	12	()

Siendo las 10:25 horas del mismo día, el jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

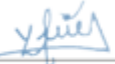

Presidente
Dr. Luis Arturo Gil Ramírez


Secretario
Dra. Mariela Núñez Figueroa


Vocal
Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano

Dirección: Carret. Jaén – San Ignacio S/N, Yanuyaku
E-mail: escuela.forestal@unj.edu.pe

web: <http://www.unj.edu.pe>

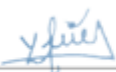

Vásquez Díaz Yosely


Villalobos Vásquez María Yomar


Delgado Soto Jorge Antonio

ÍNDICE

	pág.
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	14
2.1. Materiales	14
2.1.1. Equipos, materiales y reactivos del laboratorio de química.....	14
2.1.2. Equipos y materiales de campo.....	14
2.2. Métodos.....	15
2.2.1. Ubicación del área de estudio	15
2.2.2. Población, muestra y muestreo	16
2.2.3. Determinación del pH, conductividad eléctrica, turbiedad y sólidos totales en suspensión de la vinaza, antes de la dosificación realizado en el laboratorio químico OIKOSLAB S.A.C.....	17
2.2.3.1. Determinación del pH de la vinaza	17
2.2.3.2. Determinación de la conductividad eléctrica de la vinaza.....	17
2.2.3.3. Determinación de la turbiedad de la vinaza.....	18
2.2.3.4. Medición de los sólidos totales suspendidos de la vinaza.....	19
2.2.4. Determinación del efecto del sulfato de aluminio $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ al 57% de pureza y policloruro de aluminio en la turbiedad y los sólidos suspendidos de la vinaza después de la dosificación.....	20
2.2.4.1. Procedimiento para la evaluación de la turbiedad y sólidos totales en suspensión con el test de jarras en el laboratorio de la Empresa Prestadora de Servicios Maraño S.A.....	21
2.2.4.2. Evaluación de la eficiencia de remoción de los parámetros establecidos.....	22


Vázquez Díaz Yosely


Villalobos Vasquez Maria Yomar


Delgado Soto Jorge Antonio

2.2.5. Determinación de la mejor dosificación que permita remover el mayor porcentaje de turbiedad y sólidos totales suspendidos de la vinaza.	22
III. RESULTADOS.....	23
3.1. Determinación del pH, conductividad eléctrica, turbiedad y sólidos totales en suspensión de la vinaza, antes de la dosificación.....	23
3.2. Resultados de los promedios de tratamientos para la turbiedad.....	23
3.2.1. Porcentaje de la remoción de la turbiedad.....	24
3.3. Resultados de los promedios de tratamientos para los sólidos totales en suspensión.....	25
3.3.1. Porcentaje de remoción de los sólidos totales suspendidos.....	25
3.4. Determinación de la mejor dosificación que permita remover el mayor porcentaje de turbiedad y sólidos totales suspendidos de la vinaza.....	27
3.4.1. Análisis de varianza del parámetro turbiedad	27
3.4.2. Análisis de varianza del parámetro sólidos totales en suspensión.....	28
3.4.3. Comparación de los parámetros pH, conductividad eléctrica y sólidos totales en suspensión de la vinaza con los límites máximos permisibles presentados en el Decreto Supremo 004-2017 MINAM en las categorías 3 y 4.....	29
IV. DISCUSIÓN.....	30
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
5.1. Conclusiones.....	33
5.2. Recomendaciones.....	33
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	34
AGRADECIMIENTO.....	38
DEDICATORIA	39
ANEXOS	40

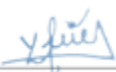

Vázquez Díaz Yosely


Villalobos Vasquez Maria Yomar


Delgado Soto Jorge Antonio

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Dosificaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ al 57% de pureza /L de vinaza y volumen de policloruro de aluminio/L de vinaza.....	21
Tabla 2. Resultados de los promedios del pH, conductividad eléctrica, sólidos totales en suspensión y turbiedad de la vinaza.....	23
Tabla 3. Resultados de los promedios de tratamientos para la turbiedad de la vinaza.....	23
Tabla 4. Resultados de los promedios y desviación estándar para la remoción de la turbiedad de la vinaza.....	24
Tabla 5. Resultados de los promedios y desviación estándar de los sólidos totales suspendidos (mg/L) de la vinaza	25
Tabla 6. Resultados de los promedios y desviación estándar para el porcentaje de remoción de los sólidos totales suspendidos (mg/L) de la vinaza..	26
Tabla 7. Resultado de la comparación del valor de distribución de Fisher para la remoción de la turbiedad de la vinaza.....	27
Tabla 8. Comparación de medias, prueba de Duncan al nivel de confianza de 95 % de la turbiedad.....	27
Tabla 9. Resultado de la comparación del valor de distribución de Fisher para los sólidos totales en suspensión.....	28
Tabla 10. Comparación de medias, prueba de Duncan a nivel de confianza al 95% de los sólidos totales en suspensión	29
Tabla 11. Comparación de los parámetros pH, conductividad eléctrica y sólidos totales en suspensión con los límites máximos permisibles presentados en el decreto supremo 004-2017 MINAM para riego de vegetales y ríos (costa y sierra).....	29


 Vásquez Díaz Yosely


 Villalobos Vasquez Maria Yomar


 Delgado Soto Jorge Antonio

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vista georreferenciada del caserío Libertad Pan de Azúcar, lugar de donde se obtuvo la vinaza.....	15
Figura 2. Medición del pH de la vinaza	17
Figura 3. Medición de la conductividad eléctrica de la vinaza	18
Figura 4. Medición de la turbiedad de la vinaza	19
Figura 5. Medición de los sólidos totales suspendidos de la vinaza	20
Figura 6. Proceso de coagulación y floculación llevado a cabo en el test de jarras.....	22

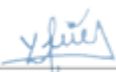

Vázquez Díaz Yosely


Villalobos Vasquez Maria Yomar


Delgado Soto Jorge Antonio

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Permiso para usar el equipo test de jarras de la EPS Marañón S.A	40
Anexo 2. Resultados de los ensayos de pH de la vinaza.....	41
Anexo 3. Resultados de los ensayos de la conductividad eléctrica de la vinaza.....	41
Anexo 4. Resultados de los ensayos de la turbiedad de la vinaza.....	41
Anexo 5. Resultados de los ensayos de sólidos totales en suspensión de la vinaza	41
Anexo 6. Valores críticos para el test de rango múltiple de Duncan	42
Anexo 7. Tabla de valores críticos de la distribución fisher (0,05)	43
Anexo 8. Resultados de las mediciones de las NTU (Unidades Nefelométricas de Turbiedad) para los tratamientos de la vinaza.....	43
Anexo 9. Promedio de los resultados de la turbiedad para cada tratamiento.....	44
Anexo 10. Resultados de remoción porcentual de la turbiedad de la vinaza.....	44
Anexo 11. Remoción porcentual de los promedios de los tratamientos y repeticiones para la turbiedad.....	44
Anexo 12. Resultados de las mediciones para sólidos totales suspendidos.....	45
Anexo 13. Promedio de los resultados de los sólidos totales suspendidos para cada tratamiento.....	45
Anexo 14. Remoción porcentual de los promedios para los sólidos totales en suspensión para cada tratamiento	45
Anexo 15. Remoción porcentual de los promedios de los tratamientos y repeticiones para los sólidos totales suspendidos.....	46
Anexo 16. Análisis de varianza de la turbiedad vs dosis de la vinaza.....	46


Vásquez Díaz Yosely


Villalobos Vasquez Maria Yomar


Delgado Soto Jorge Antonio

Anexo 17. Análisis de varianza para el factor sólidos totales en suspensión vs dosis de la vinaza.....	46
Anexo 18. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable de respuesta: remoción de turbiedad (%).....	47
Anexo 19. Prueba de rango múltiple de Duncan para variable de respuesta: remoción de STS (%).....	48
Anexo 20. Medición del sulfato de aluminio.....	49
Anexo 21. Dosificaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ al 57% de pureza y policloruro de aluminio	50
Anexo 22. Obtención de vinaza generada en la producción de llongue de la familia villalobos vásquez	50
Anexo 23. Equipos y materiales para la medición del pH de la vinaza.....	50
Anexo 24. Equipos y materiales para la medición de la conductividad eléctrica de la vinaza...	51
Anexo 25. Equipos y materiales para la medición de los sólidos totales suspendidos de la vinaza.....	51
Anexo 26. Equipos y materiales para la medición de la turbiedad de la vinaza.....	52
Anexo 27. Adición del coagulante (sulfato de aluminio).....	52
Anexo 28. Adición del floculante (policloruro de aluminio).....	53
Anexo 29. Periodo de sedimentación.....	53
Anexo 30. Mejor tratamiento removido para sólidos totales suspendidos.....	54
Anexo 31. Mejor tratamiento removido para la turbiedad.....	55
Anexo 32. Diagrama de flujo del proceso de investigación.....	56


Vásquez Díaz Yosely


Villalobos Vasquez Maria Yomar


Delgado Soto Jorge Antonio

RESUMEN

La vinaza es el agua residual generada en la producción de llongue, que es el destilado del jugo de caña de azúcar. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto en la remoción de la turbiedad y los sólidos totales suspendidos de la vinaza, empleando sulfato de aluminio y policloruro de aluminio en los procesos de coagulación y floculación. Se caracterizaron los siguientes parámetros: para la medición del pH se utilizó el potenciómetro, en la conductividad eléctrica el conductímetro, para la turbiedad un turbidímetro y para los sólidos totales suspendidos el fotocolorímetro, para todos estos parámetros la muestra diluida de vinaza fue (10 ml /100 ml de agua destilada) y se esperó 20 minutos realizando tres repeticiones obteniendo los siguientes promedios (pH = 3.19, conductividad eléctrica = 3141 μ S/cm, sólidos totales en suspensión = 9350 mg/L y turbiedad = 47810 NTU). Se realizaron cuatro tratamientos empleando el test de jarras, T₁ = 0.02 g de sulfato de aluminio y 0.5 ml de policloruro de aluminio, T₂ = 0.04 g de sulfato de aluminio y 1.0 ml de policloruro de aluminio, T₃ = 0.06 g de sulfato de aluminio y 1.5 ml de policloruro de aluminio y T₄ = 0.08 g de sulfato de aluminio y 2.0 ml de policloruro de aluminio. Se concluyó que el T₂ fue el mejor para remover la turbiedad (98.64 %) y el T₁ para remover los sólidos totales suspendidos (94.52 %).

Palabras claves: *Vinaza, coagulación, floculación, turbiedad, solidos totales en suspensión*

ABSTRACT

Vinasse is the waste water generated in the production of llongue, which is the distillate of sugar cane juice. The objective of the research was to evaluate the effect on the removal of turbidity and total suspended solids from the vinasse, using aluminum sulfate and aluminum polychloride in the coagulation and flocculation processes. The following parameters were characterized: for the pH measurement the potentiometer was used, for the electrical conductivity the conductivity meter, for the turbidity a turbidimeter and for the total suspended solids the photocolorimeter, for all these parameters the diluted sample of vinasse was (10 ml /100 ml of distilled water) and waited 20 minutes, performing three repetitions, obtaining the following averages (pH = 3.19, electrical conductivity = 3141 $\mu\text{S}/\text{cm}$, total suspended solids = 9350 mg/L and turbidity = 47810 NTU). Four treatments were carried out using the jar test, T_1 = 0.02 g of aluminum sulfate and 0.5 ml of polyaluminum chloride, T_2 = 0.04 g of aluminum sulfate and 1.0 ml of polyaluminum chloride, T_3 = 0.06 g of aluminum sulfate and 1.5 ml of polyaluminum chloride and T_4 = 0.08 g of aluminum sulfate and 2.0 ml of polyaluminum chloride. It was concluded that T_2 was the best for eliminating turbidity (98.64%) and T_1 for total suspended solids (94.52%).

Keywords: Vinasse, coagulation, flocculation, turbidity, total solids in suspension

I. INTRODUCCIÓN

La vinaza se define como el efluente resultante de la producción de alcohol y destilado de caña de azúcar, se caracteriza por ser un líquido de color marrón, con un gran contenido de sólidos suspendidos, olor a miel final y sabor a malta (Zuñiga y Gandini, 2013). Por ello, se considera que estos efluentes tienen un impacto negativo en el medio ambiente, especialmente, al recurso hídrico, ya que disminuye la luminosidad de las aguas, la actividad fotosintética, y el oxígeno disuelto. Una mala gestión de las vinazas, como el vertimiento directo de esta sobre los cauces receptores (ríos, lagos, etc.), así como su disposición directa al alcantarillado, conlleva a un serio problema de contaminación ambiental provocando graves efectos en la flora y fauna.

Ibarra y León (2018) señalan que por cada litro de etanol producido a partir de la melaza de caña de azúcar se obtienen 12 a 15 litros de vinaza como residual. No existen estudios que indiquen cuanto de la producción de caña de azúcar en el Perú es destinado a la producción del lloque y tampoco existen Límite Máximo Permisible (LMP) que se apliquen específicamente a los efluentes provenientes de la industria productora de etanol. Además, indican que, en la destilería Argeo Martínez los parámetros: conductividad eléctrica 1686.53 ms/m, pH (3.95) y sólidos totales (42 877.5 mg/L), se encontraron por encima de los límites máximos permisibles admitidos por Cuba, lo cual demuestra que la vinaza posee un efecto contaminante, confirmando que es inadecuada la disposición final de este residual en las aguas terrestres y marítimas sin un previo tratamiento.

La empresa MAPLE.S.A. ubicada en el distrito de la Huaca provincia de Paita - Piura, produce 63 000 a 65 000 m³/mes (5.255 litros/seg) de vinaza, lo cual se considera un caudal muy grande. Desde el punto de vista ambiental, causa problemas porque es un contaminante pesado debido a la presencia de contaminantes refractarios, como los compuestos polifenólicos, que se consideran compuestos orgánicos persistentes (COPs) y compuestos orgánicos no biodegradables. (Flores, 2019)

Martínez *et al.* (2020) mencionan que, la turbidez refleja el contenido de sustancias coloidales, minerales u orgánicas en el agua, por lo que puede ser indicio de contaminación. Los elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro. Así, la presencia de turbiedad en el agua representa un riesgo microbiológico para el ser humano. Se mide en NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez) y el instrumento utilizado en la medición es el turbidímetro.

Los Sólidos Totales Suspendidos (STS) es la cantidad de residuo retenido y hace referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual (Comunidad Andina, 2007).

Galindo (2018) menciona que, el sulfato de aluminio es el coagulante estándar utilizado en tratamientos de aguas. Este producto comercial suele tener la siguiente fórmula $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$. Se obtiene por descomposición del mineral bauxita (Al_2O_3) con ácido sulfúrico (H_2SO_4). El sulfato de aluminio debe distribuirse a través de toda la masa de agua rápidamente, con el fin de que se logre el contacto con todas las partículas coloidales antes de que se presente la formación de las especies menos deseables. Esto se logra mezclándolo momentáneamente lo que permite una buena distribución del coagulante en el menor tiempo posible. Durante la floculación se completa la aglomeración de las partículas y crecen los flóculos hasta una condición adecuada para su sedimentación. Durante la sedimentación los flóculos se precipitan para dejar un líquido clarificado.

El policloruro de aluminio (PAC) es un derivado polimérico del aluminio que existe desde hace bastantes años en Europa y Japón y que ahora se ha introducido también en el mercado norteamericano. Los beneficios son: una mejor formación de floc, un más amplio rango de pH, menor generación de lodos y poca o ninguna necesidad de usar conjuntamente polielectrolitos (Sierra y Guatame, 2016). Es un agente efectivo en la remoción de la turbiedad porque, de acuerdo con la teoría de la doble capa eléctrica y la regla de Schultze-Hardy, se plantea que los agentes coagulantes deben tener cargas positivas contrarias al ion determinante del potencial en la partícula en las aguas residuales (generalmente negativas) y por supuesto a mayor carga tendrá mejores características coagulantes. (Briones *et al.*, 2020)

El proceso de coagulación - floculación se emplea para remover sólidos suspendidos del agua, ya sea agua para el proceso de potabilización o agua residual. Las ayudas de coagulación/floculación más comunes son: compuestos inorgánicos de aluminio o hierro (sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico). La coagulación consiste en reducir la carga eléctrica negativa de las partículas suspendidas, contribuyendo a la agregación de partículas para formar microflóculos. Las partículas de aguas residuales están cargadas negativamente y cargas eléctricas similares generan fuerzas de repulsión que promueven la suspensión de las partículas. La floculación consiste en la agregación de partículas para formar flóculos más grandes. La sedimentación comprende la precipitación de sólidos, incluyendo los sólidos debidos a la contaminación y los sólidos generados por los químicos. La floculación depende de la temperatura y el pH del agua. (Trujillo *et al.*, 2014)

Pérez (2015) señala que la prueba de jarras es la más utilizada para determinar la dosificación de químicos y otros parámetros para la remoción de la turbidez del agua. En ella se tratan de simular procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio. Dado que la prueba de jarras es solo una simulación del proceso, es necesario respetar las condiciones de operación que existen en el proceso industrial, tales como: gradiente hidráulico y tiempo en la mezcla lenta y rápida, punto de aplicación de los reactivos, el orden y el tiempo de dosificación de los mismos. El proceso de coagulación y floculación en el test de jarras incluye tres pasos: en la mezcla rápida se crea la turbulencia o movimiento requerido en el líquido contenido en la jarra para que los reactivos químicos entren en contacto con las partículas coloidales del agua, para neutralizar su carga, provocando inestabilidad y agruparse por un corto tiempo, para la mezcla lenta el mezclado se efectúa a velocidad moderada con el objetivo de mantener los componentes de agua mezclados y promover la formación de flóculos largos y en la sedimentación los coloides sedimentan por gravedad y obtenemos agua clarificada. (Galindo, 2018)

Según investigaciones realizadas la vinaza es un agua residual contaminante, por ello se pretende trabajar en caserío Libertad Pan de Azúcar, provincia de Cutervo, región Cajamarca, ya que cuenta entre sus actividades económicas la producción llonque. La vinaza producida no recibe ningún tratamiento, siendo derivada a las quebradas, donde las familias utilizan el

agua para sus actividades productivas, consumo humano, actividades sociales y recreativas. Sin embargo, si estas fuentes se contaminan, afectaría la salud, la convivencia y el bien estar de la comunidad.

Por lo expuesto la investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto en la remoción de la turbiedad y los sólidos totales suspendidos de la vinaza, empleando sulfato de aluminio y policloruro de aluminio en los procesos de coagulación y floculación. Es por ello que éste trabajo será el punto de partida para futuras investigaciones donde puedan emplear coagulantes y floculantes que sean de origen natural (almidón de yuca, almidón de plátano, extracto de guácimo) que, en combinación con las sales de aluminio sean efectivos para la remoción de la turbiedad y los sólidos totales en suspensión de la vinaza.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales

2.1.1. Equipos, materiales y reactivos del laboratorio de química

Equipos.

Balanza analítica (marca OHAUS 0.01 mg de precisión, modelo Px224/p), turbidímetro (marca HANNA, modelo HI-98703-01), potenciómetro (marca HANNA, modelo HI 991003), conductímetro (marca HANNA, modelo HI 99301), fotocolorímetro (marca HACH, modelo DR 900), todos procedentes del laboratorio OIKOSLAB S.A.C. y el equipo de test de jarras (procedente del laboratorio químico de la Empresa Prestadora de Servicios Marañón. S.A).

Materiales de vidrio:

Vaso de precipitación (100 ml), pipetas graduadas, probeta de 100 ml.

Reactivos:

Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ al 57% de pureza)

Solución de policloruro de aluminio ($\text{Al}_n(\text{OH})_m(\text{SO}_4)_p(\text{Cl}_{3n-m-2p})$)

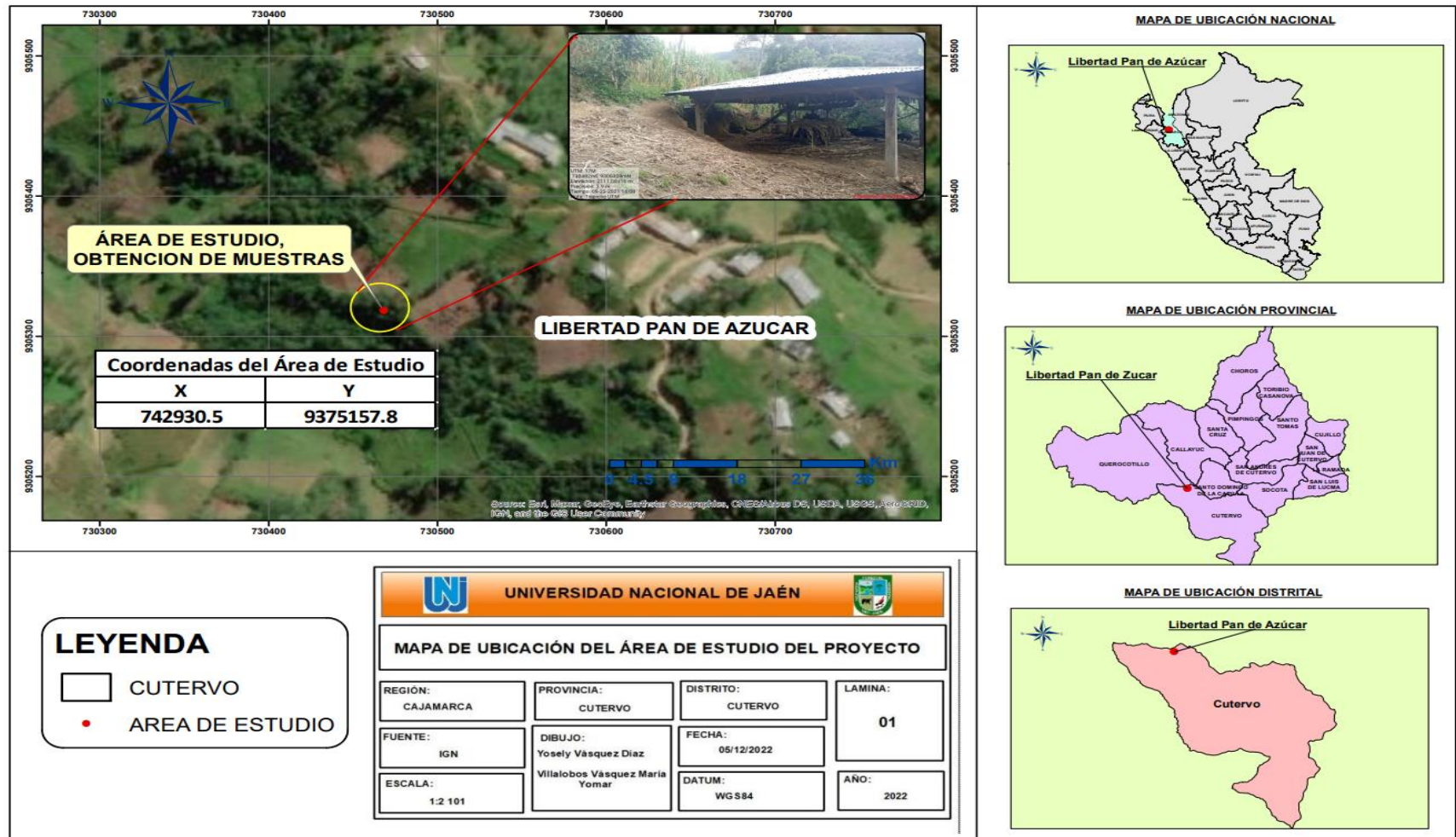
2.1.2. Equipos y materiales de campo

GPS, cámara fotográfica, laptop, balde de plástico de 20 L de capacidad, libreta de apuntes, lapiceros, mochila.

2.2. Métodos

2.2.1. Ubicación del área de estudio

Figura 1. Vista georreferenciada del caserío Libertad Pan de Azúcar, lugar de donde se obtuvo la vinaza.



2.2.2. Población, muestra y muestreo

Población

Se consideraron 5 familias productoras de licor de caña (aguardiente) lo cual generan agua residual vinaza, en el caserío Libertad Pan de Azúcar, Cutervo. La producción de llongue se llevó a cabo los meses de agosto y septiembre coincidentes con la cosecha de caña de azúcar

Muestra

Se obtuvo una muestra representativa de 20 litros de vinaza, producida en predio del señor Antonio Villalobos Altamirano identificado con DNI 27286256 y la señora Gloria Vásquez Delgado identificada con DNI 44216927. De esta muestra representativa se utilizó 1 litro de vinaza para cada tratamiento donde se aplicó diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ al 57% de pureza y policloruro de aluminio que actuaron como coagulante y floculante. Se realizaron 4 tratamientos y una muestra sin las sales de aluminio (blanco).

Muestreo

La obtención de la muestra de vinaza se realizó teniendo en cuenta ciertos criterios de muestreo adecuándolo al “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” establecidos en el ANA, donde primero nos colocamos los equipos de protección personal (guantes, mascarilla, gafas), recolectamos la vinaza en un recipiente plástico de 20 L, luego colocamos al recipiente la cadena custodia con los datos que ayudan a identificar la muestra (clasificación del agua residual, lugar, fecha) y finalmente la muestra se transportó al laboratorio vía terrestre. El muestreo fue simple ya que la toma de muestra se realizó en un lugar determinado y una sola vez.

Para el muestreo estadístico fue no probabilístico, a conveniencia de las investigadoras. Al respecto Hernández *et al.* (2014) señalan que, las muestras no probabilísticas, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación.

2.2.3. Determinación del pH, conductividad eléctrica, turbiedad y sólidos totales en suspensión de la vinaza antes de la dosificación realizado en el laboratorio químico OIKOSLAB S.A.C.

2.2.3.1. Determinación del pH de la vinaza

Para la medición pH se utilizó el potenciómetro marca HANNA, modelo HI 991003. Primero se calibró el electrodo con las soluciones, de códigos 700004 y 700007, las cuales pertenecen al mismo fabricante del potenciómetro y evitan mediciones inexactas. Luego en un matraz de 100 ml de capacidad se vertió 75 ml de la muestra diluida de vinaza (10 ml / 100 ml de agua destilada). Posteriormente se colocó el electrodo dentro del vaso precipitado con la muestra de vinaza y se esperó 20 minutos hasta que se estabilice la medición en la pantalla. Se realizaron 3 repeticiones donde se obtuvo el promedio de las mediciones y se registraron los resultados en una tabla el dato de pH. Anexo 2

Figura 2. *Medición del pH de la vinaza.*

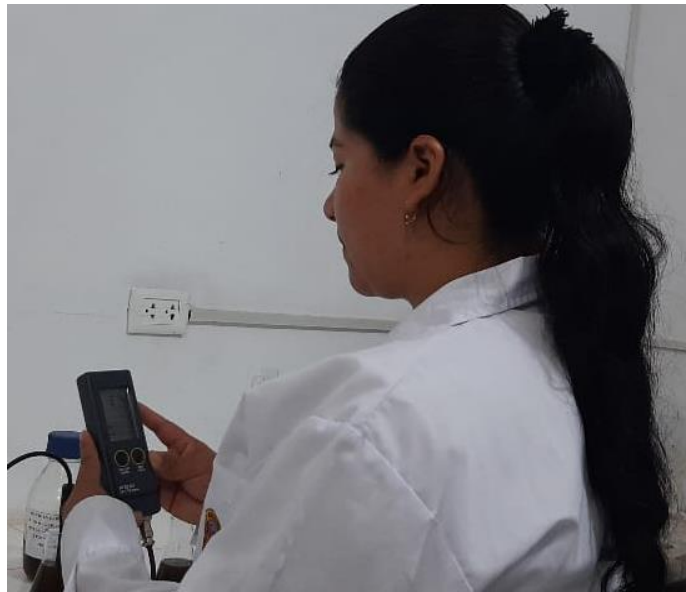


2.2.3.2. Determinación de la conductividad eléctrica de la vinaza

Se utilizó el conductímetro marca HANNA, modelo HI 99301. Primero se calibró el electrodo con la solución de código HI 7030, la cual pertenece al mismo fabricante del conductímetro y evitan mediciones inexactas. Luego en un matraz de 100 ml de capacidad se vertió 75 ml de la muestra de vinaza.

Luego se colocó el electrodo dentro del vaso precipitado con la muestra de vinaza y se esperó 20 minutos hasta que se estabilice la medición en la pantalla. Se realizaron 3 repeticiones y se obtuvo el promedio de las mediciones, posteriormente se registraron los resultados en una tabla el dato de la conductividad eléctrica. Anexo 3

Figura 3. *Medición de la conductividad eléctrica de la vinaza.*



2.2.3.3. Determinación de la turbiedad de la vinaza

Se utilizó el turbidímetro HI 98703. Se conectó el instrumento presionando ON/OFF, cuando el LCD mostró guiones, el instrumento quedó listo. Luego se limpió una cubeta de vidrio minuciosamente con un paño sin pelusa para eliminar las huellas dactilares, suciedad o manchas de agua. En un matraz de 100 ml de capacidad se vertió 75 ml de la muestra diluida de vinaza (10 ml / 100 ml de agua destilada), seguidamente se llenó la cubeta de vidrio limpia y seca con 10 ml de muestra de vinaza diluida hasta la marca, teniendo cuidado de sujetar la cubeta por la tapa, esta se colocó dentro de la celda y se procedió a realizar la lectura de la turbiedad, se multiplicó por el factor de dilución y se tabularon los resultados. Anexo 4

Figura 4. *Medición de la turbiedad de la vinaza.*



2.2.3.4. Medición de los sólidos totales suspendidos de la vinaza

Se empleó el fotocolorímetro marca HACH, modelo DR-900. Se inició el programa 630 del equipo para sólidos en suspensión, primero se agitaron 500 ml de la muestra de vinaza, posteriormente se vertió la muestra en un vaso precipitado de 600 ml. En un matraz de 100 ml de capacidad se vertió 75 ml de la muestra diluida de vinaza (10 ml / 100 ml de agua destilada). En una cubeta se colocaron 10 ml de agua destilada, esta cubeta sirvió para ser el blanco, luego se colocó la cubeta conteniendo el blanco dentro de la celda. Se pulsó *CERO*. La pantalla mostró 0 mg/L de sólidos totales suspendidos. Se llenó la cubeta de vidrio limpia y seca con 10 ml de muestra de vinaza diluida hasta la marca y colocamos la cubeta con la muestra dentro de la celda. Se pulsó *LEER*. Se mostraron los resultados en mg/L de STS (solidos totales suspendidos). Anexo5

Figura 5. *Medición de los sólidos totales suspendidos de la vinaza.*



2.2.4. Determinación del efecto del sulfato de aluminio $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ al 57% de pureza y policloruro de aluminio en la turbiedad y los sólidos suspendidos de la vinaza después de la dosificación.

Descripción del coagulante empleado de sulfato de aluminio $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ al 57% de pureza

El sulfato de aluminio tetradeca hidratado cuya fórmula es $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$, se encontró al 57% de pureza, su procedencia fue de la casa comercial Aris Agua y su denominación es granulado tipo A pantera, estos reactivos fueron proporcionados por el auxiliar del laboratorio de la Empresa Prestadora de Servicios Marañón S.A. El peso molecular del $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ es 594.14 gramos. Se emplearon los siguientes pesos 0.02 g, 0.04 g, 0.06 g y 0.08 g de sulfato de aluminio $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ al 57% de pureza.

Determinación del volumen de policloruro de aluminio

Se utilizó los volúmenes mencionados por Marcelo (2021) los cuales fueron: 0.5 ml, 1.0 ml, 1.5 ml y 2.0 ml de policloruro de aluminio/Litro de vinaza.

Tabla 1. *Dosificaciones de sulfato de aluminio $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ al 57% de pureza /L de vinaza y volumen de policloruro de aluminio/L de vinaza.*

$\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ (g/L de vinaza)	Volumen de Policloruro de Aluminio (ml/L)
0.02	0.5
0.04	1.0
0.06	1.5
0.08	2.0

2.2.4.1. Procedimiento para la evaluación de la turbiedad y solidos totales en suspensión con el test de jarras en el laboratorio de la Empresa Prestadora de Servicios Maraón S.A.

Se vertió la vinaza en cinco vasos precipitados de 1000 ml, de los cuales uno de ellos nos sirvió de control (blanco). Se programó el floculador para la mezcla rápida de 180 rpm por 3 minutos y para la mezcla lenta de 40 rpm por 17 minutos. Luego se inicia con el funcionamiento del floculador, en el cual se añade las siguientes dosificaciones de sulfato de aluminio: 0.02 g, 0.04 g, 0.06 g, 0.08 g de $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ al 57% de pureza /L de vinaza para la coagulación, después que transcurre el tiempo se le añade el policloruro de aluminio con las dosificaciones siguientes: 0.5 ml, 1.0 ml, 1.5 ml, 2.0 ml para la floculación. Finalmente se inicia el tiempo de sedimentación de 30 minutos. Realizándose 3 repeticiones para cada tratamiento.

Terminado el proceso se midió la turbiedad (tabla 3) y se determinó los sólidos totales en suspensión (tabla 5).

Figura 6. *Proceso de coagulación y floculación llevado a cabo en el test de jaras.*



2.2.4.2. Evaluación de la eficiencia de remoción de los parámetros establecidos

Para el cálculo del porcentaje de remoción se empleó las fórmulas descritas por (Marcelo, 2021).

Para la remoción de la turbiedad

$$\% NTU = \left(\frac{NTU_{inicial} - NTU_{final}}{NTU_{Final}} \right) \times 100$$

Para la remoción de los sólidos totales en suspensión

$$\% de STS = \left(\frac{STS_{inicial} - STS_{final}}{STS_{Final}} \right) \times 100$$

2.2.5. Determinación de la mejor dosificación que permita remover el mayor porcentaje de turbiedad y sólidos totales suspendidos de la vinaza.

Los datos del porcentaje de remoción de la turbiedad y sólidos totales suspendidos de la vinaza fueron registrados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, estos datos sirvieron para realizar las tablas.

Empleando el programa SPSS versión 25 se utilizó el ANOVA para verificar la hipótesis de investigación y la prueba de comparación de medias de Duncan, para señalar cual fue la dosis que permitió la mejor remoción de sólidos totales suspendidos y turbiedad.

III. RESULTADOS

3.1. Determinación del pH, conductividad eléctrica, turbiedad y sólidos totales en suspensión de la vinaza, antes de la dosificación.

Tabla 2. Resultados de los promedios del pH, conductividad eléctrica, sólidos totales en suspensión y turbiedad de la vinaza.

	pH	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Sólidos totales en suspensión (mg/L)	Turbiedad (NTU)
Promedios y desviación estándar	3.19 ± 0.01	3141 ± 1.15	9350 ± 1.00	47810 ± 0.58

3.2. Resultados de los promedios de tratamientos para la turbiedad de la vinaza

Tabla 3. Resultados de los promedios y desviación estándar de las NTU (unidades nefelométricas de turbiedad) para los tratamientos de la vinaza.

	Tratamientos			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Promedio y desviación estándar	755.7 ± 3.21	651.3 ± 1.53	$14\,700.00 \pm 17.32$	$13\,753.3 \pm 5.77$

Nota. Las dosificaciones utilizadas para los tratamientos fueron: (T₁ = 0.02 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 0.5 ml de policloruro de aluminio, T₂ = 0.04 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 1.0 ml de policloruro de aluminio, T₃ = 0.06 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 1.5 ml de policloruro de aluminio y T₄ = 0.08 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 2.0 ml de policloruro de aluminio). La tabla 3 muestra los promedios y desviación estándar del parámetro turbiedad, luego de la aplicación de los tratamientos y sus repeticiones respectivas, de los cuales el T₁, T₂, T₃ y T₄ muestran

un promedio de 755.7 ± 3.21 NTU, 651.3 ± 1.53 NTU, 1470017.32 NTU y 13753.3 ± 5.77 NTU respectivamente.

3.2.1. Porcentaje de remoción de la turbiedad

Como el resultado de la medición de la turbiedad de la vinaza cruda, es decir sin tratamiento fue de 47810 NTU, aplicando la fórmula para hallar el porcentaje de remoción, se registraron los resultados en la siguiente tabla.

Tabla 4. Resultados de los promedios y desviación estándar para la remoción de la turbiedad de la vinaza.

	Tratamientos			
	T ₁ (%)	T ₂ (%)	T ₃ (%)	T ₄ (%)
Promedio, desviación estándar, Grupo Duncan	98.42 ± 0.01^a	98.64 ± 0.01^b	69.24 ± 0.04^c	71.23 ± 0.01^d

Nota. Las dosificaciones utilizadas para los tratamientos fueron: (T₁ = 0.02 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 0.5 ml de policloruro de aluminio, T₂ = 0.04 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 1.0 ml de policloruro de aluminio, T₃ = 0.06 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 1.5 ml de policloruro de aluminio y T₄ = 0.08 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 2.0 ml de policloruro de aluminio). En la tabla 4 muestra los promedios, desviación estándar y grupo Duncan del porcentaje de remoción para el parámetro turbiedad luego de la aplicación de los tratamientos y repeticiones respectivas, de los cuales el T₁, T₂, T₃ y T₄ muestran un promedio de $98.42\% \pm 0.01^a$; $98.64\% \pm 0.01^b$; $69.24\% \pm 0.04^c$; y $71.23\% \pm 0.01^d$ respectivamente. Todos los tratamientos son significativos.

3.3. Resultados de los promedios de tratamientos para los sólidos totales en suspensión.

Tabla 5. Resultados de los promedios y desviación estándar de los sólidos totales suspendidos (mg/L) de la vinaza.

	Tratamientos			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Promedio y desviación estándar	512 ± 8.54	603.3 ± 6.11	7690 ± 78.10	9306.7 ± 55.08

Nota. Las dosificaciones utilizadas para los tratamientos fueron: T₁ = 0.02 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 0.5 ml de policloruro de aluminio, T₂ = 0.04g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 1.0 ml de policloruro de aluminio, T₃ = 0.06 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 1.5 ml de policloruro de aluminio y T₄ = 0.08g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 2.0 ml de policloruro de aluminio). La tabla 5 muestra los resultados de los promedios y desviación estándar del parámetro STS, luego de la aplicación de los tratamientos y repeticiones respectivos, de los cuales el T₁, T₂, T₃ y T₄ muestran un promedio de 512± 8.54 mg/L, 603.3± 6.11 mg/L, 7690 ± 78.10 mg/L y 9306.7 ± 55.08 mg/L respectivamente.

3.3.1. Porcentaje de remoción de los sólidos totales suspendidos

Como el resultado de los sólidos totales suspendidos de la vinaza cruda, es decir sin tratamiento fue de 9350. mg/L, aplicando la fórmula para hallar el porcentaje de remoción, se registraron los siguientes resultados en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados de los promedios y la desviación estándar para el porcentaje de remoción de los sólidos totales suspendidos (mg/L) de la vinaza.

	Tratamientos			
	T ₁ (%)	T ₂ (%)	T ₃ (%)	T ₄ (%)
Promedio, desviación estándar, Grupo Duncan	94.52 ± 0.09 ^a	93.55± 0.06 ^b	17.75 ± 0.84 ^c	0.46 ± 0.35 ^d

Nota. Las dosificaciones utilizadas para los tratamientos fueron: T₁ = 0.02 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 0.5 ml de policloruro de aluminio, T₂ = 0.04 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 1.0 ml de policloruro de aluminio, T₃ = 0.06 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 1.5 ml de policloruro de aluminio y T₄ = 0.08 g de sulfato de aluminio Al₂ (SO₄)₃ .14 H₂O al 57% de pureza y 2.0 ml de policloruro de aluminio. En la tabla 6 muestra los promedios, desviación estándar y grupo Duncan de los resultados del porcentaje de remoción para el parámetro STS luego de la aplicación de los tratamientos y repeticiones respectivos, de los cuales el T₁, T₂, T₃ y T₄ muestran un promedio 94.52%± 0.09^a; 93.55%± 0.06^b; 17.75% ± 0.84^c y 0.46% ± 0.35^d respectivamente.

3.4. Determinación de la mejor dosificación que permita remover el mayor porcentaje de turbiedad y sólidos totales suspendidos de la vinaza.

3.4.1. Análisis de varianza del parámetro turbiedad

Tabla 7. Resultado de la comparación del valor de distribución de Fisher para la remoción de la turbiedad de la vinaza.

F calculado	F tabulado
1688473.468	4.066

F: Valor de distribución de Fisher

Nota. La Tabla 7 muestra el resultado de análisis de varianza para la variable remoción de turbiedad (%), donde el valor del F calculado es mayor que el F tabulado, por lo tanto, los tratamientos ensayados presentaron diferencia estadísticamente significativa; es decir, las dosificaciones de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio en el proceso de coagulación - floculación de la vinaza cambian las medias de las poblaciones a las cuales se les aplican.

Tabla 8. Comparación de medias, prueba de Duncan a nivel de confianza de 95 % de la turbiedad.

Tratamiento	Media	Grupo Duncan
T ₂	98.637	a
T ₁	98.420	b
T ₄	71.233	c
T ₃	69.253	d

Nota. En la tabla 8 la prueba de comparación de medias de Duncan, estableció como mejor tratamiento al T₂ (98.637%), seguido por el T₁ (98.420%) y finalmente al T₄ (71.233%) y T₃ (69.253); en la remoción de la turbiedad de la vinaza. Todos los tratamientos muestran diferencia significativa.

3.4.2. Análisis de varianza del parámetro sólidos totales en suspensión

ANOVA de un solo factor: Remoción de sólidos suspendidos vs. Dosis

Tabla 9. Resultado de la comparación del valor de distribución de Fisher para los sólidos totales en suspensión.

F calculado	F tabulado
35394.074	4.066

Nota. La Tabla 9 muestra el resultado de análisis de varianza para la variable remoción de los sólidos totales suspendidos (%), donde el valor del F calculado es mayor que el F tabulado, por lo tanto, los tratamientos ensayados presentaron diferencia estadísticamente significativa; es decir, las dosificaciones de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio en el proceso de coagulación - floculación de la vinaza cambian las medias de las poblaciones a las cuales se les aplican.

Tabla 10. Comparación de medias, prueba de Duncan al nivel de confianza al 95 % de los sólidos totales suspendidos.

Tratamiento	Media	Grupo Duncan
T ₁	94.523	a
T ₂	93.547	b
T ₃	17.757	c
T ₄	0.463	d

Nota. La tabla 10 muestra la prueba de comparación de medias de Duncan, estableció como mejor tratamiento al T₁ (94.523%), seguido por el T₂ (93.547%) y finalmente al T₃ (17.757%) y T₄ (0.463%); en la remoción de los sólidos totales suspendidos de la vinaza. Todos los tratamientos son significativos.

3.4.3. Comparación de los parámetros pH, conductividad eléctrica y sólidos totales en suspensión de la vinaza con los límites máximos permisibles presentados en el Decreto Supremo 004-2017 MINAM en las categorías 3 y 4.

Tabla 11. *Comparación de los parámetros pH, conductividad eléctrica y sólidos totales en suspensión con los límites máximos permisibles presentados en el Decreto Supremo 004-2017 MINAM para riego de vegetales y ríos (costa y sierra).*

Parámetro	Resultados	DS 004-2017 MINAM Categoría 3 y 4	Unidades
pH (Riego de vegetales)	3.19	6.5- 8.5	Unidades de pH
CE (Riego de vegetales)	3141	2 500	µS/cm
STS (Ríos: costa y sierra)	9350	≤100	mg/L

Nota. En la tabla 11 se muestran los resultados de la caracterización de los parámetros: pH, conductividad eléctrica y sólidos totales suspendidos de la vinaza en comparación con los límites máximos permisibles establecido en el Decreto Supremo 004-2017 MINAM categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales) y categoría 4 (Conservación del ambiente acuático). De los cuales todos los parámetros del agua residual vinaza no cumplen con los LMP establecidos en el mencionado Decreto Supremo.

IV. DISCUSIÓN

Según la caracterización fisicoquímica de la vinaza, el pH obtenido fue 3.19, al respecto, Ibarra y León (2018) indican que, la vinaza proveniente de dos destilerías en Cuba, presentaron valores de 3.95 y 4.35. Rennola *et al.* (2007) indican que, la medición del pH de la vinaza de la destilería Campo Elías, Ejido, Mérida Venezuela mostró un valor de 4.03. Aristizábal (2015) señala valores entre 3.5 y 5.0. De los resultados mostrados, es evidente que el pH es de naturaleza ácida, debido al proceso de fermentación anaeróbica, donde se generan ácidos orgánicos, como el ácido acético; producen valores por debajo de 7 (Ibarra *et al.*, 2019).

El valor reportado para la conductividad eléctrica en nuestra investigación fue 3141 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pérez *et al.* (2017) señalan, un valor de conductividad eléctrica de 14100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Fuentes (2020) señala que la vinaza obtenida de una destilería presentó un valor de 5836 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sotomayor *et al.* (2018) en su investigación señala que, la vinaza presenta elevadas cantidades de sales solubles, principalmente de potasio y sodio, destacando también la elevada concentración salina y el predominio relativo de cationes divalentes y sulfatos. Las razones evidenciadas nos permiten señalar que la conductividad eléctrica de la vinaza para nuestra investigación es elevada y se encuentra dentro de los valores reportados.

La turbiedad de la vinaza fue 47 810 NTU. Al respecto Rennola *et al.* (2007) reportan valores de 7245 ± 721 NTU, Zúñiga y Gandini (2013) muestra valores de 3835 a 4745 NTU. De los resultados mostrados podemos decir que, la turbiedad de la vinaza obtenida en nuestro estudio es mucho más alta que las otras investigaciones, esta variación se debe al proceso artesanal de la elaboración del destilado y a la presencia de partículas en suspensión.

La concentración de sólidos totales en suspensión fue 9350 mg/L. Al respecto Zúñiga y Gandini (2013) en su estudio, encontraron valores que van desde 700 hasta 4500 mg/L. Rennola *et al.* (2007) reportaron valores de 61602 ± 3290 mg/L de sólidos totales. Ibarra y León (2018) en las destilerías Argeo Martínez y Arquímedes Colina de las provincias Guantánamo y Granma ambas pertenecientes a Cuba, obtuvieron 42877.5 mg/L, 47600.0 mg/L de sólidos totales respectivamente de las cuales señalan que, los sólidos suspendidos contenidos en la vinaza están constituidos por elevadas concentraciones de materia orgánica de tamaño menor a 0.002 mm,

debido a que estas son arrastradas de la melaza de la caña de azúcar principal insumo para la elaboración del destilado. En comparación con los resultados obtenidos de las investigaciones citadas existe ligeras variaciones y esto es debido a la materia prima, empleada en el proceso de elaboración del alcohol y otros destilados.

Los resultados de los porcentajes de remoción de la turbiedad para los tratamientos $T_3 = 0.06$ g de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ al 57% de pureza y 1.5 ml de policloruro de aluminio y $T_4 = 0.08$ g de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ al 57% de pureza y 2.0 ml de policloruro de aluminio reportaron valores de 69.24 % y 71.23% respectivamente, y los porcentajes de remoción para los sólidos en suspensión de 17.75% y 0.46%, valores bajos en relación a los tratamientos T_1 y T_2 . Al respecto Trujillo *et al.* (2014) señala que, el inconveniente de usar sales metálicas como las del aluminio, disminuyen la alcalinidad del agua, disminuyendo el pH de las aguas resultantes, además, una alta cantidad de coagulante puede generar la inversión de la carga, y por tanto un bajo nivel de remoción de carga orgánica y un alto nivel de turbiedad residual. Esto explica, lo ocurrido en la investigación realizada, donde los tratamientos 3 y 4 consideraban mayores concentraciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ al 57% de pureza, sin embargo, removieron menores porcentajes de turbiedad y sólidos en suspensión.

La remoción de la turbiedad y de los sólidos en suspensión, se debe a que, la dosis del $Al_2(SO_4)_3$ en solución excede el producto de solubilidad de su hidróxido metálico $Al(OH)_3$, produciéndose una precipitación rápida de hidróxidos gelatinosos, las partículas coloidales son envueltas por los precipitados. La desestabilización de los sistemas coloidales en el agua residual, como es el caso de la vinaza, se debe a la acción de los iones aluminio, el catión metálico provenientes del sulfato de aluminio es un complejo aluminio hidratado $[Al(H_2O)_6]^{+3}$, el cual se comportan como un ácido débil, aportando iones hidrógeno a la solución y aceptando a las bases de carga negativa. Las sales de aluminio alteran la fuerza iónica que existe entre las cargas negativas presentes en la vinaza, logrando la coagulación (Vargas, 2004).

Para la remoción de la turbiedad en nuestra investigación, la mejor dosificación fue $T_2 = 0.04$ g de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ al 57% y 1 ml de policloruro de aluminio, la cual logró remover el 98.64%. Chávez y Salazar (2019) lograron remover 87.95% de la turbiedad del agua residual de una empresa minera en Cajamarca Perú, aplicando una dosis óptima de 25.75 (mg/L) de sulfato

de aluminio y 0.49 (mg/L) de policloruro de aluminio realizando un proceso de tratamiento de aguas con resultados favorables. Pérez (2015) reportó una remoción de 99.61 % de la turbiedad del agua proveniente del río Shullcas, empleando una dosificación optima de 60 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. De los resultados mostrados, las sales de aluminio removieron la turbiedad, esto se debe que en el proceso de coagulación y floculación las partículas suspendidas son desestabilizadas, provocando colisión entre ellas, adhesión, incremento de tamaño, aglutinación, aumento de densidad y como consecuencia, sedimentación. Una vez sedimentadas las partículas, pueden ser removidas con facilidad y así disminuir la carga orgánica contenida en el agua, otro factor que influye en la eficiencia del proceso de tratamiento físico químico realizado, es el pH y la dosis del coagulante (Briones *et al.*, 2020).

Para la remoción de los sólidos totales suspendidos, la mejor dosificación fue el T1= 0.02 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$, al 57% y 0.5 ml de policloruro de aluminio, la cual logró remover el 94.52%. Estos resultados se asemejan a los mencionados por Marcelo (2021) quien señala una remoción del 99.59 % de sólidos suspendidos del agua producto de la limpieza de oficinas de una universidad en el Perú, con una dosificación de 10 ml de extracto de guácimo y 0.5 ml de policloruro de aluminio.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los resultados de las caracterizaciones de los parámetros investigados en la muestra de vinaza reportaron para el pH = 3.19, conductividad eléctrica = 3141 $\mu\text{S}/\text{cm}$, turbiedad 47810 NTU y sólidos totales en suspensión 9350 mg/L, debido a que se trató de un agua residual con elevada acidez y carga orgánica.
- Los efectos del sulfato de aluminio y policloruro de aluminio para la remoción de la turbiedad y los sólidos totales suspendidos fueron que las dosificaciones de 0.04 g $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$, 1.0 ml de policloruro de aluminio/L y 0.02 g $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$, 0.5 ml policloruro de aluminio/L producen remociones efectivas de la turbiedad y los sólidos totales suspendidos y las concentraciones de 0.06 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$, 1.5 ml de policloruro de aluminio/L y 0.08 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$, 2.0 ml de policloruro de aluminio/L logran efectos inversos en la remoción de la turbiedad y los sólidos suspendidos.
- La mejor dosificación que permitió remover el mayor porcentaje de turbiedad y sólidos totales suspendidos de la vinaza fueron 0.04 g de sulfato de aluminio y 1.0 ml de policloruro de aluminio/L el cual removi6 98.637% = T_2 y 0.02 g de sulfato de aluminio y 0.5 ml de policloruro de aluminio/L el cual removi6 94.523% = T_1 respectivamente.

5.2. RECOMENDACIONES

- Evaluar el efecto del pH al a6adir coagulantes y floculantes, ya que su performance depende de esta variable.
- Evaluar el tiempo de agitaci6n en los procesos de coagulaci6n y floculaci6n, ya que depende de las caracter6sticas fisicoqu6micas de la vinaza.
- Ensayar concentraciones menores y vol6menes menores a 0.02 g de sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ al 57% de pureza y 0.5 ml de policloruro de aluminio. Para evaluar las remociones y los costos de los insumos.
- Utilizar coagulantes naturales (almid6n de yuca, almid6n de pl6tano, extracto de gu6cimo, entre otros) para reducir el impacto negativo que puede ocasionar la utilizaci6n de sales de aluminio en el ambiente y minimizar costos.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aristizábal, C.E. (2015). Caracterización físico-química de una vinaza resultante de la producción de alcohol de una industria licorera, a partir del aprovechamiento de la caña de azúcar. *Ingenierías USBMed*, 16(2), 36-41.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6007731>
- Briones, G.E., Burgos, G.A., Rosero, E.A., y Moreira, C.A. (2020). Aplicaciones de sales inorgánicas en el tratamiento de aguas residuales industriales procedente de la refinación de aceites y grasas. *Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 7(2), 2-3.
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/215/2151282005/2151282005.pdf>
- Chávez, C., y Salazar, E. (2019). Eficiencia del floculante sulfato de aluminio y polifloc (policloruro de aluminio) en la remoción de metales y depuración de aguas residuales de una empresa minera en Cajamarca (tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23840>
- Comunidad Andina (2007). Manual de estadísticas ambientales de la comunidad Andina, Santa Cruz de la Sierra - Bolivia. p. 31-45.
http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG_REG_EM AB_VII_dt%204.pdf
- Flores, C. R. (2019). Impactos ambientales ocasionados por la empresa maple etanol S.A. y propuesta de un plan de mitigación (tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
<https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8317/BC4717%20FLORES%20ESCOBAR.PDF?sequence=1&isAllowed=y>

Fuentes, M.C. (2020). Efecto de la aplicación de vinaza concentrada para la recuperación de suelos cultivados con Arroz (*Oryza sativa*) – Pimentel (Tesis de pre grado). Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/48464/Fuentes_GCM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Galindo, G. (2018). Determinación de la dosis óptima de Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en la Planta de Tratamiento de agua potable Yurajhuanca – Emapa Pasco (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion. Cerro de Pasco – Perú.

<http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/347/1/TESIS%20GIANCARLO%20GALINDO%20YANTAS1.pdf>

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill Education.

https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf

Ibarra, L. y León, L. (2018). Caracterización químico-física de vinazas de destilerías. *Ciencia en su PC*, 1 (2), 1-13.

<https://www.redalyc.org/journal/1813/181358410001/html/>

Marcelo, G. (2021). Solución Óptima de Extracto de Guácimo (*Guazuma Ulmifolia* Lam.) y Policloruro de Aluminio para el tratamiento de aguas provenientes de las actividades de limpieza de las oficinas de la Universidad Nacional de Jaén (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Jaén, Cajamarca, Perú.

https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/38/1/Marcelo_SGM.pdf

Martínez, M. R., Mendoza, J. Y., Megrano, B. E., Gómez, L.M., y Zafra, C. A. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *UIS Ingenierías*, 19(1), 15-24

<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/download/9929/10063/71188>

- Pérez, I. F. (2015). Optimización de la dosificación de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua potable del distrito de Vilcacoto (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4549/Perez%20G..pdf?sequence=1>
- Pérez, Y., Perez, O., y Zumalacárregui, L. (2017). Caracterización química, física y microbiológica de dos vinazas cubanas. *EIA*, 14(28), 29-43.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-123720170002000
- Rennola, L., Yépez, C., Bullón, J., y Salazar, F. (2007). Tratamiento de las aguas residuales de una destilería mediante el uso de coagulantes y membranas. *Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad de Zulia*. 30()
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702007000400003
- Sierra, I. y Guatame, V. (2016). Análisis comparativo del policloruro de aluminio (PAC) y sulfato de aluminio líquido (SAL) para la optimización del proceso coagulación en la planta de tratamiento de agua potable Francisco Wiesner (Tesis de licenciatura). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3471>
- Sotomayor, C., Morandini, M., Sanzano, G.A., y Rojas, H. C. (2018). Efecto de la aplicación de vinaza en propiedades físicas y químicas del suelo. *Industrial y Agrícola de Tucumán*, 95(1), 27-33.
<http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v95n1/v95n1a04.pdf>
- Trujillo, D., Duque, L.F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., y Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano, *ION*, 27(1), 17-34.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v27n1/v27n1a03.pdf>

Vargas, L. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Recuperado de

http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf

Zúñiga, V., Gandini, M. A. (2013). Caracterización ambiental de las vinazas de residuos de caña de azúcar resultantes de la producción de etanol, *Dyna*, 80(177), 124-131.

<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n177/v80n177a15.pdf>

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por la vida, la salud y permitirnos llegar hasta donde hemos logrado llegar, porque a pesar de las dificultades y momentos difíciles que hemos tenido en el camino nos permite estar al lado de las personas que amamos.

A nuestro asesor M. Cs. Jorge Antonio Delgado Soto, fue un honor haber contado con su apoyo en la presente investigación.

A los docentes de la Carrera profesional de Ingeniería forestal y ambiental de la Universidad Nacional de Jaén, por haber contribuido en nuestra formación profesional.

Al laboratorio OIKOSLAB SAC, por habernos permitido emplear sus equipos de medición.

A la empresa prestadora de servicio y saneamiento EPS Maraón, por permitirnos la accesibilidad a su laboratorio y poder concluir nuestra tesis

DEDICATORIA

A nuestros queridos padres, Juan Vásquez Irigoñ, María Isabel Díaz Gamonal, Antonio Villalobos Altamirano, Gloria Vásquez Delgado, que nos apoyaron incondicionalmente en cada paso durante toda nuestra formación profesional, ellos que con tanto sacrificio y esfuerzo nos brindaron su apoyo para concluir nuestros estudios, por todos sus consejos constantes de fortaleza para seguir adelante, por los valores que nos inculcaron, por eso y todo lo que han hecho y lo siguen haciendo, con todo nuestro amor se lo dedicamos a ellos, les amamos y queremos mucho papás.

A nuestros hermanos Clever, Evelyn, Leyda, Mirely; Edwin, Deysi, Araceli, Liseth, Ronaldiño y Ghiorghiño, a nuestras abuelitas Elidia y Carmela que desde el cielo guían nuestros pasos.

A nuestras amistades y compañeros por todo su apoyo y motivación les guardamos un profundo cariño.

ANEXOS

Anexo 1. Permiso para usar el equipo test de jarras de la EPS Marañón S.A.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

LEY DE CREACIÓN N° 29304 - RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 092-2016-SUNEDUCO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

SOLICITUD DE USO DEL EQUIPO TEST DE JARRAS

SEÑOR (A):

Cynthia Milagros Felicia Ríos Ruiz

Gerente general

De la EPS. marañón S.A.

Presente. -

De mi especial consideración:

Es grato dirigirme a Usted, para expresarle mi cordial saludo y a la vez solicitarle les conceda a las estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén, Señorita: Yosely Vásquez Díaz, con DNI N°71593689 y la Señorita: María Yomar Villalobos Vásquez con DNI 71749927, solicitan el permiso correspondiente para que puedan hacer uso del equipo TEST DE JARRAS, ya que su trabajo de investigación denominado "EFECTO EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD Y LOS SOLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS LA VINAZA, EMPLEANDO SULFATO DE ALUMINIO Y POLICLORURO DE ALUMINIO EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN", así lo requiere. La fecha programada si es que usted lo permite, sería el sábado 13 a las 8 am o en todo caso cuando usted lo crea conveniente.

Sin otro particular, me suscribo a usted, agradeciendo la atención a la presente

Jaén, 26 de julio 2022.

Atentamente,


Dr. Segundo Sánchez Tello
Responsable de la Escuela Profesional de
Ingeniería Forestal y Ambiental


Vásquez Díaz Yosely


Villalobos Vasquez Maria Yomar


Delgado Soto Jorge Antonio

Anexo 2. Resultados de los ensayos de pH de la vinaza.

Ensayo	Valor medido
1	3.20
2	3.19
3	3.18
Promedio	3.19

Anexo 3. Resultados de los ensayos de la conductividad eléctrica de la vinaza.

Ensayo	Valor medido ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	3140
2	3140
3	3142
Promedio	3141

Anexo 4. Resultados de los ensayos de la turbiedad de la vinaza.

Ensayo	Turbiedad (NTU)
1	47810
2	47 810
3	47811
Promedio	47810

Anexo 5. Resultados de los ensayos de sólidos totales en suspensión de la vinaza

Ensayo	Sólidos totales en suspensión (mg/L)
1	9349
2	9350
3	9351
Promedio	9350

Anexo 6. Valores críticos para el test de rango múltiple de Duncan.

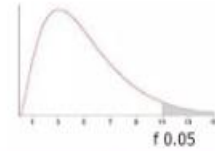
$q_{\{0.05;p,v\}}$												
p												
v	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	50	100
1	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
2	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09
3	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
4	3.93	4.01	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02
5	3.64	3.74	3.79	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83
6	3.46	3.58	3.64	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68
7	3.35	3.47	3.54	3.58	3.60	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61
8	3.26	3.39	3.47	3.52	3.55	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56
9	3.20	3.34	3.41	3.47	3.50	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52
10	3.15	3.30	3.37	3.43	3.46	3.47	3.47	3.47	3.47	3.48	3.48	3.48
11	3.11	3.27	3.35	3.39	3.43	3.44	3.45	3.46	3.46	3.48	3.48	3.48
12	3.08	3.23	3.33	3.36	3.40	3.42	3.44	3.44	3.46	3.48	3.48	3.48
13	3.06	3.21	3.30	3.35	3.38	3.41	3.42	3.44	3.45	3.47	3.47	3.47
14	3.03	3.18	3.27	3.33	3.37	3.39	3.41	3.42	3.44	3.47	3.47	3.47
15	3.01	3.16	3.25	3.31	3.36	3.38	3.40	3.42	3.43	3.47	3.47	3.47
16	3.00	3.15	3.23	3.30	3.34	3.37	3.39	3.41	3.43	3.47	3.47	3.47
17	2.98	3.13	3.22	3.28	3.33	3.36	3.38	3.40	3.42	3.47	3.47	3.47
18	2.97	3.12	3.21	3.27	3.32	3.35	3.37	3.39	3.41	3.47	3.47	3.47
19	2.96	3.11	3.19	3.26	3.31	3.35	3.37	3.39	3.41	3.47	3.47	3.47
20	2.95	3.10	3.18	3.25	3.30	3.34	3.36	3.38	3.40	3.47	3.47	3.47
30	2.89	3.04	3.12	3.20	3.25	3.29	3.32	3.35	3.37	3.47	3.47	3.47
40	2.86	3.01	3.10	3.17	3.22	3.27	3.30	3.33	3.35	3.47	3.47	3.47
60	2.83	2.98	3.08	3.14	3.20	3.24	3.28	3.31	3.33	3.47	3.48	3.48
100	2.80	2.95	3.05	3.12	3.18	3.22	3.26	3.29	3.32	3.47	3.53	3.53
∞	2.77	2.92	3.02	3.09	3.15	3.19	3.23	3.26	3.29	3.47	3.61	3.67

Anexo 7. Tabla de valores críticos de la distribución Fisher (0,05).

Probabilidad y Estadística
Regional Mendoza

Tabla D.9: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05)

área a la derecha del valor crítico = 0,05

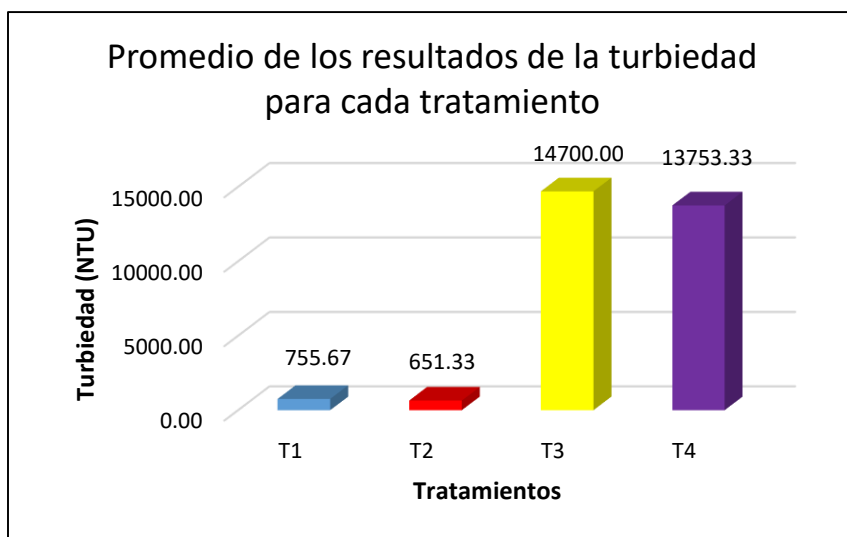


g.d.	Grados de libertad del Numerador														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176
22	4,301	3,443	3,048	2,816	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236	2,204	2,175	2,150	2,128
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,621	2,508	2,423	2,355	2,300	2,255	2,216	2,183	2,155	2,130	2,108
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,323	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,313	2,244	2,188	2,142	2,103	2,070	2,040	2,015	1,992
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,303	2,235	2,179	2,133	2,093	2,060	2,030	2,004	1,982
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,294	2,225	2,170	2,123	2,084	2,050	2,021	1,995	1,972
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,217	2,161	2,114	2,075	2,041	2,012	1,986	1,963
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924

Anexo 8. Resultados de las mediciones de las NTU (unidades nefelométricas de turbiedad) para los tratamientos de la vinaza.

Repeticiones	Tratamientos			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
R ₁	758	653	14 680	13 750
R ₂	752	651	14 710	13 760
R ₃	757	650	14 710	13 750
Promedio	755.7	651.3	14 700.00	13 753.3

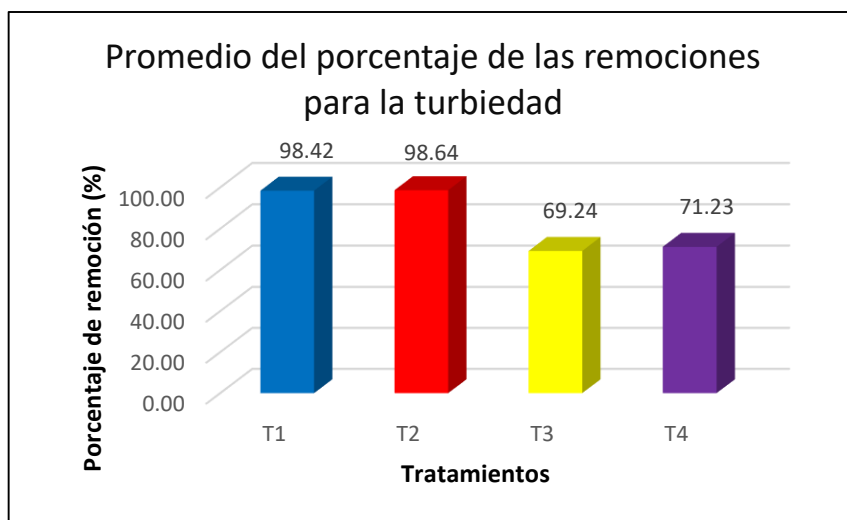
Anexo 9. Promedio de los resultados de la turbiedad para cada tratamiento.



Anexo 10. Resultados de remoción porcentual de la turbiedad de la vinaza

Repeticiones	Tratamientos			
	T ₁ (%)	T ₂ (%)	T ₃ (%)	T ₄ (%)
R ₁	98.41	98.63	69.30	71.24
R ₂	98.43	98.64	69.23	71.22
R ₃	98.42	98.64	69.23	71.24
Promedio	98.42	98.64	69.24	71.23

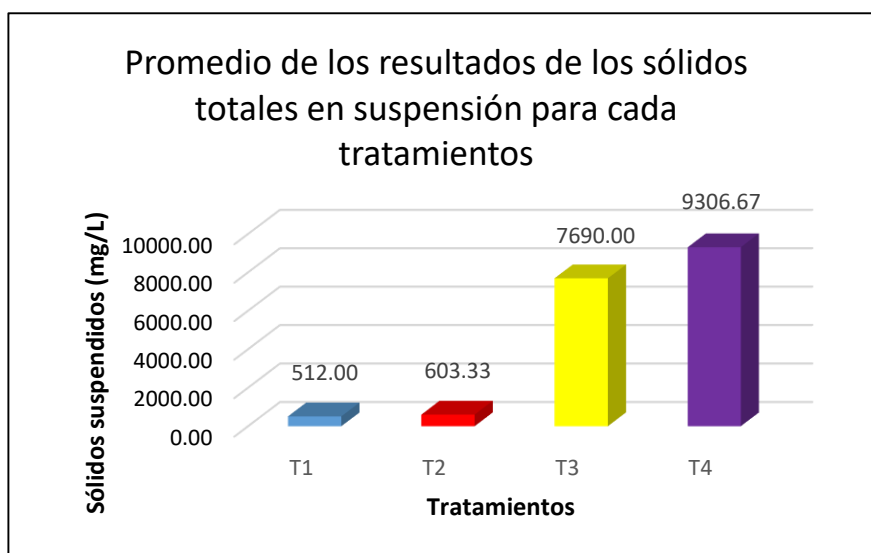
Anexo 11. Remoción porcentual de los promedios de los tratamientos y repeticiones para la turbiedad.



Anexo 12: Resultados de las mediciones para sólidos totales suspendidos de la vinaza.

Repeticiones	Tratamientos			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
R ₁	503	598	7600	9270
R ₂	513	602	7740	9320
R ₃	520	610	7730	9380
Promedio	512	603.3	7690	9306.7

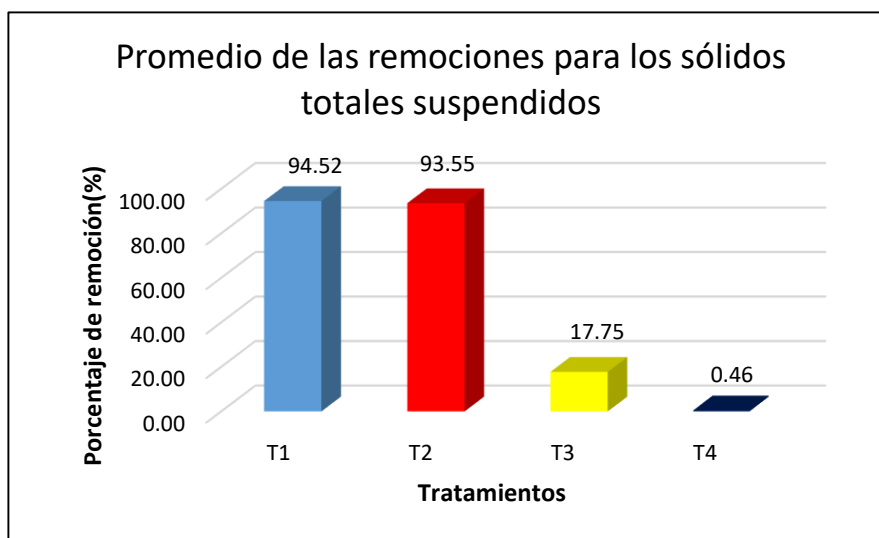
Anexo 13. Promedio de los resultados de los sólidos totales suspendidos para cada tratamiento



Anexo14. Remoción porcentual de los promedios para los sólidos totales en suspensión para cada tratamiento.

Repeticiones	Tratamientos			
	T ₁ (%)	T ₂ (%)	T ₃ (%)	T ₄ (%)
R ₁	94.62	93.60	18.72	0.86
R ₂	94.51	93.56	17.22	0.32
R ₃	94.44	93.48	17.33	0.21
Promedio	94.52	93.55	17.75	0.46

Anexo 15. Remoción porcentual de los promedios de los tratamientos y repeticiones para los sólidos totales suspendidos.



Anexo 16. Análisis de varianza de la turbiedad vs dosis de la vinaza.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	2406.075	3	802.025	1688473.468	0.000
Error	0.004	8	0.0005		
Total	2406.078	11			

Tabla 17. Análisis de varianza para el factor sólidos totales en suspensión vs dosis de la vinaza.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	22086.787	3	7362.262	35394.074	0.000
Error	1.664	8	0.208		
Total	22088.451	11			

Anexo 18. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable de respuesta: Remoción de turbiedad (%).

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{0.0005}{3}}$$

$$S_{\bar{X}} = 0.013$$

$$D_2 = d_{(2,8,0.05)} \times S_{\bar{X}}$$

$$D_2 = 3.26 \times 0.013 = 0.042$$

$$D_3 = 3.39 \times 0.013 = 0.044$$

$$D_4 = 3.47 \times 0.013 = 0.045$$

Contraste entre tratamientos y significancia según la prueba de Duncan para la remoción de la turbiedad.

Contraste entre tratamientos	Diferencia entre medias	Valor crítico	Significancia
T ₂ – T ₁	0.217	0.042	*
T ₂ – T ₄	27.404	0.044	*
T ₂ – T ₃	29.384	0.045	*
T ₁ – T ₄	27.187	0.042	*
T ₁ – T ₃	29.167	0.044	*
T ₄ – T ₃	1.98	0.042	*

* Significativo

Anexo 19. Prueba de rango múltiple de Duncan para variable de respuesta: Remoción de STS (%).

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{0.208}{3}}$$

$$S_{\bar{X}} = 0.263$$

$$D_2 = d_{(2,8,0.05)} \times S_{\bar{X}}$$

$$D_2 = 3.26 \times 0.263 = 0.857$$

$$D_3 = 3.39 \times 0.263 = 0.892$$

$$D_4 = 3.47 \times 0.263 = 0.913$$

Contraste entre tratamientos y significancia según la prueba de Duncan para la remoción de los sólidos totales suspendidos.

Contraste entre tratamientos	Diferencia entre medias	Valor crítico	Significancia
T ₁ – T ₂	0.976	0.857	*
T ₁ – T ₃	76.766	0.892	*
T ₁ – T ₄	94.060	0.913	*
T ₂ – T ₃	75.79	0.857	*
T ₂ – T ₄	93.084	0.892	*
T ₃ – T ₄	17.294	0.857	*

* Significativo

Anexo 20. Medición del sulfato de aluminio.



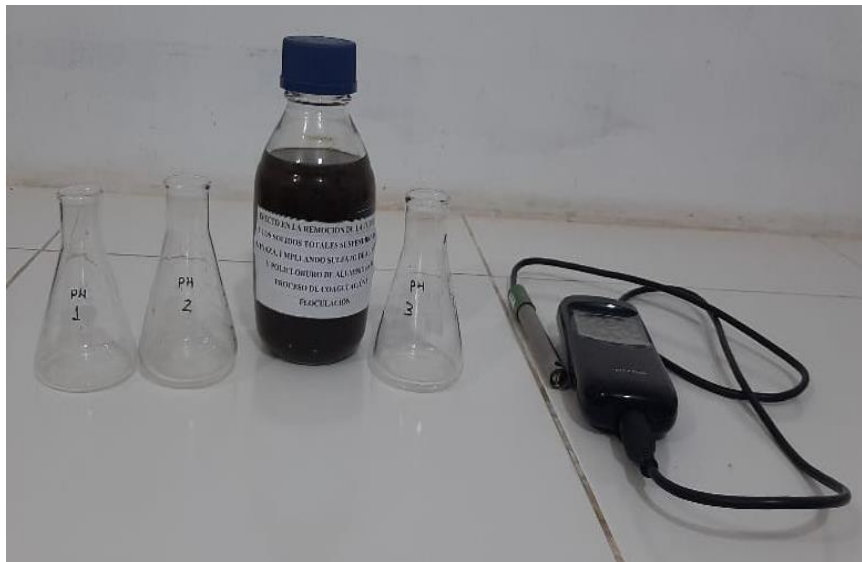
Anexo 21. Dosificaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ al 57% de pureza y policloruro de aluminio.



Anexo 22. *Obtención de vinaza generada en la producción de llonque de la familia Villalobos Vásquez.*



Anexo 23. *Equipos y materiales para la medición del pH de la vinaza.*



Anexo 24. Equipos y materiales para la medición de la conductividad eléctrica de la vinaza.



Anexo 25. Equipos y materiales para la medición de los sólidos totales suspendidos de la vinaza.



Anexo 26. Equipos y materiales para la medición de la turbiedad de la vinaza.



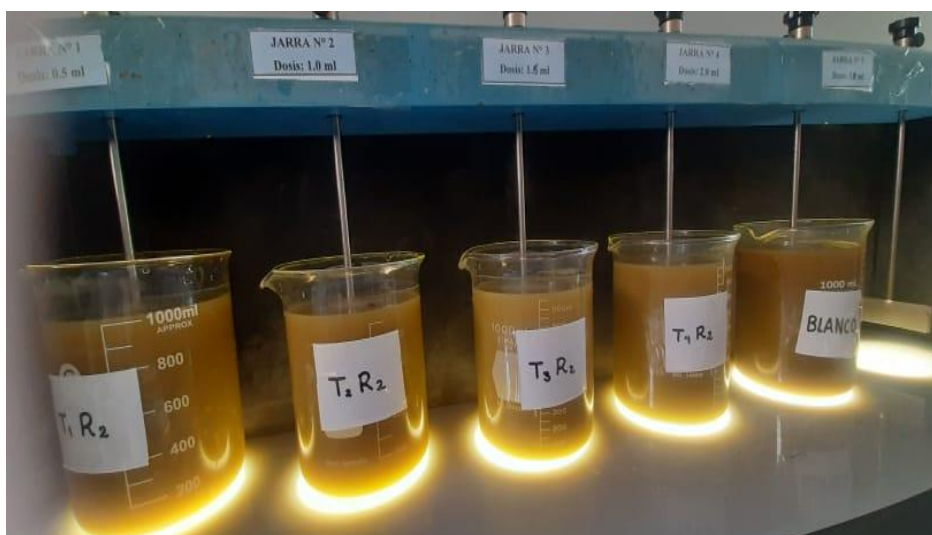
Anexo 27. Adición del coagulante (sulfato de aluminio).



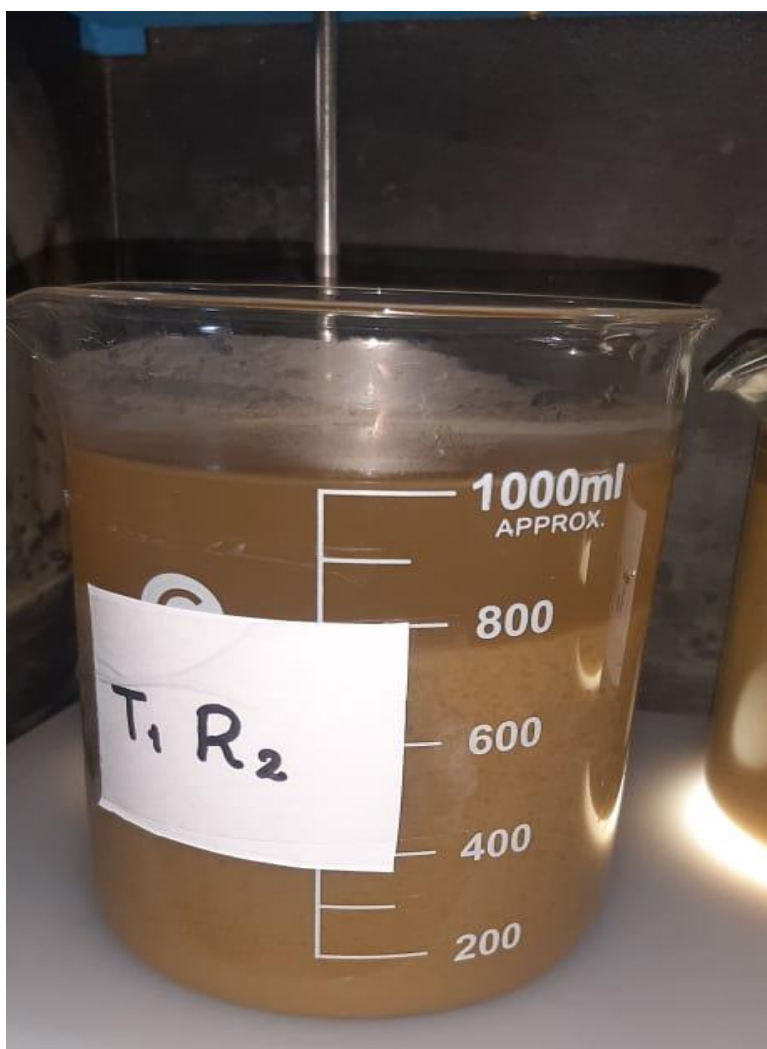
Anexo 28. *Adición del floculante (policloruro de aluminio).*



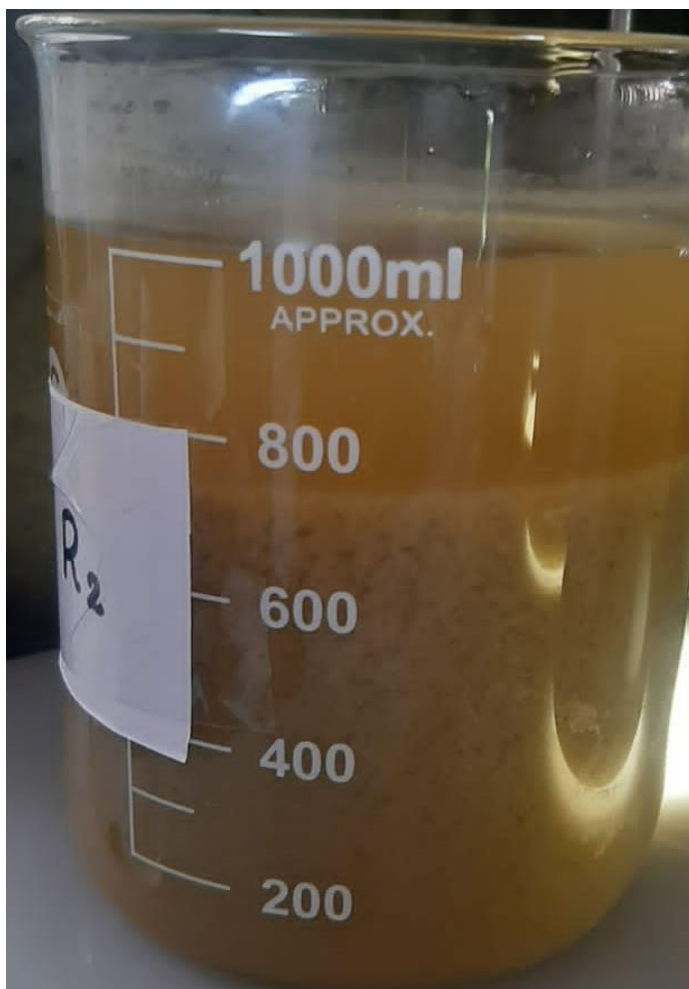
Anexo 29. *Periodo de sedimentación.*



Anexo 30. *Mejor tratamiento removido para sólidos totales suspendidos.*



Anexo 31. *Mejor tratamiento removido para la turbiedad.*



Anexo 32. Diagrama de flujo del proceso de investigación

