

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EFFECTO DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) Y MORINGA (*Moringa oleífera*)
COMO COAGULANTE-FLOCULANTE PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DEL ASENTAMIENTO HUMANO BRISAS DEL HUALLAGA**

Tesis

Para optar el grado de

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

FIGUEROA VALERIANO, DAN JAROD

Tingo María

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°036-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 02 de octubre de 2025, a horas 08:40 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“EFECTO DE LA YUCA (*Manihot esculenta crantz*) Y MORINGA (*Moringa oleifera*)
COMO COAGULANTE-FLOCULANTE PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DEL ASENTAMIENTO HUMANO BRISAS DEL HUALLAGA”**

Presentado por el Bachiller: **FIGUEROA VALERIANO, DAN JAROD** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 01 de abril de 2026


Ing. MSc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
PRESIDENTE


Ing. MSc. SANDRA LORENA ZAVALA GUERRERO
MIEMBRO


Dra. ANGIE TATYANA FERNANDEZ ESCOBAR
MIEMBRO




Dr. LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 127 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
EFFECTO DE YUCA (Manihot esculenta Crantz) Y MORINGA (Moringa oleífera) COMO COAGULANTE-FLOCULANTE PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL ASENTAMIENTO HUMANO BRISAS DEL HUALLAGA	FIGUEROA VALERIANO, DAN JAROD	12 % Doce	Menor a 20 %

Tingo María, 17 de abril de 2026.


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EFFECTO DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) Y MORINGA (*Moringa oleífera*)
COMO COAGULANTE-FLOCULANTE PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DEL ASENTAMIENTO HUMANO BRISAS DEL HUALLAGA**

Ejecutor	: Figueroa Valeriano, Dan Jarod
Asesor	: Dr. Luis Eduardo, Oré Cierta
Área de investigación	: Ciencia y Tecnología Ambiental- PIBIOT
Grupo de investigación	: Ciencia y Tecnología Ambiental
Línea de investigación	: Tecnologías para reducir la contaminación
Lugar de ejecución	: Laboratorio de calidad de aguas-UNAS
Duración	: 06 meses.
Financiamiento	: S/ 5 688.10
FEDU	: S/.00.00
Propio	: S/ 5 688.10
Otros	: S/.00.00

Tingo María, Perú

2025

DEDICATORIA

A mis padres William Figueroa y Modesta Valeriano, por inculcarme buenos valores, enseñarme la importancia del esfuerzo y la perseverancia para cumplir las metas planteadas y ser mi mayor fuente de motivación en las etapas de mi vida.

A mis queridos hermanos Cliwfs, Jhofree y Amir por ser mi soporte. Gracias por estar a mi lado apoyándome en los momentos más críticos recordándome el valor de la familia en cada paso que doy.

A mi compañera de vida Cedy, por ser mi apoyo incondicional, motivarme a no darme por vencido, por creer en mi cuando incluso yo dudaba. Este logro también es tuyo.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme por el camino de la sabiduría, por ayudarme y permitirme cumplir mis objetivos planteados y sobre todo por rodearme por personas virtuosas y de buenos valores.

A mis estimados amigos y colegas, Zocimo Pujay, Keissy Sivrero, Jhulinio Saavedra y Elvis Evangelista quienes fueron parte fundamental durante todo este proceso. Gracias por su apoyo, colaboración y camaradería.

A los honorables miembros del jurado, gracias por su tiempo y dedicación durante este proceso. Agradezco profundamente su profesionalismo, su experiencia y conocimientos.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Objetivos.....	2
1.1.1.	Objetivo General.....	2
1.1.2.	Objetivo Específico	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	Antecedentes.....	3
2.1.1.	Internacionales.....	3
2.1.2.	Nacionales	4
2.1.3.	Locales.....	5
2.2.	Contaminación del agua	6
2.2.1.	Agua residual Doméstica.....	6
2.3.	Coloide.....	6
2.4.	Proceso de Coagulación-floculación	7
2.4.1.	Coagulantes sintéticos	8
2.4.2.	Coagulantes naturales	8
2.5.	Turbidez.....	8
2.6.	Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	8
2.7.	Yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>).....	9
2.8.	Moringa (<i>Moringa oleífera</i>)	10
III.	MATERIALES Y METODOS.....	12
3.1.	Lugar de ejecución.....	12
3.1.1.	Ubicación política de la zona de estudio	12
3.1.2.	Ubicación geográfica de la zona de estudio	12
3.2.	Material y equipos	13
3.2.1.	Materiales	13
3.2.2.	Equipos	13

3.2.3.	Insumos.....	13
3.2.4.	Software.....	13
3.3.	Criterios y Análisis de estudio.....	13
3.3.1.	Nivel de investigación	13
3.3.2.	Tipo de investigación.....	13
3.3.3.	Métodos de investigación	13
3.3.4.	Operacionalización de variable	14
3.3.5.	Diseño de investigación.....	15
3.3.6.	Análisis estadístico	16
3.4.	Metodología.....	17
3.4.1.	Caracterización la yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) y moringa (<i>Moringa oleífera</i>) como coagulante-floculante para tratar agua residual doméstica.....	17
3.4.2.	Caracterización las aguas residuales domesticas del asentamiento humano Brisas del Huallaga.	17
3.4.3.	Determinación el efecto que producen la yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) y moringa (<i>Moringa oleífera</i>) como coagulante-floculante para tratar agua aguas residuales domesticas del asentamiento humano Brisas del Huallaga.	18
IV.	RESULTADOS Y DISCUCION.....	23
4.1.	Características de la yuca y moringa como coagulante-floculante.....	23
4.2.	Agua residual domestica del asentamiento humano Brisas del Huallaga	24
4.3.	Efecto que produce la yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) y moringa (<i>Moringa oleífera</i>) como coagulante-floculante para tratar agua residual domestica.....	25
V.	CONCLUSIÓN	40
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
	ANEXO	46

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Tipos de coloides según la fase de dispersión y el medio de dispersión	6
2. Operacionalización de variables del proyecto	14
3. Esquema metodológico del ensayo de jarras que se aplicará	15
4. Esquema del análisis de varianza.	16
5. Análisis fisicoquímico de la yuca y moringa.....	17
6. Parámetros de interés para la evaluación del coagulante-floculante de yuca y moringa.....	18
7. Proporciones de almidón de yuca y polvo de semilla de moringa	20
8. Análisis fisicoquímicos de yuca y moringa.	23
9. Análisis fisicoquímicos del agua residual del AA. HH Brisas del Huallaga.....	24
10. Análisis fisicoquímicos del agua residual tratada del AA. HH Brisas del Huallaga.....	25
11. Eficiencia de remoción de DBO5, SST y Turbidez.....	38

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mecanismo de coagulación-floculación	8
2. Fenología de la Yuca	10
3. Flores de <i>Moringa Oleífera</i>	11
4. Mapa de ubicación del lugar de ejecución.....	12
5. Diseño Metodológico de la investigación	15
6. Proceso de extracción de almidón de <i>Manihot esculenta Crantz</i>	18
7. Proceso de extracción de polvo de semilla de <i>Moringa oleífera</i>	19
8. Esquema experimental de yuca-moringa como coagulante-floculante	20
9. Proceso de los tratamientos de estudio para un análisis de componentes principales.....	21
10. Proceso de los tratamientos de estudio para una superficie de respuesta	22
11. Comportamiento de la remoción de sólidos suspendidos totales en los tratamientos.	26
12. Variación del oxígeno disuelto en los tratamientos.....	27
13. Variación de la conductividad eléctrica en los tratamientos.	28
14. Comportamiento de la remoción de la Turbidez en los tratamientos.	29
15. Variación de la demanda biológica de oxígeno en los tratamientos.....	30
16. Variación del pH.....	31
17. Variación de la temperatura.....	32
18. Análisis de componentes principales de las propiedades fisicoquímicas iniciales.	33
19. Análisis de componentes principales de las propiedades fisicoquímicas postratamiento. .	34
20. Análisis de superficie de respuesta para el parámetro de pH.	35
21. Análisis de superficie de respuesta para el parámetro de Turbiedad.....	36
22. Análisis de superficie de respuesta de DBO ₅	37
23. Pelado de semillas de <i>Moringa Oleífera</i>	51
24. Triturado de semilla de <i>Moringa Oleífera</i>	51
25. Secado en Estufa de semilla de moringa triturada a 110°C.....	52
26. Tamizado de semilla de moringa triturada y secada.....	52
27. Maceración de semilla de moringa en Etanol.....	53
28. Filtrado de semilla de moringa para la extracción de aceites	53
29. Separación de aceite y Etanol en pera decantadora	54
30. Extracción de almidón de yuca.....	54
31. Secado en estufa del almidón de yuca	55

32. Pesado del polvo de semilla de moringa y almidón de yuca	55
33. Polvo de semilla de moringa y almidón de yuca en diferentes proporciones.....	56
34. Pesado de polvo de semilla de moringa y almidón de yuca en proporción 40:60.....	56
35. Recolección de agua residual doméstica en el punto 1	57
36. Recolección de agua residual doméstica en el punto 2	57
37. Recolección de agua residual doméstica en el punto 3	58
38. Caracterización del agua residual domestica del AA. HH Brisas del Huallaga.....	58
39. Gráfico de coeficientes estandarizados del parámetro DBO_5	59
40. Gráfico de residuos estandarizados DBO_5	59
41. Gráfico de residuos estandarizados DBO_5	60
42. Gráfico de residuos estandarizados DBO_5	60
43. Gráfico de residuos estandarizados DBO_5	61
44. Gráfico de residuos eliminados studentizados DBO_5	61
45. Gráfico de distancias de Cook del parámetro DBO_5	62
46. Gráfico de DFFits del parámetro DBO_5	62
47. Gráfico de medias del parámetro DBO_5	63
48. Gráfico de medias del parámetro DBO_5	63
49. Gráfico de Box plot del parámetro DBO_5	64
50. Gráfico de Box plot del parámetro DBO_5	64
51. Gráfico de Box plot del parámetro Turbiedad-Tratamiento 1	65
52. Gráfico de Box plot del parámetro Turbiedad-Tratamiento 2.....	65
53. Gráfico de Box plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 3	66
54. Gráfico de Box plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 4	66
55. Gráfico de Box plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 5	67
56. Gráfico de P-P plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 1	67
57. Gráfico de P-P plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 2	68
58. Gráfico de P-P plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 3	68
59. Gráfico de P-P plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 4	69
60. Gráfico de P-P plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 5	69
61. Gráfico de medias del parámetro de turbiedad.....	70
62. Gráfico de medias del parámetro de turbiedad.....	70
63. Gráfico de Box plot del parámetro de SST-tratamiento 1	71
64. Pe Gráfico de Box plot del parámetro de SST-tratamiento 2	71
65. Gráfico de Box plot del parámetro de SST-tratamiento 3	72

66.	Gráfico de Box plot del parámetro de SST-tratamiento 4.....	72
67.	Gráfico de Box plot del parámetro de SST-tratamiento 5.....	73
68.	Gráfico de P-P plot del parámetro de SST-tratamiento 1.....	73
69.	Gráfico de P-P plot del parámetro de SST-tratamiento 2.....	74
70.	Gráfico de P-P plot del parámetro de SST-tratamiento 3.....	74
71.	Gráfico de P-P plot del parámetro de SST-tratamiento 4.....	75
72.	Gráfico de P-P plot del parámetro de SST-tratamiento 5.....	75
73.	Gráfico de Q-Q plot del parámetro de SST-tratamiento 1.....	76
74.	Gráfico de Q-Q plot del parámetro de SST-tratamiento 2.....	76
75.	Gráfico de Q-Q plot del parámetro de SST-tratamiento 3.....	77
76.	Gráfico de Q-Q plot del parámetro de SST-tratamiento 4.....	77
77.	Gráfico de Q-Q plot del parámetro de SST-tratamiento 5.....	78
78.	Gráfico DE Coeficientes estandarizados del parámetro SST.....	78
79.	Gráfico de residuos estandarizados del parámetro SST.....	79
80.	Gráfico de residuos estandarizados del parámetro SST.....	79
81.	Gráfico de residuos estandarizados del parámetro SST.....	80
82.	Gráfico de residuos eliminados studentizados del parámetro SST.....	80
83.	Gráfico de distancias de Cook del parámetro SST.....	81
84.	Gráfico DFFits del parámetro de SST.....	81
85.	Gráfico de medias del parámetro SST.....	82
86.	Gráfico de medias del parámetro SST.....	82
87.	Gráfico de predicciones del parámetro SST.....	83
88.	Gráfico de predicciones del parámetro Turbiedad.....	83
89.	Gráfico de predicciones del parámetro DQO5.....	84

RESUMEN

La investigación titulada “Efecto de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y la moringa (*Moringa oleifera*) como coagulante-floculante para tratar aguas residuales domésticas del asentamiento humano Brisas del Huallaga” tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de estos coagulantes naturales en la reducción de contaminantes presentes en aguas residuales domésticas.

El estudio surge ante la problemática de contaminación del agua generada por vertimientos domésticos en zonas que no cuentan con sistemas adecuados de tratamiento. Los coagulantes químicos tradicionales pueden generar lodos contaminantes y representar costos elevados para comunidades rurales; por ello, se propone el uso de coagulantes naturales obtenidos de especies vegetales como la yuca y la moringa, que son accesibles y ambientalmente sostenibles.

La investigación fue de tipo experimental y se realizó en el laboratorio de calidad de agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Se evaluaron cinco tratamientos con diferentes proporciones de almidón de yuca y polvo de semilla de moringa (70:30, 60:40, 50:50, 40:60 y 30:70) mediante la prueba de jarras. Se analizaron parámetros fisicoquímicos como turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación múltiple de Duncan, además de aplicar Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Superficie de Respuesta (ASR).

Los resultados mostraron que el agua residual inicial presentaba altos niveles de contaminación. Tras la aplicación de los tratamientos se registró una reducción significativa de los parámetros evaluados, destacando el tratamiento con mayor proporción de moringa (30:70), que alcanzó eficiencias de remoción superiores al 90 % en turbidez, SST y DBO5.

Se concluye que la combinación de yuca y moringa constituye una alternativa eficiente, económica y sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas, especialmente en comunidades rurales con recursos limitados.

Palabras clave: Coagulantes naturales, aguas residuales domésticas, *Manihot esculenta Crantz*, *Moringa oleifera*, tratamiento de agua.

ABSTRACT

The objective of the research, entitled, “The Effect of Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) and Moringa (*Moringa oleifera*) as a Coagulant-Flocculant for Treating Domestic Waste Water from the Brisas del Huallaga Settlement,” was to evaluate the efficiency of these natural coagulants in the reduction of contaminants that are present in domestic waste water.

The study came about due to the problem of water contamination that is generated by domestic dumping in zones that do not have adequate treatment systems. Traditional chemical coagulants can generate contaminated sludge and represent elevated costs for rural communities; thus, the use of natural coagulants obtained from vegetable species such as yuca and moringa was proposed, since they are accessible and environmentally sustainable.

The research was of an experimental type and it was carried out in the water quality laboratory at the Universidad Nacional Agraria de la Selva. Five treatments with different proportions of yuca starch and moringa seed powder (70:30, 60:40, 50:50, 40:60, and 30:70) were evaluated using test jars. Physicochemical parameters such as turbidity, total suspended solids (TSS; SST in Spanish) biochemical oxygen demand (BOD; DBO5 in Spanish), pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, and temperature were analyzed. The data was analyzed using a variance analysis (ANOVA) and the Duncan multiple comparison test, as well as applying the principal components analysis (PCA; ACP in Spanish) and the surface response analysis (SRA; ASR in Spanish).

The results revealed that the initial waste water presented high levels of contamination. After the application of the treatments, a significant reduction was recorded for the parameters that were evaluated, highlighting the treatment with the greatest proportion of moringa (30:70), which reached removal efficiencies that surpassed 90 % in turbidity, TSS and BOD.

It was concluded that the combination of yuca and moringa made up an efficient, economic and sustainable alternative for domestic waste water treatment, especially in rural communities with limited resources.

Keywords: natural coagulants, domestic waste water, *Manihot esculenta* Crantz, *Moringa oleifera*, water treatment

I. INTRODUCCIÓN

El agua es la sustancia más abundante del planeta, cubriendo un 71% de su superficie (Guerrero, 2010), siendo un elemento básico para todas las actividades humanas y el desarrollo de la vida; en ella se desarrolló la vida y de ella sigue dependiendo, desde pequeños insectos hasta los grandes mamíferos; sin embargo, la explotación demográfica en conjunto con el aumento de las actividades industriales, han ocasionado una creciente contaminación afectando a su calidad cada día más, causando problemas de salud, reduciendo la biodiversidad, entre otros. La creciente preocupación por la contaminación del agua y sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente ha impulsado la búsqueda de soluciones sostenibles y eficaces para el tratamiento de aguas contaminadas.

En la actualidad, se llevan a cabo diferentes procesos y técnicas para el tratamiento de agua y aguas residuales, donde se utilizan productos químicos, ya que el agua puede contener diversas impurezas solubles e insolubles; dentro de las impurezas insolubles encontramos las partículas coloidales y los microorganismos. Las partículas coloidales presentan generalmente una carga superficial negativa, lo cual impide que estas se junten haciendo difícil su sedimentación y por ende su tratamiento. Uno de los procesos más utilizados en el tratamiento de agua y agua residual, es la coagulación-floculación, que tiene como finalidad la eliminación de las partículas coloidales en suspensión y reducir la turbidez mediante la neutralización de las cargas de las partículas coloidales y su aglomeración; sin embargo, una de las principales preocupaciones es la generación de lodos contaminantes. Algunos coagulantes sintéticos pueden producir lodos que contienen sustancias nocivas, complicando su disposición final y tratamiento posterior. Actualmente se están estudiando diversos coagulantes-floculantes naturales a base de almidón o semillas de diferentes especies vegetales para ahorrar, reducir los costes y los problemas medioambientales de los polímeros orgánicos sintéticos, teniendo estos el potencial de poder sustituir a los coagulantes-floculantes químicos o sintéticos.

En el asentamiento Humano Brisas del Huallaga, se evidencia una creciente problemática relacionada con la calidad de agua destinada al uso doméstico de los pobladores. Esta zona carece de un sistema adecuado de tratamiento de aguas residuales y de un control sobre vertimientos domésticos, lo que ha generado una contaminación creciente de las fuentes hídricas cercanas (quebradas); sin embargo, el uso de coagulantes químicos convencionales puede generar lodos con compuestos nocivos, cuyo manejo y

disposición final representan un desafío ambiental para una comunidad que ya tiene limitaciones económicas y técnicas.

La importancia de esta investigación está en proponer e incitar el uso de coagulantes-floculantes a base de especies vegetales (*Moringa oleífera* y *Manihot esculenta Crantz*) que se encuentran en el distrito Rupa-Rupa, para el tratamiento de aguas residuales domésticas en las zonas rurales que no tienen acceso o no tienen el suficiente presupuesto para adquirir coagulantes-floculantes sintéticos como la alúmina ($Al_2(SO_4)_3$) o el cloruro Férrico ($FeCl_3$), lo cual hace que esta investigación adquiera relevancia para dar soluciones sostenibles y económicas.

Por lo expuesto anteriormente se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante-floculante para tratar aguas residuales domésticas del asentamiento humano Brisas del Huallaga? A partir de la anterior pregunta, se plantea la siguiente hipótesis: La yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante-floculante tiene un efecto positivo, disminuyendo las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST), turbidez y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Evaluar el efecto que produce la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante-floculante para tratar aguas residuales domesticas del Asentamiento Humano Brisas del Huallaga.

1.1.2. Objetivo Específico

Caracterizar la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante-floculante para tratar agua residual doméstica.

Analizar los parámetros físicos y químicos del agua residual domestica del asentamiento humano Brisas del Huallaga.

Determinar el efecto que producen la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante-floculante para tratar aguas residuales domesticas del asentamiento humano Brisas del Huallaga.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Pastor et al., (2022) en su investigación titulada “Almidón de yuca y sulfato de aluminio en la remoción de demanda química de oxígeno de agua del río pollo, Otuzco”, tiene como objetivo evaluar el efecto del almidón de yuca, sulfato de aluminio y la mezcla como coagulante en la remoción de Demanda química de oxígeno de agua del Río Pollo, Otuzco. Para ello se aplicó un diseño estadístico completamente aleatorizado con 2 factores (sulfato de aluminio y almidón de yuca) y 4 réplicas. Las variables independientes fueron almidón de yuca (14 ppm, 16 ppm y 20 ppm) y sulfato de aluminio (25 ppm y 35 ppm), las condiciones de coagulación fueron: tiempo 1 minuto y 120 RPM, las condiciones de floculación de 20 minutos y 30 RPM, el tiempo de sedimentación de 20 minutos. Los resultados mostraron que el tratamiento con las dosis de 20 ppm de almidón de yuca y 25 ppm de sulfato de aluminio, tienen la menor DQO y el mejor porcentaje de remoción de DQO; 33,39 ppm y 50.98 %, respectivamente; por lo tanto, se concluye que sí hubo efecto del sulfato de aluminio mas no del almidón de yuca y la mezcla en la remoción de la Demanda química de oxígeno del Río Pollo, Otuzco.

Jesús & Mercedes., (2019) en su investigación titulada “Uso de semillas de moringa (*Moringa oleifera*) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de río Negro, Río de Oro y quebrada Floridablanca, Santander”, tuvo como finalidad la potabilización de agua con las semillas de moringa usada como floculante en reemplazo del sulfato de aluminio, para esto caracterizaron las aguas del río Negro, donde determinaron sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Luego, se utilizó la prueba de jarras a diferentes tiempos, que usualmente se utilizan en la alúmina, las concentraciones varían entre 3.5 mg/L y los 170 mg/L. Finalmente se evaluó el porcentaje de efectividad del floculante realizando el mismo análisis inicial una vez concluido el tratamiento, en el primer muestreo, para Río de Oro se obtuvo una reducción de la turbidez en un 96,8% a una concentración de 170mg, para Río Negro se obtuvo una reducción de la turbidez de 87,7% con un valor inicial a una concentración de coagulante de 5,5 mg y finalmente para la quebrada Floridablanca se obtuvo un porcentaje de reducción de la turbidez de 97,6% a una concentración de 170 mg. De esta manera se demuestra la gran eficiencia de la moringa en la remoción de turbidez.

Villabona et al., (2020) en su investigación titulada “Estudio comparativo del uso de almidón a partir de materiales residuales agroindustriales en el proceso coagulación-floculación”, tiene como objetivo evaluar el uso de almidón de mandioca (*Manihot esculenta*), ñame (*Dioscorea alata*), y plátano (*Musa paradisiaca*), residuos de postcosecha, en el proceso de coagulación-floculación para eliminar la turbidez en una muestra de agua sintética. Para la extracción del almidón usaron dos métodos, las cuales fueron alcalino con NaOH y agua desionizada; también, se evaluó el efecto de la concentración de coagulante y de la velocidad de agitación sobre la capacidad de coagulación-floculación de los almidones estudiados. Se comprobó que el almidón de plátano, obtenido por ambos métodos, alcanzó los mejores porcentajes de reducción de turbidez, alcanzando un 94.6% de reducción, convirtiéndose en una alternativa para sustituir los coagulantes sintéticos.

2.1.2. Nacionales

Flores y Castillo (2021) en su estudio realizado en comunidades rurales del Perú evaluaron la eficiencia de *Moringa oleífera* en la remoción de turbidez en aguas residuales domésticas, comparando su desempeño con el sulfato de aluminio, un coagulante químico ampliamente utilizado. Para ello, se llevaron a cabo ensayos de jarras aplicando diferentes concentraciones del coagulante natural y midiendo su efectividad en la reducción de sólidos suspendidos y materia orgánica. Los resultados revelaron que la *Moringa oleífera* logró una remoción de turbidez superior al 90%, presentando un desempeño equiparable e incluso superior en algunos casos al del sulfato de aluminio, con la ventaja de no generar residuos químicos adicionales. Asimismo, se evidenció que el uso de moringa permitió mantener el pH del agua dentro de los rangos aceptables para su disposición, sin alteraciones significativas que pudieran afectar su estabilidad química. Se concluyó que la *Moringa oleífera* representa una alternativa viable y sostenible para la clarificación del agua residual en comunidades rurales, debido a su bajo costo, disponibilidad y capacidad para reducir la turbidez sin necesidad de insumos químicos adicionales. Además, se destacó su potencial como sustituto de los coagulantes sintéticos en regiones con recursos limitados, contribuyendo a un enfoque más ecológico y accesible para el tratamiento de aguas residuales.

Rodríguez, Fernández y Pacheco (2022) llevaron a cabo una investigación en Perú con el objetivo de comparar la eficiencia del almidón de yuca y la *Moringa oleífera* en la reducción de turbidez y materia orgánica en aguas residuales domésticas. Para ello, se

realizaron pruebas de jarras en laboratorio, aplicando distintas proporciones de ambos coagulantes naturales y evaluando su impacto en la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) y demanda biológica de oxígeno (DBO₅). Los resultados indicaron que la moringa presentó una eficiencia notablemente superior en la reducción de turbidez, alcanzando valores por encima del 90%, mientras que el almidón de yuca mostró eficiencias menores, entre 60% y 70%, lo que sugiere que su capacidad coagulante es más limitada en comparación con la moringa. Sin embargo, se observó que la combinación de ambos coagulantes permitió mejorar la estabilidad del pH del agua tratada, evitando fluctuaciones extremas que podrían comprometer su calidad final. Se concluyó que la Moringa oleífera es más eficiente que el almidón de yuca en la remoción de turbidez y carga orgánica, pero su combinación con la yuca puede ser beneficiosa para mejorar la estabilidad química del agua tratada. Asimismo, se recomendó su aplicación en sistemas de tratamiento de aguas residuales en comunidades con acceso limitado a productos químicos, ya que representa una opción accesible, de bajo impacto ambiental y con potencial para ser implementada a mayor escala en plantas de tratamiento descentralizadas (Revista Andina de Ingeniería y Tecnología).

2.1.3. Locales

Durán Castro (2021) realizó una investigación en el Centro Poblado de Vichaycoto, Huánuco, con el objetivo de evaluar la eficiencia de la penca de tuna (*Opuntia ficus indica*) y la semilla de moringa (*Moringa oleífera*) como coagulantes naturales para la reducción de turbidez en el agua del reservorio de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS). Para ello, se realizaron pruebas de jarras en laboratorio, aplicando diferentes concentraciones de los coagulantes naturales y midiendo su capacidad para reducir la turbidez en comparación con coagulantes sintéticos convencionales. Los resultados mostraron que la combinación de ambos coagulantes logró una reducción significativa de la turbidez, alcanzando niveles óptimos con dosis ajustadas de penca de tuna y moringa. Se observó que la aplicación de estos coagulantes permitió obtener una calidad de agua más adecuada para el consumo, sin alterar significativamente el pH ni la composición química del agua tratada. Se concluyó que el uso de coagulantes naturales representa una alternativa viable y sostenible para el tratamiento del agua en comunidades rurales con acceso limitado a infraestructura de saneamiento, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental generado por el uso de productos químicos convencionales.

2.2. Contaminación del agua

La contaminación del agua se conoce como la acción de introducción de algún elemento o material en el agua, que afecta a sus propiedades químicas, físicas y microbiológicas; lo cual produce consecuencias como la desaparición de especies o la destrucción de sistemas acuáticos; también, genera enfermedades en la población humana como cólera, hepatitis y disentería; además, afecta a las especies pertenecientes a otros ecosistemas debido al consumo de agua o por la falta de ella (Salas, 2016).

2.2.1. Agua residual Doméstica

El agua residual doméstica son aquellas provenientes de las actividades domésticas cotidianas como preparación de alimentos, lavado ropa y trastes, limpieza entre otros (Cardona & García, 2008). Se puede decir que es una combinación de orina, aguas grises y heces humanas. Generalmente presentan un alto contenido de detergentes, compuestos clorados y materia orgánica (Bazurto, 2016).

2.3. Coloide

Un coloide es una mezcla donde una sustancia está dispersa de manera uniforme en otra. Los coloides pueden ser sólidos, líquidos o gases dispersos en un medio diferente. Los coloides generalmente no se sedimentan ni se separan al estar en reposo, a diferencia de las suspensiones. Las partículas coloidales, en su fase sólida tienen tamaños muy pequeños (inferiores a 1 μm). La materia existe en estados sólido, líquido y gaseoso, aunque el ultimo es posible bajo condiciones específicas de presión y temperatura. La mayoría de los sistemas coloidales están formados por una fase fluida (ya sea líquida o gaseosa) que actúa como medio de dispersión o fase continua, junto con una fase dispersa que puede ser gas, líquido o sólido. Esta diversidad da lugar a una amplia gama de sistemas coloidales que pueden ser diseñados según las propiedades y necesidades deseadas (Moreno Botella, 2021).

Tabla 1. Tipos de coloides según la fase de dispersión y el medio de dispersión

		Modo de dispersión		
		Gas	Líquido	Sólido
Fases de dispersión	Gas	No hay coloide, Los gases son solubles entre si	Espuma: Espuma de afeitar, espuma de cerveza.	Espuma sólida: Ejemplos: piedra pómez, gomaespuma

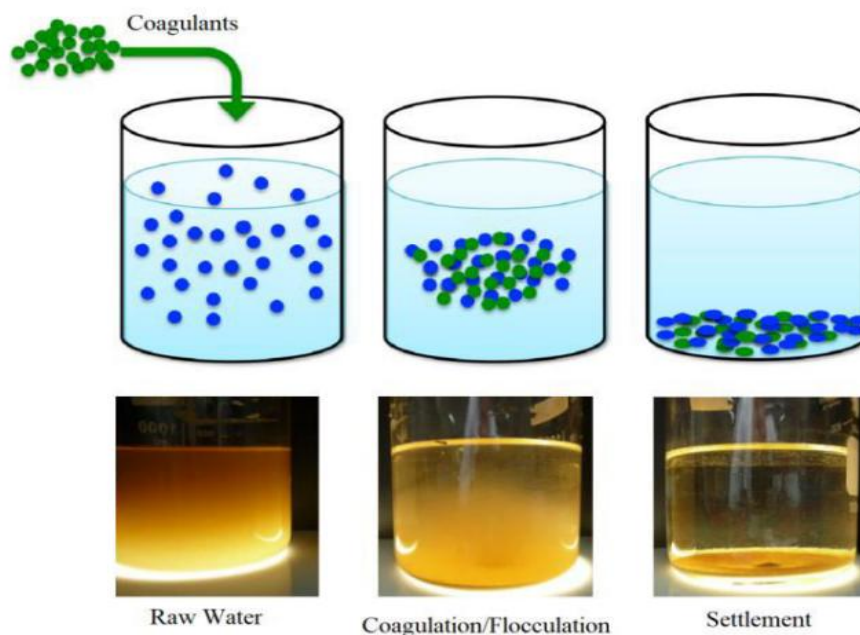
	Modo de dispersión		
	Gas	Líquido	Sólido
Líquido	Aerosol líquido. Ejemplos: niebla, bruma, clara montada, espráis, etc.	Emulsión: Ejemplos: Mayonesa, salsa, geles de baño, nata.	Gel. Ejemplos: queso, gelatina, flan
Sólido	Aerosol sólido. Ejemplos: Humo, polvo en suspensión, ceniza volcánica	Suspensión: Ejemplos: Pinturas, pasta de dientes, barbotinas, soles particulados	Sol sólido. Ejemplos: vidrios, composites

Fuente: (Moreno Botella, 2021).

2.4. Proceso de Coagulación-floculación

Las partículas coloidales son estables debido a su carga superficial, para poder desestabilizar estas partículas, debemos neutralizar sus cargas. Esta neutralización puede ocurrir cuando añadimos un ion de carga opuesta a la partícula coloidal. Generalmente los coloides en el agua poseen cargas negativas, la adición de cargas positivas debería reducir o neutralizar la carga. El objetivo de todo coagulante es neutralizar o reducir las cargas superficiales de los coloides, que permitan que estas no se repelan entre si (Halder, 2021).

La floculación es el proceso complementario de la coagulación, ya que, tiene como objetivo favorecer el contacto entre las partículas desestabilizadas, para que se aglutinen y formen flóculos y puedan ser eliminados fácilmente (Silva, 2017). Es decir,



los floculantes actúan atrayendo las partículas coloidales entre sí en una fase líquida, para formar partículas más grandes (flóculos) estimulando la desestabilización de las partículas coloidales (Salehizadeh et al., 2018).

Figura 1. Mecanismo de coagulación-floculación

Fuente: Recuperado de Halder (2021).

2.4.1. Coagulantes sintéticos

Los coagulantes de origen sintético, generalmente se basan en sales de hierro y aluminio, que provocan que las partículas coloidales neutralicen su carga. Las sales de aluminio son los coagulantes más utilizados a nivel mundial; sin embargo, la aplicación de los polímeros sintéticos y la presencia de los monómeros residuales es despreciable debido a sus propiedades cancerígenas, a su neurotoxicidad (Šćiban et al., 2009) y los daños ambientales que provoca (Cevallos et al., 2022).

2.4.2. Coagulantes naturales

Se considera coagulante de origen natural, a aquellos que provienen de los extractos de plantas naturales como *Moringa oleífera*, *Jhatropa curcas*, goma guar, entre otras; estos extractos pueden provenir de la semilla, el almidón, hojas, corteza, raíces y frutos de los árboles (Pritchard et al., 2009). Dentro de los mecanismos de la coagulación existen 4 tipos: formación de puentes poliméricos, coagulación por barrido, compresión de doble capa y neutralización de cargas. En los coagulantes naturales de origen vegetal, solo se utiliza el mecanismo de puentes poliméricos y neutralización de cargas (Hariz et al., 2018), la coagulación que se forma por mecanismos de puente poliméricos es más fuertes que los originados por neutralización de cargas.

2.5. Turbidez

La turbidez es el efecto óptico causado cuando los rayos luminosos pasan a través de un líquido que contiene partículas en suspensión, estas pueden ser partículas coloidales. También, la turbidez se puede definir como la dispersión de la luz provocada por los sólidos en suspensión en el agua y generalmente se obtiene con un turbidímetro que proporciona mediciones en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) (Delegido et al., 2019).

2.6. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales (SST), son las partículas insolubles que se encuentran en el agua. Según su tamaño, se pueden dividir en los que tiene la capacidad de formar una suspensión estable en el agua en reposo (partículas coloidales) y las que solo solo logran estar en suspensión cuando el agua está en movimiento o agitación y que producen la turbidez; mayor cantidad de sólidos en el agua mayor la turbidez (Vargas, 2016).

2.7. Yuca (*Manihot esculenta Crantz*)

La yuca es un arbusto perenne extensamente cultivado en América, está adaptada a zonas intertropicales por lo que no resiste temperaturas heladas; su reproducción más utilizada es por esquejes, posee nudos prominentes al nivel de las inserciones de las hojas (Suárez & Meredos, 2011). Las raíces tuberculosas son fusiformes y cilíndricas, llegando a alcanzar entre 20 a 25 cm de largo y 5 a 15 cm de diámetro. Su cosecha tiene un periodo entre 6 a 9 meses, en especial las variedades dulces; sin embargo, existen variedades que demoran en cosechar entre 18 a 24 meses (Inga & López, 2001). Su taxonomía es la siguiente:

Reino	: Vegetal
División	: Macrophyllphyta
Subdivisión	: Magnoliophytina
Clase	: Magnoliatae
Orden	: Euphorbiales
Familia	: Euphorbiaceae
Género	: Manihot

Especie : *Manihot esculenta* Crantz

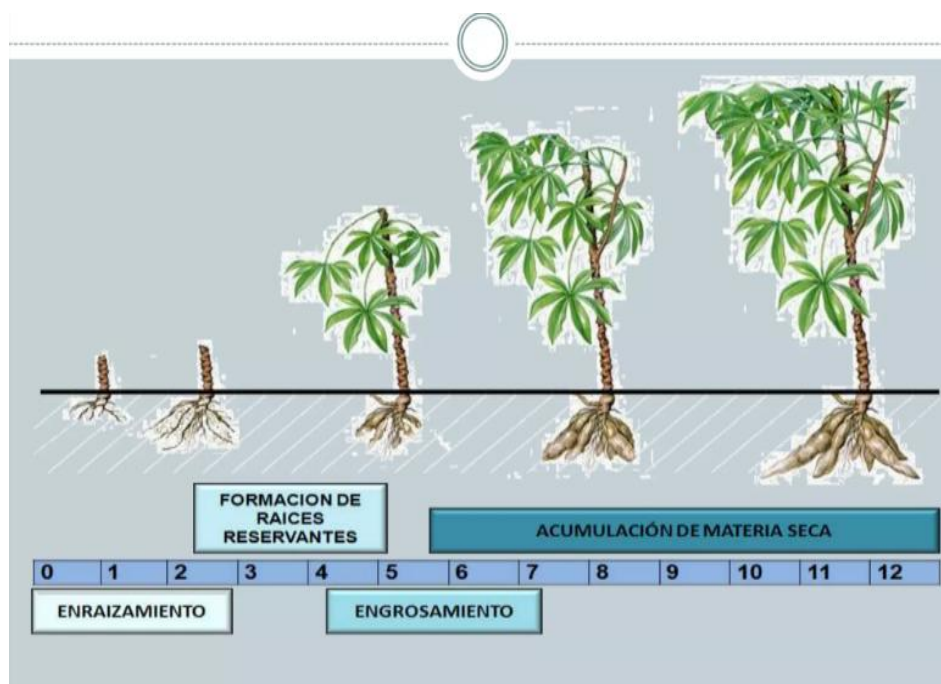


Figura 2. Fenología de la Yuca

Fuente: Recuperado de (Hernández, 2014)

2.8. Moringa (*Moringa oleífera*)

La moringa es un árbol perenne poco longevo, que puede vivir como máximo 20 años y alcanzar desde 8 a 12 m de altitud. Es una especie de desarrollo y crecimiento rápido y aporta nutrientes al suelo, ayudando a protegerlos de factores externos como la erosión (Liñán, 2010). La *Moringa oleífera* se caracteriza por una alta plasticidad ecológica, adaptándose a diferentes condiciones climáticas y de suelo. Tiene un alto valor nutricional y rendimiento de biomasa, por lo que es una fuente vegetal importante en los sistemas de producción (Bernabé, 2021).

Reino : Plantae
 División : Magnoliophyta
 Clase : Eudicotyledoneae
 Orden : Brassicales
 Familia : Moringáceas
 Género : Moringa

Especie : *Moringa oleifera*



Figura 3. Flores de *Moringa Oleifera*

3.2. Material y equipos

3.2.1. Materiales

15 matraces de 1000 ml de capacidad, pipetas de 10 ml de capacidad, tamizador, 3 valdes de capacidad de 20 L, 10 vasos precipitados de 1000 ml y 500 ml, pipetas de 10 ml, agitador de vidrio, tamiz N.º 65, cinta negra.

3.2.2. Equipos

Estufa, calefactora, licuadora Oster, triturador manual, test de jarras PHIPPS & BIRD, medidor de turbidez y cloro HI93414-01 HANNA, multiparámetro multi 3630 IDS, multiparámetro DR900.

3.2.3. Insumos

Etanol, agua destilada, *Moringa oleífera* (variedad Criolla), *Manihot esculenta* (variedad chaucha).

3.2.4. Software

ArcGIS, Microsoft Word, Microsoft Excel, SPSS.

3.3. Criterios y Análisis de estudio

3.3.1. Nivel de investigación

El nivel de la investigación es experimental y/o explicativo, ya que se explicó el tratamiento que genere una mayor eficiencia en la remoción de la turbidez, sólidos suspendidos totales y DBO₅ mediante la recolección de datos de las variables en estudio (Hernández et al., 2014).

3.3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicativo, Hernández et al., (2014) debido a que se aplicó los conocimientos científicos existentes sobre remoción de la turbidez, sólidos suspendidos totales y DBO₅ utilizando diferentes proporciones del coagulantes-floculantes natural.

3.3.3. Métodos de investigación

El método de investigación es inductivo y analítico, el primer método utilizó el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos aceptados como válidos, mientras que con el método analítico se estudia y conoce los resultados obtenidos.

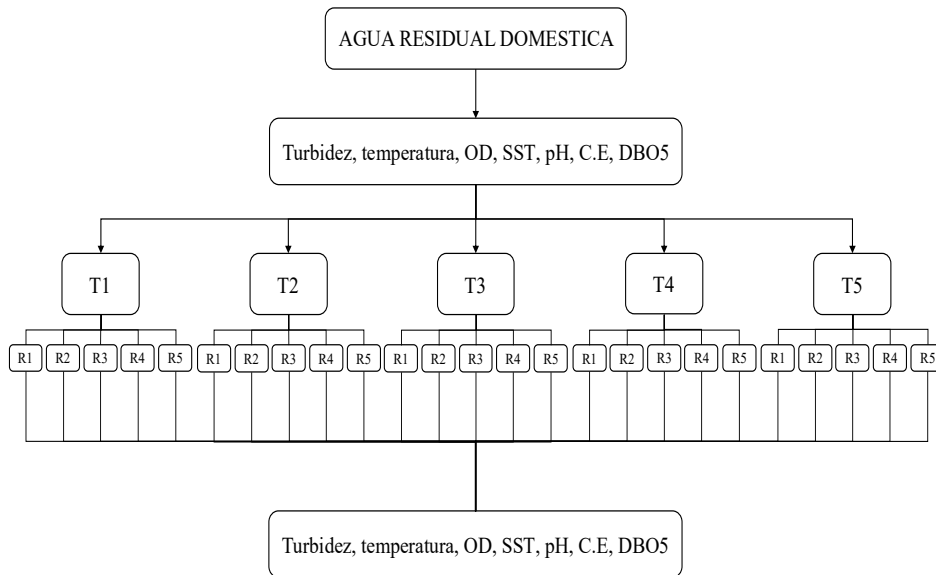
3.3.4. Operacionalización de variable

Tabla 2. Operacionalización de variables del proyecto

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
X Yuca-moringa como coagulante-floculante	Procesos para separar y eliminar los sólidos suspendidos en el agua y el tratamiento de aguas residuales mediante la neutralización de cargas de las partículas coloidales (Halder, 2021).	Extracción de coagulantes-floculantes naturales a partir de almidón de yuca, el cual se mezclará en diferentes proporciones con la semilla de moringa	Moringa/ yuca proporción	30: 70
				40: 60
				50: 50
				60: 40
				70: 30
Y Agua residual domestica del asentamiento humano Brisas del Huallaga	Aquellas aguas residuales provenientes de las actividades domésticas cotidianas como preparación de alimentos, lavado ropa y trastes, limpieza entre otros	Se midieron los parámetros elegidos antes y después de la aplicación del coagulante- floculante para determinar el efecto que produce en el agua residual domestica	Parámetro físico	Turbidez
				Temperatura
				OD
				SST
				pH
Parámetro químico	C.E			
	DBO ₅			

3.3.5. Diseño de investigación

Considerando la manipulación de las variables independientes, el diseño es experimental (Hernández et al., 2014), en donde se empleó 5 tratamientos (proporciones de yuca-moringa), con 5 repeticiones, que contiene 7 mediciones iniciales y finales de los parámetros de cada tratamiento.



Leyenda:

[T1]: proporción 30:70 de yuca y moringa; [T2]: proporción 40:60 de yuca y moringa; [T3]: proporción 50:50 de yuca y moringa; [T4]: proporción 60:40 de yuca y moringa; [T5]: proporción 70:30 de yuca y moringa; [R_n]: repetición.

Figura 5. Diseño Metodológico de la investigación

Tabla 3. Esquema metodológico del ensayo de jarras que se aplicará

Tratamientos	R1	R2	R3	R4	R5
T1	T1R1	T1R2	T1R3	T1R4	T1R5
T2	T2R1	T2R2	T2R3	T2R4	T2R5
T3	T3R1	T3R2	T3R3	T3R4	T3R5
T4	T4R1	T4R2	T4R3	T4R4	T4R5
T5	T5R1	T5R2	T5R3	T5R4	T5R5

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

[T1]: proporción 30:70 de yuca y moringa; [T2]: proporción 40:60 de yuca y moringa; [T3]: proporción 50:50 de yuca y moringa; [T4]: proporción 60:40 de yuca y moringa; [T5]: proporción 70:30 de yuca y moringa; [R_n]: repetición.

3.3.6. Población y muestra

La población de estudio estuvo conformada por las unidades experimentales elaboradas a partir del tratamiento de agua residual doméstica. Debido a que el diseño de la investigación fue de tipo experimental, la población y la muestra coinciden.

En total se consideraron cinco tratamientos (T_1 , T_2 , T_3 , T_4 y T_5), cada uno con cinco repeticiones, sumando veinticinco unidades experimentales. Cada repetición utilizó un litro de agua residual doméstica como muestra individual. Por lo tanto, la muestra representó a la totalidad de las unidades experimentales, ya que se realizó la experimentación a escala laboratorio (Hernández-Sampieri et al., 2022).

3.3.7. Análisis estadístico

Para hallar el análisis de variancia (F. tab. = 0.01 y 0.05) se utilizó el software Microsoft Office Excel. Asimismo, el mismo software sirvió para hallar las diferencias entre las medias obtenidas en estudio en las diferentes evaluaciones realizadas, mediante la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$).

Tabla 4. Esquema del análisis de varianza.

Niveles	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	F Cal.
Entre grupos	SC_{inter}	$I-1$	$MC_{inter}=SC_{inter}/(I-1)$	MC_{inter}/MC_{intra}
Dentro de grupos	SC_{intra}	$N-I$	$MC_{intra}=SC_{intra}/(N-1)$	
Total	SC_{total}	$N-1$		

Fuente: elaboración propia

$$CV = \frac{\sqrt{CMe}}{Y} \quad (1)$$

Donde:

CV : Coeficiente de variabilidad.

CMe : Cuadrado medio del error.

Y : Promedio total de los tratamientos.

3.4. Metodología

3.4.1. Caracterización de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y moringa (*Moringa oleifera*) como coagulante-floculante para tratar agua residual doméstica.

Se realizó el análisis fisicoquímico en el laboratorio de bioquímica del tubérculo de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y de la semilla de moringa (*Moringa oleifera*). Los parámetros escogidos y sus respectivos métodos de evaluación se especifican en la tabla 5.

Tabla 5. Análisis fisicoquímico de la yuca y moringa

Parámetros	Método de Evaluación
Humedad (%)	AOAC (2000)
Materia Seca (%)	AOAC (2000)
Ceniza (%)	AOAC (2000)
Extracto etéreo (%)	Extracción por solvente a alta temperatura
pH (pH)	AOAC (2000)
Acidez titulable (%)	AOAC (2000)

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Análisis de los parámetros físicos y químicos del agua residual doméstica del asentamiento humano Brisas del Huallaga.

3.4.2.1. Recolección de muestra de agua

Se realizó un muestreo simple de agua residual doméstica proveniente del asentamiento humano Brisas del Huallaga, en la ciudad de Tingo María. Para ello, se identificaron tres puntos de recolección: el primero ubicado aguas arriba, antes de la incorporación de descargas urbanas; el segundo en un tramo medio con mayor densidad de viviendas; y el tercero aguas abajo. El agua recolectada fue homogeneizada para tener una representatividad promedio de la superficie del cuerpo de agua evaluada y luego fue almacenada en 2 baldes de plástico de 20 litros, para luego ser transportada al Laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde se determinaron los parámetros fisicoquímicos iniciales.

3.4.2.2. Medición de parámetros iniciales

Los parámetros iniciales fueron medidos antes y después de la aplicación de coagulante-floculante a partir de yuca-moringa; los parámetros escogidos y sus métodos de evaluación se observan en la tabla 6.

Tabla 6. Parámetros de interés para la evaluación del coagulante-floculante de yuca y moringa.

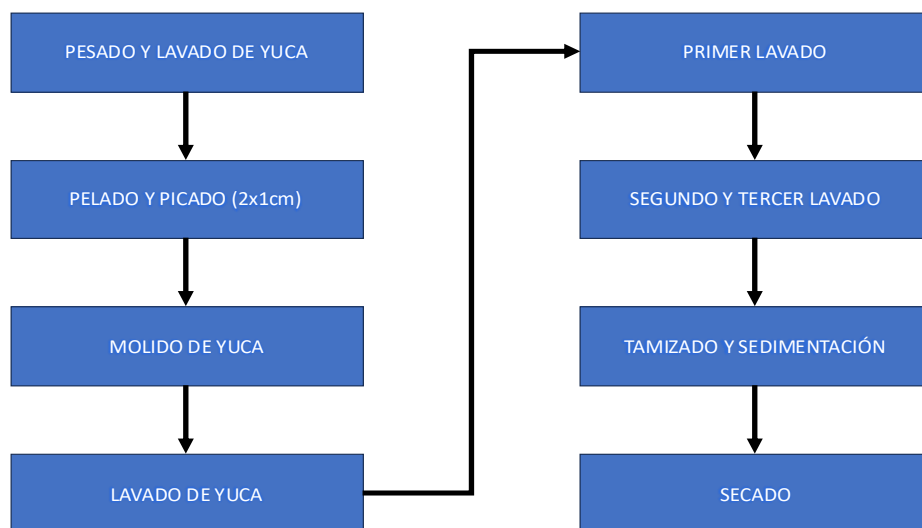
Indicadores	Método de Evaluación
Turbiedad	Turbidímetro
Oxígeno disuelto	Directo (Multiparámetro)
DBO ₅	DBO ₅ = (OD inicial – OD final)
pH	Potenciométrico.
Conductividad eléctrica	Directo (Multiparámetro)
Temperatura	Método instrumental
Solidos totales suspendidos	Método instrumental

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Determinación el efecto que producen la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante-floculante para tratar agua aguas residuales domesticas del asentamiento humano Brisas del Huallaga.

3.4.3.1. Obtención de almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*)

Para extraer el almidón de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) se utilizó el método de Rivera (2017), donde se lavó, peló y se cortó en trozos de 2x1 cm, luego se trituroó en una licuadora (Oster), seguidamente se enjuagó 3 veces con agua tibia y se filtró con tela filtrante durante 10 minutos hasta extraer todo el líquido, donde se obtuvo un líquido lechoso que se dejó sedimentar por media hora. El sólido húmedo restante se pasó a secar a 50°C por 24 horas en una estufa para obtener el almidón.

**Figura 6.** Proceso de extracción de almidón de *Manihot esculenta Crantz*

Fuente: Rivera (2017)

3.4.3.2. Obtención de polvo de semilla moringa (*Moringa oleífera*)

Para la extracción del polvo a partir de la semilla de moringa (*Moringa oleífera*) se utilizó el método de Somani et al. (2011), donde se extrajo manualmente las semillas, se trituró con el mortero y luego se procedió a secarlas en una estufa con una temperatura de 110 a 115°C durante 24 horas; luego se procedió a tamizar utilizando un tamiz N.º 65; posteriormente, para la eliminación de aceites y grasas se dejó macerando el polvo con etanol al 96% durante dos días; luego, se filtró durante 10 minutos hasta obtener un sólido húmedo, finalmente este sólido resultante se secó por 2 horas a 110°C en la estufa.

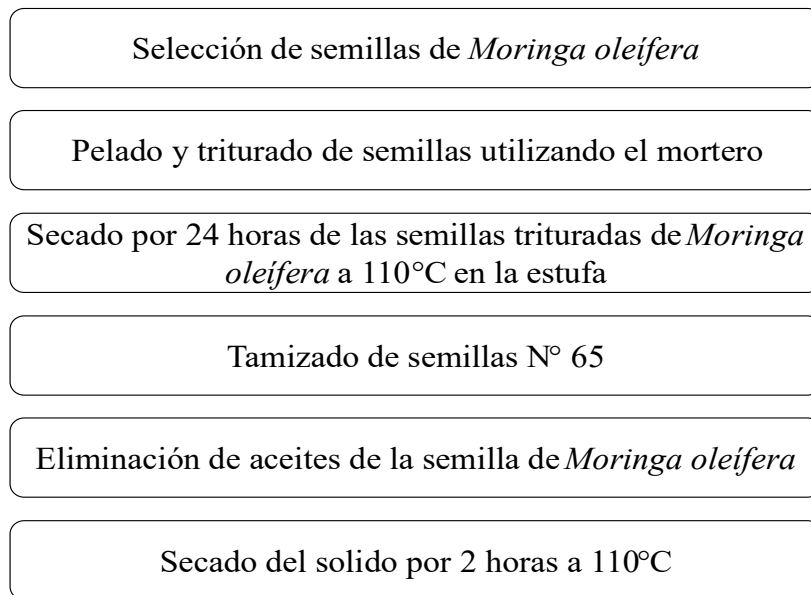


Figura 7. Proceso de extracción de polvo de semilla de *Moringa oleífera*.

3.4.3.3. Determinación de proporciones de almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*).

Se realizó un pretratamiento con el polvo de semilla de moringa y almidón de yuca en iguales proporciones; empezando con concentraciones de 1g, 2g, hasta las 6g; escogiendo como concentración idónea la de 5g/L. A partir de ello, se establecieron 5 combinaciones, cada una con una dosis total de 5 g/L, distribuidas entre ambos componentes (yuca y moringa) en diferentes proporciones. En la tabla 7 se presenta estas proporciones utilizadas en el experimento.

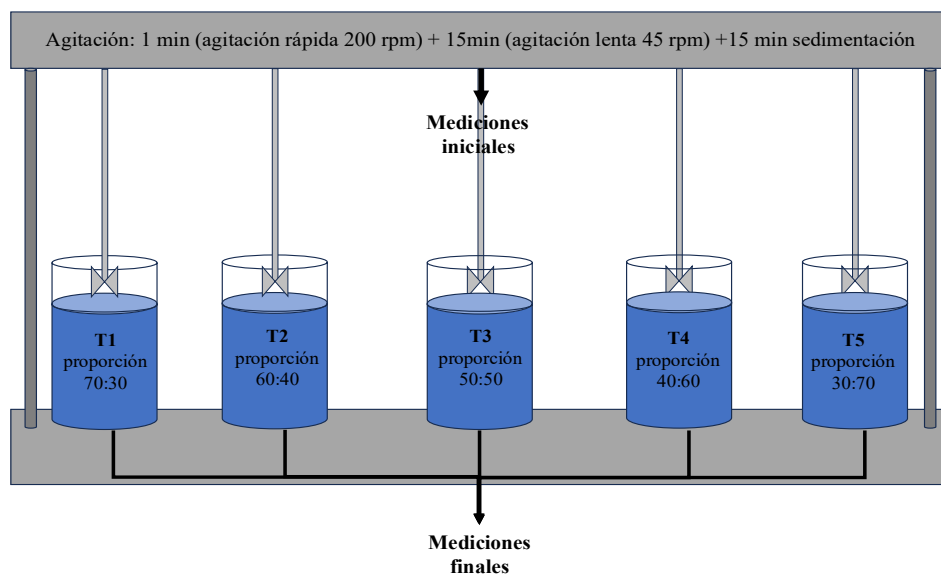
Tabla 7. Proporciones de almidón de yuca y polvo de semilla de moringa

Tratamiento	Peso (g)		Proporciones
	Almidón de yuca	Polvo de semilla de moringa	
T1	3.5	1.5	70: 30
T2	3.0	2.0	60: 40
T3	2.5	2.5	50: 50
T4	2.0	3.0	40: 60
T5	1.5	3.5	30: 70

Fuente: elaboración propia

3.4.3.4. Ensayo de Jarras

El agua residual proveniente del asentamiento humano Brisas del Huallaga, fue distribuido en 5 jarras con un volumen de 1L cada una; a cada muestra se le añadió la mezcla del coagulante-floculante (yuca-moringa) con la misma concentración pero a diferentes proporciones (70:30, 60:40, 50:50, 40:60 y 30:70); se manejó dos velocidades de mezcla, la mezcla rápida fue de 200 rpm durante 1 minuto, y la mezcla lenta de 45 rpm durante 15 min; luego, se detuvo la mezcla y se dejó sedimentar durante 15 min, finalmente, se caracterizaron todos los parámetros elegidos.

**Figura 8.** Esquema experimental de yuca-moringa como coagulante-floculante

3.4.3.5. Variación de las propiedades fisicoquímicas

Se analizó la variación entre los diferentes tratamientos T1: Almidón de yuca (3.5 gr):polvo de semilla de Moringa (1.5 gr) [70:30], T2: Almidón de yuca (3 gr): polvo de semilla de Moringa (2 gr) [60:40], T3: Almidón de yuca (2.5 gr):polvo de semilla de Moringa (2.5 gr)[50:50], T4: Almidón de yuca (2 gr): polvo de semilla de Moringa (3 gr) [40:60], T5: Almidón de yuca (1,5 gr):polvo de semilla de Moringa (3,5 gr) [30:70], y como estos influyen en los valores de las propiedades fisicoquímicas del agua residual doméstica tratada (Ver tabla 06), el Análisis de Componentes Principales (ACP) mediante la estandarización sirvió para identificar patrones y asociaciones globales entre las todas las proporciones de estudio y todos los parámetros fisicoquímicos.

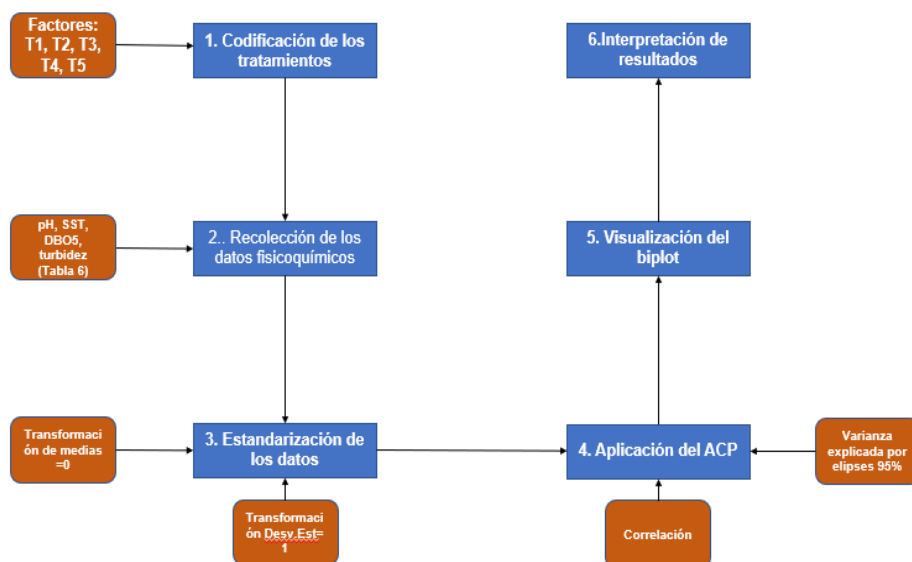


Figura 9. Proceso de los tratamientos de estudio para un análisis de componentes principales

3.4.3.6. Determinación de eficiencia de remoción de yuca y moringa

Se determinó la eficiencia de remoción de contaminantes fisicoquímicos mediante análisis de superficie de respuesta (ASR) con el objetivo de evaluar el desempeño de las distintas proporciones de almidón de yuca y polvo de semilla de moringa en la reducción de parámetros clave como turbidez, SST y DBO5. Se consideraron cinco tratamientos T1 a T5, aplicando métodos estadísticos que permitieron modelar la relación entre las proporciones de los coagulantes naturales y las respuestas medidas. Este análisis permitió identificar el tratamiento más eficiente y visualizar zonas óptimas de operación.

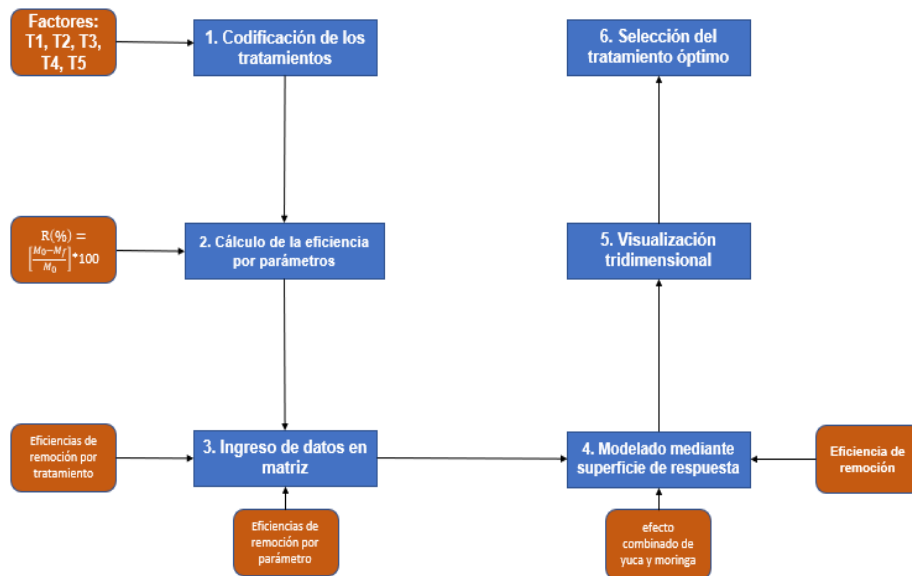


Figura 10. Proceso de los tratamientos de estudio para una superficie de respuesta

Para determinar la eficiencia de remoción de la turbidez, los sólidos totales disueltos y DBO₅ del coagulante-floculante natural a base de yuca-moringa, se utilizó la siguiente ecuación:

$$ER(\%) = \left[\frac{M_0 - M_f}{M_0} \right] * 100 \quad (2)$$

- a) Donde:
- b) ER : Eficiencia de remoción
- c) M₀ : Medición inicial del parámetro
- d) M_f : Medición final parámetro

Para los 5 parámetros restantes se observó las variaciones que presentan al comparar la medición inicial con las mediciones después de la aplicación de cada tratamiento.

IV. RESULTADOS Y DISCUCION

4.1. Características fisicoquímicas de la yuca y moringa como coagulante-floculante

Tabla 8. Análisis fisicoquímicos de yuca y moringa.

Parámetros	Muestras	
	<i>Manihot esculenta Crantz</i>	<i>Moringa oleífera</i>
Humedad (%)	80.73	2.97
Materia Seca (%)	19.27	97.03
Ceniza %)	3.41	3.82
Extracto etéreo (%)	0.69	45.52
pH	9.10	6.30
Acides titulable (%)	0.27	1.52

Fuente: elaboración propia

En la tabla 8 se presenta los parámetros proximales del tubérculo de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y la semilla de moringa (*Moringa oleífera*); los análisis fisicoquímicos realizados revelan diferencias significativas entre la yuca y la moringa. La yuca presentó un contenido de humedad del 80.73%, mientras que la moringa mostró un valor considerablemente menor, del 2.97%. Esta diferencia sugiere que la moringa posee una mayor concentración de compuestos activos debido a su menor contenido de agua. Además, el extracto etéreo de la moringa fue notablemente superior (45.52%) en comparación con el de la yuca (0.69%), lo que indica una mayor presencia de lípidos en la moringa. El pH de la yuca fue ligeramente alcalino (9.10), mientras que el de la moringa fue más ácido (6.30). Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que destacan las propiedades coagulantes de la moringa, atribuidas a su contenido de proteínas y compuestos bioactivos (García Fayos et al., 2021).

Diversos estudios han demostrado que la presencia de proteínas y polisacáridos en la moringa incrementa su eficiencia como coagulante natural (Pritchard et al., 2020). A nivel nacional, estudios recientes han evaluado la aplicación de coagulantes naturales en el tratamiento de agua residual. Por ejemplo, Fernández y Salazar (2021) compararon la eficiencia del almidón de yuca y la semilla de moringa en la remoción de turbidez en aguas de la selva central del Perú, encontrando que la moringa tuvo un desempeño significativamente superior, con una eficiencia del 89.7%. Asimismo, Ramos et al. (2022) estudiaron el potencial de la yuca en la eliminación de contaminantes en aguas residuales urbanas, destacando que su efectividad aumenta al combinarla con otros coagulantes naturales.

4.2. Parámetros físicos y químicos del agua residual domestica del asentamiento humano Brisas del Huallaga

En la tabla 9, se muestra el análisis físico y químico inicial del agua residual domestica proveniente del asentamiento humano Brisas del Huallaga.

Tabla 9. Análisis fisicoquímicos del agua residual del AA. HH Brisas del Huallaga.

Parámetros fisicoquímicos	Resultados
pH	7.059
Temperatura (°C)	24.380
SST (mg/L)	863.000
OD (mg/L)	1.880
CE (ds/m)	1384.800
Turbidez (NTU)	1005.300
DBO ₅ (mg/L)	86.327

Fuente: elaboración propia

El análisis inicial del agua residual doméstica indicó una alta carga contaminante, con valores de SST de 863 mg/L, turbidez de 1005.3 NTU y DBO₅ de 86.327 mg/L. Estos parámetros superan los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental para aguas, evidenciando la necesidad de tratamientos efectivos para su depuración. Estudios similares han reportado valores elevados en aguas residuales domésticas, resaltando la importancia de implementar procesos de tratamiento adecuados (Rodríguez et al., 2022).

La alta turbidez y la elevada concentración de SST evidencian abundantes sólidos coloidales y materia orgánica en descomposición condiciones que dificultan el tratamiento sin coagulantes efectivos (Cevallos et al., 2022) y se corresponden con la baja concentración de oxígeno disuelto (1.88 mg/L), indicativa de una alta carga orgánica que favorece el crecimiento de microorganismos patógenos y la generación de olores (Pritchard et al., 2020); en consonancia, estudios nacionales recientes reportan perfiles similares en aguas residuales domésticas: Torres et al. (2021) hallaron en comunidades rurales amazónicas DBO₅ > 80 mg/L y turbidez promedio de 980 NTU, mientras que Gutiérrez y Pérez (2023) describieron en asentamientos informales de Lima concentraciones elevadas de SST y baja disponibilidad de oxígeno disuelto, reforzando la necesidad de tecnologías de tratamiento eficientes y accesibles.

4.3. Efecto que produce la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante-floculante para tratar agua residual domestica

4.3.1. Parámetros fisicoquímicos del agua residual tratada

Tabla 10. ANOVA de los parámetros físicos y químicos del agua residual tratada del AA. HH Brisas del Huallaga.

Parámetros	Tratamientos					Significancia
	T1	T2	T3	T4	T5	
pH	6.92 S:0.15	6.91 S: 0.14	6.92 S:0.11	6.92 S:0.12	6.81 S:0.16	o
OD	1.3762 S: 001	0.8106 S: 0.03	1.15 S:0.03	0.9422 S:0.02	0.6962 S:0.02	***
DBO ₅	29.1 S: 1.7	17.7 S: 2.5	14.4 S: 1.4	10.3 S: 1.00	6.4 S: 1.6	***
TURBIEDAD	547 S: 88.4	358 S: 26.4	285.4 S: 68.5	139.6 S: 15.5	88.12 S: 12.8	***
SST	473.2 S: 43.9	338.8 S: 16.8	286.6 S: 98.2	126.6 S: 15.8	76.6 S: 7.1	***
Ce	1405.4 S: 2.51	1410.6 S: 2.70	1419.2 S:2.59	1424 S:2.92	1434.8 S: 5.54	***
°C	25.28 S:0.91	25.66 S: 1.35	25.78 S: 1.38	25.86 S: 1.44	25.9 S:1.41	o

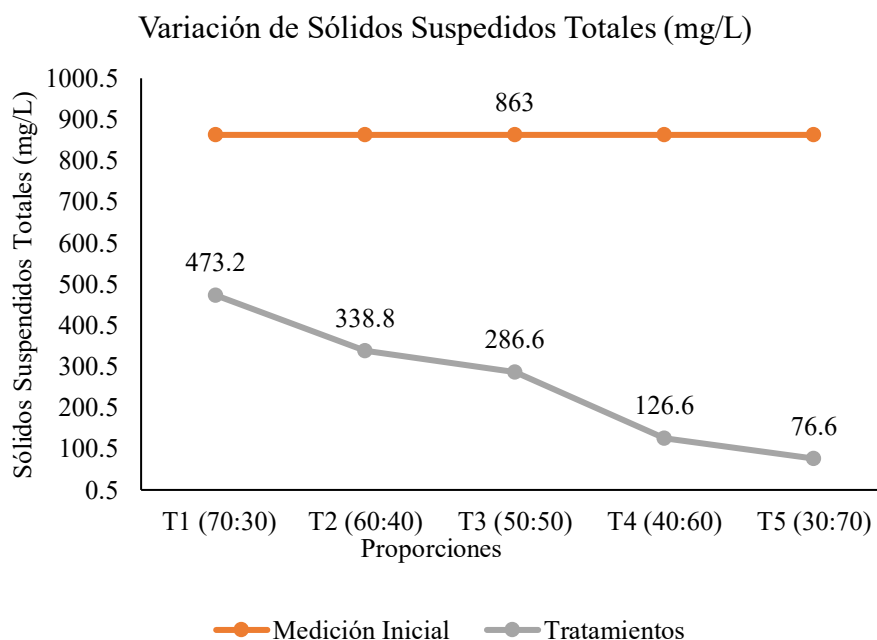
T1: Almidón de yuca (3.5 gr):polvo de semilla de Moringa (1.5 gr) [70:30], T2: Almidón de yuca (3 gr): polvo de semilla de Moringa (2 gr) [60:40], T3: Almidón de yuca (2.5 gr):polvo de semilla de Moringa (2.5 gr)[50:50], T4: Almidón de yuca (2 gr): polvo de semilla de Moringa (3 gr) [40:60], T5: Almidón de yuca (1,5 gr):polvo de semilla de Moringa (3,5 gr) [30:70], pH: potencial de hidrógeno, SST (mg/l): solidos suspendidos totales, DBO₅ (mg/l): Demanda bioquímica de oxígeno, Turbiedad (NTU), Ce (uS/cm):Conductividad eléctrica, OD (mg/l):. Oxígeno Disuelto, °C: Temperatura en grados Celsius, Significado de códigos: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

Los tratamientos aplicados demostraron variaciones en la eficiencia de remoción de contaminantes. El tratamiento 5 (T5) mostró las mayores eficiencias, con remociones del 91.12% para SST, 91.23% para turbidez y 93.64% para DBO₅. Estos resultados sugieren una alta efectividad de la moringa como coagulante-floculante en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Investigaciones recientes han corroborado la eficacia de la moringa en la remoción de turbidez y materia orgánica, atribuyendo su acción a la presencia de proteínas con carga positiva que neutralizan las partículas coloidales en suspensión (Pérez et al., 2023).

En contraste, los tratamientos que involucraron yuca mostraron eficiencias de remoción inferiores. Por ejemplo, el tratamiento 1 (T1) presentó una remoción del 45.17% para SST, 45.59% para turbidez y 71.23% para DBO₅. Aunque la yuca posee propiedades coagulantes, su eficacia es menor en comparación con la moringa, posiblemente debido a su menor contenido de compuestos activos responsables de la coagulación. Estudios previos han señalado que, si

bien la yuca puede actuar como coagulante natural, su eficiencia es limitada en aplicaciones de tratamiento de aguas residuales con altas cargas contaminantes (López et al., 2021).

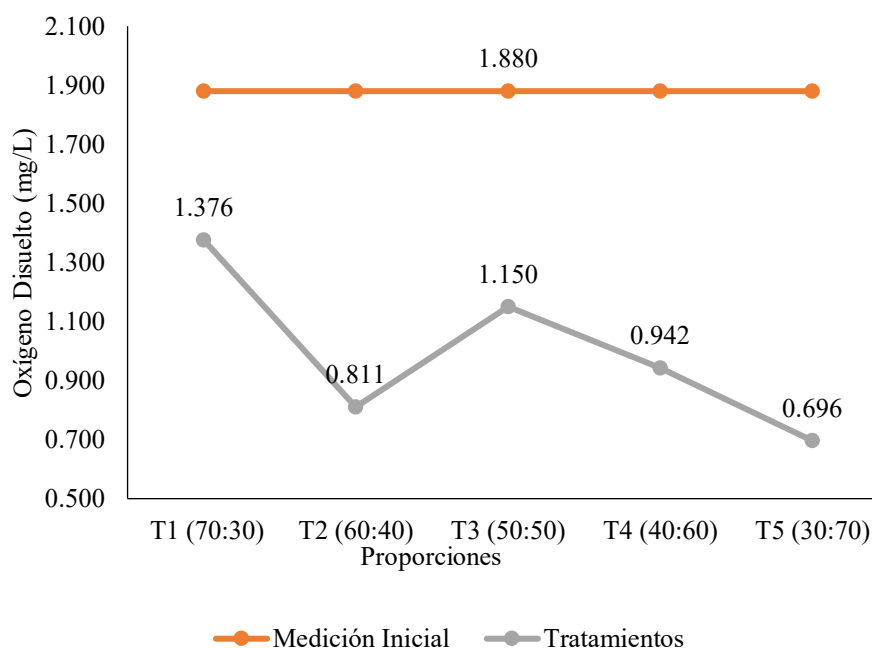
4.3.2. Variación de las propiedades fisicoquímicas del agua residual tratada



T1: Almidón de yuca (3.5 gr): polvo de semilla de Moringa (1.5 gr) [70:30], T2: Almidón de yuca (3 gr): polvo de semilla de Moringa (2 gr) [60:40], T3: Almidón de yuca (2.5 gr): polvo de semilla de Moringa (2.5 gr) [50:50], T4: Almidón de yuca (2 gr): polvo de semilla de Moringa (3 gr) [40:60], T5: Almidón de yuca (1,5 gr): polvo de semilla de Moringa (3,5 gr) [30:70].

Figura 11. Variación de la remoción de solidos suspendidos totales en los tratamientos.

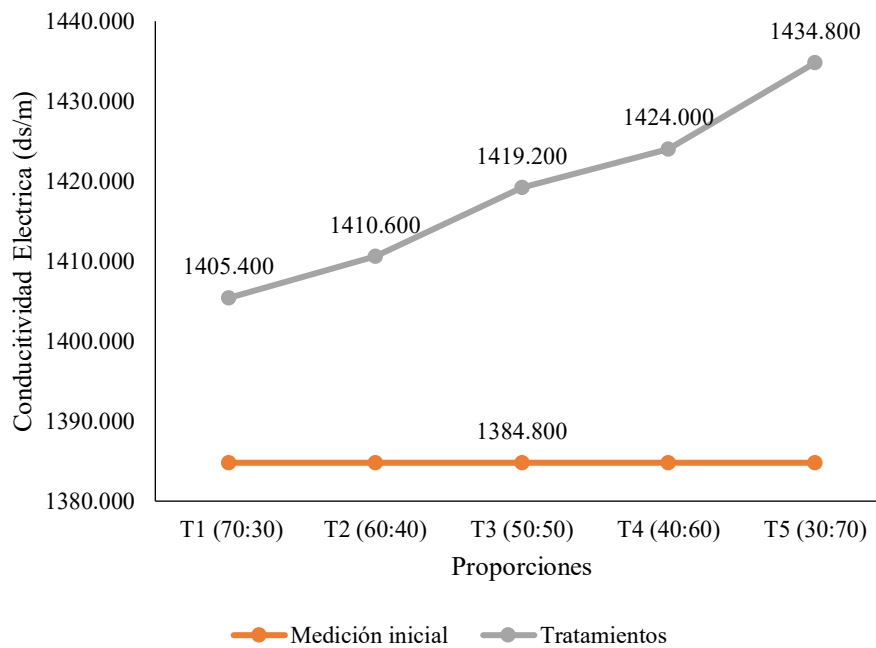
Los resultados obtenidos muestran que la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) varía según la proporción de yuca y moringa utilizada. El tratamiento T5 (30% yuca - 70% moringa) logró la mayor eficiencia de remoción con un 91.12% reduciendo la concentración de SST hasta 76.6 mg/L, mientras que el tratamiento T1 (70% yuca - 30% moringa) obtuvo la menor eficiencia con 45.17% disminuyendo la concentración hasta 473.2 mg/L. Estos resultados sugieren que la moringa, al poseer mayor concentración de proteínas y polisacáridos cargados positivamente, es más eficiente en la neutralización de las partículas coloidales responsables de la turbidez y los SST (Hernández et al., 2022). Estudios recientes en Perú han demostrado que la aplicación de coagulantes naturales en la remoción de SST es una alternativa viable y sostenible frente a los coagulantes químicos tradicionales (Flores & Castillo, 2021).



T1: Almidón de yuca (3.5 gr): polvo de semilla de Moringa (1.5 gr) [70:30], T2: Almidón de yuca (3 gr): polvo de semilla de Moringa (2 gr) [60:40], T3: Almidón de yuca (2.5 gr): polvo de semilla de Moringa (2.5 gr) [50:50], T4: Almidón de yuca (2 gr): polvo de semilla de Moringa (3 gr) [40:60], T5: Almidón de yuca (1,5 gr): polvo de semilla de Moringa (3,5 gr) [30:70].

Figura 12. Variación del oxígeno disuelto en los tratamientos.

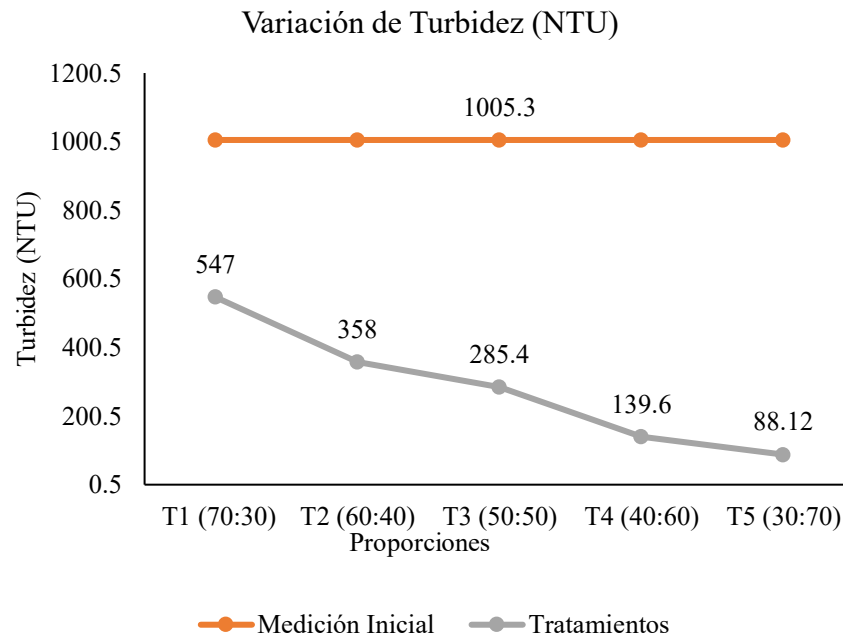
El análisis del oxígeno disuelto (OD) después del tratamiento con los distintos coagulantes naturales evidenció una tendencia a la disminución de este parámetro. Los valores iniciales del OD fueron de 1.88 mg/L, mientras que en el tratamiento T5 se obtuvo el menor valor (0.696 mg/L), lo que sugiere que el proceso de coagulo-floculación genera un incremento en la demanda de oxígeno. Investigaciones previas han indicado que esta variación se debe a la retención de materia orgánica en los flóculos formados, lo que promueve su degradación biológica posterior (Pérez et al., 2023). A nivel nacional, estudios realizados por Gutiérrez y Pérez (2023) confirman que el uso de coagulantes naturales puede generar ligeras reducciones en el oxígeno disuelto, lo que requiere de procesos complementarios de aireación en el tratamiento del agua residual.



T1: Almidón de yuca (3.5 gr): polvo de semilla de Moringa (1.5 gr) [70:30], T2: Almidón de yuca (3 gr): polvo de semilla de Moringa (2 gr) [60:40], T3: Almidón de yuca (2.5 gr): polvo de semilla de Moringa (2.5 gr) [50:50], T4: Almidón de yuca (2 gr): polvo de semilla de Moringa (3 gr) [40:60], T5: Almidón de yuca (1,5 gr): polvo de semilla de Moringa (3,5 gr) [30:70].

Figura 13. Variación de la conductividad eléctrica en los tratamientos.

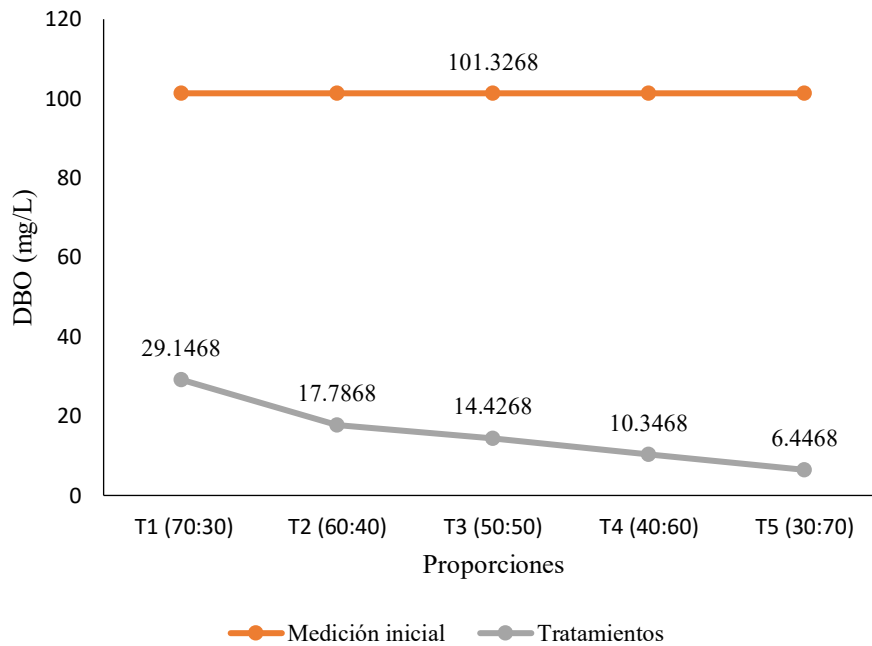
La conductividad eléctrica (CE) presentó un leve incremento en todos los tratamientos, pasando de un valor inicial de $1384.8 \mu\text{S}/\text{cm}$ a $1434.8 \mu\text{S}/\text{cm}$ en el tratamiento T5. Este aumento está relacionado con la liberación de iones de los coagulantes naturales utilizados, especialmente de la moringa, que contiene minerales disueltos (Hernández et al., 2022). La literatura científica respalda este hallazgo, indicando que los biocoagulantes pueden modificar la conductividad de las aguas tratadas debido a la liberación de metabolitos secundarios y minerales presentes en su composición (Halder, 2021). A nivel nacional, Flores y Castillo (2021) señalan que este aumento en CE no representa un riesgo significativo para el reúso del agua tratada en actividades agrícolas.



T1: Almidón de yuca (3.5 gr): polvo de semilla de Moringa (1.5 gr) [70:30], T2: Almidón de yuca (3 gr): polvo de semilla de Moringa (2 gr) [60:40], T3: Almidón de yuca (2.5 gr): polvo de semilla de Moringa (2.5 gr) [50:50], T4: Almidón de yuca (2 gr): polvo de semilla de Moringa (3 gr) [40:60], T5: Almidón de yuca (1,5 gr): polvo de semilla de Moringa (3,5 gr) [30:70].

Figura 14. Variación de la remoción de la Turbidez en los tratamientos.

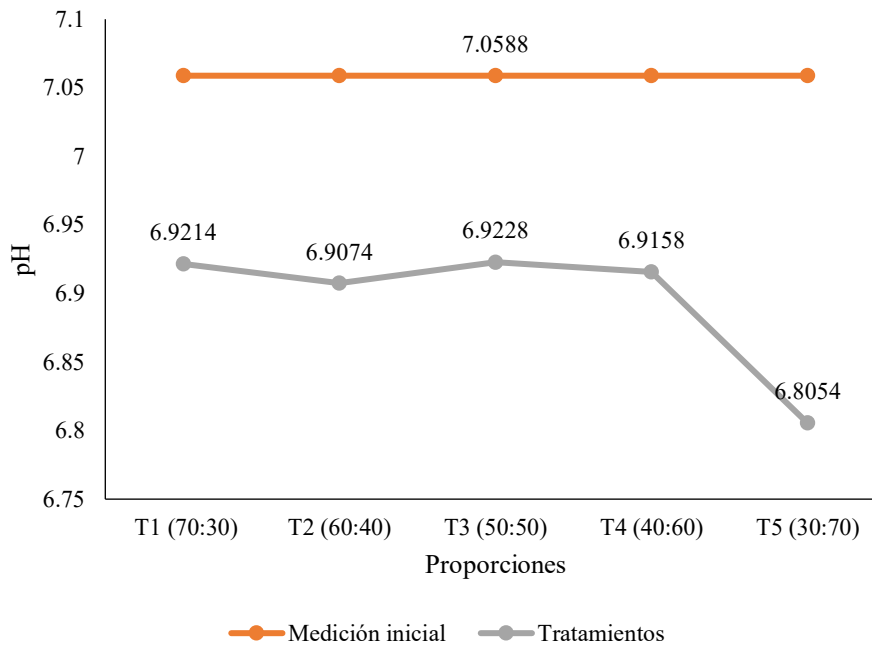
La turbidez inicial del agua residual fue de 1005.3 NTU, y después del tratamiento con T5, se logró una reducción hasta 88.12 NTU, con una eficiencia del 91.23%. El tratamiento T1, con mayor proporción de yuca, mostró la menor eficiencia (45.59%). La remoción de turbidez es un indicador clave en el tratamiento del agua, y estudios previos han demostrado que la moringa es especialmente efectiva en este proceso debido a la presencia de proteínas catiónicas que inducen la desestabilización de coloides (Pérez et al., 2023). Investigaciones recientes han reportado valores similares de eficiencia en la reducción de turbidez utilizando coagulantes vegetales, destacando la moringa como uno de los más efectivos en aguas con alta carga de sólidos en suspensión (Rodríguez et al., 2022).



T1: Almidón de yuca (3.5 gr): polvo de semilla de Moringa (1.5 gr) [70:30], T2: Almidón de yuca (3 gr): polvo de semilla de Moringa (2 gr) [60:40], T3: Almidón de yuca (2.5 gr): polvo de semilla de Moringa (2.5 gr) [50:50], T4: Almidón de yuca (2 gr): polvo de semilla de Moringa (3 gr) [40:60], T5: Almidón de yuca (1,5 gr): polvo de semilla de Moringa (3,5 gr) [30:70].

Figura 15. Variación de la demanda biológica de oxígeno en los tratamientos.

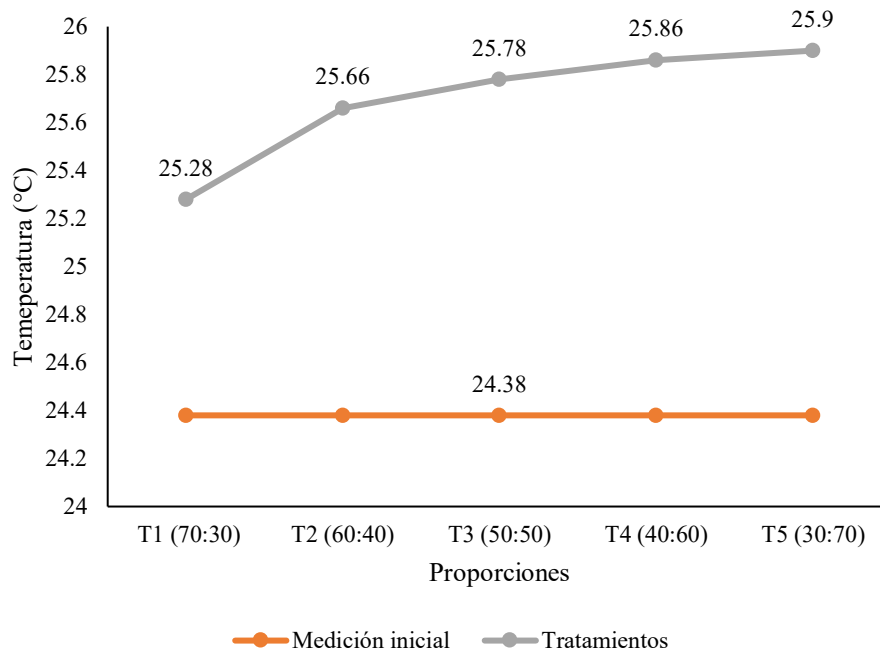
La DBO_5 , indicador de carga orgánica biodegradable, experimentó una reducción significativa en todos los tratamientos, siendo T5 el más eficiente con una remoción del 93.64%, reduciendo la concentración inicial de 86.327 mg/L a 6.4 mg/L. Estudios recientes han demostrado que los coagulantes naturales pueden remover eficientemente la materia orgánica disuelta mediante la formación de flóculos de gran tamaño que facilitan la sedimentación (Sánchez Martín et al., 2020). En el Perú, investigaciones realizadas por Flores y Castillo (2021) han confirmado que el uso de moringa permite obtener remociones de DBO_5 superiores al 90%, validando su aplicación en comunidades rurales con acceso limitado a tratamientos convencionales.



T1: Almidón de yuca (3.5 gr): polvo de semilla de Moringa (1.5 gr) [70:30], T2: Almidón de yuca (3 gr): polvo de semilla de Moringa (2 gr) [60:40], T3: Almidón de yuca (2.5 gr): polvo de semilla de Moringa (2.5 gr) [50:50], T4: Almidón de yuca (2 gr): polvo de semilla de Moringa (3 gr) [40:60], T5: Almidón de yuca (1,5 gr): polvo de semilla de Moringa (3,5 gr) [30:70].

Figura 16. Variación del pH.

El pH del agua residual tratada mostró una estabilidad relativa, con valores que oscilaron entre 6.81 y 6.92, manteniéndose dentro del rango recomendado para cuerpos de agua según la normativa ambiental vigente. Este resultado es consistente con investigaciones previas, que indican que la aplicación de coagulantes naturales no genera variaciones drásticas en el pH del agua tratada (Pritchard et al., 2020). Estudios nacionales también han confirmado que el uso de moringa y yuca como bio-coagulantes mantiene la estabilidad del pH, lo que favorece su aplicación en tratamientos de agua potable y aguas residuales (Rodríguez et al., 2022).



T1: Almidón de yuca (3.5 gr): polvo de semilla de Moringa (1.5 gr) [70:30], T2: Almidón de yuca (3 gr): polvo de semilla de Moringa (2 gr) [60:40], T3: Almidón de yuca (2.5 gr): polvo de semilla de Moringa (2.5 gr) [50:50], T4: Almidón de yuca (2 gr): polvo de semilla de Moringa (3 gr) [40:60], T5: Almidón de yuca (1,5 gr): polvo de semilla de Moringa (3,5 gr) [30:70].

Figura 17. Variación de la temperatura.

La temperatura del agua tratada experimentó un leve incremento, pasando de 24.38°C a un máximo de 25.9°C en el tratamiento T5. Este aumento puede atribuirse a la interacción de los biocoagulantes con la materia orgánica, lo que genera una ligera liberación de calor durante el proceso de desestabilización de los coloides (Halder, 2021; Villabona et al., 2020). En estudios realizados en Perú, se ha reportado que la aplicación de biocoagulantes a base de semillas y almidones naturales puede inducir cambios menores en la temperatura del agua, sin afectar significativamente la eficiencia del tratamiento (Flores & Castillo, 2021).

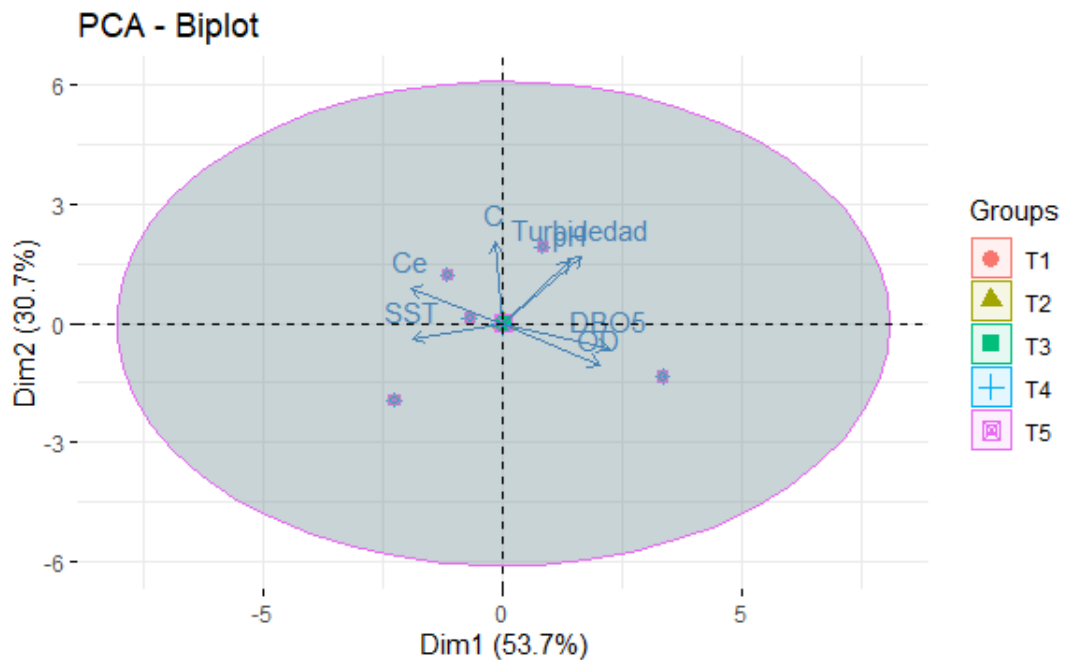
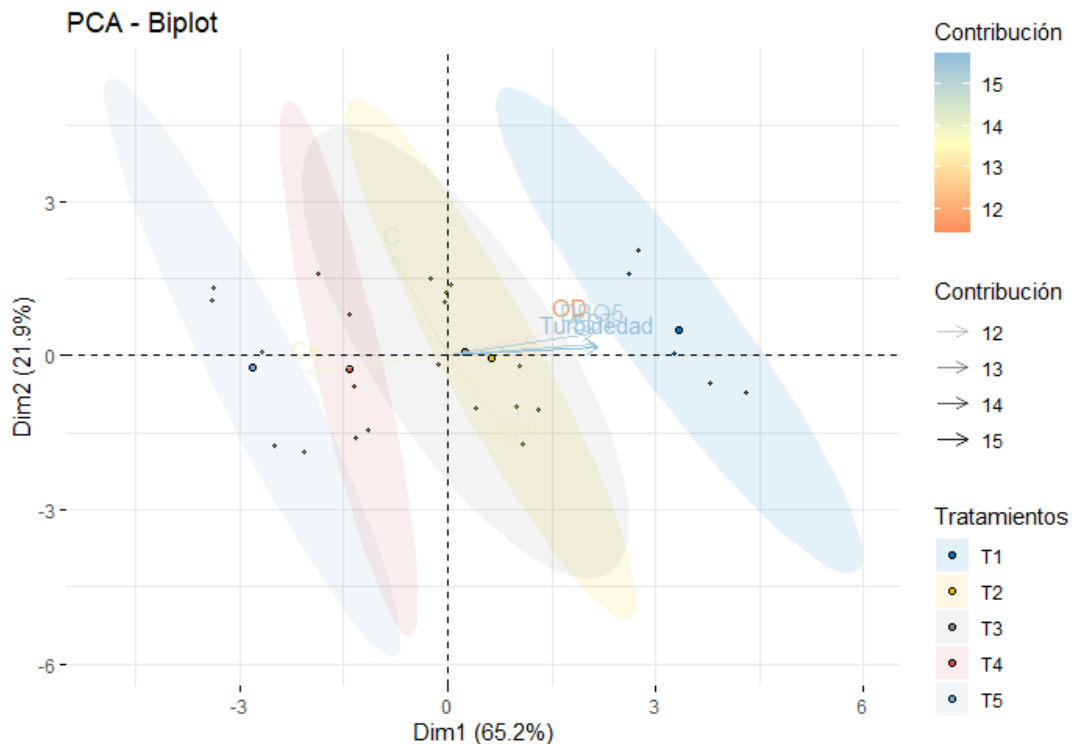


Figura 18. Análisis de componentes principales de las propiedades fisicoquímicas iniciales.

El Análisis de Componentes Principales (PCA) presentado en la Figura 18 permite visualizar la relación entre las variables fisicoquímicas iniciales del agua residual doméstica y la agrupación de los diferentes tratamientos (T1 a T5). Se observa que las dos primeras dimensiones explican el 83.7% de la variabilidad total de los datos (Dim1: 53.7%, Dim2: 30.7%), lo que indica que la mayor parte de la información sobre las propiedades fisicoquímicas iniciales se encuentra representada en este biplot.

En el PCA, la turbidez, la DBO₅ y los SST aparecen fuertemente correlacionados indicando variación similar en la caracterización del agua residual previa al tratamiento mientras que la conductividad eléctrica (CE) se orienta en sentido opuesto, sugiriendo menor relación con turbidez y SST, en concordancia con reportes que asocian mayores cargas de sólidos y materia orgánica con menor conductividad por la presencia de coloides no ionizados; en este marco, la distribución de tratamientos muestra a T5 (30% yuca–70% moringa) claramente alejado del resto, evidenciando modificaciones significativas de las propiedades fisicoquímicas, en contraste con T1 y T2 con mayor proporción de yuca que permanecen próximos a la posición inicial de las variables, reflejando menor capacidad de transformación; en conjunto, los tratamientos con más moringa (T4 y T5) exhiben mejor separación por su mayor reducción de contaminantes, respaldando la superioridad de la moringa como coagulante natural para optimizar el tratamiento de aguas residuales domésticas (Rodríguez et al., 2022).



T1: Almidón de yuca (3.5 gr): polvo de semilla de Moringa (1.5 gr) [70:30], T2: Almidón de yuca (3 gr): polvo de semilla de Moringa (2 gr) [60:40], T3: Almidón de yuca (2.5 gr): polvo de semilla de Moringa (2.5 gr) [50:50], T4: Almidón de yuca (2 gr): polvo de semilla de Moringa (3 gr) [40:60], T5: Almidón de yuca (1,5 gr): polvo de semilla de Moringa (3,5 gr) [30:70].

Figura 19. Análisis de componentes principales de las propiedades fisicoquímicas postratamiento.

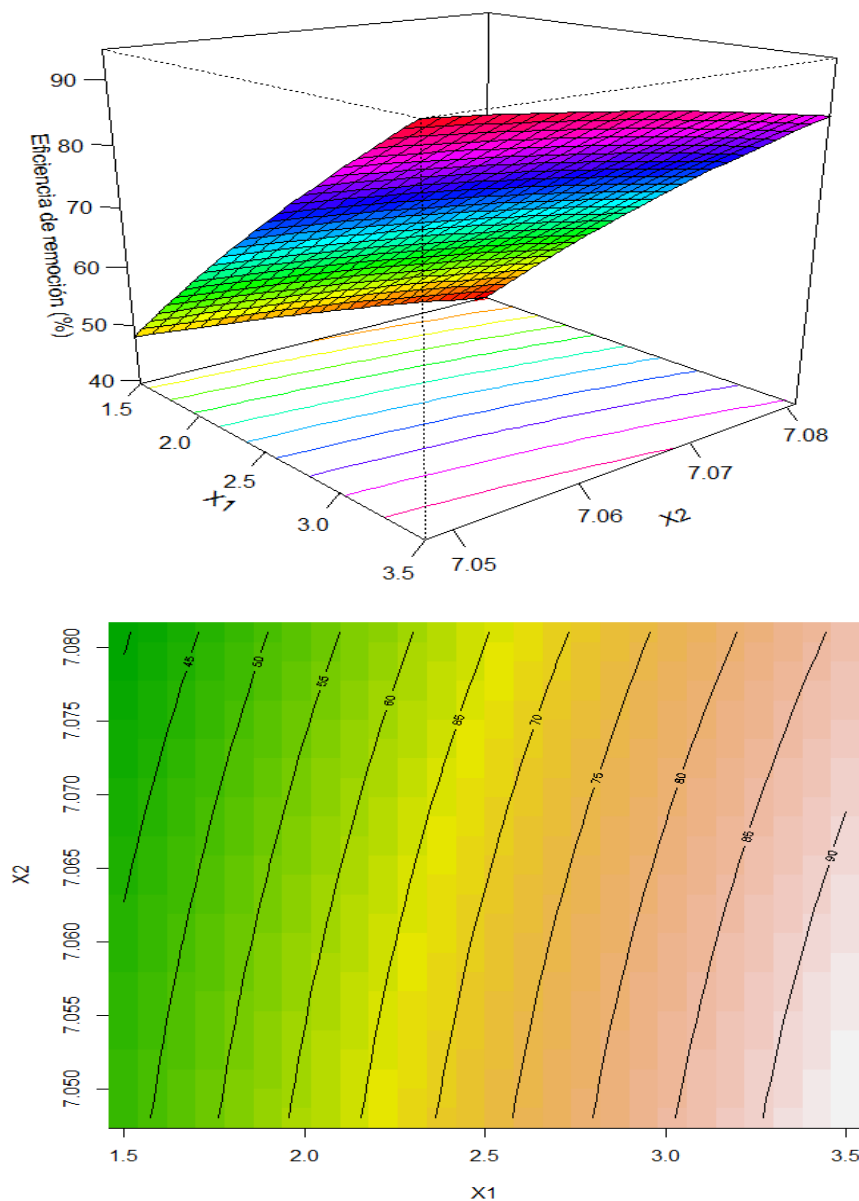
El Análisis de Componentes Principales (PCA) de la figura 19 muestra la distribución de los tratamientos T1–T5 según su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas del agua tratada; Dim1 explica el 65.2% y Dim2 el 21.9% de la variabilidad, representando en conjunto el 87.1% y permitiendo diferenciar claramente los tratamientos. En el biplot, DBO₅ y turbidez se agrupan y apuntan en la misma dirección, evidenciando correlación positiva entre ambos indicadores. Asimismo, las regiones coloreadas revelan una separación marcada entre T1 y T5, indicando que el incremento de moringa en la mezcla coagulante potencia los cambios en la calidad del agua. Este comportamiento se atribuye a compuestos bioactivos de la moringa que favorecen la remoción de materia orgánica y sólidos en suspensión (Pérez et al., 2023).

El tratamiento T5 (30% yuca – 70% moringa) aparece bien diferenciado y distante del resto, lo que confirma su mayor impacto en la reducción de turbidez y DBO₅ y lo reafirma como el más eficiente; en contraste, T1 y T2 con mayores proporciones de almidón de yuca se agrupan cerca del origen, sugiriendo un efecto limitado sobre los parámetros fisicoquímicos. Esta pauta coincide con evidencia nacional que atribuye a la moringa un efecto coagulante superior por su

alta concentración de proteínas con carga positiva, capaces de neutralizar coloides y promover flóculos más densos. En conjunto, el PCA muestra una separación clara entre tratamientos: aquellos con mayor proporción de moringa (T4 y T5) alcanzan mayor remoción de contaminantes, mientras que los ricos en almidón de yuca (T1 y T2) exhiben impactos menores, validando el empleo de coagulantes naturales como alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas (Flores & Castillo, 2021).

4.3.3. Eficiencia de remoción de las propiedades fisicoquímicas del agua

4.3.3.1. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

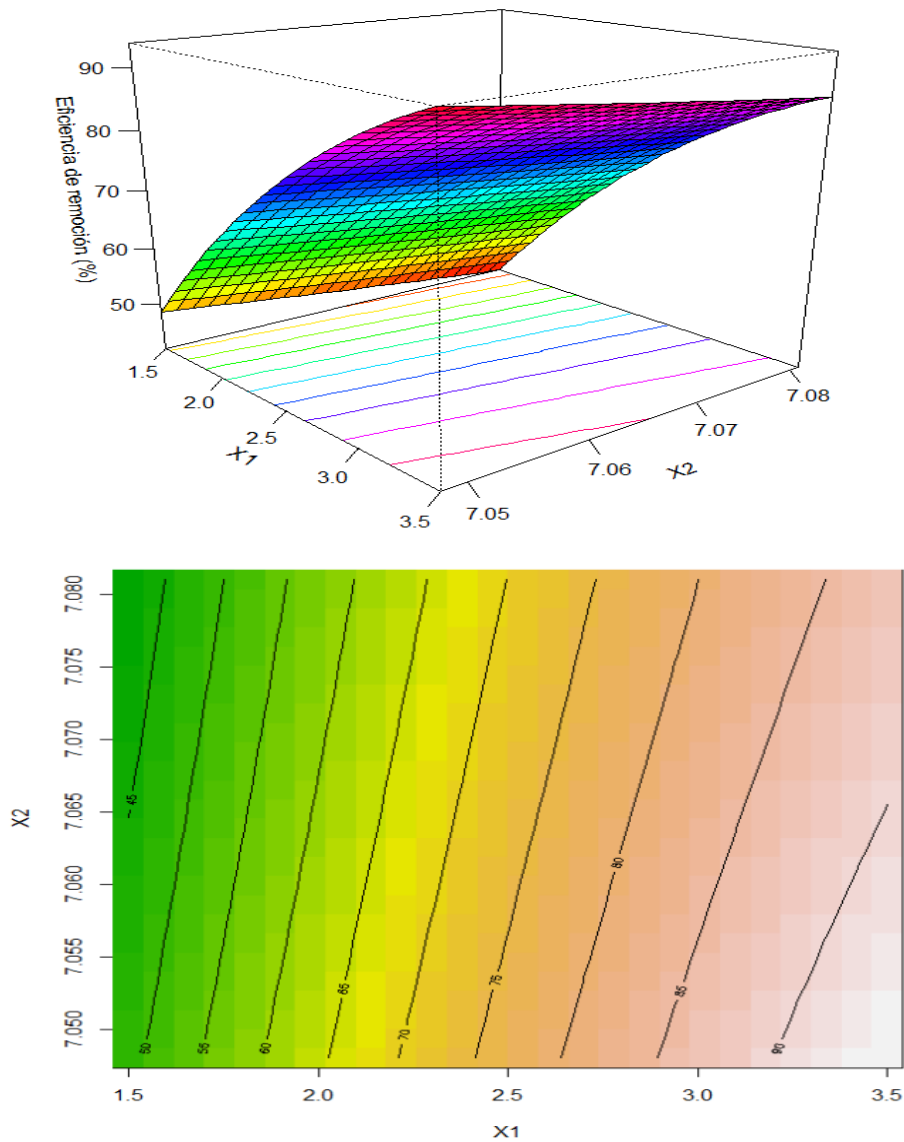


[X1]: Concentración de Moringa [X2]: Valores de pH

Figura 20. Análisis de superficie de respuesta para el parámetro de pH.

La figura 20 muestra un gráfico tridimensional que representa la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en función de la concentración de moringa y el pH del agua tratada. Se observa una tendencia ascendente, lo que indica que la eficiencia de remoción aumenta a medida que la concentración de moringa incrementa. La superficie de respuesta sugiere que el uso de mayores proporciones de moringa mejora la formación de flóculos y su posterior sedimentación, optimizando la eliminación de partículas en suspensión. Este resultado es consistente con estudios previos que han demostrado que la moringa tiene un alto contenido de proteínas con carga positiva, lo que favorece la neutralización de cargas y la formación de flóculos más estables (Gómez et al., 2021).

4.3.3.2. Turbiedad

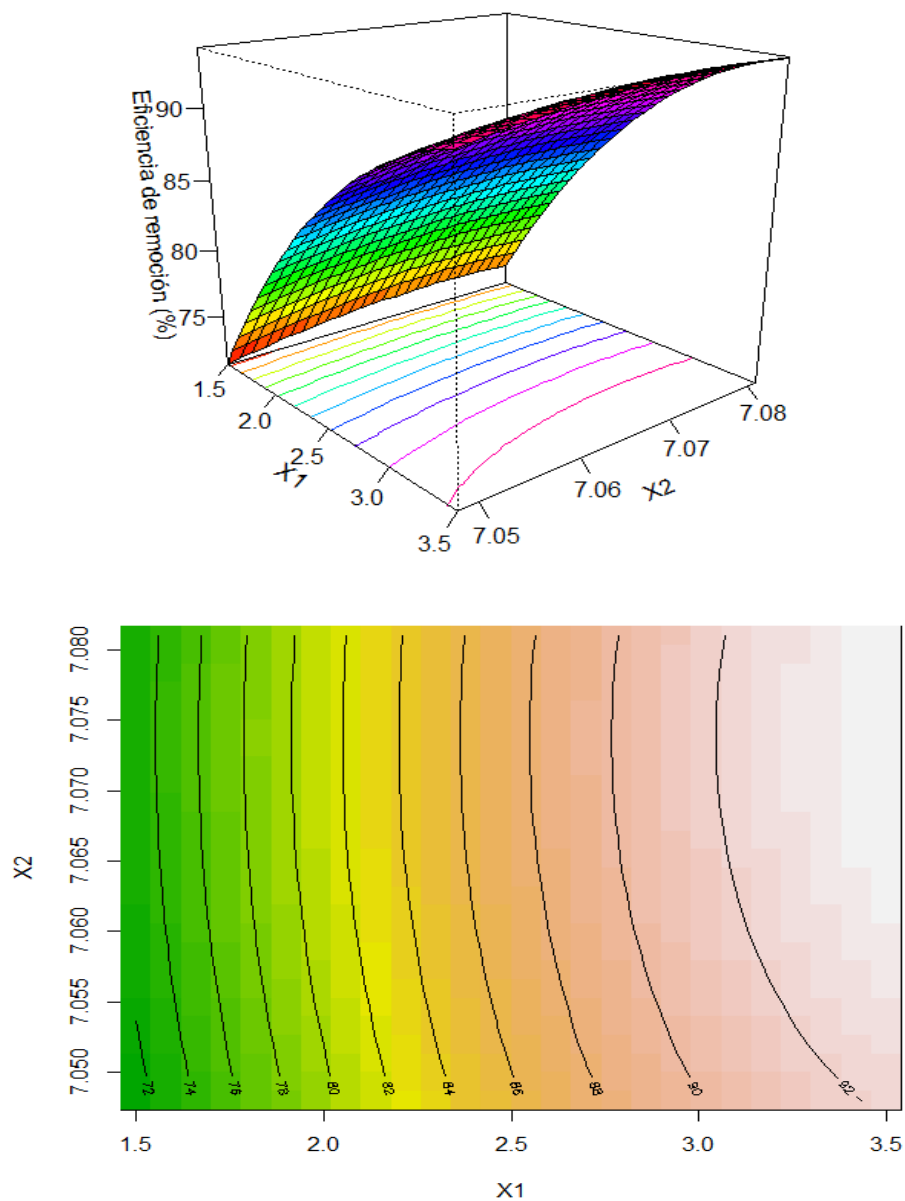


[X1]: Concentración de Moringa [X2]: Valores de pH

Figura 21. Análisis de superficie de respuesta para el parámetro de Turbiedad.

La figura 21 representa el análisis de superficie de respuesta para la eficiencia de remoción de turbidez. En este gráfico tridimensional se observa que la turbidez disminuye significativamente cuando la concentración de moringa en la mezcla coagulante aumenta. La moringa se ha demostrado como un agente altamente eficaz para la reducción de turbidez debido a su capacidad de adsorción y coagulación de partículas coloidales en suspensión (Pérez et al., 2023). El valor del gráfico confirma que, en las regiones con mayor concentración de moringa, se alcanzan valores óptimos de remoción de turbidez, superando el 90% de eficiencia.

4.3.3.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)



[X1]: Concentración de Moringa [X2]: Valores de DBO₅

Figura 22. Análisis de superficie de respuesta de DBO₅.

La figura 22 ilustra la eficiencia de remoción de demanda biológica de oxígeno (DBO_5) en función de la concentración de moringa y del pH del agua tratada. Se observa que la remoción de DBO_5 es más eficiente cuando se emplean mayores concentraciones de moringa, lo que sugiere que estos biocoagulantes no solo mejora la sedimentación de partículas, sino que también contribuye a la eliminación de materia orgánica disuelta. La reducción de DBO_5 es un indicador clave en el tratamiento de aguas residuales, ya que su disminución implica una menor carga de materia orgánica biodegradable y una menor demanda de oxígeno en cuerpos de agua receptores (Villabona et al., 2020).

Los análisis de superficie de respuesta de las Figuras 20, 21 y 22 confirman que la concentración de moringa y la optimización del pH desempeñan un papel determinante en la eficiencia de remoción de SST, turbidez y DBO_5 . Se evidencia que los tratamientos con mayor proporción de moringa presentan un desempeño superior en la clarificación del agua residual, debido a la alta capacidad de coagulación y floculación de estos biocoagulantes. Los hallazgos respaldan la implementación de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales domésticas, proporcionando una alternativa sostenible y de bajo impacto ambiental para mejorar la calidad del agua tratada en comunidades con acceso restringido a sistemas de tratamiento convencionales (Flores & Castillo, 2021).

Tabla 11. Eficiencia de remoción de DBO_5 , SST y Turbidez.

Tratamiento	Eficiencia de Remoción (%)		
	SST	Turbidez	DBO_5
T1	45.17	45.59	71.23
T2	60.74	64.39	82.45
T3	66.79	71.61	85.76
T4	85.33	86.11	89.79
T5	91.12	91.23	93.64

La Tabla 11 presenta la eficiencia de remoción de DBO_5 , SST y turbidez para cinco tratamientos (T1 a T5), evidenciando una mejora progresiva en la remoción de contaminantes conforme aumenta la proporción de coagulante-floculante. El tratamiento T5 mostró la mayor eficiencia, alcanzando 91.12% en SST, 91.23% en turbidez y 93.64% en DBO_5 , mientras que T1 presentó los valores más bajos con 45.17%, 45.59% y 71.23%, respectivamente. Se observa una clara tendencia de incremento en la eficiencia desde T1 hasta T5, lo que sugiere que las proporciones utilizadas en cada tratamiento influyen significativamente en la reducción de

contaminantes. Además, la remoción de DBO_5 fue superior en comparación con SST y turbidez, lo que indica que los tratamientos favorecen la eliminación de materia orgánica biodegradable. En general, los resultados confirman que T5 es el tratamiento más eficiente, logrando una reducción superior al 90% en todos los parámetros evaluados, lo que resalta su potencial en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

V. CONCLUSIÓN

Los análisis fisicoquímicos mostraron que la moringa posee mayor contenido de compuestos activos con propiedades coagulantes, formando flóculos más densos y sedimentables. La yuca evidenció capacidad limitada de coagulación; sin embargo, su combinación con moringa optimizó la clarificación del agua.

El diagnóstico inicial evidenció alta carga contaminante. Tras la aplicación de los coagulantes naturales, dichos valores se redujeron de forma significativa, mejorando la calidad del efluente tratado y haciéndolo más apto para su disposición o reutilización.

La eficiencia de remoción se relacionó directamente con la concentración de moringa en la mezcla coagulante, observándose mejores resultados a mayor proporción de este componente.

La combinación de almidón de yuca y polvo de semilla de moringa tuvo un impacto significativo en la remoción de contaminantes del agua residual doméstica; los tratamientos con mayor proporción de moringa alcanzaron las mejores eficiencias globales.

VI. PROPUESTA A FUTURO

Se recomienda realizar pruebas piloto en comunidades con acceso limitado a sistemas de tratamiento de aguas residuales, evaluando la factibilidad técnica y económica de su implementación a mayor escala.

Es necesario evaluar la vida útil de los coagulantes extraídos de yuca y moringa, así como los métodos de almacenamiento óptimos para garantizar su efectividad a largo plazo.

Se plantea la posibilidad de realizar estudios sobre la aceptación social del uso de estos coagulantes en comunidades rurales y urbanas, así como su impacto ambiental en comparación con los productos químicos convencionales.

Se recomienda la creación de modelos predictivos que permitan estimar la eficiencia del proceso de coagulación-floculación en función de variables como la turbidez, el pH y la concentración del coagulante.

Es pertinente evaluar la eficiencia de estos coagulantes naturales frente a tecnologías emergentes como la electrocoagulación, el uso de nanopartículas y la filtración por membranas.

Se recomienda realizar un análisis económico detallado para determinar la viabilidad de sustituir coagulantes sintéticos por opciones naturales, considerando aspectos como la producción, transporte y almacenamiento.

Se plantea la posibilidad de estudiar métodos para recuperar y reutilizar los coagulantes después del proceso de tratamiento, minimizando el impacto ambiental y reduciendo costos operativos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazurto, C. (2016). *Propuesta de Diseño de un sistema modular de tratamiento de ARD, con Aireación Extendida en Cuerpo de Relleno con Oxígeno (PSA)* [Universidad de Guayaquil]. <https://core.ac.uk/download/pdf/486920920.pdf>
- Bernabé, E. (2021). *Características morfológicas de la Moringa oleífera Lam en la fase de prendimiento post trasplante en Río Verde, Santa Elena*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6383>
- Cardona, J., & García, L. (2008). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS MICROORGANISMOS EFICACES (EM®) SOBRE LA CALIDAD DE UN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA*.
- Cevallos, N., Burgos, G., & Mosquera, A. (2022). *Evaluation of the efficacy of synthetic and natural coagulants in the treatment of wastewater generated in the production of fishmeal*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6993155>
- Delegido, J., Urrego, P., Vicente, E., Sória, X., Soria, J. M., Pereira, M., Ruiz, A., Peña, R., & Moreno, J. (2019). Turbidity and secchi disc depth with sentinel-2 in different trophic status reservoirs at the comunidad Valenciana. *Revista de teledetección*, 2019(54), 15–24. <https://doi.org/10.4995/raet.2019.12603>
- Durán Castro, D. E. (2021). Evaluación del efecto de penca de tuna (*Opuntia ficus indica*) y semilla de moringa (*Moringa oleífera*) como coagulantes naturales para disminuir la turbidez del agua en el reservorio de la JASS del Centro Poblado de Vichaycoto, Huánuco. Tesis de licenciatura, Universidad de Huánuco. Repositorio Institucional de la Universidad de Huánuco. <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2949>
- Flores, R., & Castillo, M. (2021). Aplicación de coagulantes naturales en la remoción de turbidez en comunidades rurales del Perú. *Revista Peruana de Ingeniería Ambiental*, 17(2), 45-62.
- Gómez, C., Martínez, L., & Torres, P. (2021). Eficiencia de la Moringa oleífera en la reducción de turbidez y DBO en aguas residuales domésticas. *Revista Latinoamericana de Tecnología Ambiental*, 9(1), 30-48.
- Guerrero, M. (2010). *El agua*. FCE - Fondo de Cultura Económica. https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=Ommmv6A0e_sC&oi=fnd&pg=PT3

&dq=el+agua&ots=QbEA66V5c8&sig=YTQnHDjTbAP5gV4pwlhOViofmW0&redir_e
sc=y#v=onepage&q=el agua&f=false

Halder, A. (2021). BIO-COAGULANTS, A SUBSTITUTE OF CHEMICAL COAGULANTS. *Journal of Advanced Scientific Research*, 12(04 Suppl 1), 58–67. <https://doi.org/10.55218/JASR.S1202112406>

Hariz, A., Syamimi Z, N., Muda, K., & Wai, L. (2018). Effectiveness of Natural Coagulant in Coagulation Process: A Review. In *International Journal of Engineering & Technology* (Vol. 7, Issue 3). www.sciencepubco.com/index.php/IJET

Hernández, J., Salazar, P., & López, D. (2022). Evaluación de biocoagulantes en el tratamiento de aguas residuales: Un enfoque sostenible. *Revista de Ciencias Ambientales*, 15(3), 112-130.

Hernández, L. (2014). *Manejo Integrado del cultivo de la Yuca (Manihot esculenta)*. <https://www.slideshare.net/libardoflorez/manejo-integrado-del-cultivo-de-la-yuca-en-el-caribe-colombiano>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. In *Ratio Formationis prenoviciado* (Vol. 6, pp. 79–84). Ediciones USTA. <https://doi.org/10.2307/j.ctvr43hvc.8>

Inga, H., & López, J. (2001). *DIVERSIDAD DE YUCA (Manihot esculenta Crantz)*.

Jesús, E., & Mercedes, A. (2019). *USO DE SEMILLAS DE MORINGA (MORINGA OLEÍFERA) COMO FLOCULANTE NATURAL PARA LA PURIFICACIÓN DE AGUAS CRUDAS DE RIO NEGRO, RIO DE ORO Y QUEBRADA FLORIDABLANCA, SANTANDER*.

Liñán, F. (2010). Moringa oleífera el árbol de la nutrición. In *Ciencia y Salud Virtual*, ISSN-e 2145-5333, Vol. 2, N.º. 1, 2010 (Ejemplar dedicado a: Revista Ciencia y Salud Virtual), págs. 130-138 (Vol. 2, Issue 1). Corporación Universitaria Rafael Núñez. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6635304>

Moreno Botella, R. (2021). *Los coloides* (CSIC, Ed.). https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TjA4EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=que+es+un+coloide&ots=UPicjIhZ1w&sig=FR_VrjmcP7pixCPqCOINcSoHdvY#v=onepage&q=que es un coloide&f=false

- Pérez, L., Gómez, R., & Vásquez, E. (2023). Optimización del uso de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales mediante análisis de superficie de respuesta. *Ingeniería y Ambiente*, 20(4), 75-93.
- Pritchard, M., Mkandawire, T., Edmondson, A., O'Neill, J. G., & Kululanga, G. (2009). Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34(13–16), 799–805. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.07.001>
- Rivera Huanay, R. H. (2017). Eficiencia de coagulante natural obtenidos de yuca (Manihot Esculenta) y plátano (Musa Paradisiaca) para remover turbidez y Escherichia Coli del riachuelo Santa Perené Chanchamayo 2017. *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3594>
- Rodríguez, D., Fernández, M., & Pacheco, A. (2022). Comparación del almidón de yuca y la semilla de moringa en la reducción de contaminantes en aguas domésticas. *Revista Andina de Ingeniería y Tecnología*, 11(1), 59-78.
- Salas, G. (2016). *Contaminación del agua* (Vol. 2). www.ecorfan.org/spain
- Salehizadeh, H., Yan, N., & Farnood, R. (2018). Recent advances in polysaccharide bio-based flocculants. In *Biotechnology Advances* (Vol. 36, Issue 1, pp. 92–119). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.10.002>
- Sánchez-Martín, J., Mendoza, H., & Vargas, C. (2020). Uso de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales: Estado del arte y tendencias actuales. *Ciencia y Tecnología del Agua*, 25(2), 140-160.
- Šćiban, M., Klačnja, M., Antov, M., & Škrbić, B. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, 100(24), 6639–6643. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>
- Silva, M. (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias*.
- Somani, S. B., Ingole, N. W., & Patil, S. S. (2011). PERFORMANCE EVALUATION OF NATURAL HERBS FOR ANTIBACTERIAL ACTIVITY IN WATER PURIFICATION. *Internacional Journal of Engineering Science and Technology*, 9, 2–3.

- Suárez, L., & Meredos, V. (2011). APUNTES SOBRE EL CULTIVO DE LA YUCA (*Manihot esculenta* Crantz). TENDENCIAS ACTUALES. *Cultivos Tropicales*, 32(3), 27–35. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362011000300004
- Vargas, M. (2016). *Validación del método de ensayo de sólidos totales suspendidos en matriz de agua residual y cruda en el laboratorio central de la Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento (EPSAS)*. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/8767>
- Villabona, A., Tejada, C. N., & Ortega, R. (2020). Comparative study of the use of starch from agro-industrial materials in the coagulation-flocculation process. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(2), 593–601. <https://doi.org/10.24275/rmiq/IA740>
- Villabona, M., López, J., & Ramírez, G. (2020). Eficiencia del biocoagulante de Moringa oleífera en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos. *Revista de Innovación y Desarrollo Tecnológico*, 8(2), 99-115.

VIII. ANEXO

ANEXO 1. Cuadro de datos de la caracterización del agua residual domestica proveniente del AA. HH Brisas del Huallaga

MEDICION	PARÁMETROS						
	pH	Temperatura (°C)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (ds/m)	Turbidez (NTU)	DBO ₅ (mg/L)
R1	7.081	24.3	844	1.950	1377.000	1010	94.990
R2	7.058	24.5	837	1.880	1387.000	1017	87.990
R3	7.057	24.3	871	1.870	1388.000	1006	84.515
R4	7.048	24.3	877	1.850	1387.000	988	83.307
R5	7.050	24.5	886	1.850	1385.000	1006	80.832
PROMEDIO	7.059	24.38	863	1.880	1384.800	1005.300	86.327

ANEXO 2. Cuadro datos de la evaluación de las diferentes proporciones de yuca y moringa como coagulante-floculante

PROPORCIONES		PARÁMETROS						
		pH	Temperatura (°C)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (ds/m)	Turbidez (NTU)	DBO ₅
T1 (70:30) 3.5:1.5 gramos	R1	7.061	24.4	539	1.357	1404.000	674	28.890
	R2	7.051	24.8	419	1.373	1403.000	589	30.490
	R3	6.974	25.1	475	1.380	1409.000	534	28.715

PROPORCIONES		PARÁMETROS						
		pH	Temperatura (°C)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (ds/m)	Turbidez (NTU)	DBO ₅
	R4	6.776	26.8	453	1.396	1407.000	492	31.107
	R5	6.745	25.3	480	1.375	1404.000	446	26.532
	PROMEDIO	6.921	25.280	473.200	1.376	1405.400	547	29.147
T2 (60:40) 3.0:2.0 gramos	R1	7.062	24.3	342	0.823	1415.000	354	20.690
	R2	7.022	24.7	352	0.789	1408.000	351	17.290
	R3	6.941	25.1	357	0.840	1409.000	404	19.915
	R4	6.756	27	318	0.778	1410.000	338	14.507
	R5	6.756	27.2	325	0.823	1411.000	343	16.532
	PROMEDIO	6.907	25.660	338.800	0.811	1410.600	358	17.787
T3 (50:50) 2.5:2.5 gramos	R1	7.034	24.4	458	1.123	1418.000	402	13.390
	R2	7.002	24.7	273	1.115	1416.000	274	12.590
	R3	6.903	25.3	218	1.162	1423.000	230	14.815
	R4	6.750	27.2	228	1.170	1419.000	241	16.407
	R5	6.925	27.3	256	1.180	1420.000	280	14.932

PROPORCIONES		PARÁMETROS						
		pH	Temperatura (°C)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (ds/m)	Turbidez (NTU)	DBO ₅
PROMEDIO		6.923	25.780	286.600	1.150	1419.200	285	14.427
T4 (40:60) 2.0:3.0 gramos	R1	7.035	24.5	101	0.926	1426.000	113	10.390
	R2	6.982	24.7	144	0.934	1428.000	152	11.190
	R3	6.908	25.3	129	0.933	1421.000	141	8.615
	R4	6.729	27.3	133	0.946	1423.000	149	10.707
	R5	6.925	27.5	126	0.972	1422.000	143	10.832
PROMEDIO		6.916	25.860	126.600	0.942	1424.000	140	10.347
T5 (30:70) 1.5:3.5 gramos	R1	7.007	24.5	89	0.686	1432.000	111	7.090
	R2	6.951	24.9	75	0.663	1435.000	83.1	4.790
	R3	6.697	25.3	71	0.702	1428.000	84.2	6.215
	R4	6.696	27.2	73	0.721	1443.000	81.3	8.907
	R5	6.676	27.6	75	0.709	1436.000	81	5.232
PROMEDIO		6.805	25.900	76.6	0.696	1434.800	88.120	6.447

ANEXO 3. Conformidad de espécimen vegetales.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
 Facultad de Recursos Naturales Renovables
 Departamento Académico de Ciencias Ambientales
 Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
 Cátedra de Ecología y Sistemática Vegetal

C-004-2024-JB-FRNR-UNAS

CERTIFICADO

El que suscribe, profesor de Ecología con línea de investigación en Sistemática Vegetal, de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, certifica que los especímenes botánicos de “moringa” colectados en Juanjuí, distrito Juanjuí, provincia Mariscal Cáceres, departamento San Martín, y los especímenes botánicos de “yuca” colectados en Tingo María, distrito Rupa Rupa, Provincia Leoncio Prado, departamento Huánuco, presentado por el Bach. Dan Jarod FIGUEROA VALERIANO, para su determinación pertenecen a las especies que se indican a continuación:

Nº	Nombre Científico	Familia	Nombre Común
1	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Euphorbiaceae	Yuca
2	<i>Moringa oleifera</i> Lam.	Moringaceae	Moringa

Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Tingo María, 29 de abril del 2024



Dr. Edilberto Chuquilín Bustamante
 Profesor Principal
 Jefe del Jardín Botánico-UNAS
 Cátedra de Ecología y Sistemática Vegetal
 Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
 Facultad de Recursos Naturales Renovables
 Universidad Nacional Agraria de la Selva

ANEXO 4. Panel fotográfico**Figura 23.** Pelado de semillas de *Moringa Oleifera***Figura 24.** Triturado de semilla de *Moringa Oleifera*



Figura 25. Secado en Estufa de semilla de moringa triturada a 110°C

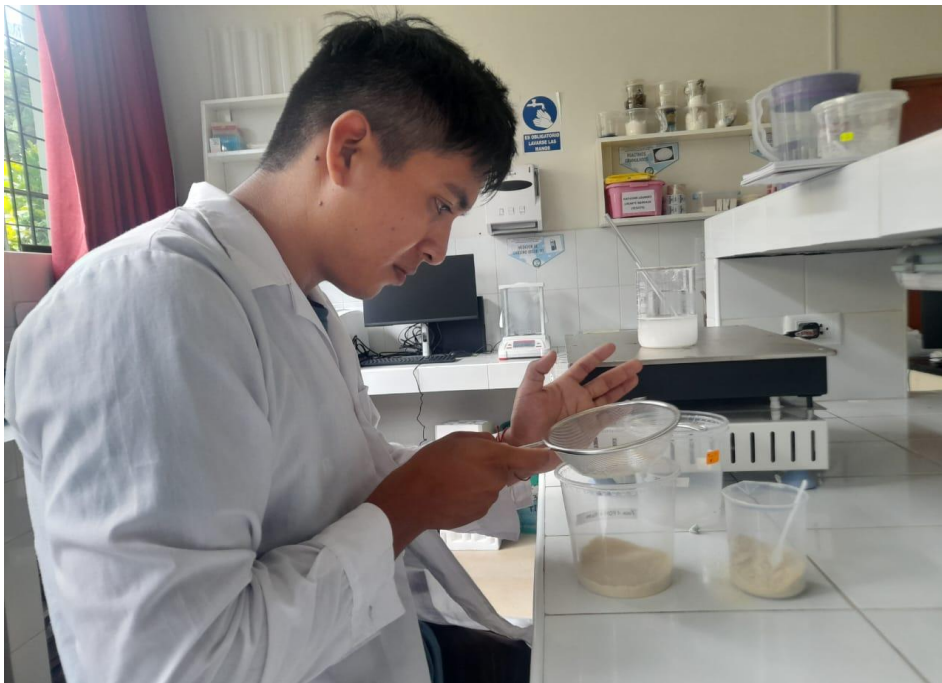


Figura 26. Tamizado de semilla de moringa triturada y secada



Figura 27. Maceración de semilla de moringa en Etanol



Figura 28. Filtrado de semilla de moringa para la extracción de aceites



Figura 29. Separación de aceite y Etanol en pera decantadora



Figura 30. Extracción de almidón de yuca



Figura 31. Secado en estufa del almidón de yuca



Figura 32. Pesado del polvo de semilla de moringa y almidón de yuca



Figura 33. Polvo de semilla de moringa y almidón de yuca en diferentes proporciones



Figura 34. Pesado de polvo de semilla de moringa y almidón de yuca en proporción 40:60



Figura 35. Recolección de agua residual doméstica en el punto 1



Figura 36. Recolección de agua residual doméstica en el punto 2



Figura 37. Recolección de agua residual doméstica en el punto 3



Figura 38. Caracterización del agua residual domestica del AA. HH Brisas del Huallaga

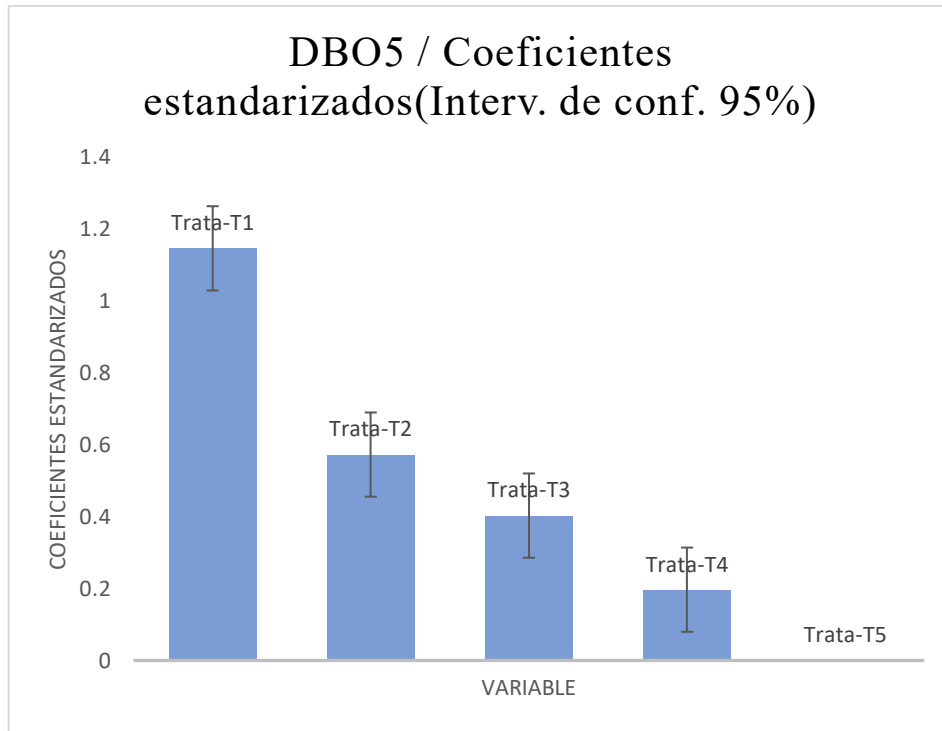


Figura 39. Gráfico de coeficientes estandarizados del parámetro DBO₅.

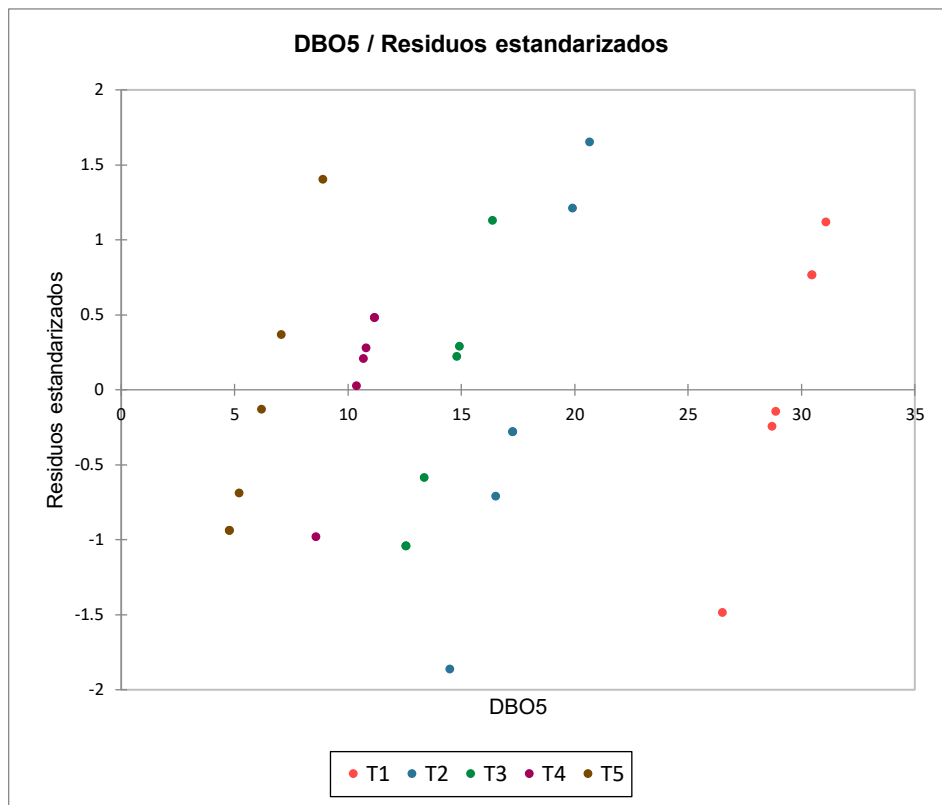


Figura 40. Gráfico de residuos estandarizados DBO₅

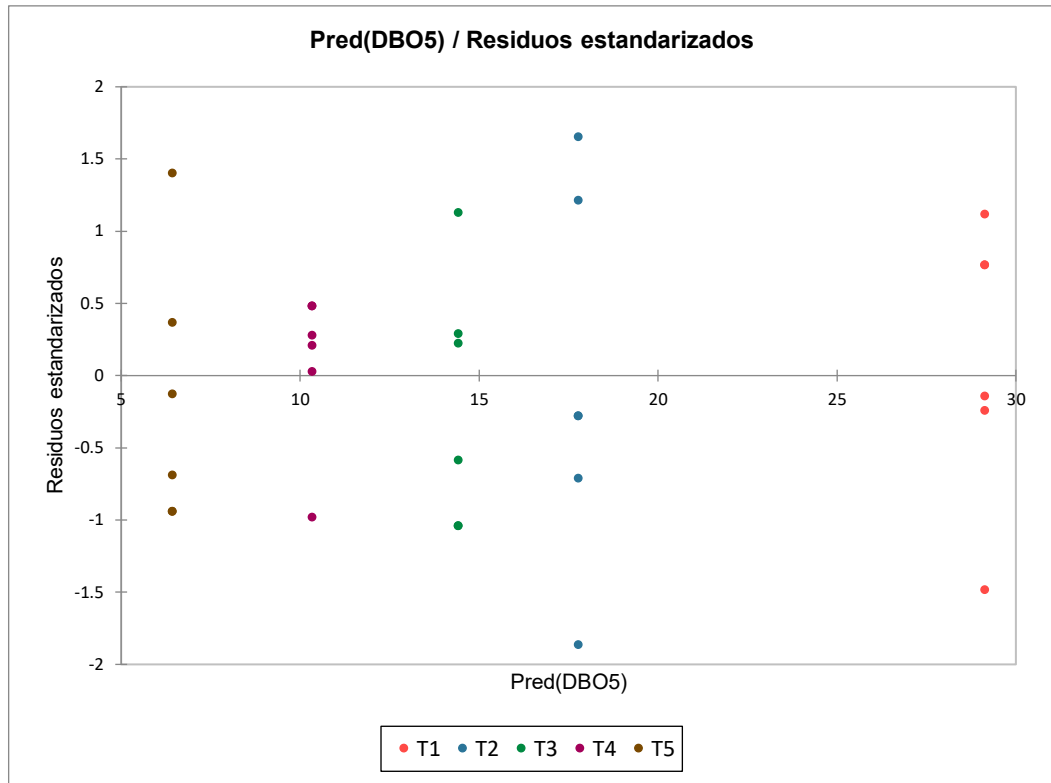


Figura 41. Gráfico de residuos estandarizados DBO₅

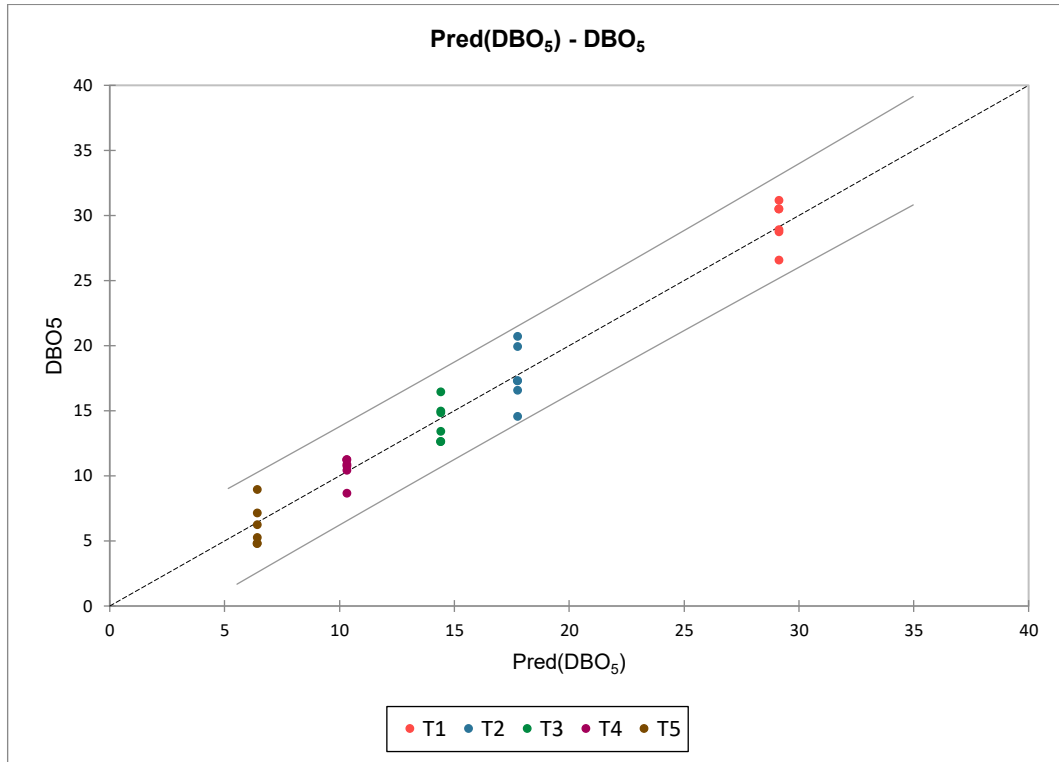


Figura 42. Gráfico de residuos estandarizados DBO₅

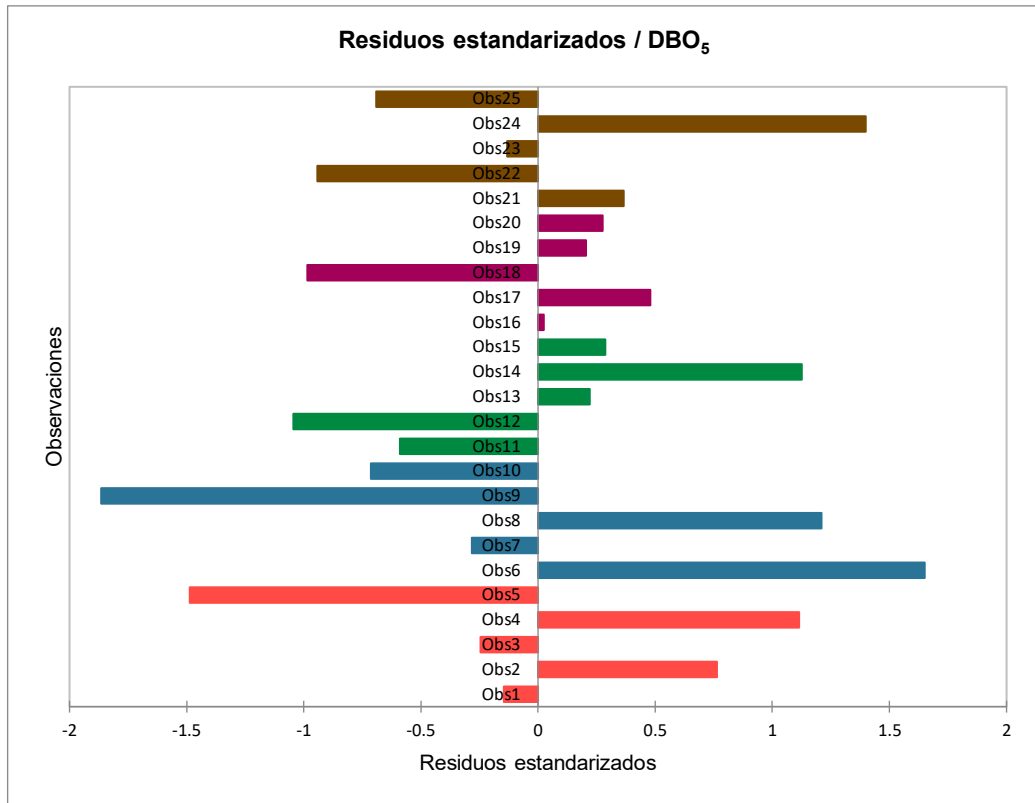


Figura 43. Gráfico de residuos estandarizados DBO₅

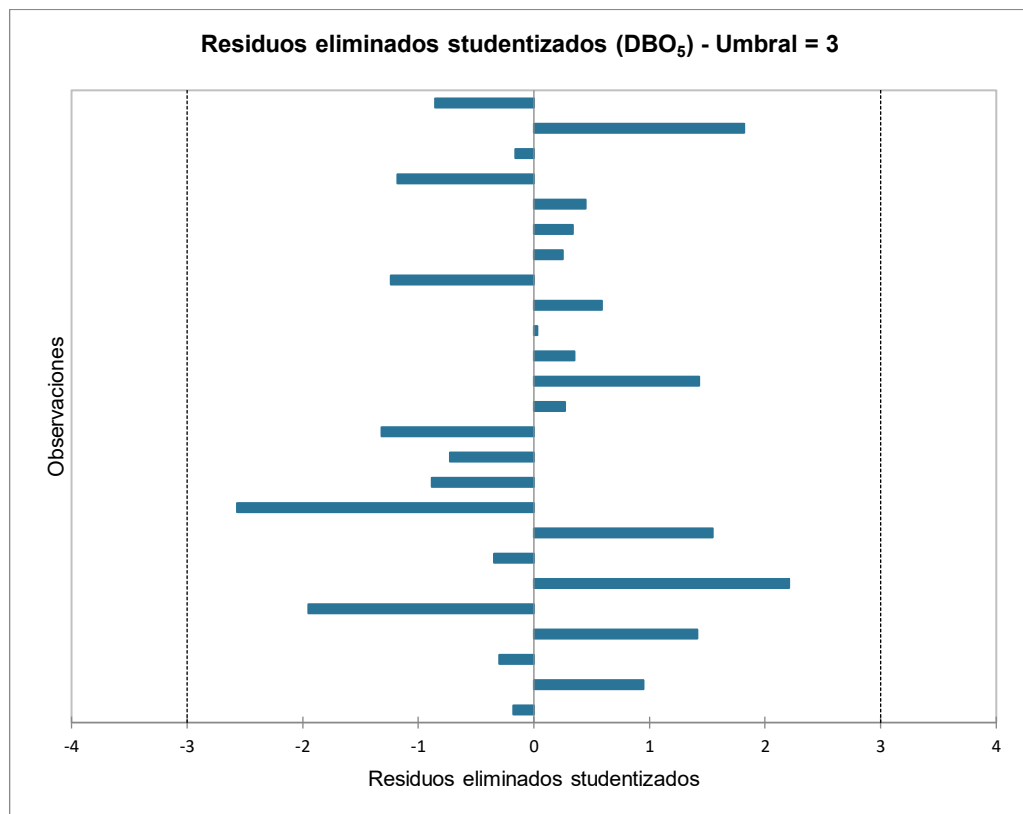


Figura 44. Gráfico de residuos eliminados studentizados DBO₅

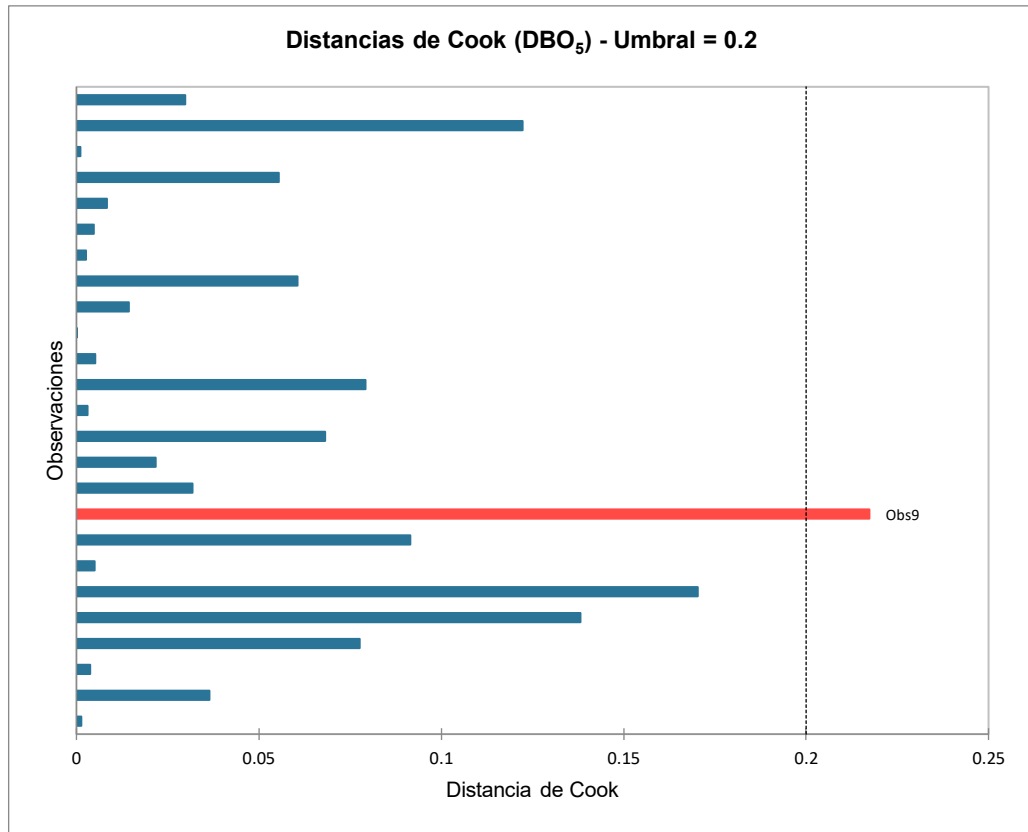


Figura 45. Gráfico de distancias de Cook del parámetro DBO₅

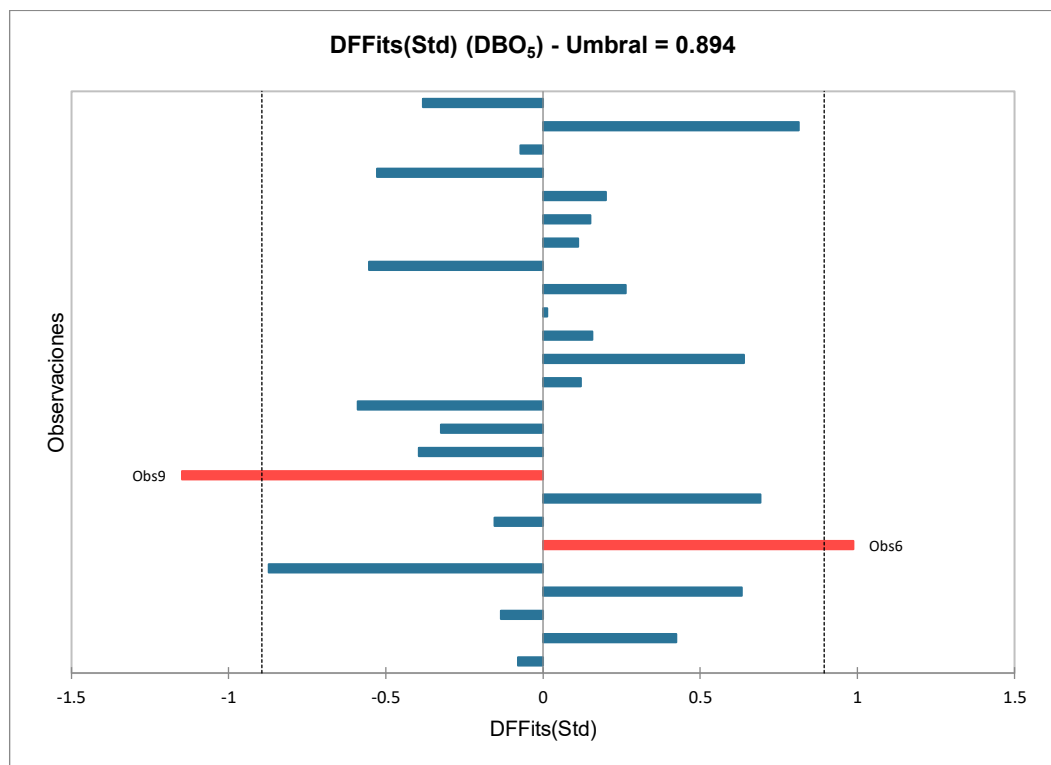


Figura 46. Gráfico de DFFits del parámetro DBO₅

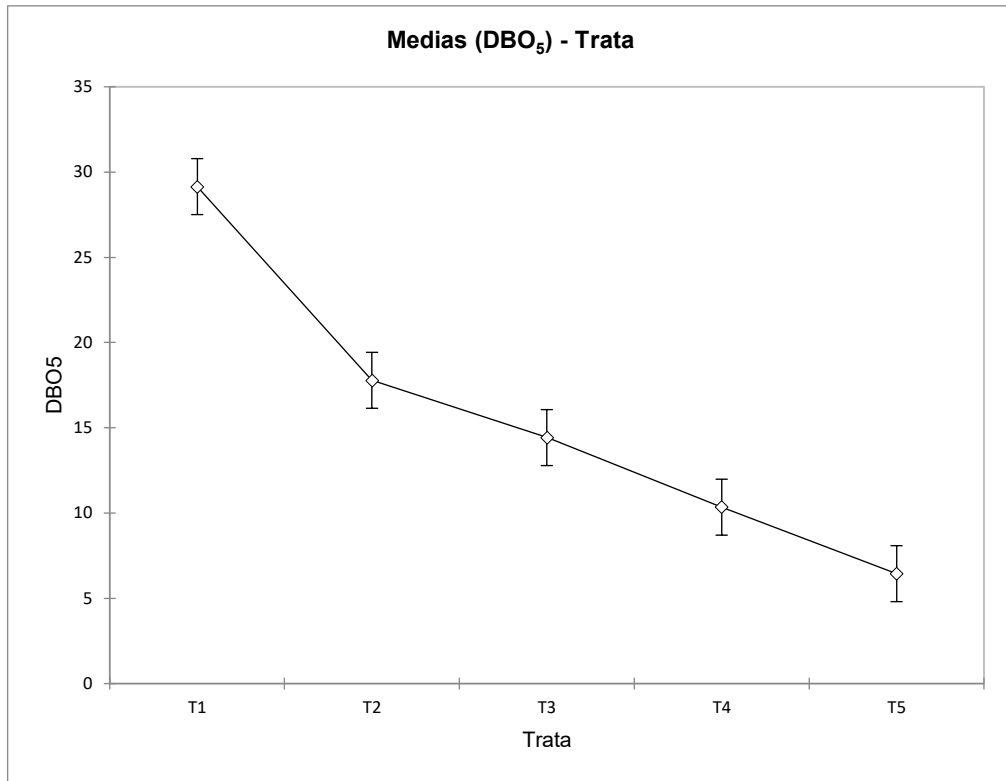


Figura 47. Gráfico de medias del parámetro DBO₅

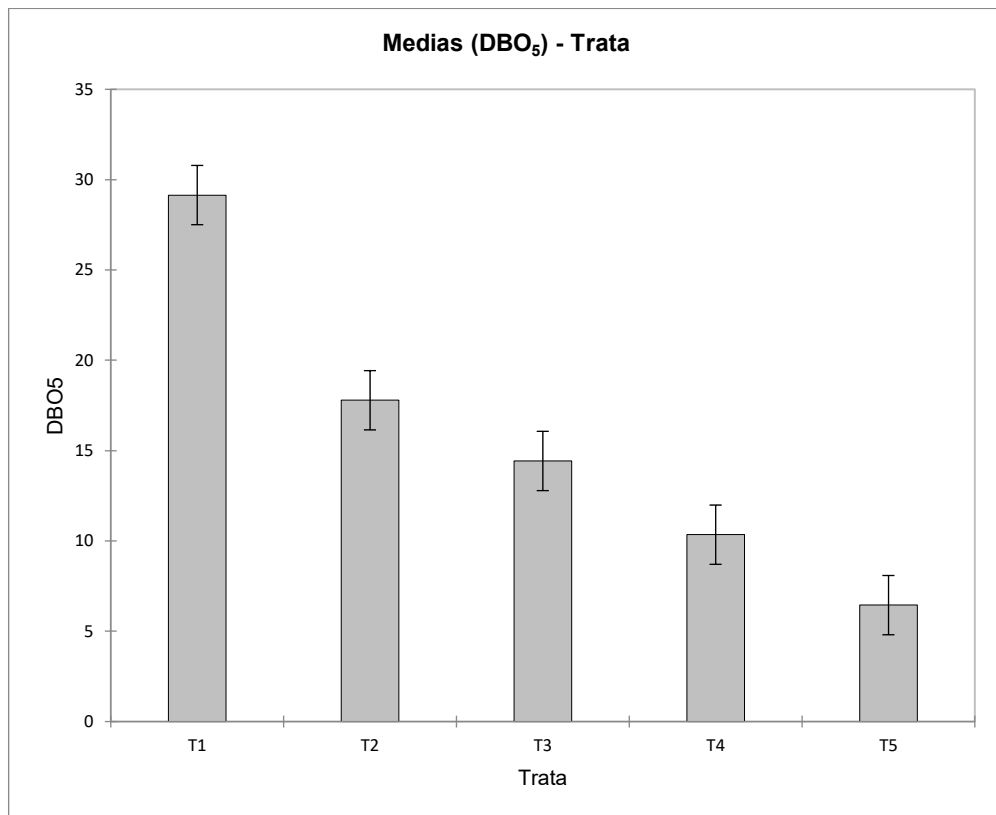


Figura 48. Gráfico de medias del parámetro DBO₅

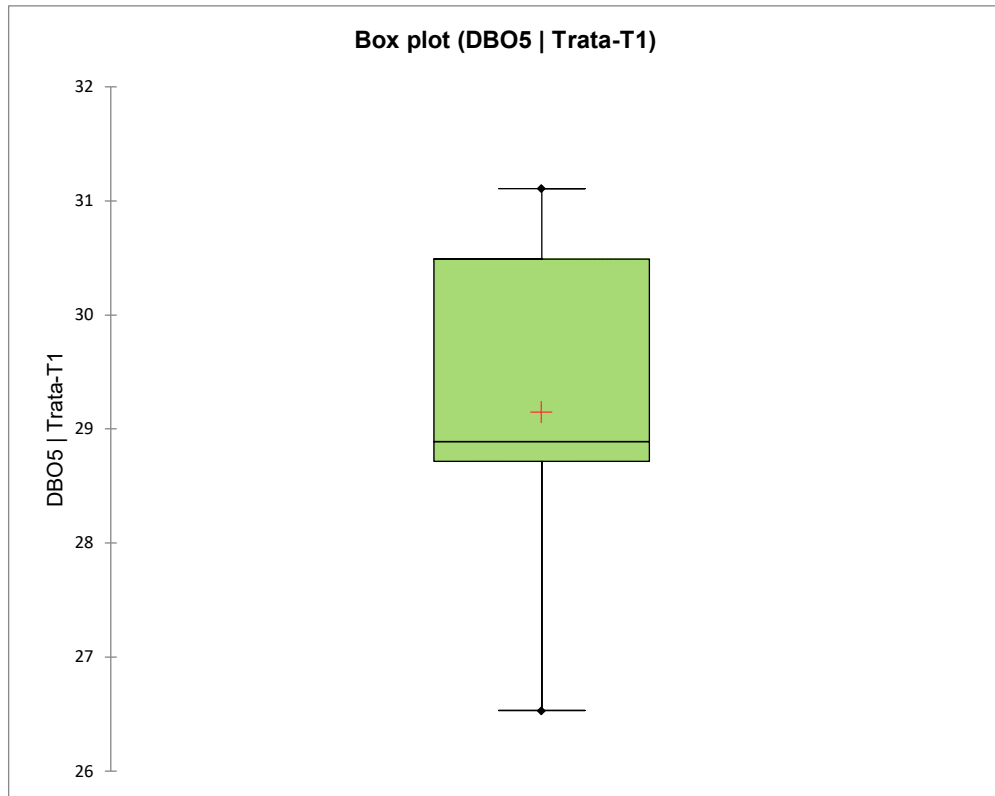


Figura 49. Gráfico de Box plot del parámetro DBO_5

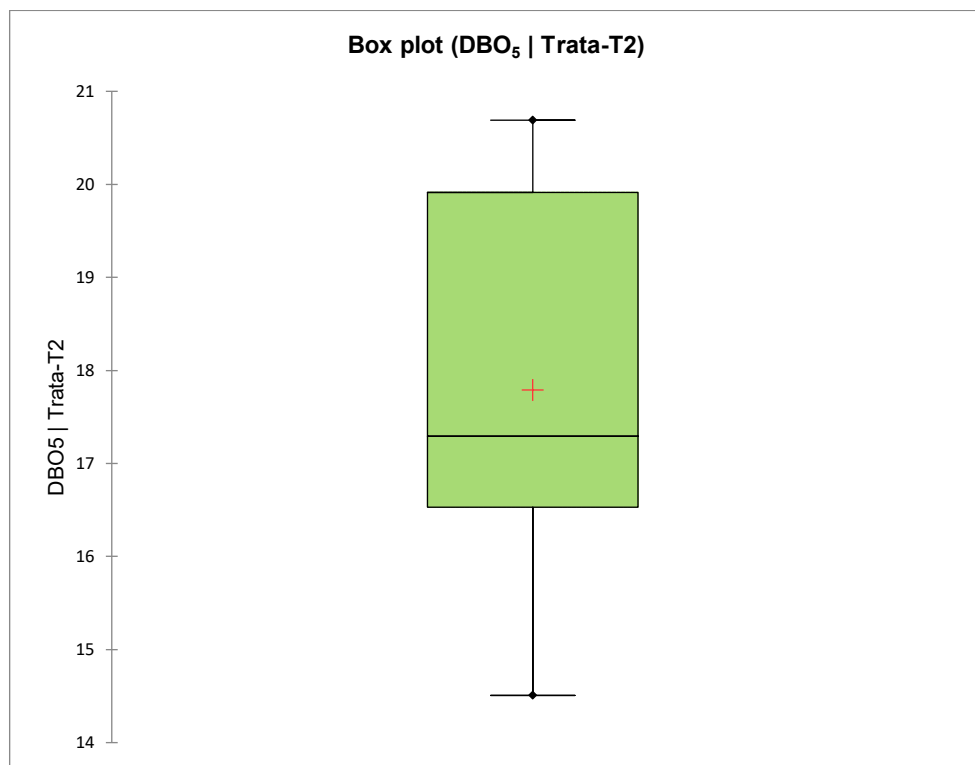


Figura 50. Gráfico de Box plot del parámetro DBO_5

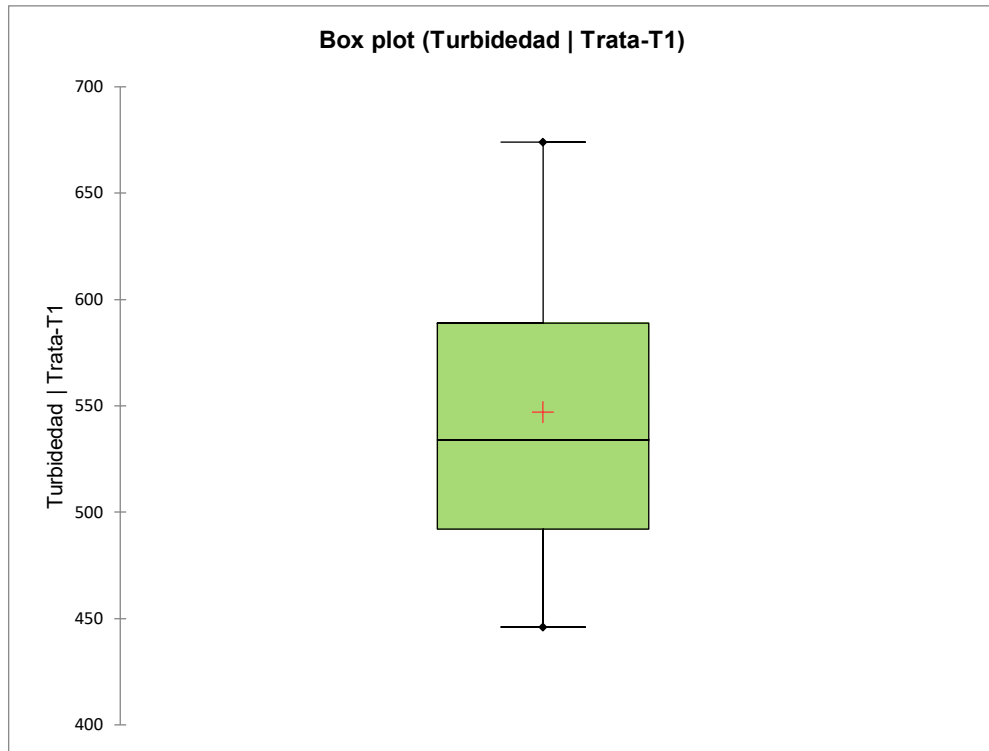


Figura 51. Gráfico de Box plot del parámetro Turbiedad-Tratamiento 1

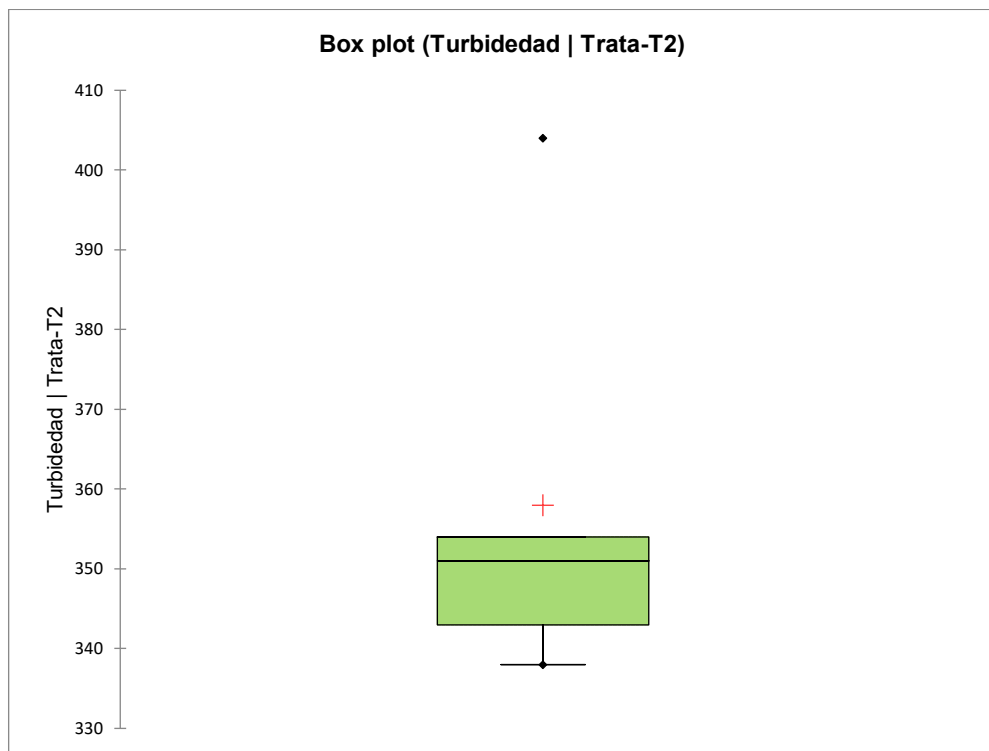


Figura 52. Gráfico de Box plot del parámetro Turbiedad-Tratamiento 2

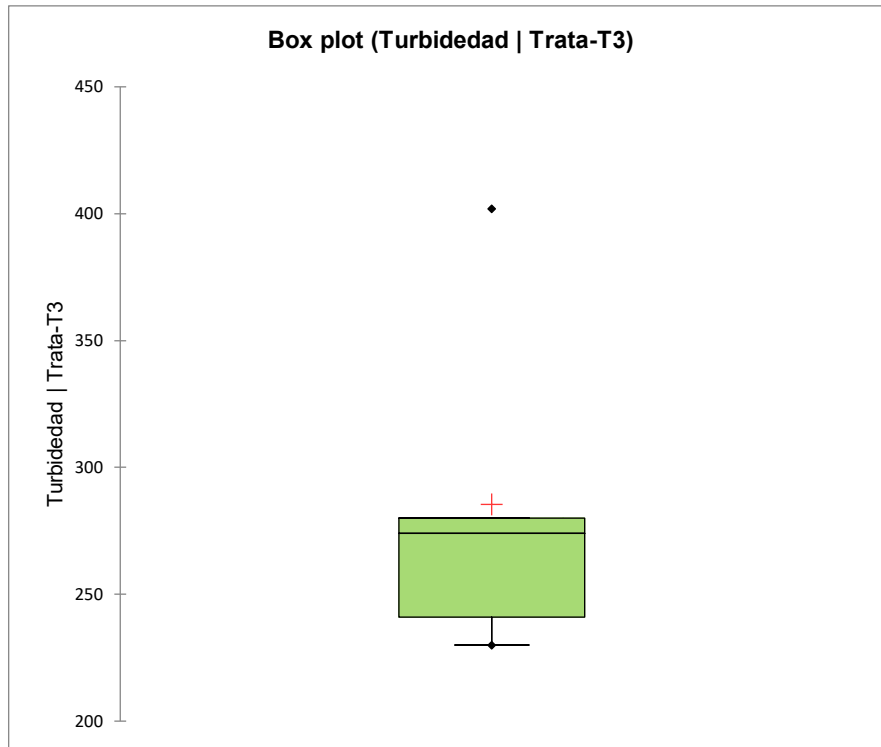


Figura 53. Gráfico de Box plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 3

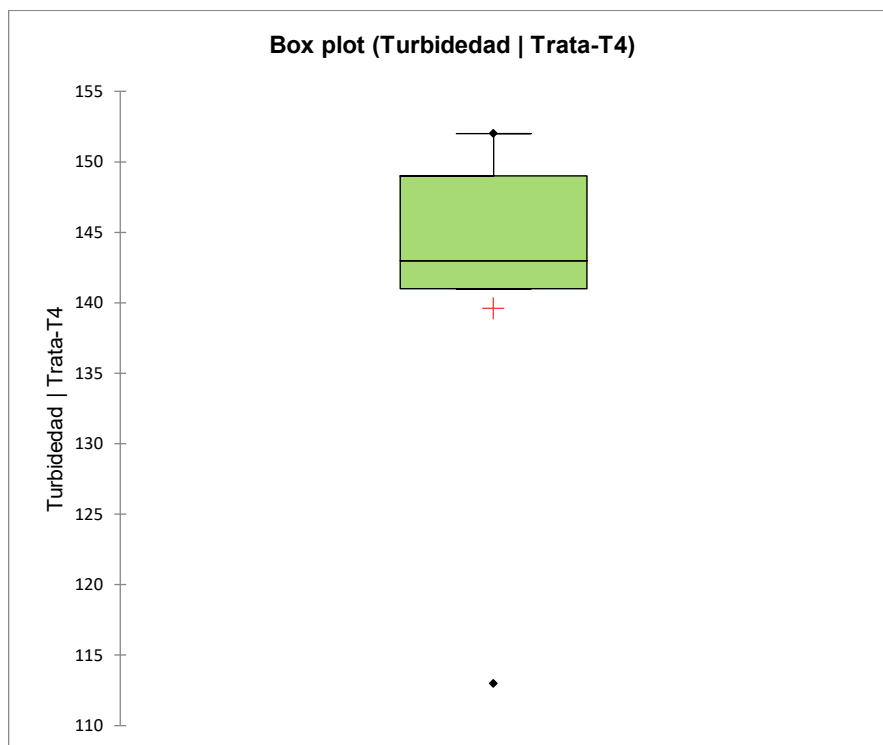


Figura 54. Gráfico de Box plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 4

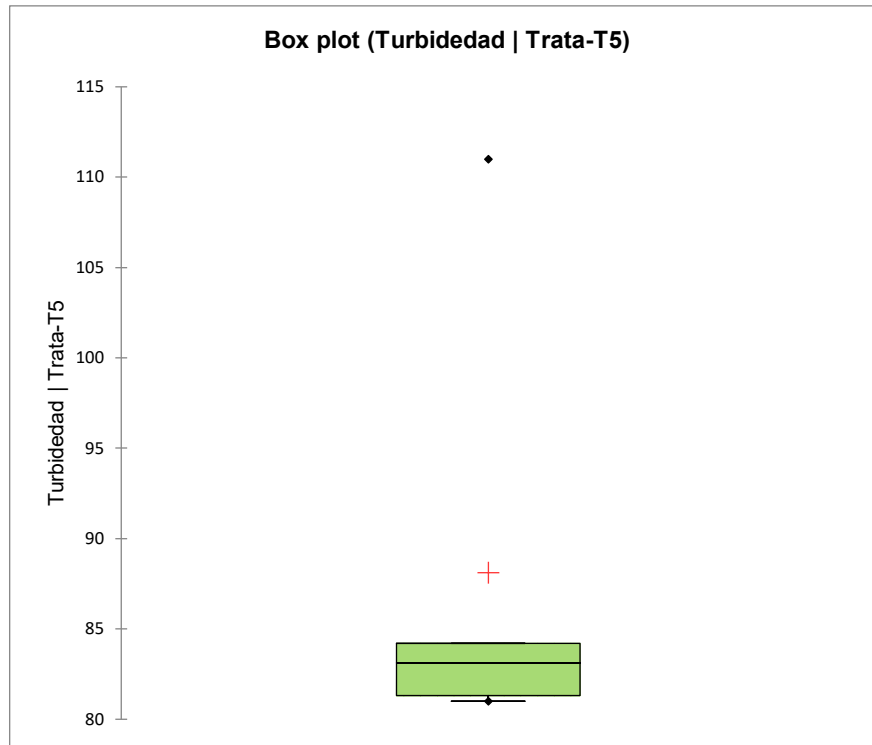


Figura 55. Gráfico de Box plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 5

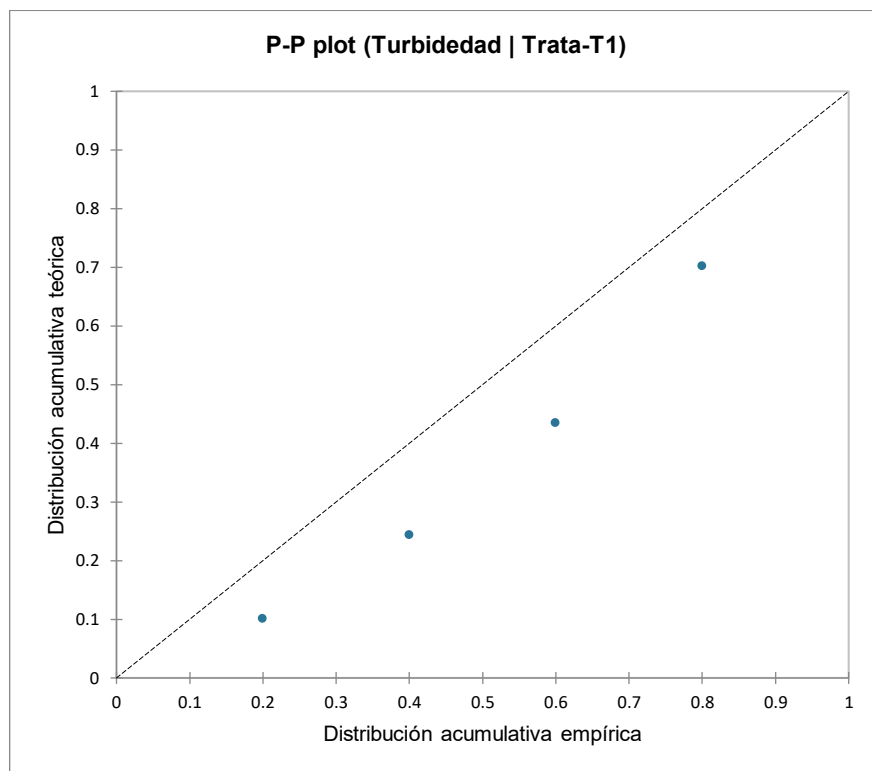


Figura 56. Gráfico de P-P plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 1

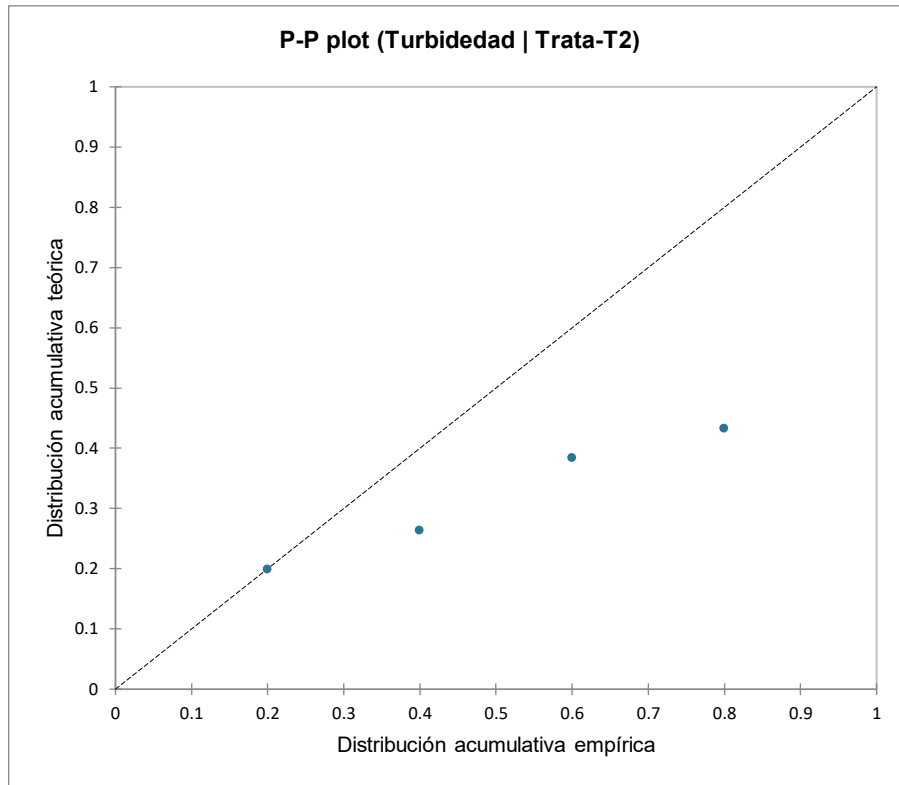


Figura 57. Gráfico de P-P plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 2

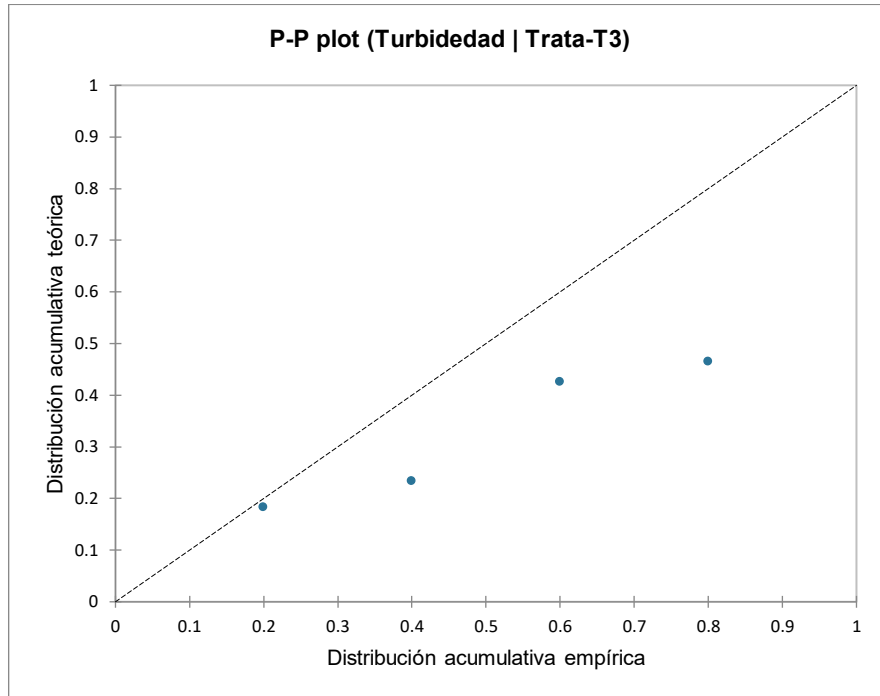


Figura 58. Gráfico de P-P plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 3

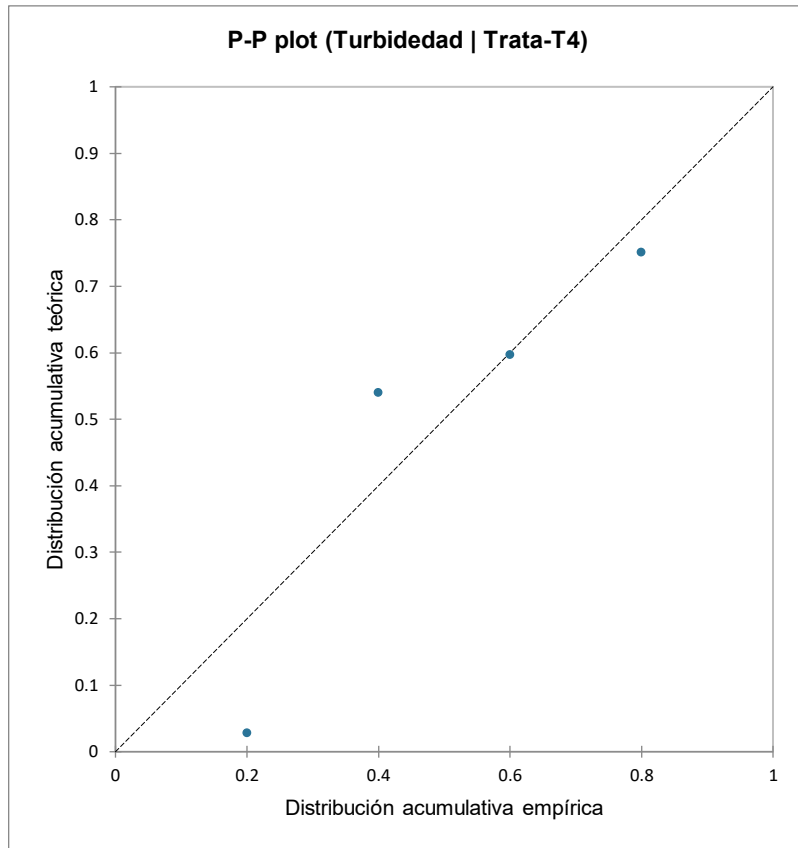


Figura 59. Gráfico de P-P plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 4

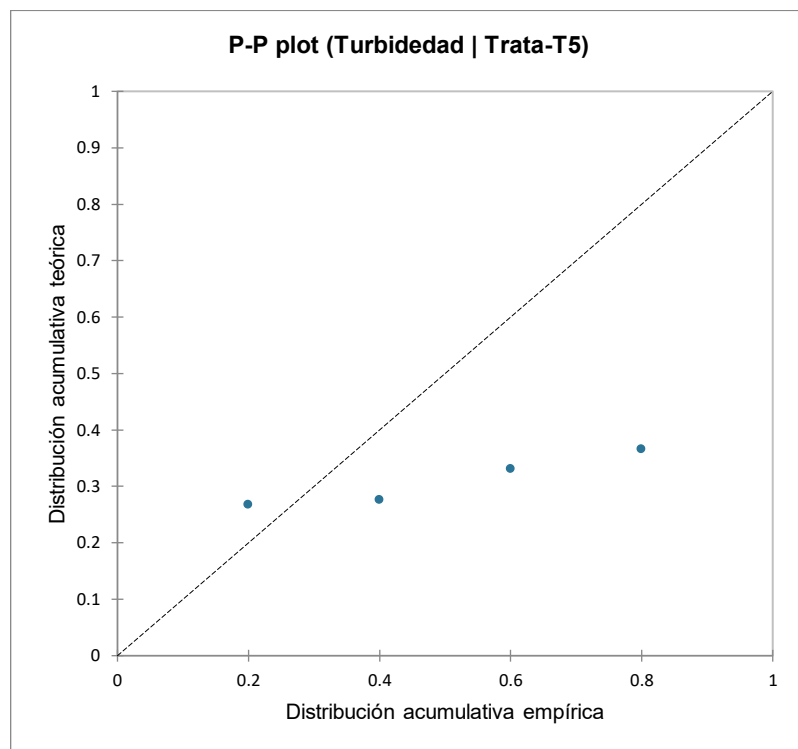


Figura 60. Gráfico de P-P plot del parámetro Turbiedad-tratamiento 5

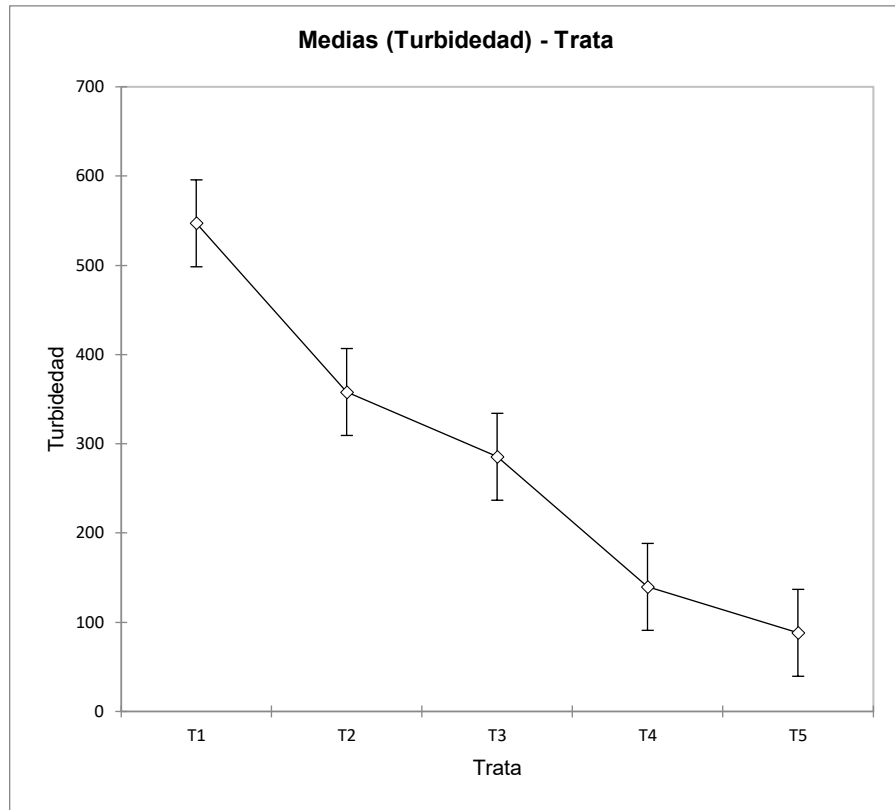


Figura 61. Gráfico de medias del parámetro de turbiedad

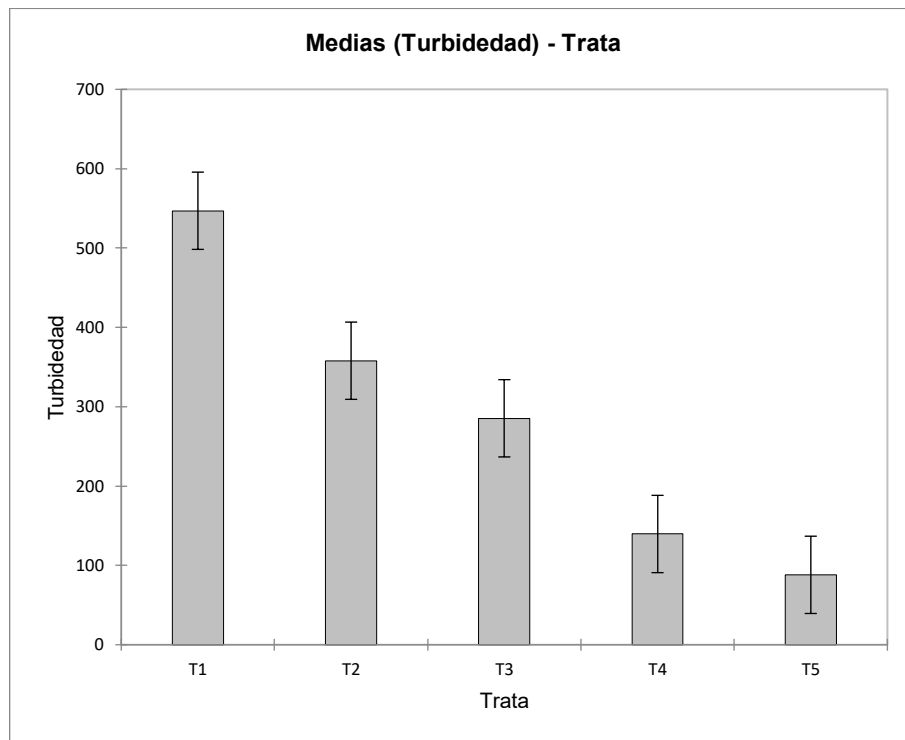


Figura 62. Gráfico de medias del parámetro de turbiedad

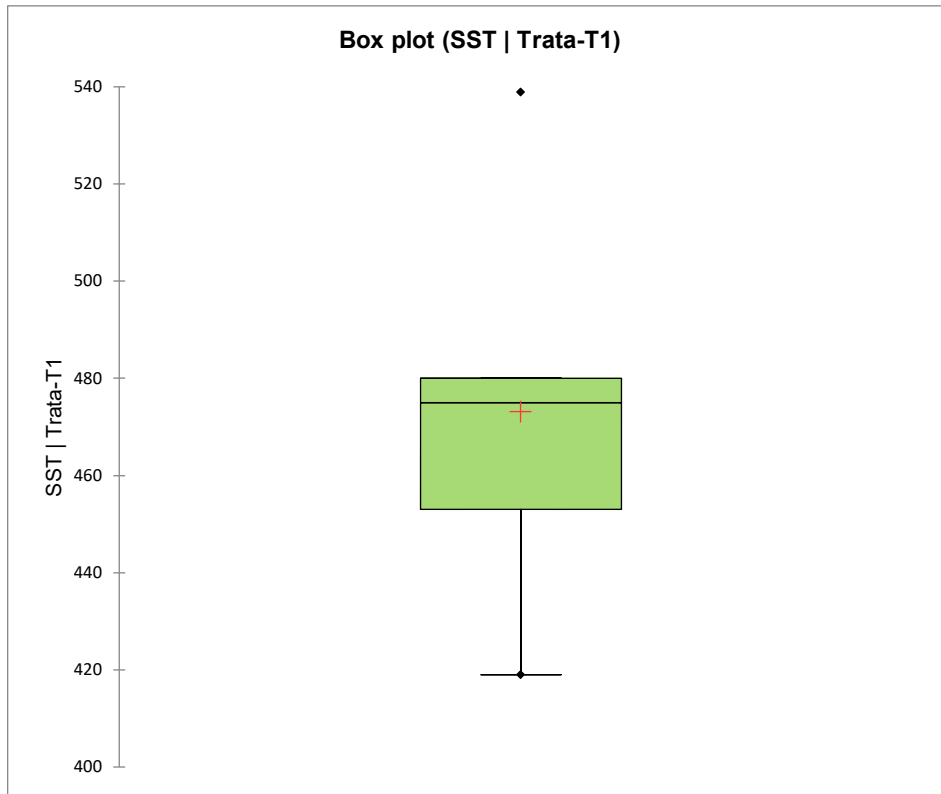


Figura 63. Gráfico de Box plot del parámetro de SST-tratamiento 1

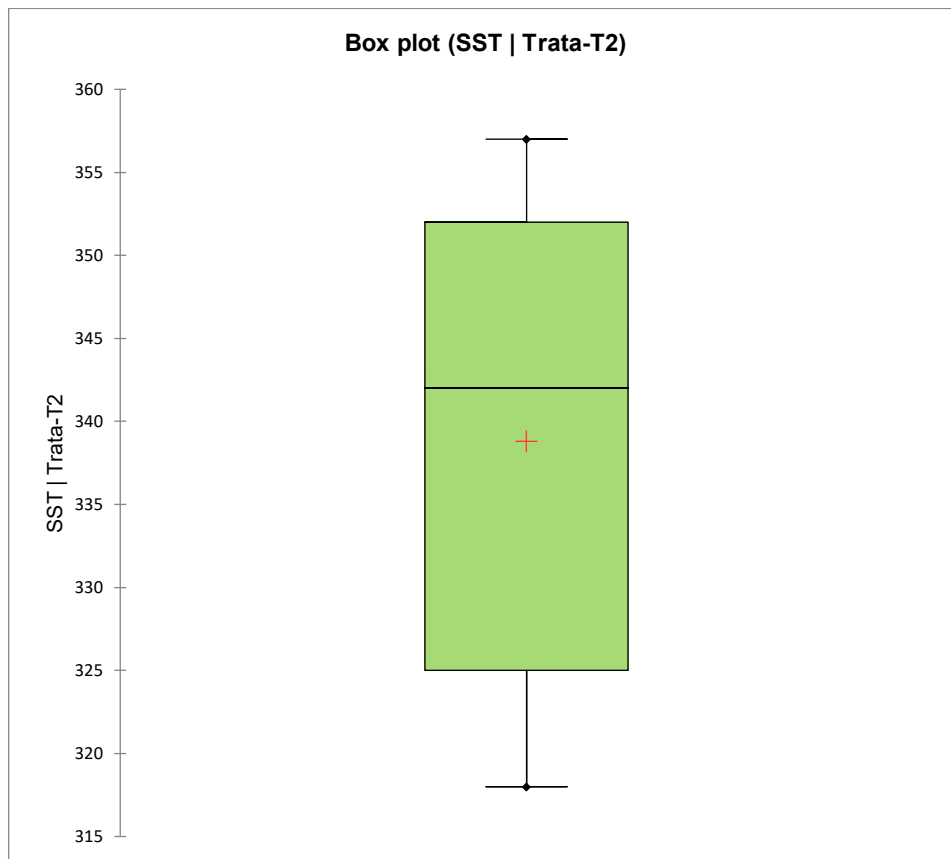


Figura 64. Pe Gráfico de Box plot del parámetro de SST-tratamiento 2

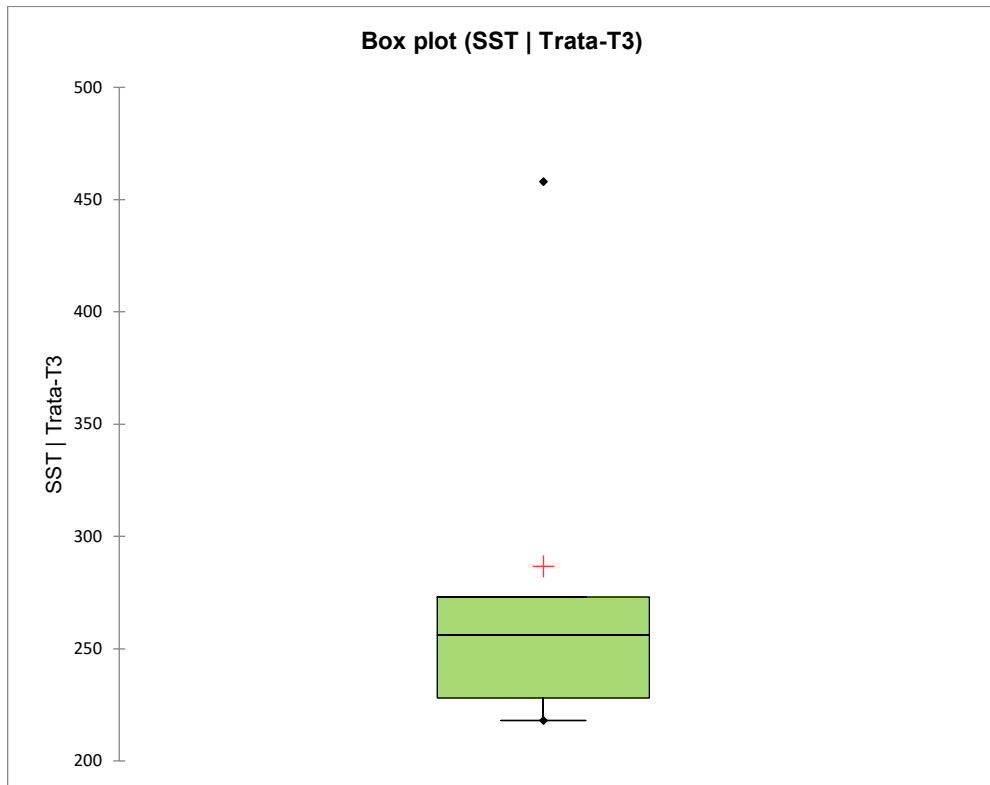


Figura 65. Gráfico de Box plot del parámetro de SST-tratamiento 3

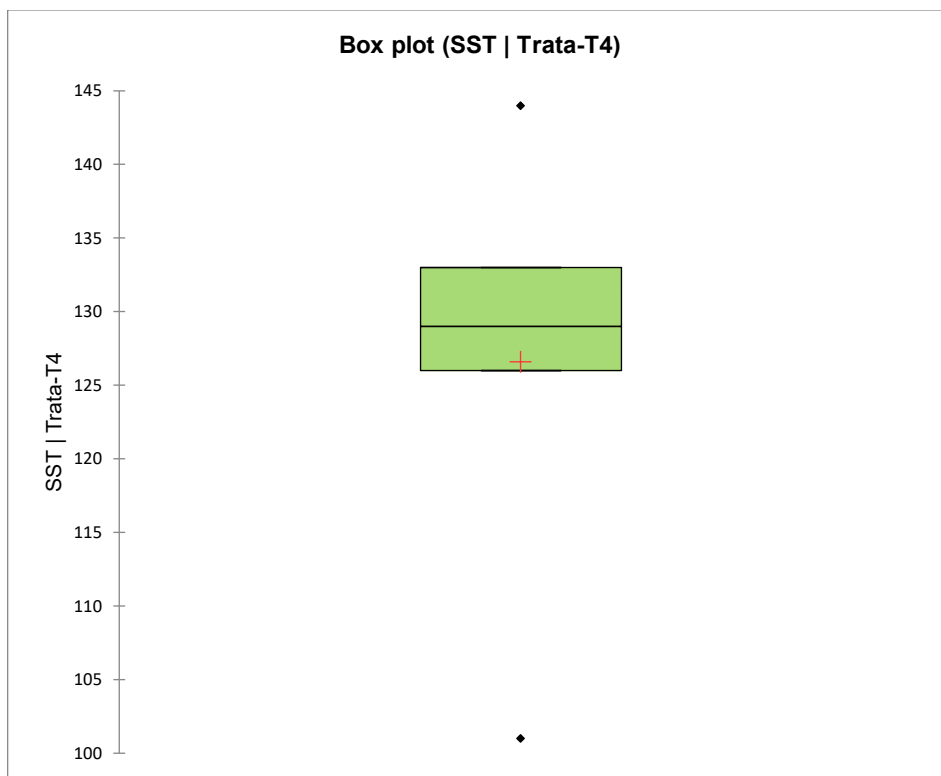


Figura 66. Gráfico de Box plot del parámetro de SST-tratamiento 4

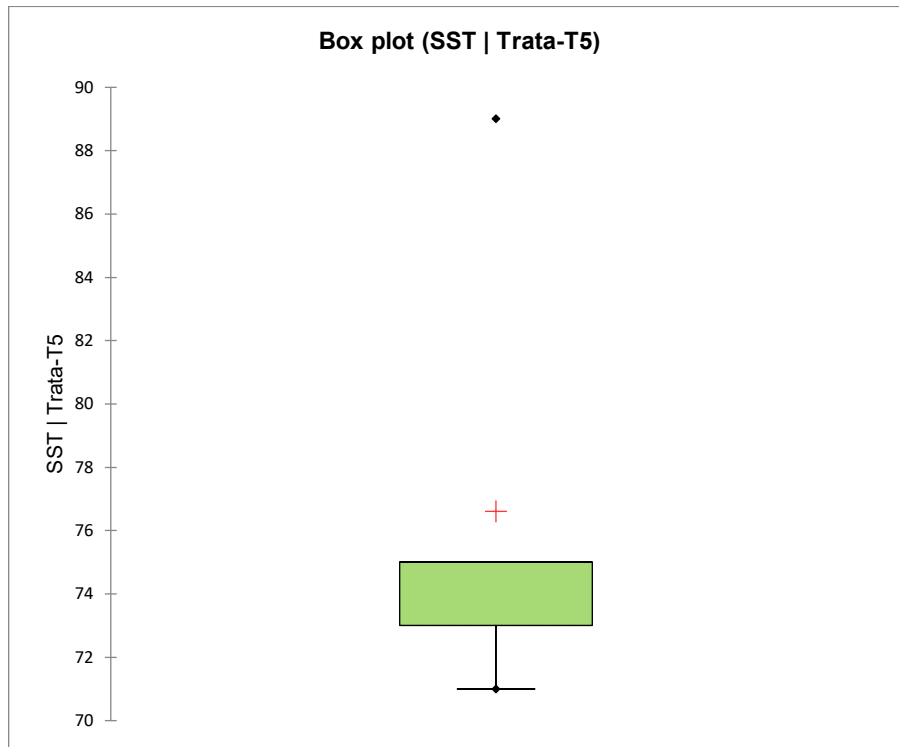


Figura 67. Gráfico de Box plot del parámetro de SST-tratamiento 5

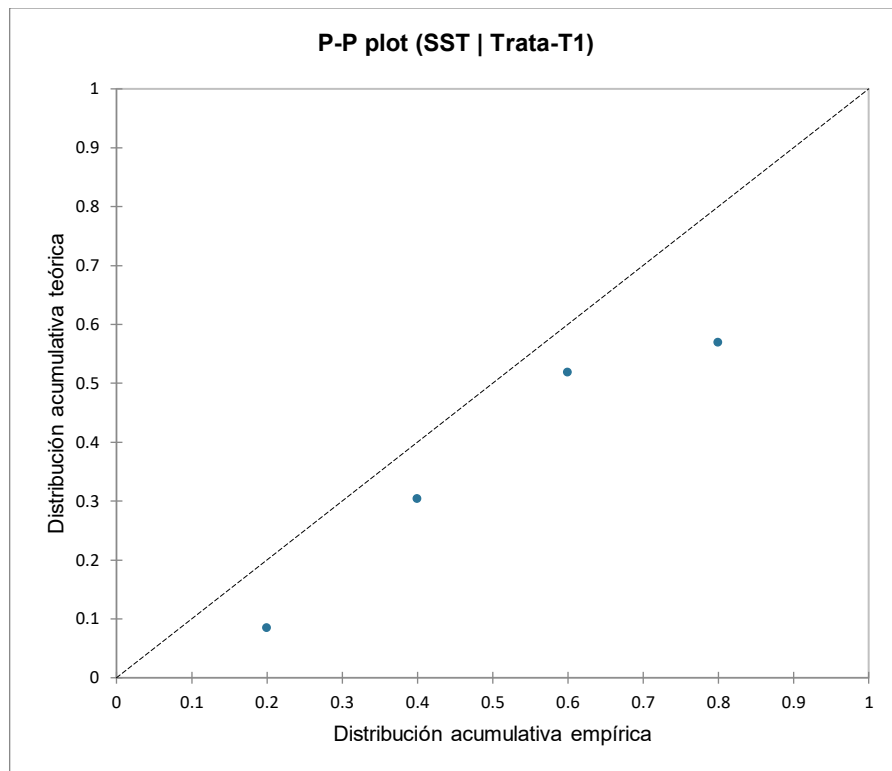


Figura 68. Gráfico de P-P plot del parámetro de SST-tratamiento 1

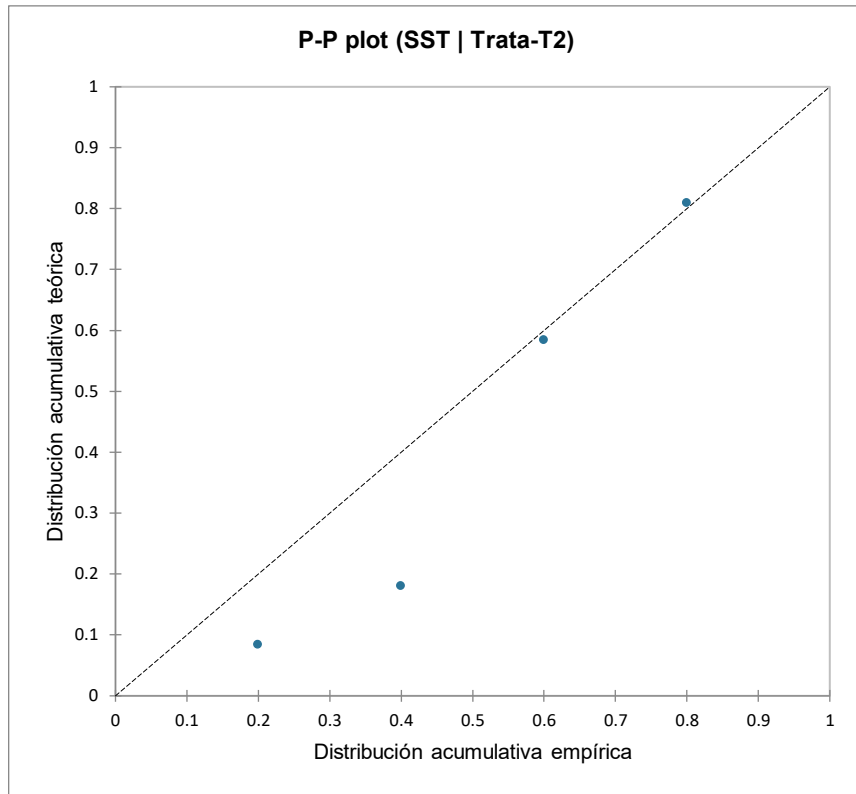


Figura 69. Gráfico de P-P plot del parámetro de SST-tratamiento 2

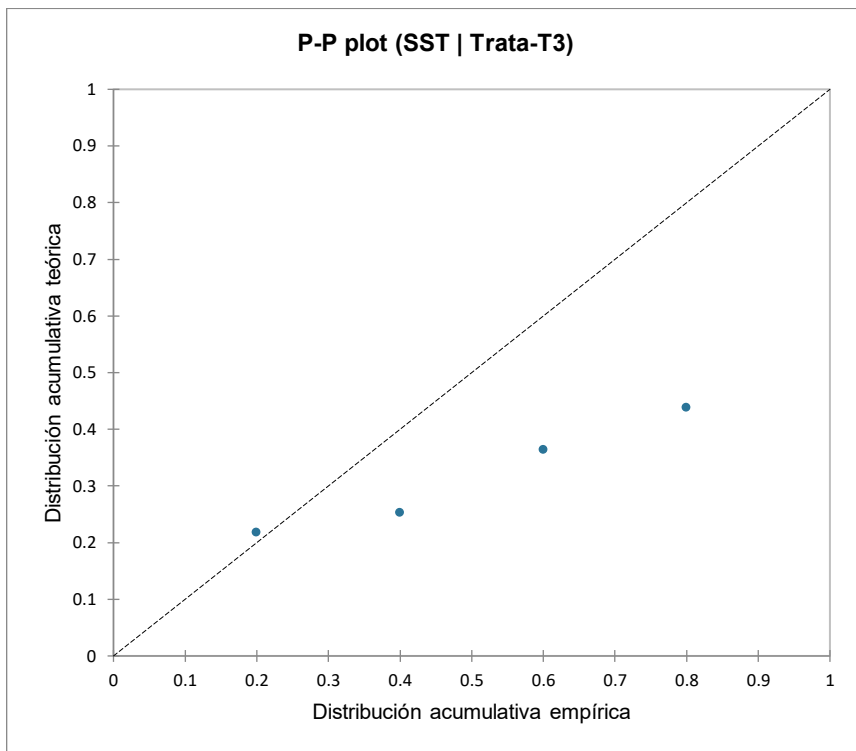


Figura 70. Gráfico de P-P plot del parámetro de SST-tratamiento 3

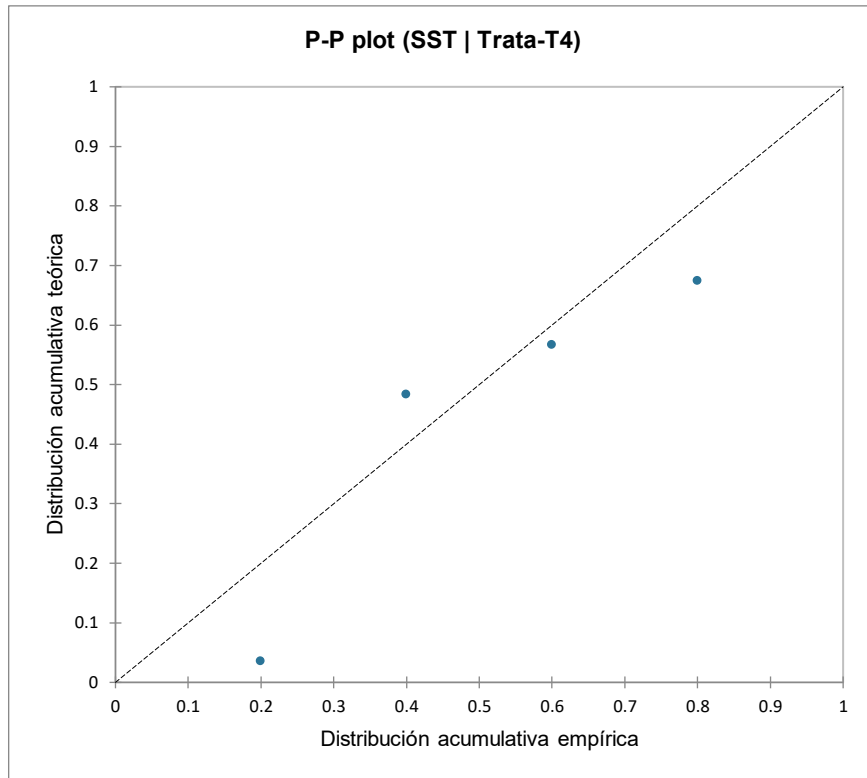


Figura 71. Gráfico de P-P plot del parámetro de SST-tratamiento 4

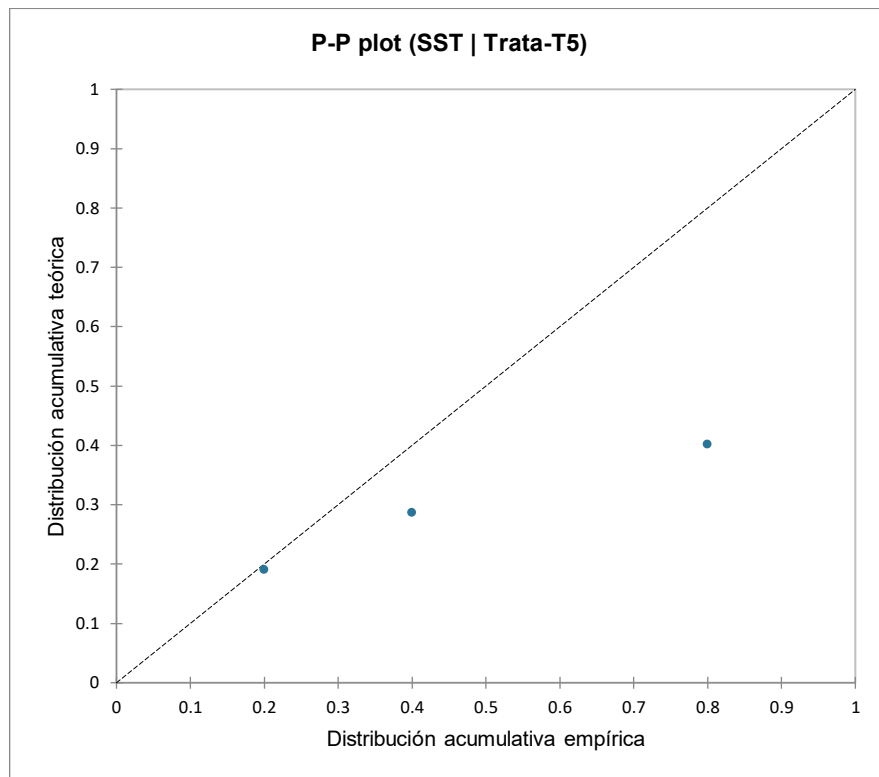


Figura 72. Gráfico de P-P plot del parámetro de SST-tratamiento 5

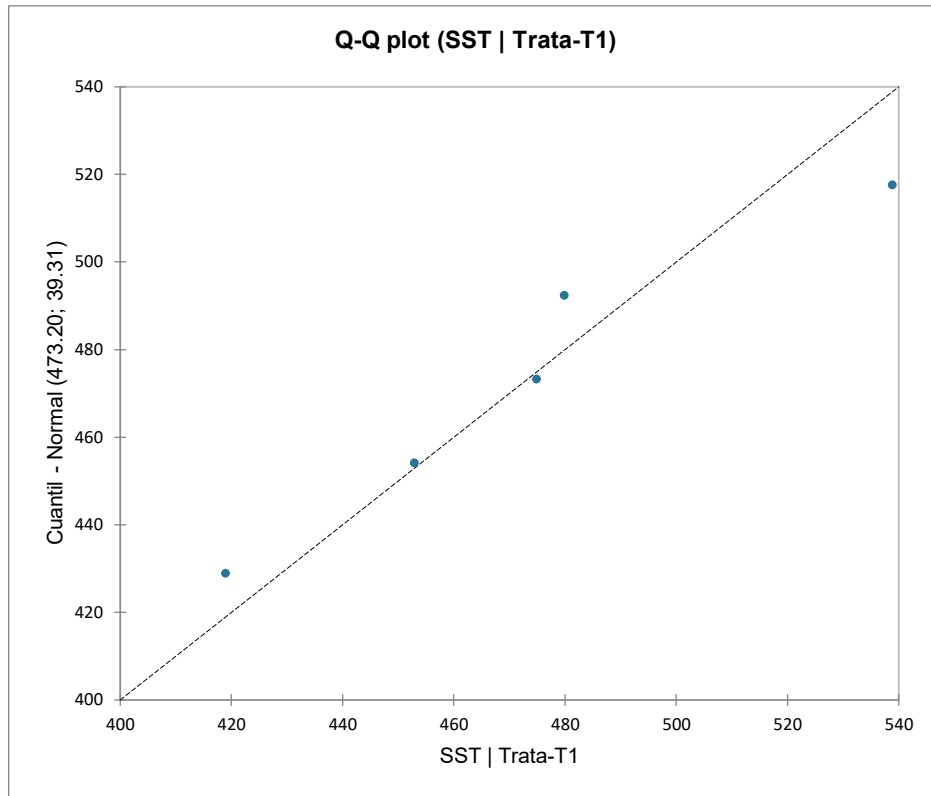


Figura 73. Gráfico de Q-Q plot del parámetro de SST-tratamiento 1

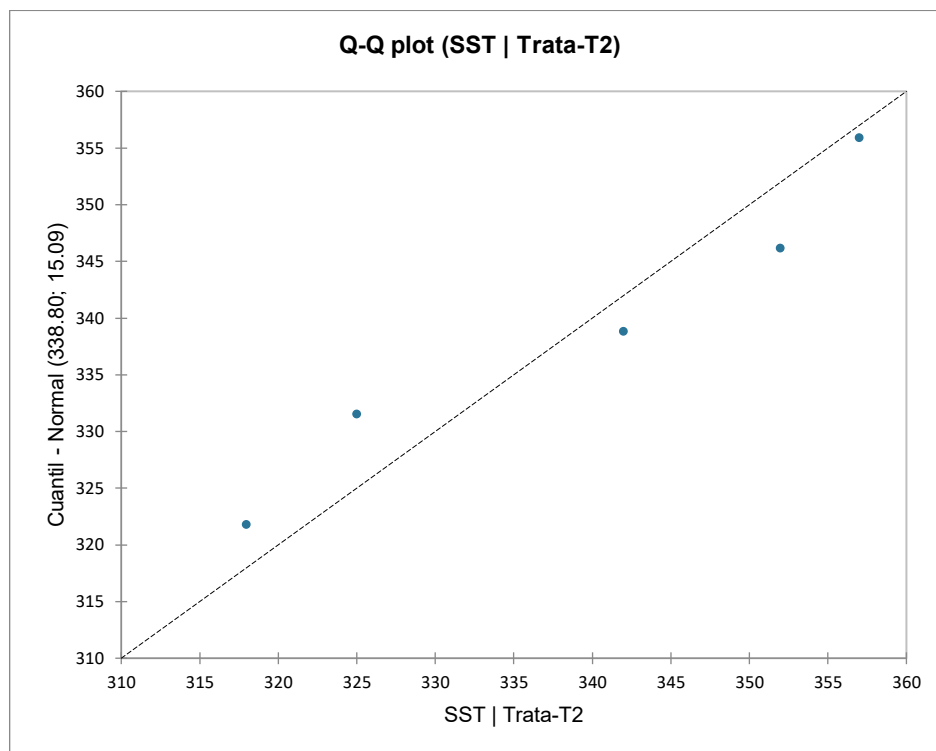


Figura 74. Gráfico de Q-Q plot del parámetro de SST-tratamiento 2

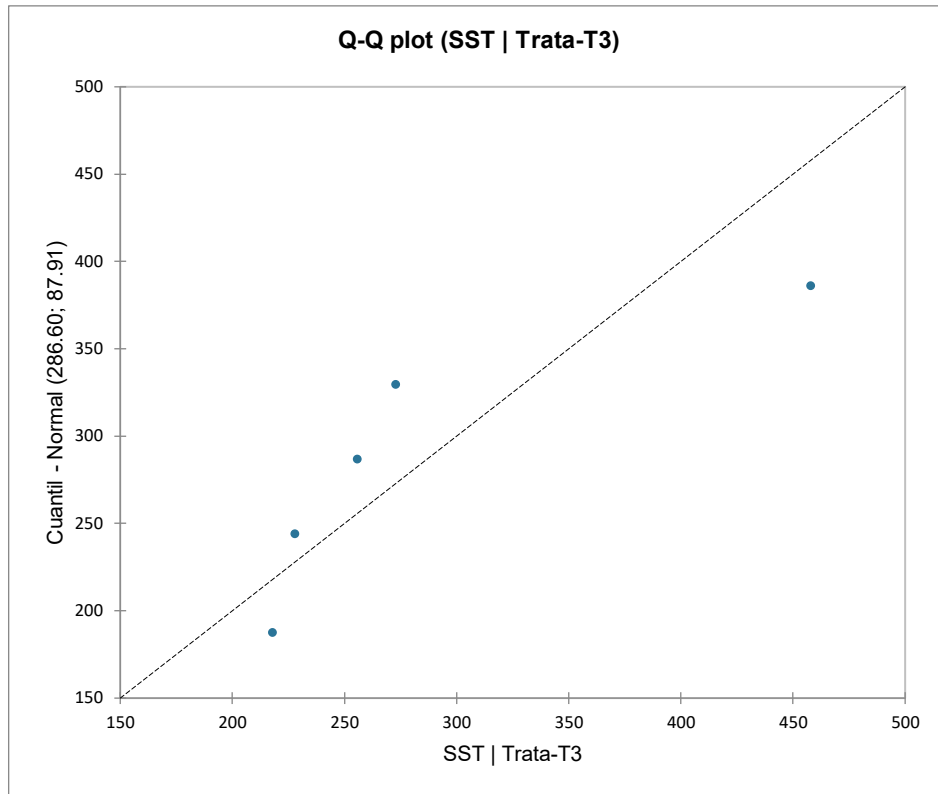


Figura 75. Gráfico de Q-Q plot del parámetro de SST-tratamiento 3

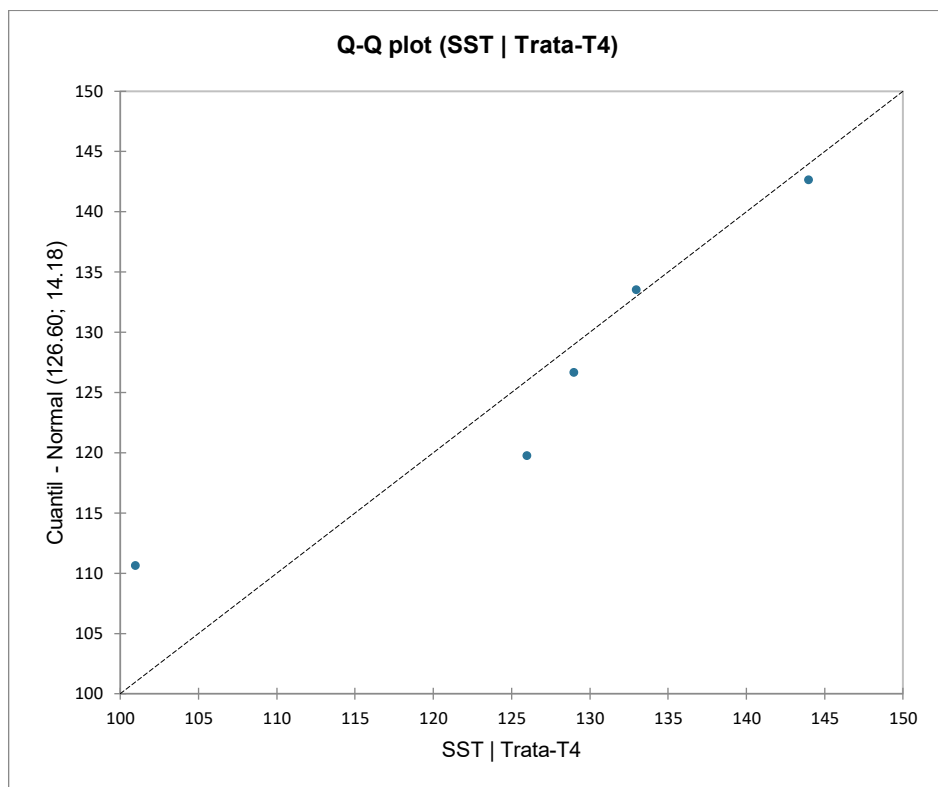


Figura 76. Gráfico de Q-Q plot del parámetro de SST-tratamiento 4

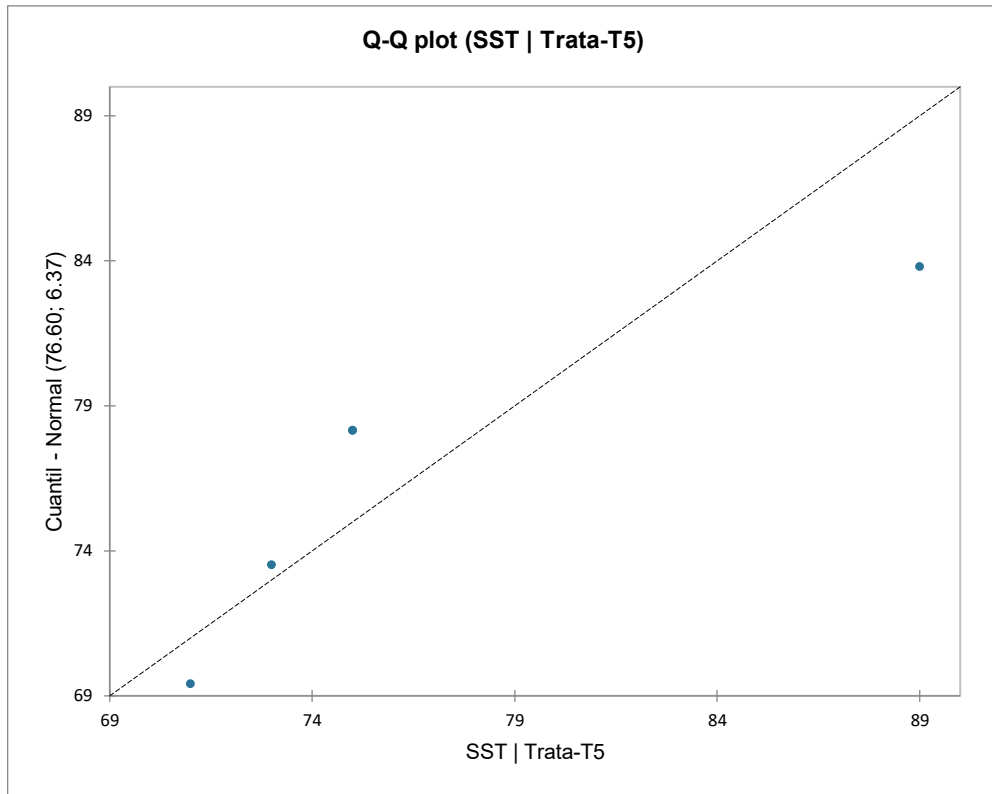


Figura 77. Gráfico de Q-Q plot del parámetro de SST-tratamiento 5

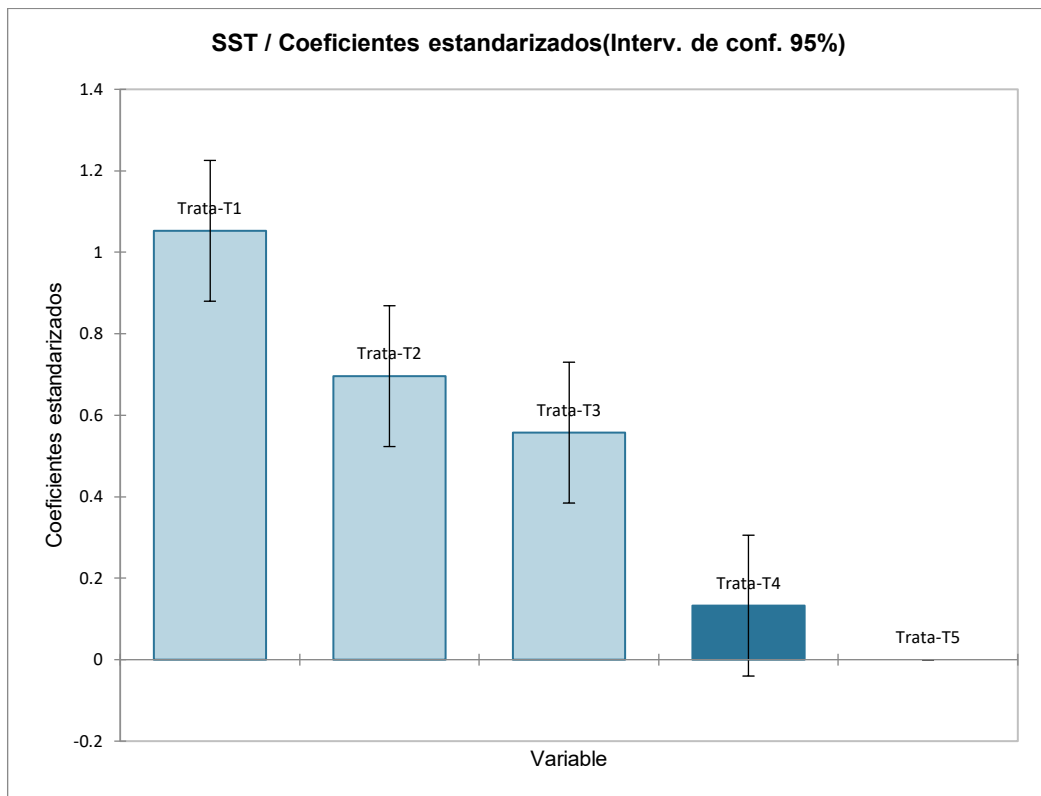


Figura 78. Gráfico DE Coeficientes estandarizados del parámetro SST

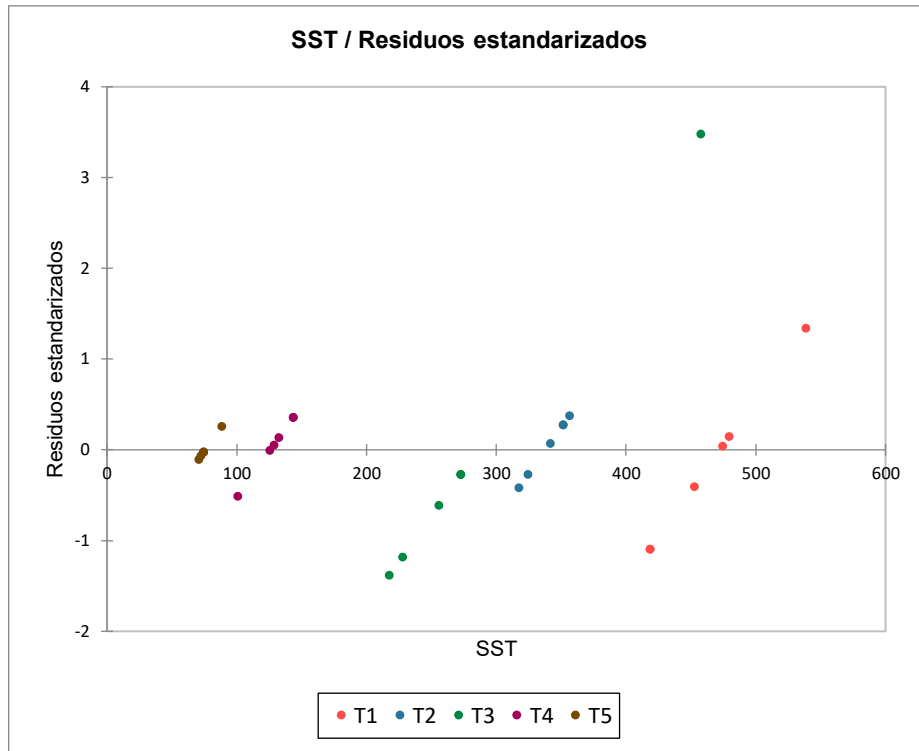


Figura 79. Gráfico de residuos estandarizados del parámetro SST

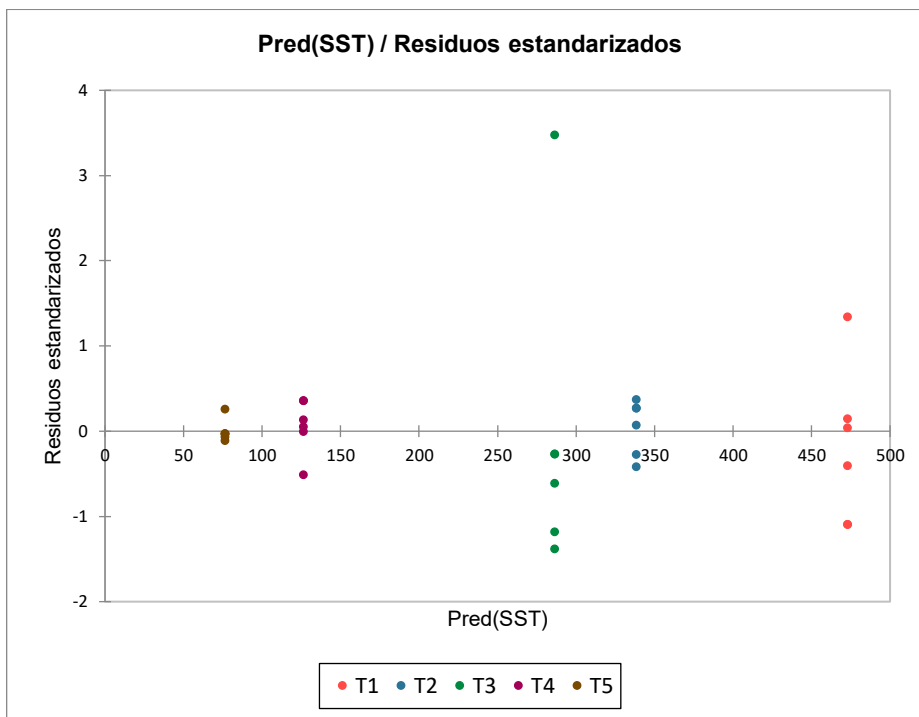


Figura 80. Gráfico de residuos estandarizados del parámetro SST

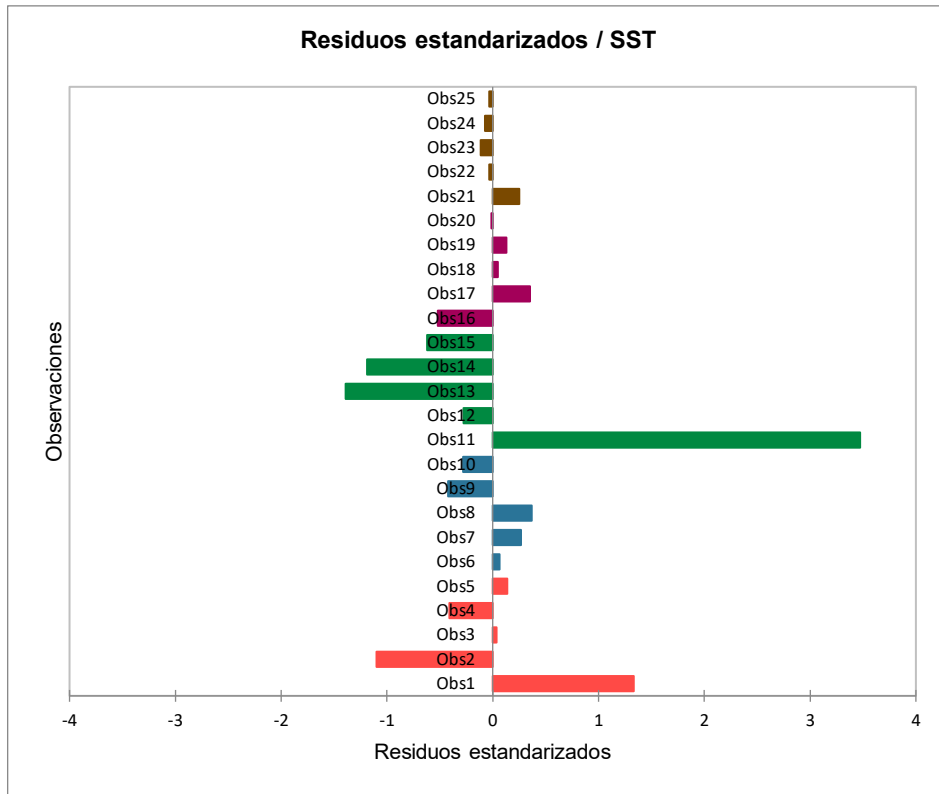


Figura 81. Gráfico de residuos estandarizados del parámetro SST

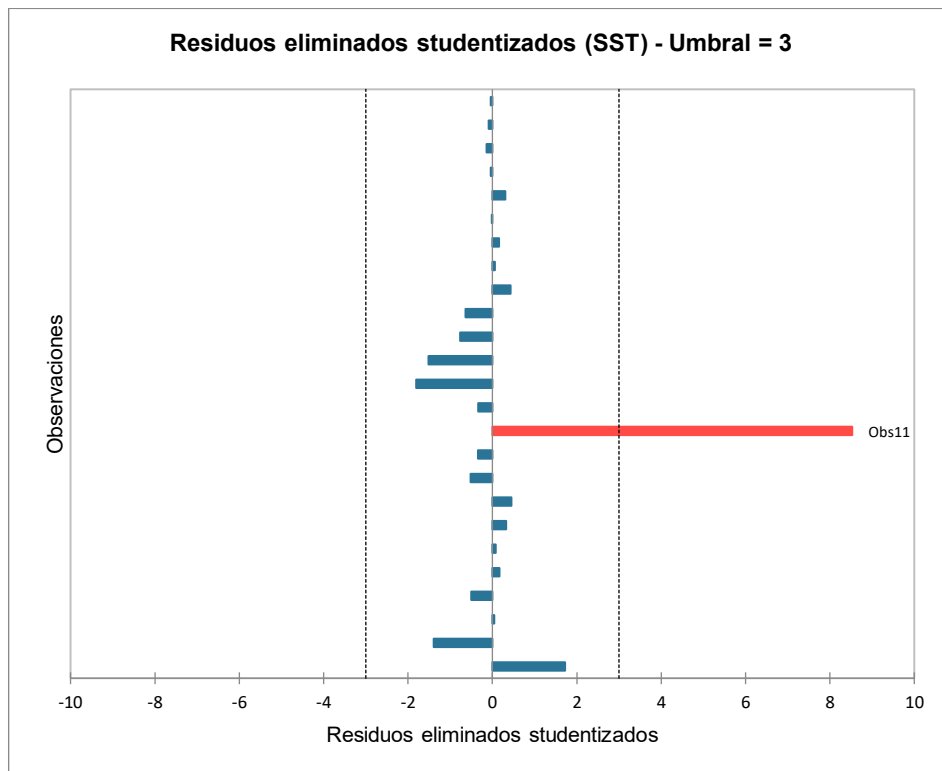


Figura 82. Gráfico de residuos eliminados studentizados del parámetro SST

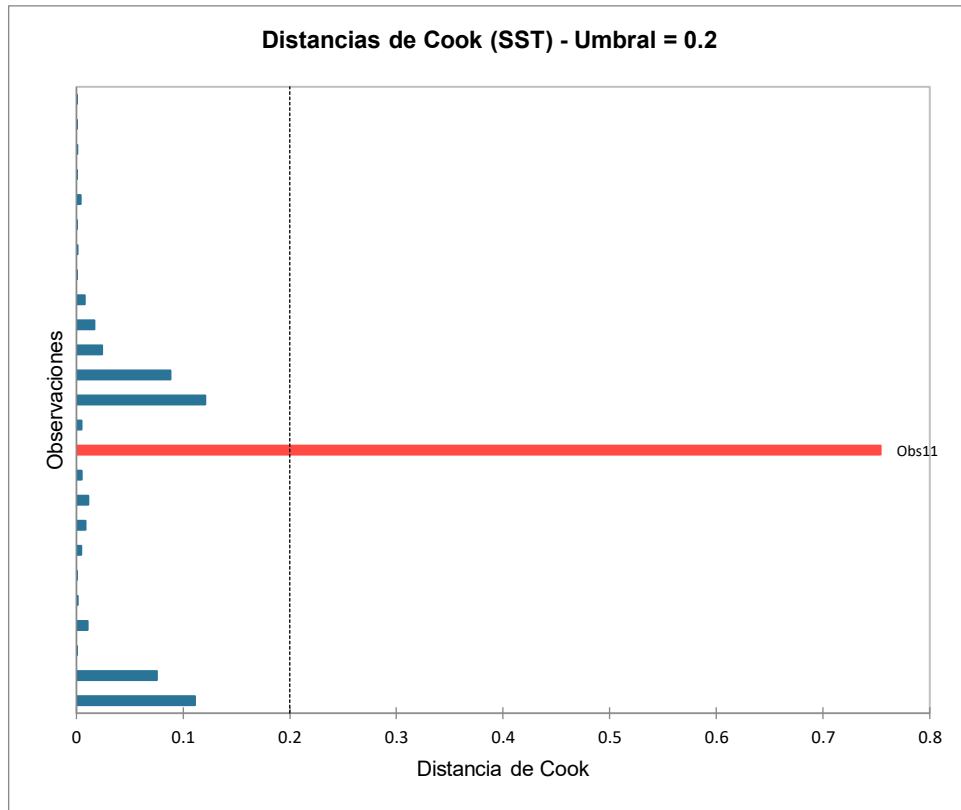


Figura 83. Gráfico de distancias de Cook del parámetro SST

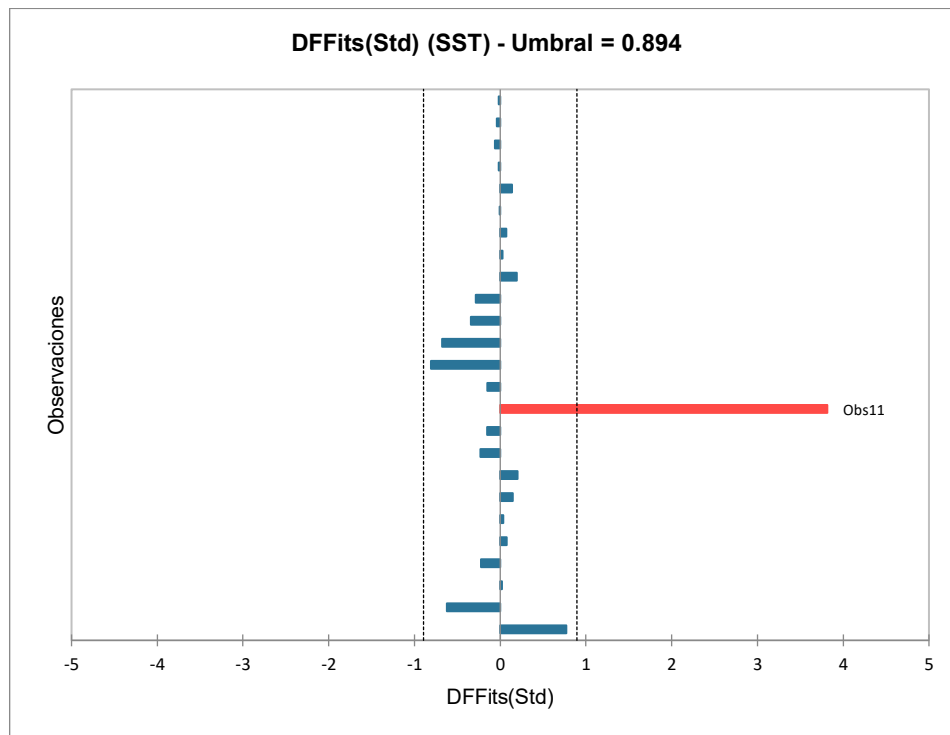


Figura 84. Gráfico DFFits del parámetro de SST

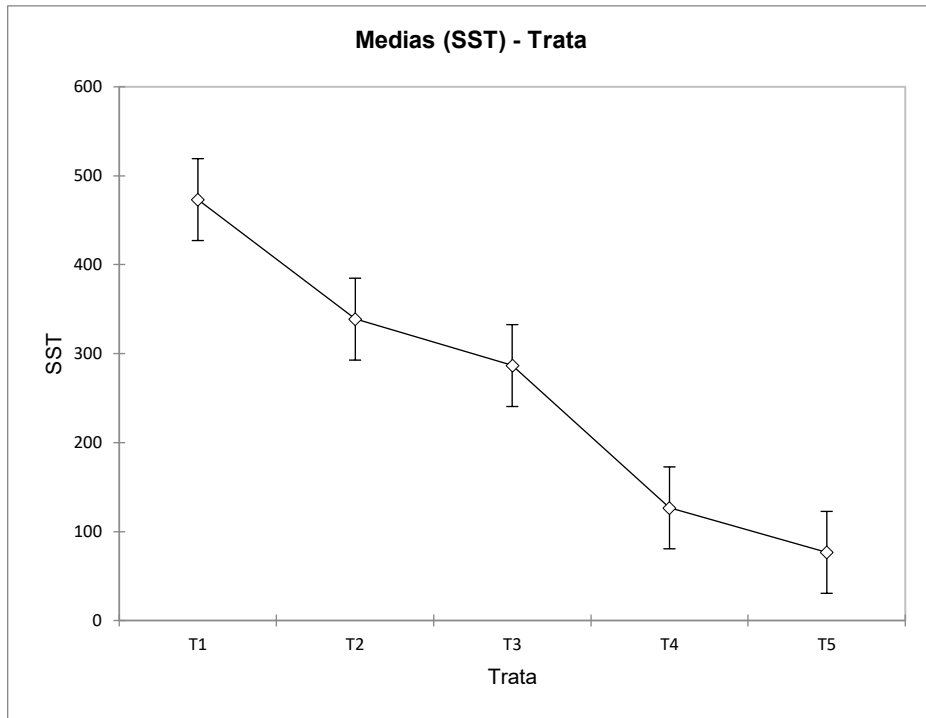


Figura 85. Gráfico de medias del parámetro SST

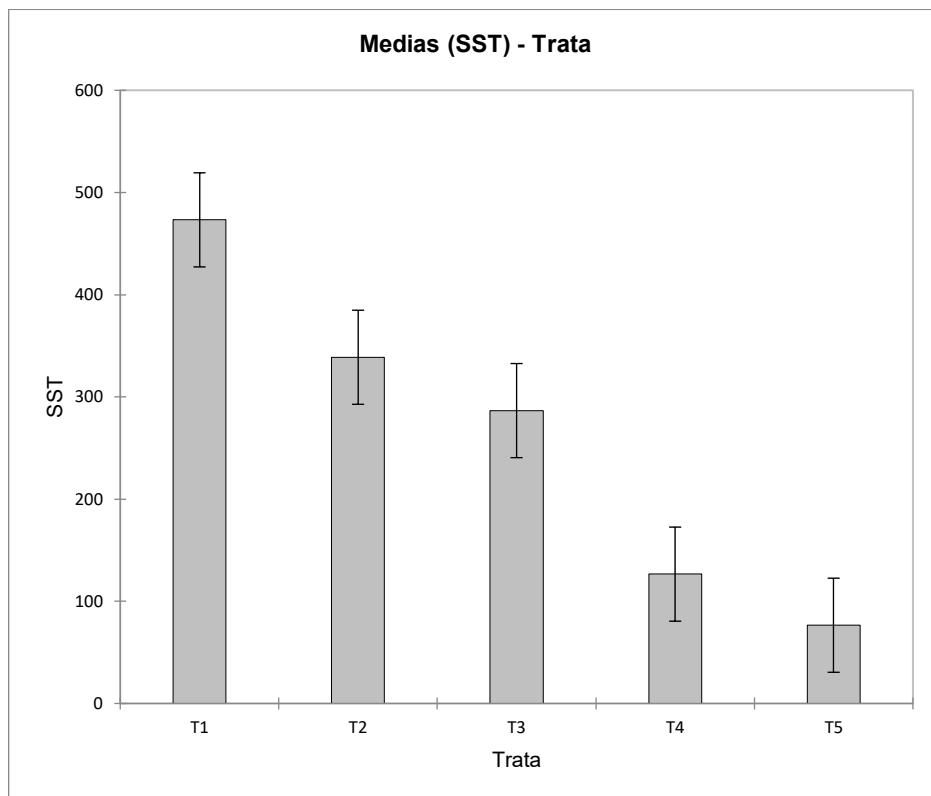


Figura 86. Gráfico de medias del parámetro SST

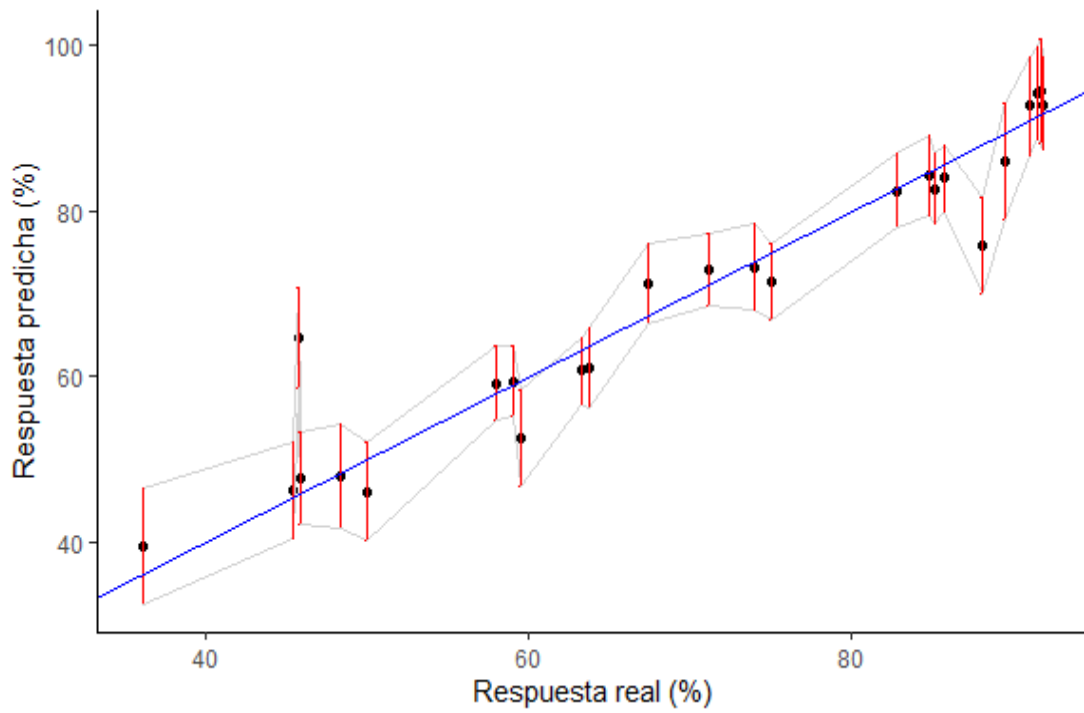


Figura 87. Gráfico de predicciones del parámetro SST

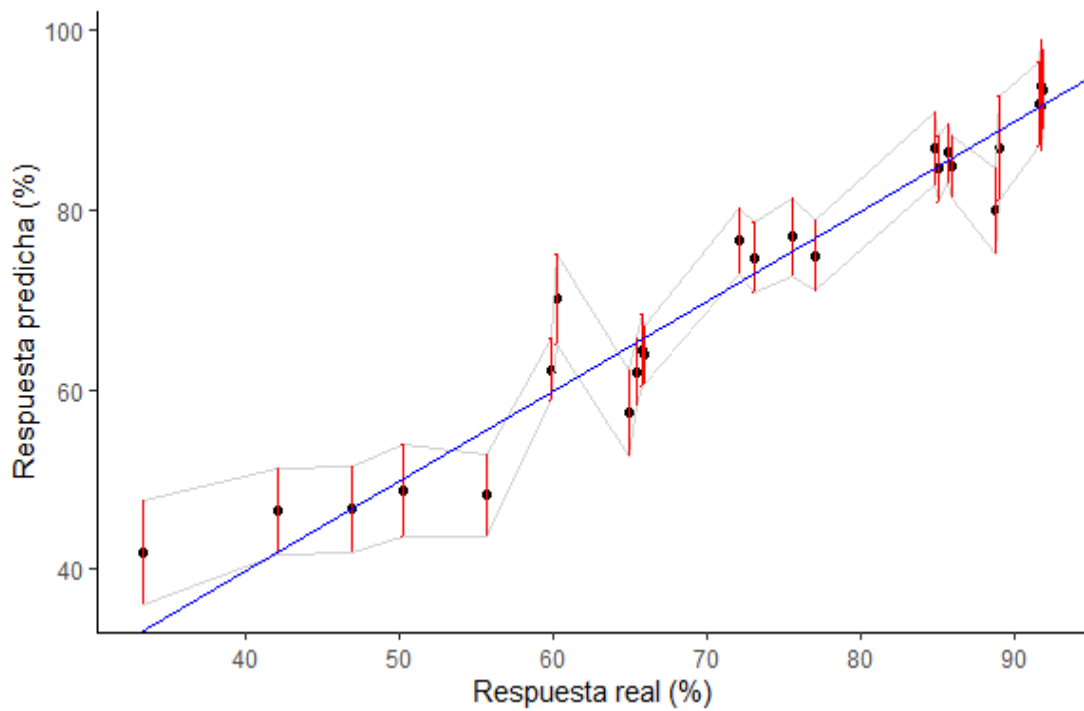


Figura 88. Gráfico de predicciones del parámetro Turbiedad

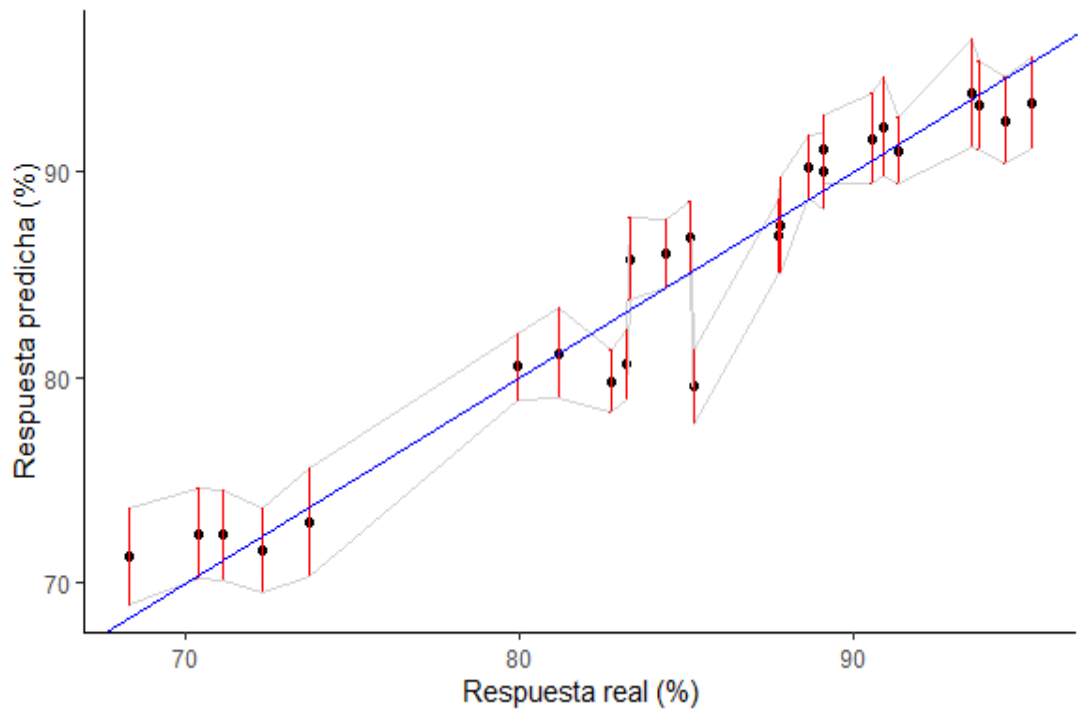


Figura 89. Gráfico de predicciones del parámetro DQO5