

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



**MODELAMIENTO A PARTIR DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA  
OPTIMIZACIÓN DE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA A NIVEL DE  
LABORATORIO – UNAS, 2020.**

**Tesis**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**ELVIRA LUVIESKA RUIZ ORTEGA**

**Tingo María – Perú.**

**2022**



## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 017-2022-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 08 de diciembre de 2021 a horas 08:00 a. m. a través de la Sala Virtual de Conferencias Microsoft Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

### **“MODELAMIENTO A PARTIR DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA A NIVEL DE LABORATORIO – UNAS, 2020”**

Presentado por la Bachiller: **RUIZ ORTEGA, Elvira Luvieska**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

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, 20 de junio de 2022

**Dr. VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO**  
**PRESIDENTE**

**Ing. M. Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO**  
**MIEMBRO**

**Ing. M. Sc. ALBERTO FRANCO CERNA CUEVA**  
**MIEMBRO**

**Dr. LUIS EDUARDO ORE CIERTO**  
**ASESOR**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO  
**DATOS GENERALES DE PREGRADO**

**Universidad** : Universidad Nacional Agraria de la Selva

**Facultad** : Facultad de Recursos Naturales Renovables

**Título de tesis** : Modelamiento a partir de superficie de respuesta en la optimización de la remoción de turbidez del agua a nivel de laboratorio – UNAS, 2020.

**Autor** : Ruiz Ortega, Elvira Luvieska

**Asesor de tesis** : Dr. Ore Cierito, Luis Eduardo

**Escuela profesional** : Ingeniería Ambiental

**Programa de investigación** : Modelización ambiental

**Línea de investigación** : Gestión ambiental

**Eje temático de investigación** : Modelización de contaminantes

**Lugar de ejecución** : Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María

**Duración** : **Fecha de inicio** : 07-08-2020  
**Fecha de término:** 13-08-2021

**Financiamiento** : Recursos propios S/ 3317.00

  
Bach. Ruiz Ortega, Elvira Luvieska  
Tesisista

  
Dr. Ore Cierito, Luis Eduardo  
Asesor

## DEDICATORIA

A mis padres, Nely Ortega Melgarejo y Alexys Ruiz Garcia, por el apoyo incondicional del día a día, por inculcarme buenos valores y enseñarme desde pequeña a salir adelante y ser perseverante, superando problemas y afrontando metas.

A mi abuelita, Estelicia Melgarejo Geronimo que en paz descansa, y que se encuentra en la gloria de Dios, dedicado a ella por su gran amor y cariño hacia mi persona y porque siempre me brindó los consejos adecuados para seguir adelante. Dedicado con amor y cariño, siempre te recordaré con una sonrisa en tu rostro.

A mi hermana Ruby Evelyn Salinas Ortega, por ayudarme incondicionalmente y por siempre estar a mi lado.

A mi hermana Chelsea Yhire Ruiz Ortega y a mi hermanito Alexys Bástian Ruiz Ortega, por brindarme momentos de tranquilidad en momentos de tensión.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por guiar mi camino y ser mi fortaleza en cada instante, por inspirarme cada día y demostrar que está presente en nuestras vidas, por ayudarme y permitirme lograr mis metas y sobre todo por poner en mi camino a personas con buenos corazones.

Un agradecimiento especial al Dr. Luis Eduardo Oré Cierzo, por su apoyo y asesoramiento en la tesis, por su paciencia y disposición para absolver mis dudas y consultas, asimismo por compartir y orientarme con sus amplios conocimientos.

Un agradecimiento especial al Ing.MSc. Alberto Franco Cerna Cueva, por sugerirme ideas en la realización de la presente investigación, por brindarme su apoyo incondicional, por compartir hacia mi persona no solo sus conocimientos, sino también por facilitarme algunos insumos necesarios para llevar a cabo la tesis.

Agradezco al Ing.MSc. Franklin Dionisio Montalvo por las sugerencias en cuanto a la mejora de la tesis, asimismo por brindarme un espacio dentro del laboratorio de la facultad de Recursos Naturales Renovables para la ejecución de la presente tesis.

Agradezco al Ing.MSc. Victor Beteta Alvarado por absolver mis dudas y preguntas sobre la presente tesis, asimismo por las sugerencias brindadas en su momento sobre la mejora de la investigación.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivos específicos .....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.1.1. Uso de agentes naturales para remover la turbidez del agua.....	3
2.1.2. Aplicación de la metodología de superficie de respuesta.....	8
2.2. Descripción del <i>Aloe vera</i> .....	10
2.2.1. Propiedades.....	10
2.3. Modelación .....	12
2.3.1. Metodología de la superficie de respuesta.....	13
2.4. Turbidez.....	16
2.4.1. Remoción de turbidez.....	17
2.4.2. Coagulación - floculación.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	19
3.1. Lugar de ejecución.....	19
3.2. Materiales y equipos .....	19
3.2.1. Materiales .....	19
3.2.2. Equipos .....	20
3.2.3. Insumos.....	20
3.3. Criterios de estudio .....	20
3.3.1. Nivel de investigación .....	20
3.3.2. Tipo de investigación .....	20
3.3.4. Diseño de investigación.....	20

3.3.5. Variables y operacionalización.....	20
3.4. Metodología.....	22
3.4.1. Acondicionamiento de un agua caolínica para simular la turbidez, con diferentes valores iniciales de pH. ....	22
3.4.2. Determinación de la concentración de alúmina, mediante el test de jarras. ....	22
3.4.3. Determinación de la concentración óptima del <i>Aloe vera</i> (L.) Brum. f. para disminuir la turbidez del agua, mediante el test de jarras. ....	23
3.4.4. Elaboración de un modelo matemático de superficie de respuesta para determinar la dosis óptima de <i>Aloe vera</i> (L.) Brum. f. como floculante, en la remoción de la turbidez del agua. ....	24
3.4.5. Validación del modelo matemático de superficie de respuesta.....	24
3.4.6. Análisis estadístico .....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
4.1. Acondicionamiento de un agua caolínica para simular la turbidez, con diferentes valores iniciales de pH. ....	28
4.2. Concentración óptima de la alúmina .....	29
4.3. Dosis óptima del <i>Aloe vera</i> (L.) Brum. f. para disminuir la turbidez del agua.....	31
4.4. Modelo matemático de superficie de respuesta para determinar la dosis óptima de <i>Aloe vera</i> (L.) Brum. f. como floculante, en la remoción de la turbidez del agua.....	39
4.5. Validación del modelo matemático de superficie de respuesta .....	46
4.5.1. Representación gráfica .....	46
4.5.2. Comparación estadística .....	47
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Efectividad en la remoción de parámetros en el tratamientos de aguas con el gel <i>Aloe vera</i> a 35mL/L. ....	7
2. Taxonomía del <i>Aloe vera</i> (L.) Burm. F. ....	10
3. Propiedades físicas del caolín. ....	16
4. Valores de turbidez de fuentes de aguas superficiales ....	16
5. Valores matriz de operacionalización de la variable independiente y dependiente. ....	21
6. Esquema del diseño experimental para la elaboración del modelo matemático de superficie de respuesta. ....	24
7. Ejemplo del formato de la prueba de Kruskal-Wallis con respecto a la eficiencia de la remoción de la turbidez del agua, con respecto a la turbidez inicial del agua ....	27
8. Datos estadísticos de las turbideces generadas mediante la adición del caolín en diferente concentraciones. ....	29
9. Datos estadísticos de los pH generadas para el acondicionamiento del pH inicial del agua. ....	29
10. Prueba de Kruskal-Wallis de la turbidez inicial del agua con respecto a la remoción del mismo. ....	38
11. Prueba de Kruskal-Wallis del pH inicial del agua con respecto a la remoción de la turbidez ....	38
12. Prueba de Kruskal-Wallis de la dosis del sulfato de aluminio con respecto a la remoción de la turbidez del agua ....	38
13. Prueba de Kruskal-Wallis de la dosis del sulfato de aluminio con respecto a la remoción de turbidez del agua ....	38
14. Dosis óptima del <i>A. vera</i> como floculante, en la remoción de la turbidez del agua según el modelo matemático de Superficie de Respuesta ....	45
15. Eficiencia esperada vs eficiencia obtenida, prueba de rango de Wilcoxon con 95% de confianza ....	47
16. Comparaciones matemáticas mediante índices de sesgo y exactitud ....	48



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Proceso de extracción del mucílago de sábila .....	4
2. Modelo de superficie de respuesta para estimar dosis de coagulante natural (semilla Moringa Oleifera) .....	9
3. <i>Aloe vera</i> (L.) Brum. f. (Sábila) .....	11
4. Hoja entera y corte transversal de <i>Aloe vera</i> .....	11
5. Superficie de respuestas para dos variables independientes.....	13
6. Superficie de respuesta de un modelo ajustado en un experimento . .....	14
7. Gráfico de contornos .....	15
8. Ubicación geográfica de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Facultad de Recursos Naturales Renovables. ....	19
9. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo para la validación del modelo matemático.....	25
10. Curva patrón de las dosis de caolín para determinar un turbidez deseada. ....	28
11. Efecto de sulfato de aluminio, en la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 6,05.....	30
12. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 7,56.....	31
13. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 9,07.....	31
14. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 6,05 a una turbidez inicial de 10,2 NTU. ....	32
15. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 6,05 a una turbidez inicial de 50 NTU. ....	33
16. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 6,05 a una turbidez inicial de 190 NTU. ....	33
17. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 7,56 a una turbidez inicial de 10,2 NTU. ....	34

18. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 7,56 a una turbidez inicial de 50 NTU. ....	35
19. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 7,56 a una turbidez inicial de 190 NTU. ....	35
20. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 9,07 a una turbidez inicial de 10,2 NTU. ....	36
21. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 9,07 a una turbidez inicial de 50 NTU. ....	36
22. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 9,07 a una turbidez inicial de 190 NTU. ....	37
23. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 10,2 NTU y un pH de 6,05. ....	39
24. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 50 NTU y un pH de 6,05. ....	40
25. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 190 NTU y un pH de 6,05. ....	40
26. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 10,2 NTU y un pH de 7,56. ....	41
27. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 50 NTU y un pH de 7,56. ....	42
28. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 190 NTU y un pH de 7,56. ....	42
29. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 10,2 NTU y un pH de 9,07. ....	43
30. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 50 NTU y un pH de 9,07. ....	44
31. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 190 NTU y un pH de 9,07. ....	44
32. Comparación entre valores predictivos del modelo de superficie de respuesta y los valores reales observados. ....	46
33. Vista lateral del <i>A. vera</i> , usada como floculante natural en el remoción de la turbidez del agua. ....	80

34. Obtención del gel del <i>A. Vera</i> , para su posterior dilución al 1%, usada como floculante natural en la remoción de la turbidez del agua. ....	80
35. Vista de los insumos y equipos usados para realizar el modelo de superficie de respuesta.....	81
36. Turbidímetro usado para medir la turbidez del agua, en el proceso de la elaboración y validación de modelo matemático de superficie de respuesta. ....	81
37. Muestras de agua a diferentes pH, para realizarse el modelo de superficie de respuesta.....	82
38. Formación de flóculos después de agrega las dosis óptimas de sulfato de aluminio y <i>A. vera</i> como floculante natural. ....	82
39. Toma de muestra de agua de un cuerpo superficial, para realizar la validación de modelo de superficie de respuesta. ....	83
40. Toma de muestra del agua de un cuerpo superficial. ....	83
41. Toma del pH de una muestra de agua del río Huallaga, para realizar la validación del modelo de superficie de respuesta. ....	84
42. Traspaso de agua recolectada de una fuente superficial a un balón de fondo plano para su posterior análisis.....	84
43. Formación de flóculos para una muestra de agua del río Huallaga, después de agregar las dosis óptimas de sulfato de aluminio y <i>A. vera</i> como floculante natural. ....	85

## RESUMEN

El acceso al agua potable por red pública es un problema de la población rural en el departamento de Huánuco, por ende, se suele realizar el consumo de este recurso sin previo tratamiento, produciéndose así enfermedades estomacales. El uso de agentes naturales como el *Aloe vera* (L.) (Sábila) viene a ser una alternativa como floculante para el tratamiento convencional del agua, por tal motivo se planteó realizar un modelo matemático a partir de superficie de respuesta en la optimización de la remoción de turbidez del agua, usando como floculante la sábila. La turbidez del agua se simuló con el caolín, y se determinó la concentración óptima de alúmina y sábila (1%) a valores diferentes de pH y turbidez iniciales, con los datos resultantes se optimizó las dosis mediante el modelo matemático de superficie de respuesta para después realizar su respectiva validación mediante métodos gráficos e índices matemáticos, los resultados reflejaron que la turbidez inicial, pH inicial y la dosis del coagulante influyen significativamente en la remoción de la turbidez de agua, de forma individual, concluyendo según el modelo de superficie de respuesta que el volumen óptimo de sábila al 1% alcanza su mayor eficiencia a 0,1 mL y 0,4 mL por cada 500 mL, dosis que varía de acuerdo a su pH y turbidez inicial, este modelo matemático se ajusta para aguas superficiales de la ciudad de Tingo María.

**Palabras clave:** *Aloe vera* (L.), sulfato de aluminio, pH, caolín

## ABSTRACT

Access to drinking water through the public network is a problem for the rural population in the department of Huánuco, therefore, the consumption of this resource is usually carried out without prior treatment, thus producing stomach diseases. The use of natural agents such as Aloe vera (L.) (Aloe) becomes an alternative as a flocculant for conventional water treatment, for this reason it was proposed to carry out a mathematical model from the response surface in the optimization of the removal of turbidity from the water, using aloe vera as a flocculant. The turbidity of the water was simulated with kaolin, and the optimal concentration of alumina and aloe (1%) was determined at different values of pH and initial turbidity, with the resulting data, the doses were optimized by means of the mathematical model of response surface for After carrying out their respective validation through graphic methods and mathematical indices, the results reflected that the initial turbidity, initial pH and the coagulant dose significantly influence the removal of water turbidity, individually, concluding according to the response surface model Since the optimal volume of aloe vera at 1% reaches its highest efficiency at 0.1 mL and 0.4 mL per 500 mL, a dose that varies according to its pH and initial turbidity, this mathematical model is adjusted for surface waters of the city of Tingo María.

**Keywords:** *Aloe vera* (L.), aluminum sulfate, pH, kaolin

## I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, el 24.7% de la población en la zona rural no cuenta con acceso a agua por red pública, abasteciéndose en su mayoría de fuentes como el río, acequia, manantial u otros. Uno de los departamentos con menor cobertura de agua proveniente de red pública es Huánuco, con un 76.1%, además presenta la menor cobertura de agua potable por red pública (por debajo del 30%) (INEI, 2019). La población sin acceso al agua potable muchas veces realiza el consumo de este recurso sin previo tratamiento, produciendo así en ellos enfermedades como: disentería amébrica, la shigelosis, el cólera, las diarreas (de etiología no específica), las diarreas del tipo *E. coli*, las diarreas virales, el virus A de la hepatitis y la fiebre tifoidea (Rodríguez *et al.*, 2016; Eugene, 1988). Marcó *et al* (2004) afirman que la turbidez es un indicador cualitativo indirecto de riesgo de contaminación microbiológica en aguas superficiales, ya que la turbidez refleja la cantidad de coliformes totales existente en ellas.

El uso de floculantes naturales viene siendo investigado en estos últimos años debido a su capacidad de remover la turbidez, no alterar el pH del agua, y sobre todo su inocuidad en la salud de las personas, adicional a ello se tiene como conocimiento que el tratamiento convencional del aguas superficiales incluye a la coagulación/floculación y sedimentación, el cual puede ser reemplazado por agentes naturales tal y como lo investigó Hurtado (2019), donde hizo uso del poder floculante del *Aloe vera*.

En la actualidad se carece de un modelo matemático para estimar la dosis adecuada del *Aloe vera* en la remoción de turbidez del agua, según Apostol *et al* (2011) un método muy usado viene a ser el método de superficie de respuesta el cual permite determinar condiciones óptimas para remover sólidos suspendidos, parámetro que está directamente relacionado con la turbidez. A partir de un modelo matemático se podrá conocer las dosis óptimas del *Aloe vera* para la remoción de la turbidez del agua, disminuyendo así en riesgo en la salud, no solo por lo el tratamiento usado, sino también porque se reducirá la cantidad del uso de químicos como la alúmina, resultado que será provechoso para poblaciones de zonas rurales que carecen de agua potable, y suelen abastecerse de aguas superficiales sin previo tratamiento.

En consecuencia, de todo lo descrito anteriormente se plantea la siguiente incógnita: ¿Cuál es el modelo a partir de superficie de respuesta en la optimización de la

remoción de turbidez del agua a nivel de laboratorio – UNAS, 2020?. Con el mismo enfoque, en la presente investigación se plantea la siguiente hipótesis: el modelo a partir de superficie de respuesta en la optimización tiene un alto nivel de significancia estadística en la remoción de turbidez del agua a nivel de laboratorio – UNAS, 2020.

### **1.1. Objetivo general**

Modelar a partir de superficie de respuesta en la optimización de la remoción de turbidez del agua a nivel de laboratorio – UNAS, 2020.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Acondicionar un agua caolínica para simular la turbidez, con diferentes valores iniciales de pH.
- Determinar la concentración óptima de alúmina, mediante el test de jarras.
- Determinar la dosis óptima del *Aloe vera* (L.) Brum. f. para disminuir la turbidez del agua, mediante el test de jarras.
- Elaborar un modelo matemático de superficie de respuesta para determinar la dosis óptima de *Aloe vera* (L.) Brum. f. como floculante, en la remoción de la turbidez del agua.
- Validar el modelo matemático, de forma experimental.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Uso de agentes naturales para remover la turbidez del agua

El empleo de agentes naturales como la semilla de *Moringa oleifera* para la remoción de la turbidez de aguas crudas, muestra una eficiencia similar al uso de sulfato de aluminio o férrico (Ramírez y Jaramillo, 2015). Otro agente natural viene a ser el almidón de papa que tiene una eficiencia de 94% en la remoción de la turbidez, con una dosis óptima de 50mg/L, comportamiento similar al Sulfato de Aluminio que fue usado como coagulante, con una dosis óptima de 30mg/L, es importante mencionar que el agente natural ya mencionado, no altera el pH del agua tratada, además sus lodos son inocuos y de menor cantidad que la coagulación con el Sulfato de Aluminio (Herrera, 2015). Ortíz *et al* (2013) hicieron uso de *Opuntia ficus-indica* en polvo para que cumpla la función de un coagulante, cuyo resultado reflejó un 72% de remoción de la turbidez a un 90 mg/L del coagulante para una turbidez inicial de 171 NTU. Por otro lado, el uso de la hoja de *Malachra alceifolia* Jacq (Malva) para la remoción de la turbidez alcanza una eficiencia del 94,57% con dosis óptimas de: pH inicial a 10,16 alúmina a 256,72 ppm y la malva a 97,62 ppm (Cerna, 2018).

Moreno (2016), en una de sus investigaciones determinó la eficiencia de remoción de la turbidez del *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*, de manera individual, tomando en cuenta variables como los recursos vegetales ya mencionados, cantidad de estos recursos, el tiempo de contacto y la velocidad de agitación, cuyo resultado final demostró que la mayor remoción de turbidez se alcanza a una velocidad de 100 rpm, con una cantidad de 6 g del material vegetal, siendo el tratamiento más eficiente de la *Opuntia ficus indica*, seguida del *Caesalpinia spinosa* y finalmente del *Aloe vera*, con una remoción de la turbidez de 61,09%, 48,47% y 42,48%, respectivamente. Con respecto al tiempo de remoción de la turbidez, esta variable no mostró diferencias en sus resultados (se trabajó con tiempos de 5 min, 15min y 20min). En otra investigación realizada por Tucanes (2019) se determinó las condiciones apropiadas para la aplicación de floculantes de gel de sábila (*Aloe Vera*) y nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la elaboración de la panela, para lo cual, lo primero que realizó el investigador fue la extracción de los floculantes de las plantas ya mencionadas, comenzando por la selección de las que se encontraban en mal estado los cuales posteriormente fueron



desechados, en el caso de la extracción del gel de sábila, después de realizar el proceso de selección de las plantas se prosiguió a desinfectarlos en una solución clorada por un tiempo de tres minutos, seguidamente estas hojas fueron dejadas en reposo por 48 horas con la finalidad de eliminar el yodo presente en ellas, para obtener el gel de la sábila el investigador removió la corteza de la hoja, después lo maceró con agua a una proporción 1:1 por 24 horas, para seguidamente filtrarlo (figura 1). El floculante cumplió su función en el proceso de clarificación, en donde tomó acción aglutinando las suciedades que no habían sido removidos en procesos anteriores de la elaboración de la panela (Tucanes, 2019), como conclusión de la investigación se obtuvo que el gel de sábila y el mucílago de nopal evaluados de forma independiente, no inciden en el proceso de clarificación de jugo de caña.



Figura 1. Proceso de extracción del mucílago de sábila (Tucanes, 2019).

En la investigación realizada por Hurtado (2019), se determinó el poder floculante del *Aloe vera* L. haciendo uso del sistema de coagulación-floculación-sedimentación, con gel-alúmina mediante la prueba del test de jarras. Para obtener el floculante del vegetal, el investigador realizó la extracción del gel de las hojas de la sábila. Adicional a ello en dicha investigación identificaron mediante un análisis fitoquímico, la presencia de carbohidratos como el principal componente floculante del *Aloe vera* L. Uno de los datos más resaltantes presentes en la investigación de Hurtado (2019), fue que demostró el poder floculante del gel *Aloe vera*, pero sin embargo el uso de este gel de forma individual no es muy enérgico, existe un mejor resultado de la remoción de la turbidez al hacer uso de este como coadyuvante de la floculación en mezcla con alúmina, permitiendo una buena floculación de hasta 67% para muestras de agua con las siguientes características: turbidez mayores a 30 N.T.U, temperatura a 18° C, con tiempo de sedimentación de 20 a 40 minutos. Daza y Epalza (2016) en su investigación “Evaluación de la eficiencia de biopolímeros derivados de plantas desérticas como agentes de floculación” reporta un máximo de 92,74% de remoción de turbidez de agua usando como coagulante-floculante al *Aloe vera*, para una muestra de agua de 44,5 NTU y un pH inicial de 7,0.

Diestra y Ramos (2019) determinaron el efecto de la concentración del gel *Aloe vera* y el tiempo de floculación en la remoción de sólidos suspendidos (SST) y materia biodegradable (DBO<sub>5</sub>) de un agua residual, mediante el test de jarras a una velocidad de agitación rápida de 200 rpm y lenta de 30 rpm. Para la extracción del gel de *Aloe vera*, primero el investigador separó el gel de la corteza, para posteriormente secarlo, molerlo y tamizarlo, los cuales fueron preparadas a concentración de 1000ppm y 2000ppm, en donde se concluyó que la mayor remoción de turbidez fue a 3000ppm con un tiempo de floculación de 25 minutos, logrando remover hasta 88,49%, adicional a ello la remoción de la DBO<sub>5</sub> efectiva fue a la concentración ya mencionada con una remoción de 73,46%. Otro de los autores que consideraron el ensayo de jarras a distintas velocidades fueron Fúquene y Yate (2018), en su ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales, en donde se menciona que lo primero que se realiza es la revisión del rango óptimo de pH de acuerdo al coagulante con el que se trabajará, estos investigadores consideraron dos velocidades: una mezcla rápida ( $\pm 100$  rpm) y una mezcla lenta a ( $\pm 60$  rpm), ambos a diferentes tiempos, la mezcla rápida a corta duración de un minuto aproximadamente, mientras que la mezcla lenta a 15 min aproximadamente.

Razuri (2017) en una de sus investigaciones determinó si los tratamientos de (*Aloe vera* L., *Opuntia ficus indica* y *Aloe Vera* L.+ *Opuntia ficus indica*) disminuyen el

contenido de DBO<sub>5</sub> y la DQO en las aguas de un canal de regadío ubicado San Martín de Porres, el investigador realizó la simulación mediante el test de jarras donde se mantuvo el pH de 6 a 7, temperatura ambiente y con velocidad de agitación rápida (100 rpm por 1 min) y lenta (30 rpm a 20 min), en el cual manipuló las plantas ya mencionadas, para así determinar la disminución del DBO<sub>5</sub> y DQO. La metodología consistió en obtener las plantas ya en polvo, primero removiendo la cutícula de estas para que fueran pasadas por una etapa de liofilización (proceso de deshidratación) y seguidamente fueron conservadas en un desecador. Las dosis del *Aloe vera L* y *Opuntia ficus indica* fueron de 600, 700 y 800mg/L en donde se obtuvo que a mayor dosis mayor remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y de turbiedad siendo el más eficiente el tratamiento de *Aloe Vera L.* + *Opuntia ficus indica*.

Nougboden *et al* (2016) en su investigación de la evaluación del gel de hoja del *Aloe vera* como floculante natural: cribado fitoquímico y eliminación de turbidez Ensayos de agua por coagulación y floculación, reportaron que esta planta contiene grupos fitoquímicos que le dan la propiedad de floculante tales como taninos, saponinas, mucílagos, flavonoides, derivados del antraceno, derivados de quinonas y proteínas, además manifestaron una eficiencia de remoción de 72% para una muestra de agua de 186,8 NTU y un pH de 7,37 haciendo uso solo del *Aloe vera*.

Gaikwad y Munavalli (2019), en su investigación realizado el 2019, reportaron información sobre la eliminación de la turbidez mediante coagulación convencional y lastrada con coagulantes naturales, en donde obtuvieron como resultados que el *Aloe vera* es más eficaz en combinación con otro agente coagulante naturales, llegando estos a eliminar hasta el 40% de turbidez de un agua de turbidez baja (<12) con un pH de 7,0 a 7,6.

Tejaswinee (2016), determino con al usar solo el *Aloe vera* como coagulante primario no se obtiene una buena remoción de la turbidez ya que solo obtuvo una remoción máxima de 39,41%, mientras que al realizar una combinación del alumbre con el *Aloe vera* al 1% el porcentaje de remoción aumenta hasta llegar a valores superiores al 80%.

El uso del gel de *Aloe vera* como coagulante es efectivo en el tratamiento de aguas residuales, ya que redujo los valores de turbidez, DBO<sub>5</sub>, DQO, aceites y grasas y sólitos suspendidos totales (Tabla 1) de un agua residual proveniente del colector de aguas residuales de Moyobamba (Jhorvys, 2018). Cabe resaltar que el uso del *Aloe vera* fue en gel debido a que de esa manera se preservan los nutrientes, con una solución madre del cual se tomó el 1% equivalente a 10mg/L con un tiempo vida de 30 días.

Tabla 1. Efectividad en la remoción de parámetros en el tratamiento de aguas con el gel *Aloe vera* a 35mL/L.

	Turbidez (N.T.U)	DBO <sub>5</sub> (mL/L)	DQO (mL/L)	aceites y grasas (mL/L)	SST (mL/L)
Antes	120	1825	3654	47	1458
Después	42	787	1410	25	725
% de remoción	65	57	61	47	50

Fuente: Jhorvys (2018)

Terrones (2019) determinó la eficiencia de la floculación de una mezcla de plantas (*Aloe Vera* y *Citrus reticulata*) para disminuir la turbidez del agua de un río ubicado en Cajamarca, el investigador para obtener el mucílago del *Aloe vera* (sábila) primero retiró la corteza y colocó el mucílago en un frasco de vidrio, en el caso de la cáscara de *Citrus reticulata* (mandarina) este fue secado en el sol por 4 días para posteriormente ser llevada a la estufa a 120°C por 2 horas, en dicha investigación se obtuvo como resultado final que el floculante *Aloe vera* tiene mayor porcentaje de remoción de la turbidez con un valor de 76,5%, siendo el volumen óptimo del floculante 1mL por cada 500 mL de muestra, sin embargo la mezcla de este con el *Citrus reticulata* también reflejan buenos resultados con 0,75 mL y 0,25mL de floculantes respectivamente, en donde se logró remover la turbidez en un 69%.

En otra investigación, realizada por Kumar *et al* (2015), se usó la *Caesalpinia spinosa* (tara), *Aloe chinensis* (sábila) y *Carica papaya* (papaya) como insumos para tratamiento de aguas, cuyas muestras de agua fueron simuladas con arcilla a solución madre reparado con caolín (turbidez de 80, 90, 100 NTU), usaron una solución concentrada de 500 mg de cada vegetal ya mencionado en un litro de agua para poder diluirla, a velocidades rápidas y lentas (80 rpm y 40 rpm) por 5 y 25 min respectivamente, cuyo resultado reflejó los siguientes valores de remoción de turbidez: 65,25%, 50% y 45,80%, en el caso de la tara, sábila y 45,80% papaya, respectivamente en los que se tomó como turbidez inicial a 100 NTU. Muchos investigadores preparan una solución madre y después mediante la fórmula de disolución llegan a los valores deseados (Chiliquinga, 2017).

Es muy importante resaltar que la coagulación va de la mano con la floculación por ello es muy importante conocer sus parámetros de operatividad, por ejemplos el uso del sulfato de aluminio para la coagulación es muy estudiado, en ese caso Vielman (2019) realizó una investigación sobre la determinación del pH óptimo de coagulación, donde hizo del

sulfato de aluminio y obtuvo como resultado que la dosis óptima del coagulante en mención se encuentra dentro del rango 6,5 a 8 de pH, haciendo énfasis en el papel importante que juega el pH en la coagulación de las aguas, cabe resaltar que este investigador hizo uso de muestra de agua provenientes de una industria de alimento de harina de trigo y trabajo con turbideces de superiores a 100 NTU, asimismo realizo el ajuste de su pH con el óxido de calcio. Con respecto a lo referido, Barajas y León (2015) realizaron una investigación sobre la dosis óptima de sulfato de aluminio en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial, en donde obtuvieron como resultado que el valor óptimo se encuentra en un rango de 5,5 y 8, el investigador en mención trabajó con turbideces que variaron desde 10 hasta 1000 NTU y con dosis de sulfato de aluminio que variaron desde 6 a 100 ppm. Asimismo, en el año 2015, Claros (2015) confirmó estadísticamente la relación existente entre el pH y el coagulante usado sobre la turbidez final de un agua, en donde obtuvo un  $p < 0,05$  resultado se interpretó como una alta significancia de la dosis de coagulante y pH sobre la turbidez del agua.

### **2.1.2. Aplicación de la metodología de superficie de respuesta**

En la investigación realizada por Cerna (2020), se hizo uso del método de superficie de respuesta, para la optimización de las dosis de alúmina en diferentes valores de pH y turbidez, en donde una de las conclusiones es que la eficiencia de remoción por coagulación con alúmina está relacionada con el pH final, que se encuentra en un rango de 5 a 7,22 (rango de operación). Asimismo, Chacon y Ramos (2019) usaron el método de superficie de respuesta para determinar la optimización de la remoción de turbidez, DBO<sub>5</sub> y DQO mediante procesos de coagulación/floculación de aguas residuales domésticas empleando organoarcilla, en donde una de las conclusiones fue que el empleo de esta metodología (superficie de respuesta) consiguió evaluar y optimizar las variables dependientes (turbidez, , DBO<sub>5</sub> y DQO), reflejando una eficiencia de 97,89% en la remoción de la turbidez con un pH de 7,56, en donde se empleó la organoarcilla natural y goma de tara como coadyudante, sin embargo la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO fueron bajas.

Otra investigación donde se usó el método de superficie de respuesta fue del “extracto de moringa (*Moringa oleífera*) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá” realizado por Alvarez (2019), en donde concluyó que el extracto de moringa con una dosis de 400 mg/L obtuvo un 94,16% de eficiencia en la remoción de la turbidez de un efluente de néctar de maracuyá con turbidez inicial 500 NTU. Existen investigaciones con otro enfoque como el realizado por Asunción (2017), en donde optó usar

el método de superficie de respuesta para optimizar el efecto de la proporción de Stevia/cedrón y tiempo de infusión en el sabor, olor y aceptabilidad general en la obtención de té.

Feria *et al* (2014) en una de sus investigaciones generó un modelo cúbico de superficie de respuesta para evaluar la eficiencia de la semilla *Moringa Oleifera* en la remoción de turbidez, así mismo llegó a visualizar la relación de las variables experimentales (turbidez, alcalinidad, pH, temperatura) y sus respuestas a través los gráficos generados, en donde una de sus conclusiones fue que para turbiedades bajas de agua cruda (50mg/L), el sulfato de aluminio es más eficiente que la semilla *Moringa Oleifera* (coagulante natural), adicional a ello una ventaja del coagulante natural sobre el sintético es que, el coagulante natural no generó cambios significativos en el pH y la alcalinidad del agua, además no se requeriría de acondicionamiento químico ni de estabilización del pH en el agua potabilizada.

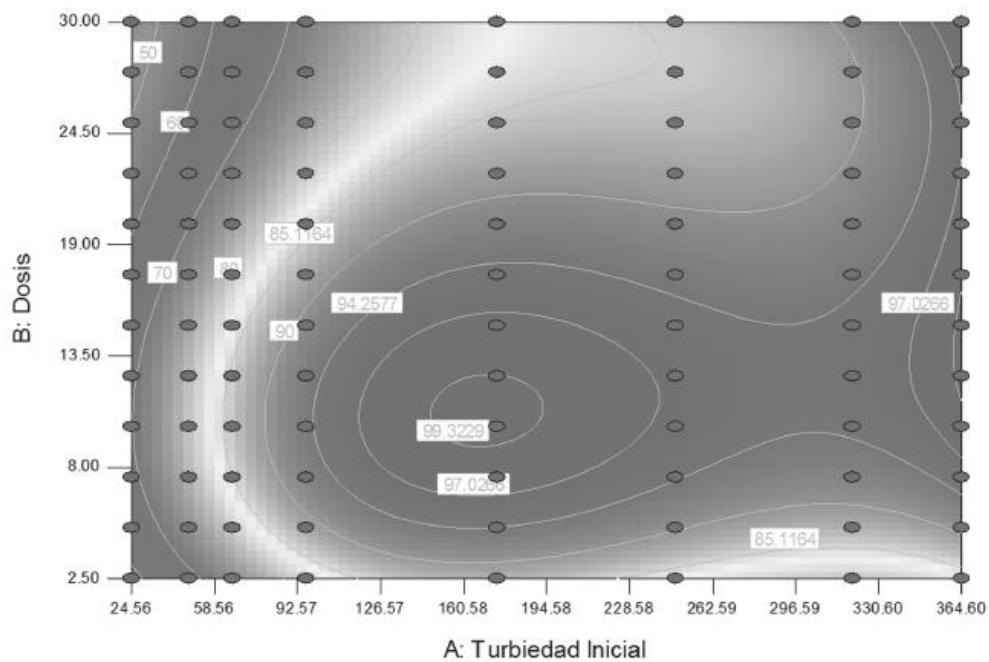


Figura 2. Modelo de superficie de respuesta para estimar dosis de coagulante natural (semilla *Moringa Oleifera*).

Fuente: Feria *et al* (2014)

Chaves *et al* (2011), hizo uso del método de superficie de respuesta para modelar el envejecimiento de los pavimentos asfálticos, en donde realizó la validación de este mediante un conjunto de datos observados en la realidad, para después realizar la comparación gráfica y hallar el porcentaje de diferencia entre los valores observados vs los predictivos, donde obtuvo dos resultados, donde obtuvo errores de 20%, 18% y 3%, los errores elevados se deben a los factores que no fueron considerados para la elaboración del modelo matemático. Asimismo Rocío (2003) realizó la validación de modelos matemáticos, dentro de ellos se encuentra el modelo de superficie de respuesta, esta validación fue realizada por dos métodos, uno de ellas

fue la validación gráfica y el otro la validación mediante índices matemáticos y estadísticos, mediante el primer método determinó que sus valores tanto observados como predictivos se encontraban cerca de la línea de tendencia y que la mejor transformación fue el de la raíz cuadrada, mientras que por el segundo método reportó que su RMS (raíz del error cuadrático medio) obtuvo valores que variaron de 0,070 a 0,322.

## 2.2. Descripción del *Aloe vera*

El *Aloe vera* fue descrito por Linneo, la calidad del gel depende mucho del suelo y de las condiciones climáticas de la zona donde se encuentra ubicada, además de ello tiene una gran capacidad de sobrevivir, la sábila ya arrancada y expuesta al calor puede resistir meses con sus facultades vitales intactas (Schweizer, 1994).

Tabla 2. Taxonomía del *Aloe vera* (L.) Burm. F.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Liliidae
Orden	Liliales
Familia	Aloaceae
Género	<i>Aloe</i> L.
Especie	<i>Aloe Vera</i> (L.) Burm. F.

Fuente: Departamento de agricultura de Estados Unidos. Natural Resources Conservation Service.

Esta planta crece en regiones semidesérticas y de clima cálido, en suelos secos, es fácil de cultivar. Los elementos más activos de la planta se encuentran en el gel mucilaginoso, los cuales deben ser bien conservados para un buen funcionamiento (Schweizer, 1994).

### 2.2.1. Propiedades

El *Aloe vera* en una planta constituida por un 98,5% de agua, y el otro porcentaje está conformada por materia seca, esta planta suele usarse con fines medicinales por su poder antiinflamatorio, antibiótico e incluso antiviral el cual se atribuye a los polisacáridos presentes en la planta (Vega *et al.*, 2005; Arce *et al.*, 2007), muy a parte de las propiedades ya mencionadas esta planta se comporta como floculante y ayuda a remover la turbidez de aguas (Hurtado, 2019).



Figura 3. Aloe vera (L.) Brum. f. (Sábila).  
Fuente: Razuri (2017)

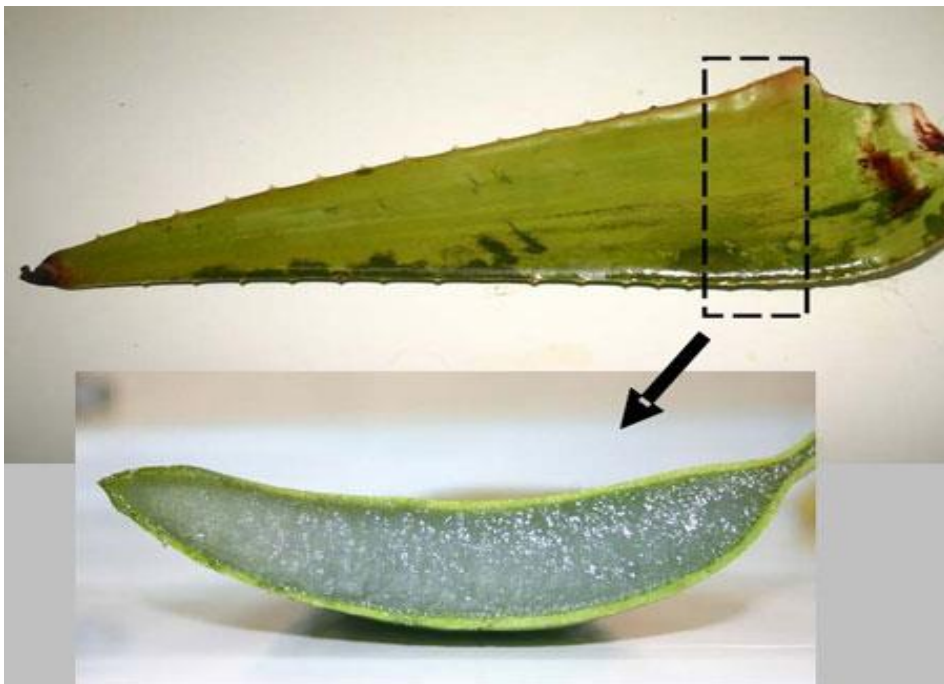


Figura 4. Hoja entera y corte transversal de *Aloe vera*.  
Fuente: Vega *et al* (2005)

Mandar y Mitesh (2009) realizaron una investigación sobre la extracción, purificación e identificación del gel de *Aloe vera*, en donde realizaron varios métodos de extracción, donde concluyó que los métodos que usó mostraron la presencia del principal



polisacárido acemanano en todos los extractos, uno de los métodos usados fue la preparación estándar que consiste en lo siguiente:

- Cortar 2-4 hojas de aloe a aproximadamente  $\frac{1}{2}$  pulgada de la base para drenar (sacar todo el material de savia amarilla).
- Luego, presurizar las hojas aún más con la mano lentamente, hasta que se llegue a observar el goteo del gel transparente. El gel que se obtiene por este método es más estable y menos degradado que otro método de extracción.

Con respecto al proceso de limpieza y desinfección Mandar y Mitesh (2009) lo realizaron de la siguiente manera:

- Todas las hojas antes del procesamiento fueron remojadas en una solución de hipoclorito de calcio (0,1% p / v) posteriormente fueron lavadas a fondo con agua.
- Cualquier hoja infectada o dañada fue descartada inmediatamente, al igual que las hojas inmaduras u hojas que contengan muy poca cantidad de gel mucilaginoso.

El proceso de fileteado y la homogeneización se realizó de la siguiente manera: después de los procesos ya mencionados, se cortaron las hojas aproximadamente  $\frac{1}{2}$  pulgada de la base con la finalidad de drenar todo el material amarillo de la savia, luego las hojas se cortaron nuevamente a aproximadamente  $1 \frac{1}{2}$  pulgada del ápice, resaltando que las hojas se cortaron en dos o más partes longitudinalmente, asimismo se cortaron las márgenes espinosas de la sábila para posteriormente retirar la epidermis superior de las hojas, con una espátula o cuchillo limpio, finalizada dicho proceso se raspó el gel interno, evitando siempre cualquier parte verde de la sábila para obtener así los trozos / filetes de hoja. Se permitió que los trozos se escurrieran naturalmente a baja temperatura.

Muñoz *et al* (2015) realizó un estudio sobre la extracción, caracterización y propiedades del gel de *Aloe vera*, en donde hizo uso de hojas con longitudes de 40 a 60 cm de plantas de 3 años, los cuales fueron limpiadas de forma individual con agua destilada y con agua con 0,5% de cloro, en donde al igual que Mandar y Mitesh (2009) cortaron las espinas de los bordes de la sábila, posteriormente se retiró la corteza, para que los filetes sean lavados con agua destilada.

### **2.3. Modelación**

El proceso de modelación matemática está ligada a la obtención de un modelo matemático de un fenómeno o situación problema, dicho modelo no solo permite obtener una solución particular, sino también sirve de soporte para otras aplicaciones o teorías. La modelación sigue los siguientes pasos (Salett y Hein, 2004):

- Elección del tema lo que involucra el reconocimiento de la situación/problema.

- Delimitación del problema, y la familiarización con el tema que va a ser modelado, a través de la revisión bibliográfica.
- Formulación del problema, mediante el cual se puede construir la hipótesis.
- Formulación de un modelo matemático y resolución del problema.
- Interpretación de la solución y validación del modelo, finalizado la etapa se realiza la evaluación del resultado.

### 2.3.1. Metodología de la superficie de respuesta

La metodología de la superficie de respuesta ha sido utilizada con éxito en la optimización de diversos procesos, sistemas e instalaciones industriales, es una metodología experimental aplicado en laboratorios de investigación (Juran y Gryna, 1983). Este método analiza como diferentes variables independientes influyen en la variable dependiente (variable de respuesta), cuyo objetivo es obtener el valor óptimo de dicha respuesta, cabe resaltar que las variables independientes pueden controlarse por el experimentador motivo por el cual el error es suficientemente pequeño, un ejemplo práctico es el siguiente (Suárez, 2017):

- Se tiene interés en determinar el valor de temperatura ( $X_1$ ) y de presión ( $X_2$ ) que permiten obtener el valor máximo de conversión de un proceso.

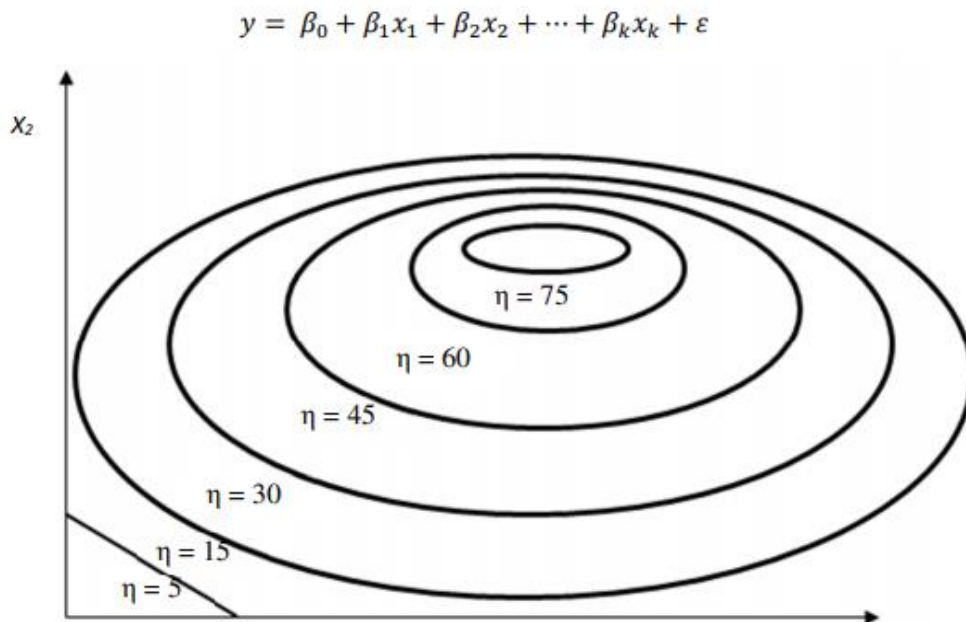


Figura 5. Superficie de respuestas para dos variables independientes.

La relación entre la magnitud de la respuesta observada y las magnitudes de las variables temperatura y presión puede expresarse como (Suárez, 2017):  $Y=f(x_1,x_2)+ e(\text{error})$

aleatorio). Si la respuesta esperada se denota como  $E(y) = \eta$ , entonces la superficie de respuesta representada por  $\eta = f(x_1, x_2)$  se llama superficie de respuesta (Suárez, 2017).

La forma gráfica de la superficie de respuesta puede ser representada en dos dimensiones, donde  $x_1$  y  $x_2$  son representados en un plano y observando los valores de la respuesta  $E(y)$  en un eje perpendicular al mencionado plano. Los diagramas de bordes de superficies representan valores constantes de la respuesta lo cual ayuda a identificar a las superficies de la respuesta (Figura 4), donde muchas veces el análisis significa que el punto más elevado representa la respuesta máxima (Suárez, 2017).

### 2.3.1.1. Gráficos de superficie de respuesta

El gráfico de superficie de respuesta representa un modelo ajustado, y describe el comportamiento de la respuesta promedio en cada punto de una región experimental. Las curvas de nivel de un gráfico son también consideradas como una representación de la superficie de respuesta, por ejemplo, en la Figura 6, cada curva representa puntos o combinaciones de broca y velocidad en los que la vibración es la misma, observándose que los puntos con valores más pequeños representan el mejor tratamiento, donde se podría interpretar como que la vibración pequeña es la broca en su nivel bajo, que es donde la superficie toma su menor altura. En un gráfico de superficie de respuesta los puntos en cada esquina representan los datos del experimento (Gutiérrez y Vara, 2012).

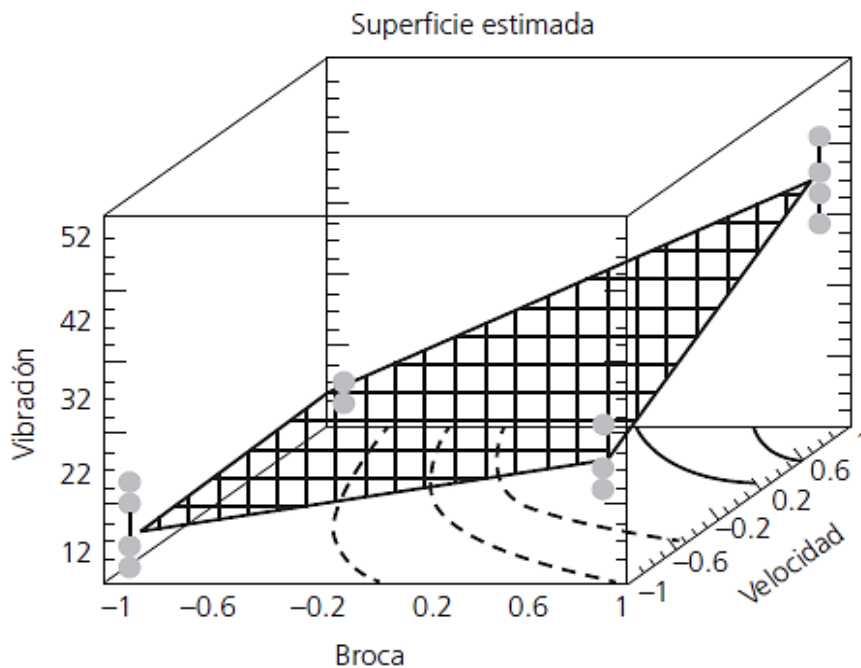


Figura 6. Superficie de respuesta de un modelo ajustado en un experimento (Gutiérrez y Vara, 2012).

Para poder interpretar el gráfico con mayor facilidad es recomendado representarlo sin la superficie (Figura 7), se dice que es mejor ya que se puede visualizar con mayor exactitud el punto óptimo o la coordenada deseada por el investigador. En la Figura siete se puede apreciar números junto a cada curva de nivel, estos números representan la altura de la superficie, valores que el experimentador maneja a su criterio. Un gráfico de contorno tiene curvas de nivel que nos facilitan ubicar los niveles de los factores sobre los cuales la variable de interés toma el mismo valor. Como ejemplo se muestra la Figura 7, donde la curva de nivel con el número 16 se encuentra cerca del punto  $(-1, -1)$ , mostrando así que el modelo estimado en este punto debe resultar un valor muy próximo al mencionado, lo cual se puede comprobar matemáticamente (Gutiérrez y Vara, 2012).

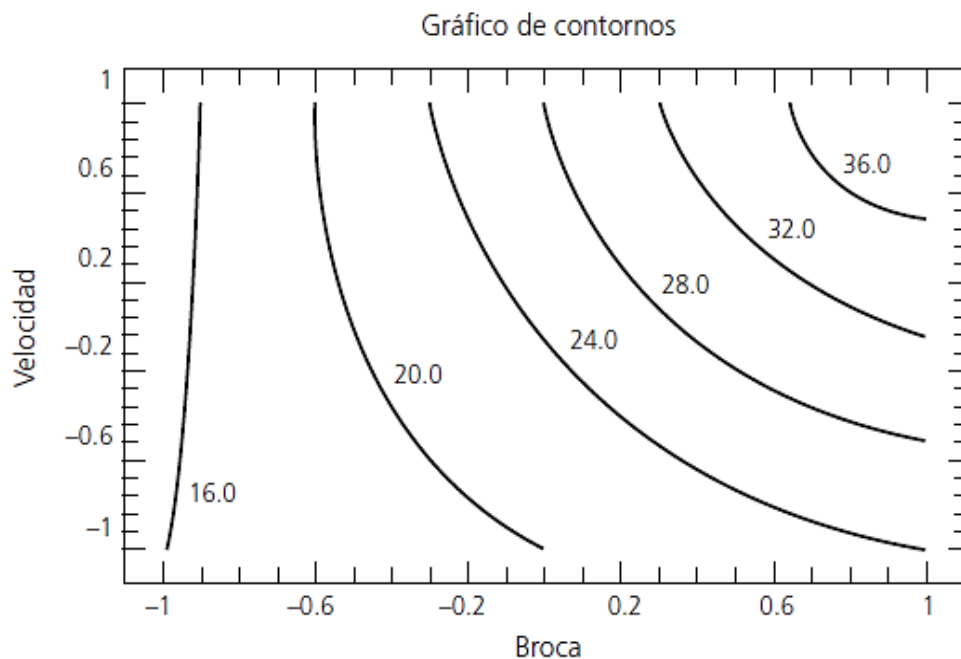


Figura 7. Gráfico de contornos.

Fuente: Gutiérrez y Vara (2012)

Rodríguez (2003) investigó sobre el desarrollo y la validación de modelos matemáticos, en donde mencionó dos tipos de validación de modelos:

- Validación interna: cuya finalidad es determinar si el modelo puede describir los datos experimentales.
- Validación externa: en este tipo de validación se utiliza datos nuevos, se incluye la validación matemática, en donde esta cuantifica la seguridad matemática de un modelo, donde se incluyen datos experimentales nuevos, los cuales no se hayan usado en la elaboración del modelo a validar.

## 2.4. Turbidez

La turbidez es entendida como la falta de transparencia de un líquido, debido a las partículas en suspensión (la turbiedad mide el nivel de transmitancia de luz en el agua) la turbidez es considerada como una medida de calidad del agua, debido a su estrecha relación con la materia coloidal (Rojas y Sastoque, 2007), dicha materia son suspensiones estables, motivo por el cual su sedimentación natural es imposible (Andía, 2000).

Tabla 3. Propiedades físicas del caolín.

Propiedades físicas	Características del caolín
Color	Blanco, gris amarillento
Aspecto	Untuoso al tacto
Brillo	Terroso, mate o nacarado cuando es cristalino
Raya	Blanca
Densidad	2,4 – 2,64 gr/cm <sup>3</sup>
Dureza	2 – 2,5 (escala de Mohs)

Fuente: Condori *et al* (2015)

Las partículas en suspensión que son causantes de la turbidez de un agua superficial provienen generalmente de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y descomposición de sustancias orgánicas, en aspectos más generales la turbiedad del agua superficial es a causa de partículas de materia inorgánicas como las arcillas, mientras que el color se le atribuye a partículas orgánicas e hidróxidos de metal como el hierro (Andía, 2000), por ello Soto (2016) uso la arcilla caolín en una de sus investigaciones, como un simulador de turbidez en el agua. Para simular la turbidez del agua muchos investigadores usan el caolín debido a su estabilidad ya que tiene una estructura expandible (Bartolomé, 1997 y Condori *et al* 2015).

Tabla 4. Valores de turbidez de fuentes de aguas superficiales

Lugar	Investigador	Turbidez (NTU)	pH
Cajamarca	(Terrones, 2019)	110	8,03
Lima	(Razuri, 2017)	429	7,87
Junín	(Custodio, 2016)	16,13	7,43
Junín	(Custodio, 2016)	8,47	7,67
Junín	(Custodio, 2016)	4,77	7,17
Trujillo	(Moreno, 2016)	550	7,43
Loreto	(Armas, 2010)	324,92	7,58

### **2.4.1. Remoción de turbidez**

Para remover la turbidez del agua se usa generalmente el proceso de coagulación/floculación, ya sea para un agua que se someterá a procesos de potabilización o aguas residuales, para realizarse la coagulación/floculación se suelen usar el alumbre, cloruro férrico y polímeros de cadenas larga (Gómez, 2005), el proceso de coagulación/floculación involucra tres pasos, los cuales son: mezclado rápido (se efectúa a velocidad flash) que tiene como objetivo dispersar los químicos en el agua es decir permite la coagulación; mezclado lento (se efectúa a velocidad moderada) con la finalidad de mantener los componentes del agua mezclados y promover la floculación; sedimentación es el proceso en el que se detiene el mezclado y se promueve la precipitación de los flóculos (Ebeling *et al.*, 2005).

### **2.4.2. Coagulación - floculación**

La coagulación es el proceso por el que los componentes de una suspensión o disolución estable son desestabilizados, para que la coagulación sea óptima es necesario llevar el pH a valores adecuados (Trujillo *et al.*, 2014), mientras que la floculación es el proceso en que la partículas ya desestabilizadas se unen para formar grandes partículas estables o aglomerados (Aguilar *et al.*, 2002), en este proceso la agitación no debe ser muy rápida debido a que generaría el rompimiento de los flóculos, ni muy lenta ya que favorecería la sedimentación (Trujillo *et al.*, 2014). Los coagulantes y floculantes naturales son principalmente polisacáridos, que a comparación de los inorgánicos y orgánicos, se consideran amigables con el medio ambiente debido a su biodegradabilidad (Diamadopoulos, 2009).

#### **2.4.2.1. Coagulación**

Como se mencionó anteriormente el objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales, no solo elimina la turbiedad del agua, sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos presentes en ella, el proceso de desestabilización de las partículas se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, el coagulante anula la carga eléctrica de la superficie del coloide permitiendo así que se aglomeren y formen flóculos (Andía, 2000). Los coagulantes se clasifican en (Aguilar *et al.*, 2002):

- Coagulantes inorgánicos, que son los coagulantes usados con mayor frecuencia en el tratamiento de aguas, concretamente sales como la alúmina, de los coagulantes inorgánicos tenemos a las: sales de aluminio que son las sales simples como el sulfato de alúmina (sulfato de aluminio), aluminato sódico y cloruro de aluminio, y sales prehidrolizadas como el cloruro de polialuminio; sales de hierro que pueden ser el

sulfato ferroso, sulfato férrico (como sales simples) y el sulfato poliférrico como sales polimerizadas; y cal.

- Coagulantes orgánicos

Los principales coagulantes utilizados son: el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso, resaltando que las sales de Aluminio y de Hierro son las más utilizadas, debido a que reaccionan con la alcalinidad del agua y producen hidróxidos de aluminio o hierro según corresponda, los cuales son insolubles y forman precipitados (Andía, 2000; Aguilar *et al.*, 2002).

#### **2.4.2.2. Floculación**

Existen floculantes orgánicos y naturales, los naturales incluyen al almidón, mucílagos entre otros. La floculación se consigue por medio de una agitación suave del agua con la finalidad de que las partículas entren en contacto y se adhieran unas a otras, lo ideal para la formación del flóculo es una agitación moderada continua decreciente, ya que el flóculo se hace más frágil a medida que crece. La velocidad óptima debe variar entre 0,15 a 0,40 m/seg (Orellana, 2014).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), específicamente en las instalaciones de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, que se encuentra ubicado en las coordenadas UTM: 390256 Este y 8970849 Norte a una altitud de 662 m.s.n.m en la ciudad de Tingo María.

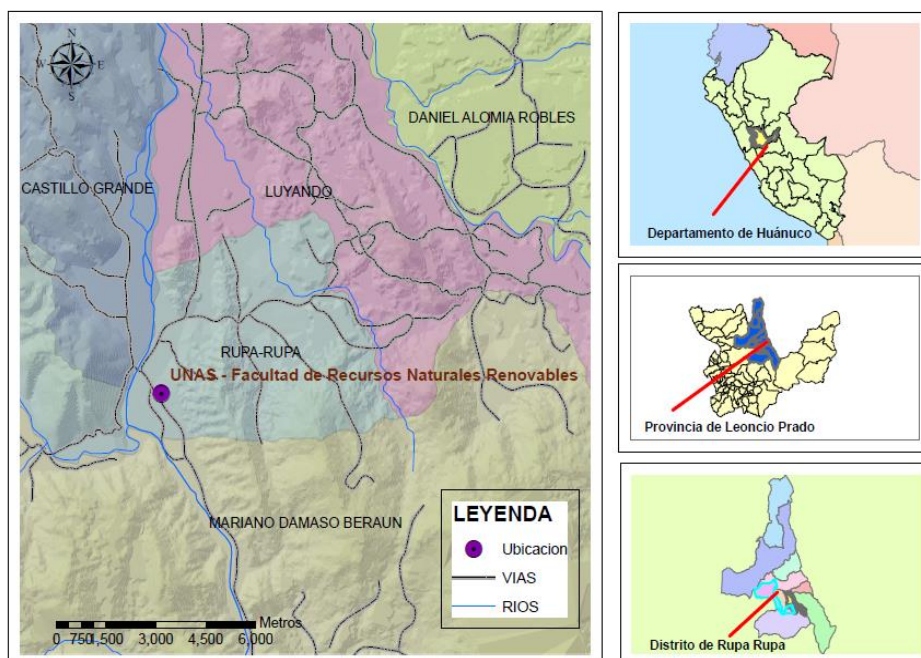


Figura 8. Ubicación geográfica de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Facultad de Recursos Naturales Renovables.

#### 3.2. Materiales y equipos

##### 3.2.1. Materiales

Para las actividades de laboratorio se utilizó los siguientes materiales: recipiente de plástico, envase de vidrio para depositar el mucílago de la sábila, pipetas, vasos precipitados, varillas de vidrio, tamiz microhamer de 250  $\mu\text{m}$  para tamizar el caolín y la arcilla, dos probetas de 1000 mL, balón de fondo plano, una piceta y un cronómetro.



### 3.2.2. Equipos

Los equipos a utilizados fueron: GPS, balanza analítica, test de jarras, turbidímetro, pH-metro, una cámara fotográfica y una computadora.

### 3.2.3. Insumos

*Aloe vera* (L.) Brum. f. (Sábila), sulfato de aluminio, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico, caolín (arcilla comercial), arcilla roja, agua tratada, muestras de aguas superficiales.

## 3.3. Criterios de estudio

### 3.3.1. Nivel de investigación

La presente investigación tiene un nivel explicativo, ya que se utilizó la recolección de datos de las variables en estudio, para probar una hipótesis con base en la medición numérica (Hernández *et al.*, 2014).

### 3.3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicativo, Hernández *et al* (2014) afirma que en este tipo de estudio busca la aplicación de los conocimientos adquiridos a la vez que se adquieren otros.

### 3.3.3. Método de investigación

El método de investigación es inductivo y analítico, el primer método utiliza 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. Diseño de investigación

Considerando la manipulación de las variables independientes, el diseño es experimental (Hernández *et al.*, 2014), en donde se empleó 225 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, se usó 3 turbideces iniciales, 3 pH iniciales, 5 dosis de sulfato de aluminio y 5 dosis de *Aloe vera* (Tabla 6).

### 3.3.5. Variables y operacionalización

a) Variables independientes: Superficie de respuesta.

Dimensiones e indicadores:

- Turbidez inicial (NTU).
- pH inicial del agua.
- Concentración del sulfato de aluminio (ppm).
- Concentración del floculante de *Aloe vera* (L.) Brum. f. (mL).

b) Variable dependiente: Turbidez del agua.

Dimensiones e indicadores:

- Turbidez final (NTU)
- Eficiencia de remoción de la turbidez (%).

Tabla 5. Valores Matriz de operacionalización de la variable independiente y dependiente.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>"Independiente"</b>	La superficie de respuesta es un método utilizado en la optimización de diversos procesos, el cual analiza como diferentes variables independientes influyen en la variable de respuesta, cuyo objetivo es obtener el valor óptimo de dicha respuesta (Juran y Gryna, 1983).	Es el modelo matemático de superficie de respuesta generada a partir datos de la turbidez, pH, sulfato de aluminio y <i>Aloe Vera</i> (L) cuya finalidad es obtener un valor óptimo en la eficiencia de remoción de la turbidez del agua.	1. Turbidez inicial	1. 10 NTU
				2. 50 NTU
				3. 200 NTU
			2. pH	1. 6
				2. 7,5
				3. 9
			3. Coagulante: Sulfato de aluminio	1. 20 ppm
				2. 30 ppm
				3. 40 ppm
				4. 50 ppm
				5. 60 ppm
			4. Floculante: <i>Aloe vera</i> (L.)	1. 0,1mL
				2. 0,2mL
				3. 0,3mL
				4. 0,4mL
5. 0,5 mL				
<b>"Dependiente"</b>	La turbidez es el impedimento del paso de la luz por el agua, el cual al removerse se mide de acuerdo a la eficiencia de remoción de la turbidez en %.	La turbidez del agua medida antes y después de realizarse los tratamientos con diferentes pH, turbideces, sulfato de aluminio y <i>Aloe vera</i> para realizarse el modelo matemático de superficie de respuesta con la finalidad de determinar la eficiencia óptima de remoción de la turbidez, se mide con un turbidímetro.	1. Turbidez final	1. NTU
2. Eficiencia (remoción de turbidez)				1. %

### 3.4. Metodología

#### 3.4.1. Acondicionamiento de un agua caolínica para simular la turbidez, con diferentes valores iniciales de pH.

Se realizó la preparación de un agua caolínica simulando una turbidez natural del agua, tal y como lo realizaron Soto (2016) y Kumar *et al* (2015). Para simular un agua turbia a base de caolín, se tomó en cuenta valores de turbidez de aguas superficiales revisados en estudios anteriores, los cuales suelen variar de 4.77 NTU a 550 NTU (Custodio, 2016; Moreno, 2016), por lo que en la presente investigación se trabajó con tres valores iniciales de turbidez que fueron: 10, 50 y 200 NTU, tomando en cuenta que 201 NTU es el máximo valor de medición del turbidímetro usado.

##### - **Determinación de la dosis de caolín para valores diferentes de turbidez**

Para determinar la concentración adecuada de caolín para los valores de turbidez mencionados anteriormente, se realizó una curva patrón que nos reflejó la relación entre la concentración de caolín y la turbidez, en primera instancia se preparó una solución madre de 2g en 1000 mL, los rangos de dosis fueron de 0 a 20 ppm y de 100 a 200 ppm, para realizarlo se usó la fórmula de la disolución (Formula 1), como el usado por Chiliquinga (2017), para medir la turbidez se hizo uso del turbidímetro.

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \quad (1)$$

Donde,  $C_1$  es la concentración inicial de solución,  $V_1$  el volumen inicial de la solución,  $C_2$  la concentración final de solución y  $V_2$  el volumen final de la solución.

##### - **Ajuste del pH inicial**

Con respecto al pH inicial, se trabajó con valores de: 6, 7.5 y 9, con una inclinación hacia valores básicos, debido a que mayormente las aguas superficiales tienden a reflejar dichos valores, la modificación se realizó con la adición del hidróxido de sodio y ácido sulfúrico. Cada valor de turbidez inicial obtuvo los valores de pH mencionados.

#### 3.4.2. Determinación de la concentración de alúmina, mediante el test de jarras.

Para determinar las concentraciones de alúmina a utilizar, se tomó en cuenta las dosis reportadas por Herrera (2015) y lo establecido por el estándar de calidad ambiental del Perú (250 ppm de sulfatos para aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable), siendo las dosis utilizadas de: 20, 30, 40, 50 y 60 ppm.

##### - **Solución madre**

Primero se preparó la solución madre de 2000 mg/L, y haciendo uso de la fórmula de disolución (Fórmula 1) se llegó a las concentraciones propuestas.

#### - **Test de jarras**

El test de jarras se realizó a las mismas velocidades que la investigación realizada por Fúquene y Yate (2018): a 100 rpm (velocidad rápida) por un tiempo aproximado de 1 minuto y a 60 rpm (velocidad lenta) por aproximadamente 15 minutos, realizándose este procedimiento para cada valor de pH y turbidez propuestos anteriormente.

#### **3.4.3. Determinación de la concentración óptima del *Aloe vera* (L.) Brum. f. para disminuir la turbidez del agua, mediante el test de jarras.**

En primera instancia se realizó el proceso de extracción del mucílago de la sábila (floculante), siguiendo el procedimiento empleado por Mandar y Mitesh (2009). Las plantas de *A. vera* pasaron por un proceso de selección donde, las hojas en mal estado o infectadas fueron descartadas, al igual que las hojas inmaduras o con poca cantidad de gel mucilaginoso.

#### - **Proceso de desinfección**

El proceso de desinfección se realizó una vez desespinado las hojas del *A. vera*, se desinfectó con agua y 0.5% de cloro, tal y como lo realizó (Muñoz *et al.*, 2015), por un tiempo de 3 minutos, para que posteriormente sea macerada en agua por 48 horas (Tucanes, 2019).

#### - **Extracción del gel del *A. vera***

Se realizó la extracción de forma manual, removiendo la corteza de la sábila, con cortes en el haz y envés de la hoja, para obtener así el mucílago. La pulpa fue macerada con agua por 24 horas, para seguidamente filtrarlo como lo realizó Tucanes (2019).

#### - **Aplicación del *A. vera***

El *A. vera* (L.) se diluyó al 1% para después realizarse la aplicación directa del mucílago en las diferentes concentraciones de turbidez con valores de pH y dosis de alúmina iniciales, las cantidades de gel agregadas fueron: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 y 0,5mL.

### 3.4.4. Elaboración de un modelo matemático de superficie de respuesta para determinar la dosis óptima de *Aloe vera* (L.) Brum. f. como floculante, en la remoción de la turbidez del agua.

Tabla 6. Esquema del diseño experimental para la elaboración del modelo matemático de superficie de respuesta.

Turbidez inicial (NTU)	pH	Sulfato de aluminio (ppm)	<i>Aloe vera</i> (L.)
10, 50 y 200	6	20	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
		30	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
		40	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
		50	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
		60	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
	7,5	20	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
		30	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
		40	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
		50	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
		60	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
	9	20	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
		30	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
		40	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
		50	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL
		60	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5mL

Se optimizó la respuesta del proceso de floculación del gel de *A. vera* lo cual estuvo influenciada por la cantidad del mucílago aplicada en un agua turbia y la concentración de sulfato de aluminio, se utilizó un modelo de segundo orden debido a que nos encontrábamos cerca al óptimo local. El diseño experimental aplicado se representa en la Tabla 6.

### 3.4.5. Validación del modelo matemático de superficie de respuesta

Después de visualizar experimentalmente las características y reacciones de la sábila como floculante en la remoción de la turbidez, y haberlo modelado matemáticamente mediante la superficie de respuesta, se procedió a la validación para comprobar que el modelo estimado es correcto, lo que permitirá su aplicación práctica.

Se realizó una validación interna y externa, primero se usó las dosis óptimas según el método de superficie de respuesta, a diferente turbidez y pH inicial, realizándose esta validación mediante un representación gráfica y mediante índices de sesgo y exactitud, después se usó datos que no se han usado para la elaboración del modelo, tomando muestras de fuentes superficiales (Figura 9) de la zona, asimismo se realizó la validación haciendo uso de un agua con arcilla roja de la zona, esta validación se realizó mediante índices matemáticos tal y como lo realizó (Rodríguez, 2003).

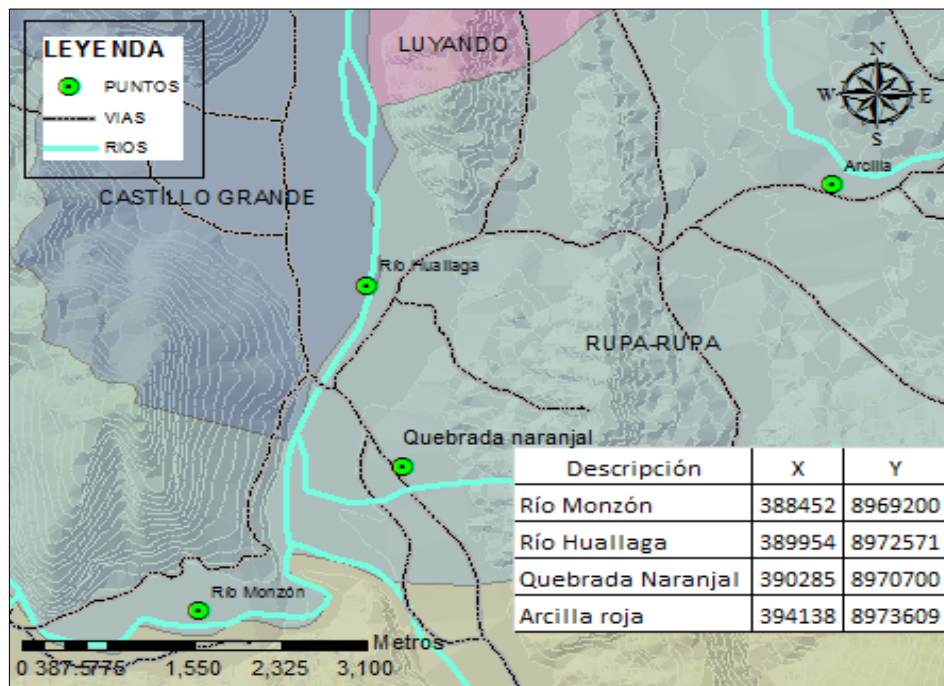


Figura 9. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo para la validación del modelo matemático.

#### 3.4.5.1. Representación gráfica

Se realizó una representación gráfica de los valores observados experimentalmente y los estimados por el modelo, los cuales fueron representados en transformaciones de raíz cuadrada.

#### 3.4.5.2. Representación estadística

##### - Prueba de rangos con signos de Wilcoxon

Se realizó la prueba de Wilcoxon para datos relacionados generalmente usados para muestras de datos menores a 30, verificando si las variables son significativas ( $p < 0,05$ ) o no son significativas ( $p \geq 0,05$ ), lo cual indica la concordancia entre los valores experimentales y los previstos en el modelo, considerando que el valor crítico de Z se encuentra entre -1,96 y

1,96 a una significancia del 5%, valores que se encuentran fuera de este rango son consideradas como significativas, tal y como lo afirma Álvarez (1994).

- **Raíz del error cuadrático medio**

Se determinó la remoción de la turbidez con diferentes concentraciones del floculante, empleándose la raíz del error cuadrático (RMSE) para evaluar la bondad de ajuste del modelo de superficie de respuesta, donde valores menores a 0,05 indicarán un buen ajuste del modelo, cuanto menor sea el valor mayor cercanía a los datos reales, tal y como lo indica Serrano (2013). Para realizar la comparación matemática se enfrentaron los valores observados, con las estimaciones por el modelo de superficie de respuesta.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(U_{predictiva} - U_{observada})^2}{\text{Número de datos}}} \quad (2)$$

- **Índices de sesgo y exactitud**

Se hizo uso de los índices de sesgo y exactitud, el índice de Bias o factor sesgo indica la idoneidad de un modelo matemático, siendo los valores cercanos a la unidad los que representan una fiabilidad del modelo matemático (Ecuación 3).

$$Bf = 10^{(\sum \log(\frac{\mu_{predictivo}}{\mu_{observado}})/n)} \quad (3)$$

Mientras tanto el índice de exactitud representa el promedio de la distancia entre cada punto y la línea de equivalencia, como una medida de la proximidad del promedio entre las predicciones y las observaciones (Rodríguez, 2003) (Ecuación 4).

$$Af = 10^{\sum |\log(\frac{\mu_{predictivo}}{\mu_{observado}})|/n} \quad (4)$$

### 3.4.6. Análisis estadístico

Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de los datos obtenidos, donde valores superiores o iguales a 0,05 hacen referencia a datos con una distribución normal.

### - Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis

Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis el cual es una alternativa no paramétrica para el análisis de varianza, reflejándose en ellos si las variables de turbidez inicial, pH inicial, dosis de sulfato de aluminio y dosis de *A. vera* son significativas ( $p \geq 0,05$ ) o no significativas ( $p < 0,05$ ), con respecto a la eficiencia en la remoción de la turbidez (Tabla 7), asimismo se utilizó el método matemático de superficie de respuesta, para conocer los valores óptimo del *A. vera* en la remoción de la turbidez.

Tabla 7. Ejemplo del formato de la prueba de Kruskal-Wallis con respecto a la eficiencia de la remoción de la turbidez del agua, con respecto a la turbidez inicial del agua

Variable	Turbidez inicial	Medias	Desviación estándar	Mediana	H	P valor
Remoción de turbidez del agua						

### - Prueba no paramétrica de Wilcoxon

Para la validación del modelo matemático se utilizó la prueba de la prueba de rangos con signos de Wilcoxon, el cual es una prueba no paramétrica que reemplaza al t-student para datos relacionados.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Acondicionamiento de un agua caolínica para simular la turbidez, con diferentes valores iniciales de pH.

#### 4.1.1. Determinación de la dosis de caolín para valores diferentes de turbidez

La relación existente entre la dosis de caolín en el agua y su turbidez se refleja mediante una ecuación cuyo ajuste cúbico tiene un  $R^2$  de 0,996 (Figura 10) valor que se encuentra cerca de la unidad, por lo cual se puede afirmar que el ajuste cúbico y la ecuación generada son aceptables debido a que un ajuste cercano a la unidad es lo ideal, por otra parte se puede observar que a mayor concentración de caolín mayor es la turbidez en el agua, generándose de esa manera un comportamiento similar a la investigación realizada por Soto (2016), en donde uso el caolín en sus diferentes presentaciones (arcilla caolín roja, beige, gris y blanca) para simular la turbidez del agua.

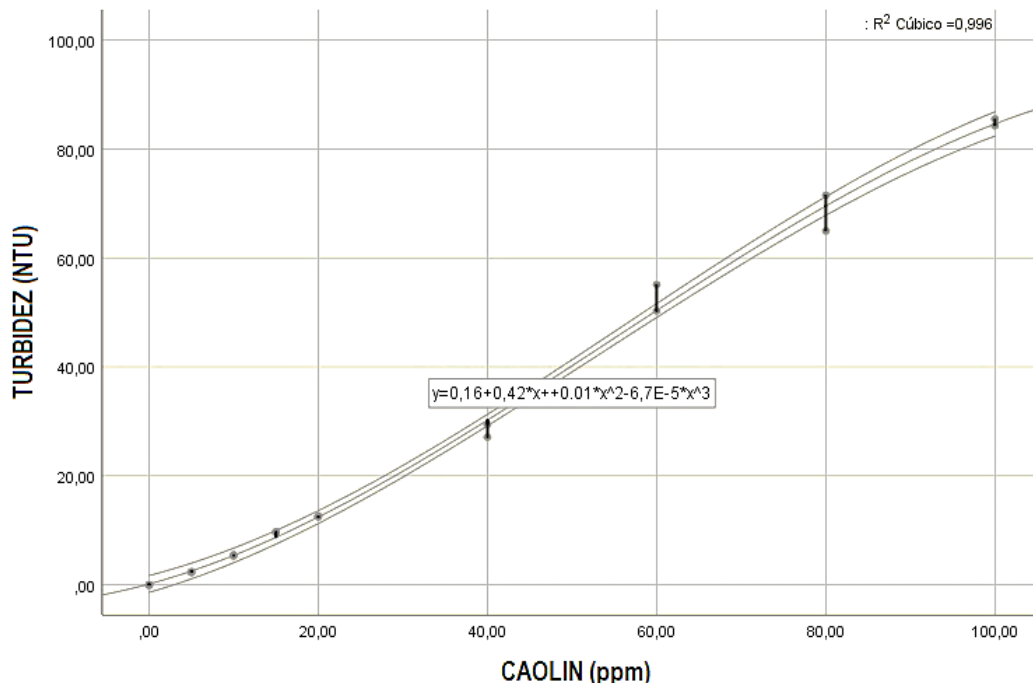


Figura 10. Curva patrón de las dosis de caolín para determinar una turbidez deseada.

Mediante la ecuación generada entre la relación de la concentración de caolín y la turbidez del agua, se evidenció que los valores deseados para una turbidez inicial de

10, 50 y 200 NTU fueron: 10,2 NTU, 50 NTU y 190 NTU respectivamente, cuyas desviaciones estándar de turbidez con respecto a su media no superan los 0,4 NTU, en donde se refleja que la menor variabilidad de datos es para valores de 50 NTU (Tabla 8).

Tabla 8. Datos estadísticos de las turbideces generadas mediante la adición del caolín en diferentes concentraciones.

Descripción	10 NTU	50 NTU	200 NTU
Media	10,200	50,000	190,000
Error estándar de la media	0,067	0,061	0,116
Mediana	10,200	49,950	190,150
Desviación estándar	0,211	0,194	0,368
Varianza	0,044	0,038	0,136
Mínimo	9,800	49,800	189,100
Máximo	10,500	50,300	190,300

#### 4.1.2. Ajuste del pH inicial

Los valores de pH inicial que se obtuvo en el laboratorio se asemejan al resultado deseado, con una desviación estándar máxima de 0,081 para un pH de 6,00 (Tabla 9), para ajustar el pH a valores que tienden a la basicidad se hizo uso del hidróxido de sodio a diferencia de Vielman (2019) que hizo uso del óxido de calcio para el ajuste de parámetro.

Tabla 9. Datos estadísticos de los pH generadas para el acondicionamiento del pH inicial del agua.

Descripción	pH 6,0	pH 7,5	pH 9,0
Media	6,050	7,560	9,070
Error estándar de la media	0,026	0,006	0,009
Mediana	6,055	7,570	9,075
Moda	5,950	7,570	9,090
Desviación estándar	0,081	0,021	0,027
Varianza	0,007	0,000	0,001
Mínimo	5,950	7,520	9,020
Máximo	6,150	7,580	9,100

#### 4.2. Concentración óptima de la alúmina

Las Figuras 11, 12 y 13 muestran la relación de la dosis del sulfato de aluminio con la remoción de la turbidez del agua y la variación de su pH resultante. El pH final depende de la cantidad de coagulante agregado, observándose que a mayor cantidad de sulfato de aluminio menor es el pH resultante, así mismo existe una clara relación entre la eficiencia de remoción de turbidez y el pH final del agua, independientemente del valor de turbidez inicial, observándose mayor eficiencia en un rango de 5,2 a 7,09 de pH, un resultado similar obtiene el

investigador Vielman (2019) quien obtuvo un resultado con mayor remoción de turbidez a valores de pH que se encuentran dentro de un rango de 6,5 a 8,0 , resultado que difiere en cierto grado del presente estudio debido a que el investigador en mención hizo uso de un agua con condiciones distintas al de la presente investigación (agua residual de una industria de alimentos de harina de trigo) ya que el sulfato de aluminio interactúa con el componente químico del agua, otros investigadores que realizaron pruebas para determinar el rango óptimo de pH con respecto al sulfato de aluminio como coagulante son Barajas y León (2015) quienes afirman que este rango se encuentra entre 5,5 y 8, quien a diferencia de Vielman (2019) trabajó con turbideces y dosis de coagulante semejantes a la presente investigación.

Para una muestra de agua con un pH inicial de 6,05 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de turbidez es reflejada en un rango de 30 a 40 ppm de dosis de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  independientemente de su valor de turbidez inicial (Figura 11), mientras que para un pH inicial de 7,56 el porcentaje de remoción de turbidez asciende a medida que se aumenta dicha dosis, a excepción de una muestra de agua con NTU inicial de 190 el cual refleja un comportamiento con mayor efectividad a 40ppm de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (Figura 12), un comportamiento similar se observa en muestras de agua con un pH inicial de 9,07 donde la remoción de la turbidez aumenta dependiendo de la cantidad de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (Figura 13), todo lo mencionado hace referencia a la relación que tiene el coagulante en el pH y este en la eficiencia de remoción de la turbidez, Claros(2015) concuerda con nuestra afirmación ya que confirmó mediante una investigación la influencia de la dosis de coagulante y el pH sobre la turbidez final del agua.

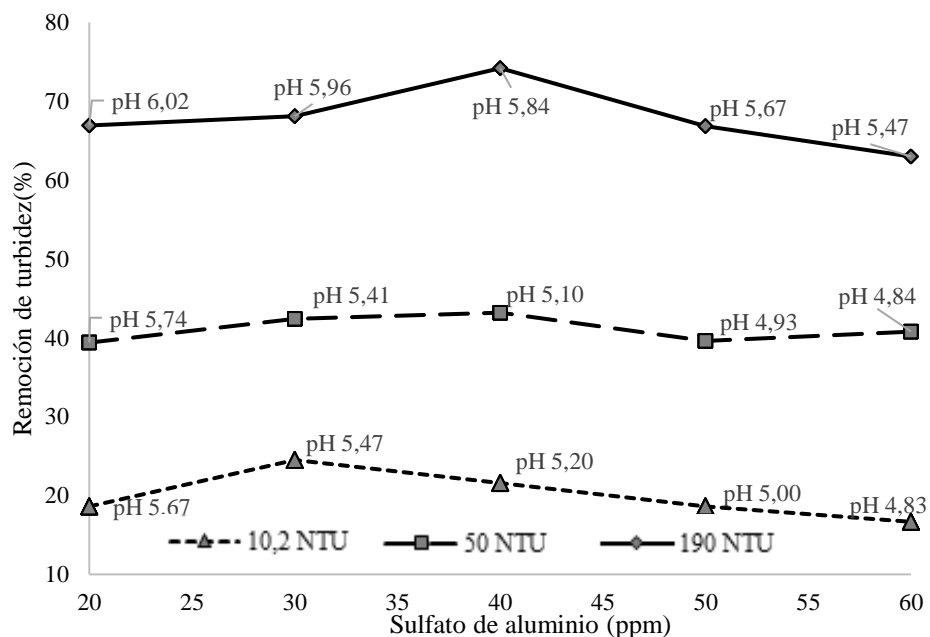


Figura 11. Efecto de sulfato de aluminio, en la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 6,05.

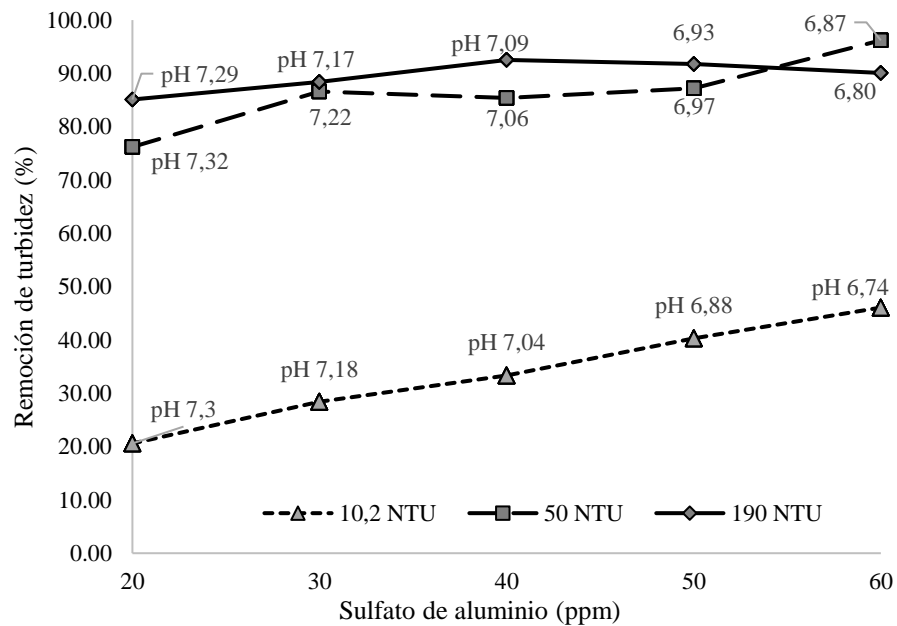


Figura 12. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 7,56.

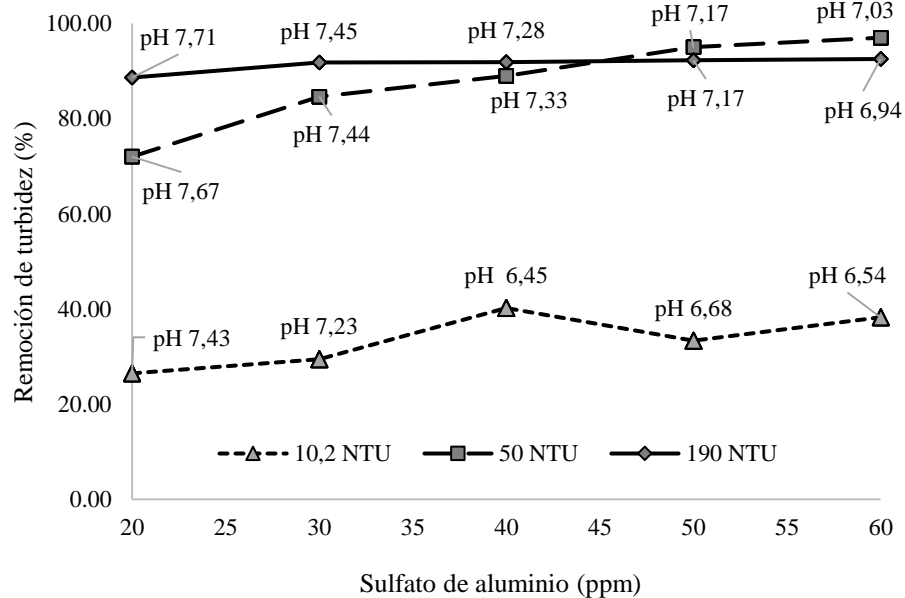


Figura 13. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 9,07.

#### 4.3. Dosis óptima del *Aloe vera* (L.) Brum. f. para disminuir la turbidez del agua

Se usó el *A. vera* en gel al 1% al igual que Gaikwad y Munavalli (2019) y Tejaswinee (2016), como floculante natural después de hacer uso del coagulante (Sulfato de Aluminio). Para un pH inicial de 6,05 y una turbidez de 10,2 y 190 NTU, la dosis óptima del *A. vera* se encontró sobre 0,4 mL, mientras que para una turbidez inicial de 50 NTU la mayor eficiencia se reflejó entre 0,15 y 0,5 mL del floculante natural (Figura 14, 15 y 16). Para un pH

inicial de 7,56, tanto para una turbidez de 10,2 y 190 NTU se reflejó que la dosis de floculante con mayor eficiencia se encuentra sobre 0,3 mL, mientras que para una turbidez de 50NTU este se encuentra entre 0,1 y 0,35 mL (Figura 17, 18 y 19). Con respecto a un pH básico (pH de 9,07), tanto para una turbidez inicial de 10 y de 50 el valor optimo del *A. vera* se encuentra entre 0,05 y 0,45 mL, mientras que para un NTU 190, la dosis optima se encuentra sobre 5 mL (Figura 20, 21 y 22), observándose mediante este comportamiento que la dosis del *A. vera* depende de la dosis de coagulante agregado, ya que ambos interactúan de manera conjunta para obtener una mayor eficiencia de remoción, esta resultado se respalda según lo afirmado por Tejaswinee (2016), quien hizo uso solo del *A. vera* como coagulante primario donde solo obtuvo una remoción máxima de 39,41%, mientras que al realizar una combinación del alumbre con el *A. vera* al 1% el porcentaje de remoción aumentó hasta llegar a valores superiores al 80%.

Los resultados de la remoción de turbidez del agua haciendo uso del *A. Vera* como floculante natural en combinación con el coagulante, nos reflejan resultados más eficientes en todas las pruebas realizadas que solo haciendo uso del sulfato de aluminio, un claro ejemplo de ello es la investigación realizada por Daza y Epalza (2016) quien uso como coagulante-floculante al *A. vera* en la remoción de la turbidez centrándose en los biopolímeros que estos contienen, donde obtuvo un 92,74% como máxima remoción de turbidez, mientras que en nuestra investigación en condiciones similares se obtuvo valores superiores.

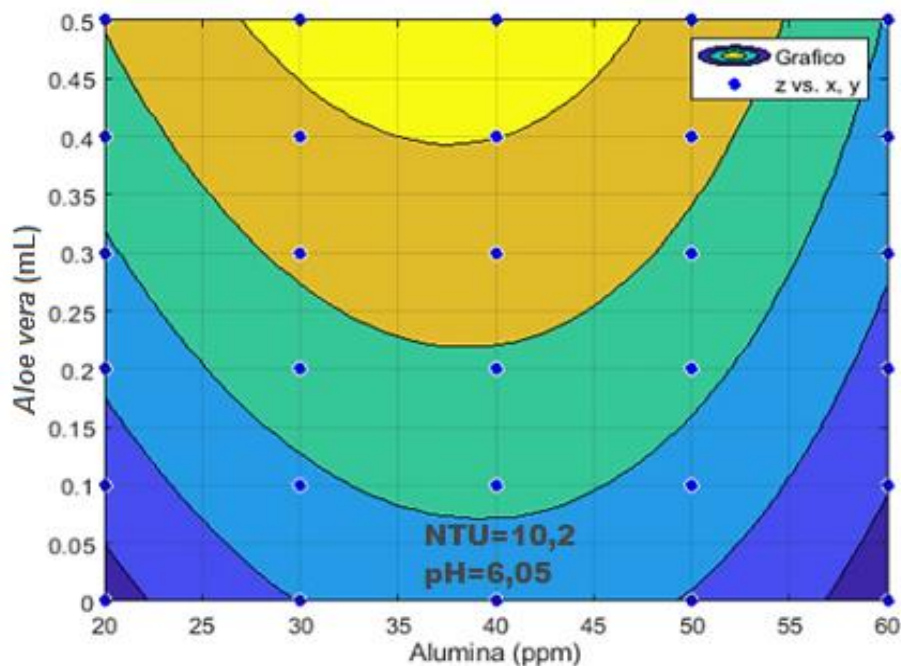


Figura 14. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 6,05 a una turbidez inicial de 10,2 NTU.

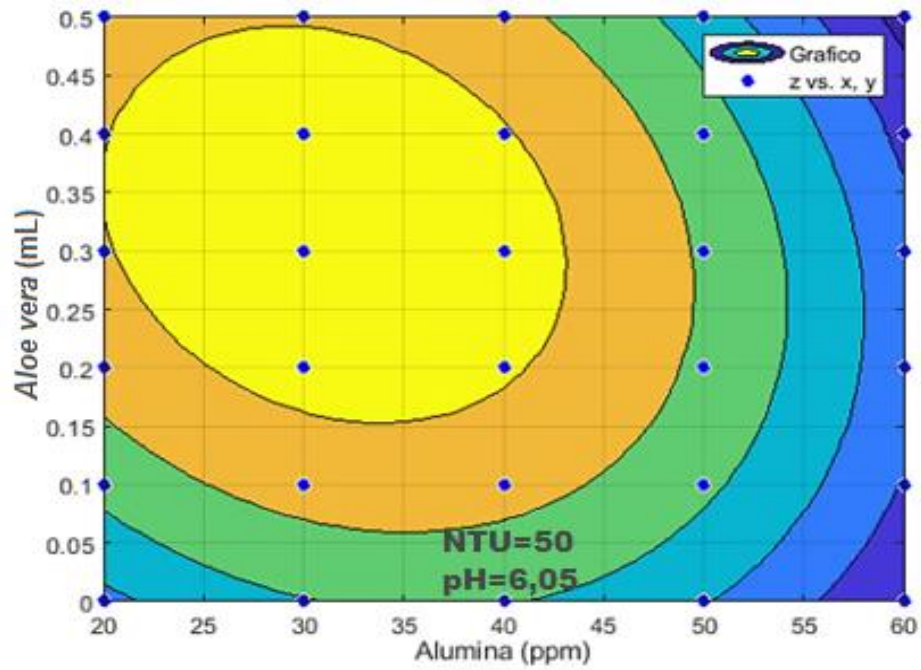


Figura 15. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 6,05 a una turbidez inicial de 50 NTU.

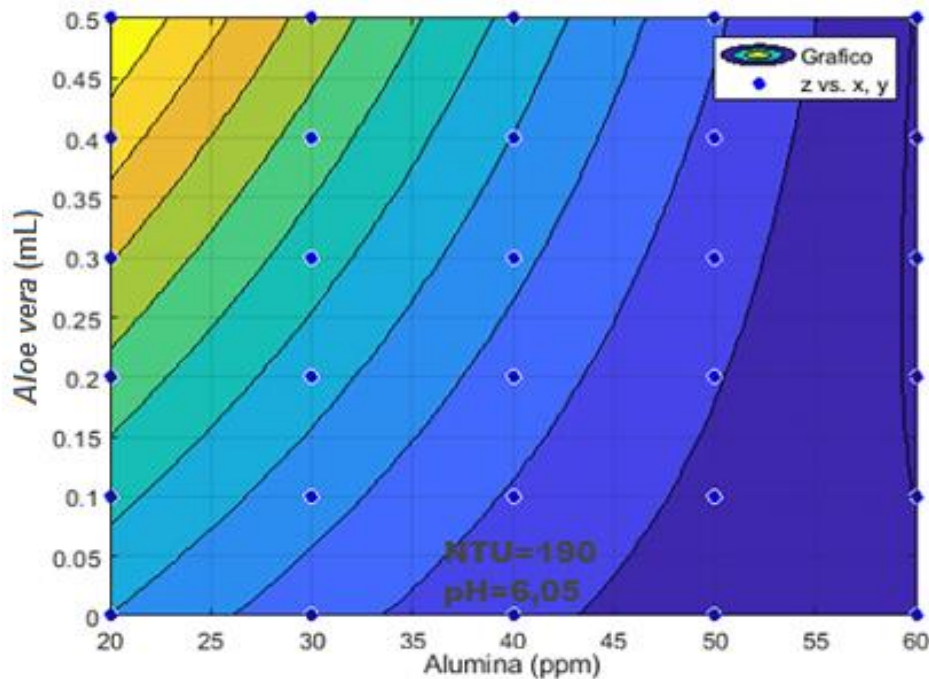


Figura 16. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 6,05 a una turbidez inicial de 190 NTU.

Las máximas eficiencias de remoción de turbidez obtenidas haciendo uso del floculante *A. vera* conjuntamente con el sulfato de aluminio fueron los siguiente: para una turbidez inicial de 10,2 NTU fueron de 52,94%, 83,33% y 100,00%, para una turbidez inicial de 50 NTU fueron 73,00%, 99,40% y 99,2%, mientras que para una NTU inicial de 190 fueron de 87,63%, 95,60% y 98,12% para valores iniciales de pH de 6,02, 7,56 y 9,07 respectivamente, por otro lado Nougode *et al* (2016), reportaron una eficiencia de remoción de 72% para una muestra de agua de 186,8 NTU y un pH de 7,37 haciendo uso solo del *A. vera*, frente a estos datos se puede afirmar lo mismo que Gaikwad y Munavalli (2019) que mencionan que el *A. vera* actúa como coagulante auxiliar con los coagulantes y aumenta la eliminación de la turbidez, lo mismo afirma Hurtado (2019) quién demostró el poder floculante del gel *A. Vera*, resaltando que el uso de este gel de forma individual no es muy energético, existe un mejor resultado de la remoción de la turbidez al hacer uso de este como coadyuvante de la floculación en mezcla con alúmina. El *A. vera* fue usado como floculante por su estado mucilaginoso, Nougode *et al* (2016) mencionan que esta planta contiene grupos fitoquímicos que le dan la propiedad de floculante tales como taninos, saponinas, mucílagos, flavonoides, derivados del antraceno, derivados de quinonas y proteínas.

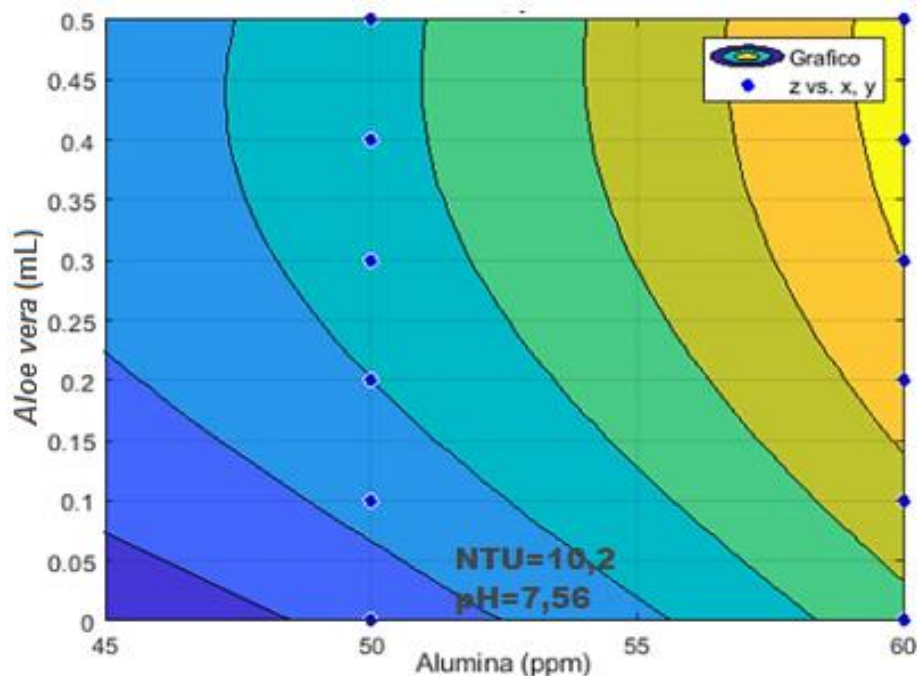


Figura 17. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 7,56 a una turbidez inicial de 10,2 NTU.

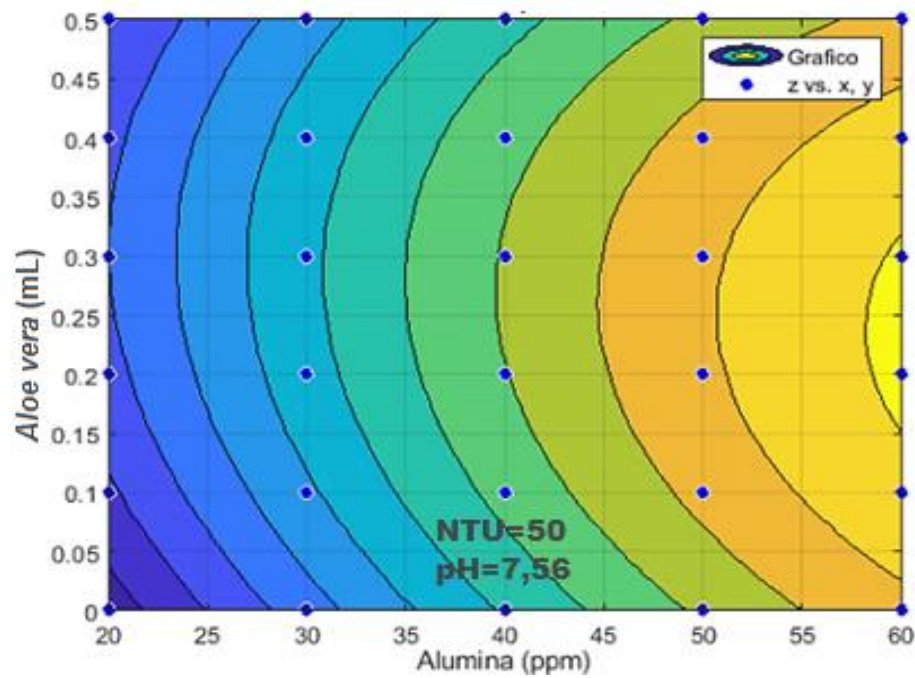


Figura 18. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 7,56 a una turbidez inicial de 50 NTU.

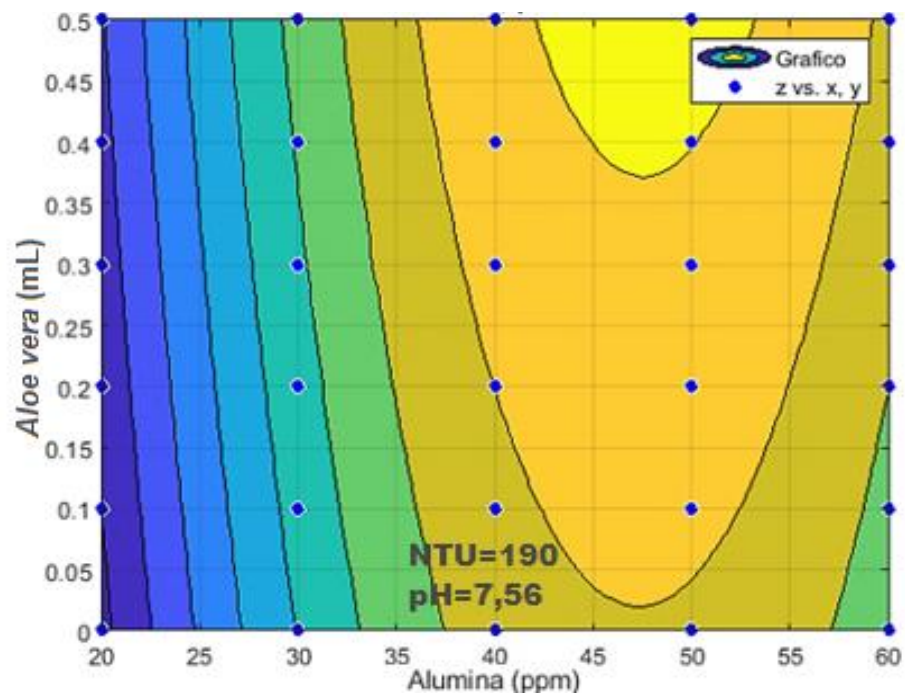


Figura 19. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 7,56 a una turbidez inicial de 190 NTU.



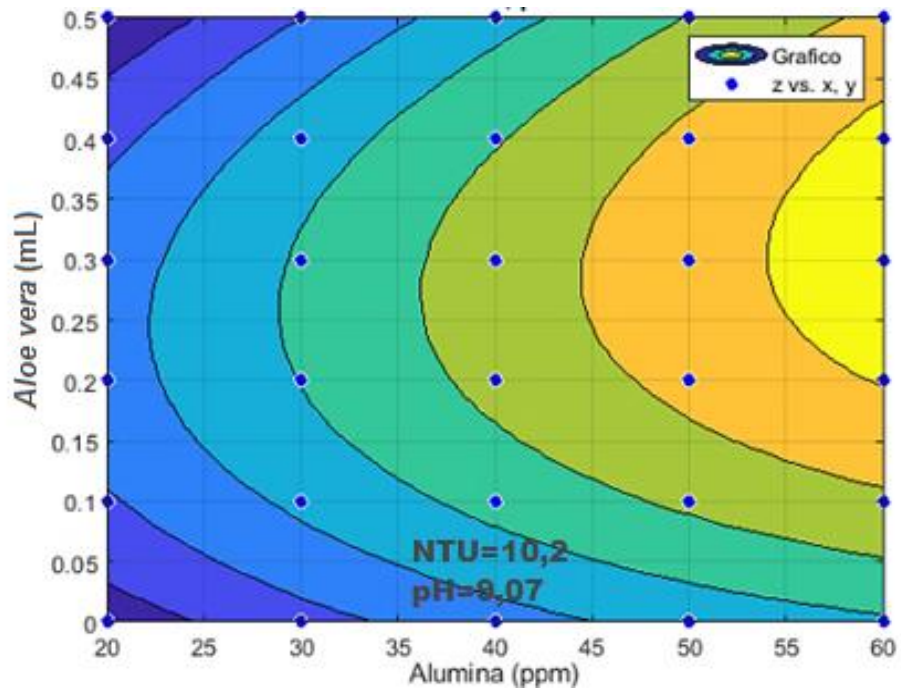


Figura 20. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 9,07 a una turbidez inicial de 10,2 NTU.

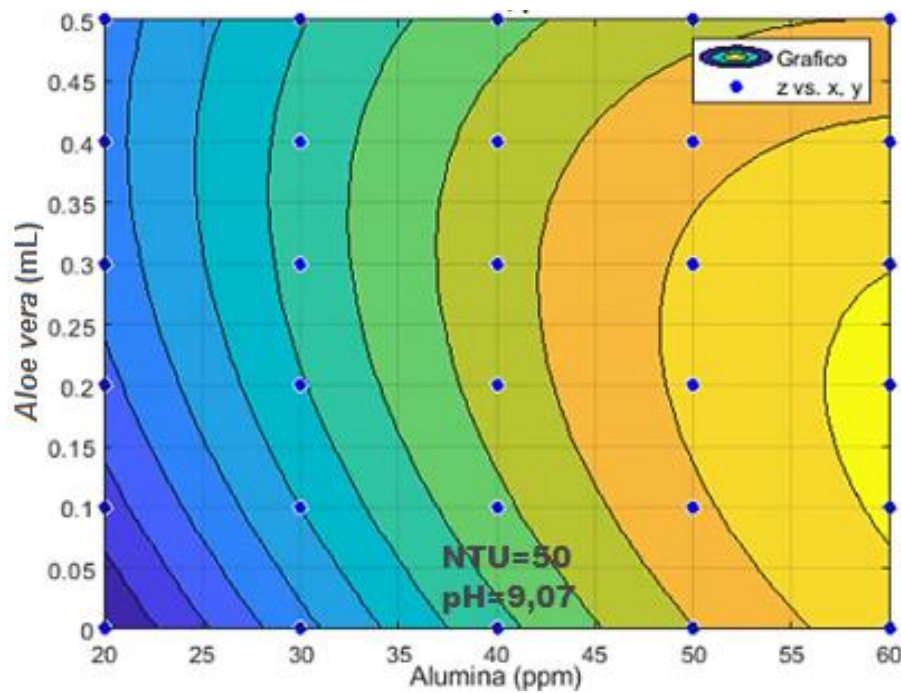


Figura 21. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 9,07 a una turbidez inicial de 50 NTU.

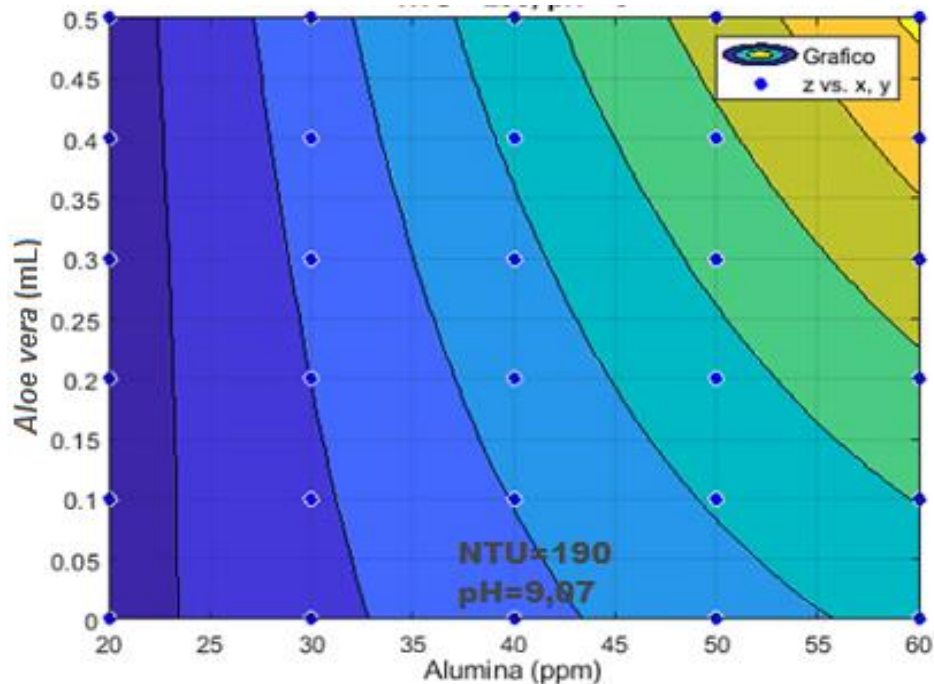


Figura 22. Efecto de sulfato de aluminio, sobre la remoción de turbidez del agua a un pH inicial de 9,07 a una turbidez inicial de 190 NTU.

Gaikwad y Munavalli (2019), realizaron su investigación con dos agentes naturales para la coagulación-floculación siendo estos el *A. vera* conjuntamente con la Moringa oleífera, llegando estos a eliminar hasta el 40% de turbidez de un agua de turbidez baja (<12) con un pH de 7,0 a 7,6, este resultado es mucho menor al registrado por la presente investigación en donde se llegó hasta un 83,33% de remoción de turbidez a una turbidez inicial de 10,2 NTU y un pH de 7,56, esto debido a que se trabajó con el sulfato de aluminio que tiene un alto poder coagulante.

Según la prueba de Kruskal-Wallis, existen diferencias altamente significativas para la eficiencia de remoción de la turbidez por efecto de los diferentes niveles de turbidez inicial, pH inicial y dosis de sulfato de aluminio, los cuales tienen un p valor menor al 0,05 (Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12), este resultado concuerda con autores como Vielman (2019) quien al realizar su análisis de varianza de las dosis de sulfato de aluminio con respecto a la turbidez del agua obtuvo un p valor menor al 0,05 ( $p = 0,000$ ) concluyendo que el sulfato de aluminio tiene un efecto significativo en la turbidez final del agua, y Claros (2015) quien afirma en una de sus investigaciones que el pH influye significativamente en la turbidez final del agua, ya que se obtuvo un p valor de 0,000. Por otra parte, se evidencia estadísticamente que las dosis del *A. vera* no tienen diferencias significativas en la remoción de la turbidez del agua ya que el  $p = 0,8042$  es mayor al 0,05 (Tabla 13), lo mismo evidencia Terrones (2019) quien en sus resultados obtuvo un  $p = 0,991$  afirmando que no existe diferencias significativas entre las dosis

del *Aloe vera* en la turbidez final del agua, cabe resaltar que este autor usó dosis de 0,5 mL, 1,0 mL, 2,0 mL y 3,0 mL al 10%, este autor en su misma investigación halló diferencias significativas entre las dosis de floculante de *Citrus reticulata* en la remoción de la turbidez del agua.

Tabla 10. Prueba de Kruskal-Wallis de la turbidez inicial del agua con respecto a la remoción del mismo

Variable	Turbidez (NTU)	N	Medias	Des. estándar	Mediana	Promedio rangos	H	P
Remoción de turbidez (%)	10,20	225	46,21	22,26	38,33	171,17	250,71	0,0001
	50,00	225	78,33	19,27	87,00	403,79		
	190,00	225	85,11	10,24	89,53	439,04		

Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis del pH inicial del agua con respecto a la remoción de la turbidez

Variable	pH	N	Medias	Des. estándar	Mediana	Promedio rangos	H	P
Remoción de turbidez (%)	6,05	225	52,44	18,59	55,6	191,59	215,41	0,0001
	7,56	225	73,55	25,56	87,76	365,1		
	9,07	225	83,66	18,2	91,95	457,31		

Tabla 12. Prueba de Kruskal-Wallis de la dosis del sulfato de aluminio con respecto a la remoción de la turbidez del agua

Variable	Sulfato de aluminio (ppm)	N	Medias	Des. estándar	Mediana	Promedio rangos	H	P
Remoción de turbidez (%)	20	135	62,89	25,46	79	253,03	48	0,0001
	30	135	68,26	23,59	75,32	307,3		
	40	135	72,89	21,73	86,6	354,78		
	50	135	71,78	25,18	75,49	377,73		
	60	135	73,58	26,18	91,42	397,15		

Tabla 13. Prueba de Kruskal-Wallis de la dosis del sulfato de aluminio con respecto a la remoción de turbidez del agua

Variable	<i>Aloe vera</i> (mL)	N	Medias	Des. estándar	Mediana	Promedio rangos	H	P
Remoción de turbidez (%)	0,10	135	69,24	26	78,2	333,72	1,63	0,8042
	0,20	135	70,34	25,09	82,54	341,48		
	0,30	135	68,31	24,98	75,32	326,62		
	0,40	135	71,84	24,41	83,79	354,67		
	0,50	135	69,68	23,28	76,89	333,51		

#### 4.4. Modelo matemático de superficie de respuesta para determinar la dosis óptima de *Aloe vera* (L.) Brum. f. como floculante, en la remoción de la turbidez del agua.

Las figuras 23, 24 y 25, muestran las superficies de respuesta del *A. vera* como floculante de una muestra de agua con pH inicial de 6,05, reflejando que el floculante depende de la concentración de coagulante usado, mostrando mayor eficiencia en dosis superiores a 0,7 mL (Figura 23 y 24), a excepción de la muestra de agua con una turbidez inicial de 50 NTU que refleja una eficiencia de remoción similar en todas las dosis agregadas en un rango de concentración de  $Al_2(S_4)_3$  de 20 a 40 ppm. A un pH inicial de 6,05 se observa que las eficiencias de remoción de turbidez predictivo según el método de superficie de respuesta son: 45,50%, 61,06%, 82,66% para turbideces de 10,2 NTU, 50 NTU, 190 NTU respectivamente, mientras que Alvarez (2019) para una muestra de agua con un pH ácido reportó valores de eficiencia que variaron de 26,86% a 98,86% haciendo uso de la moringa como coagulante-floculante.

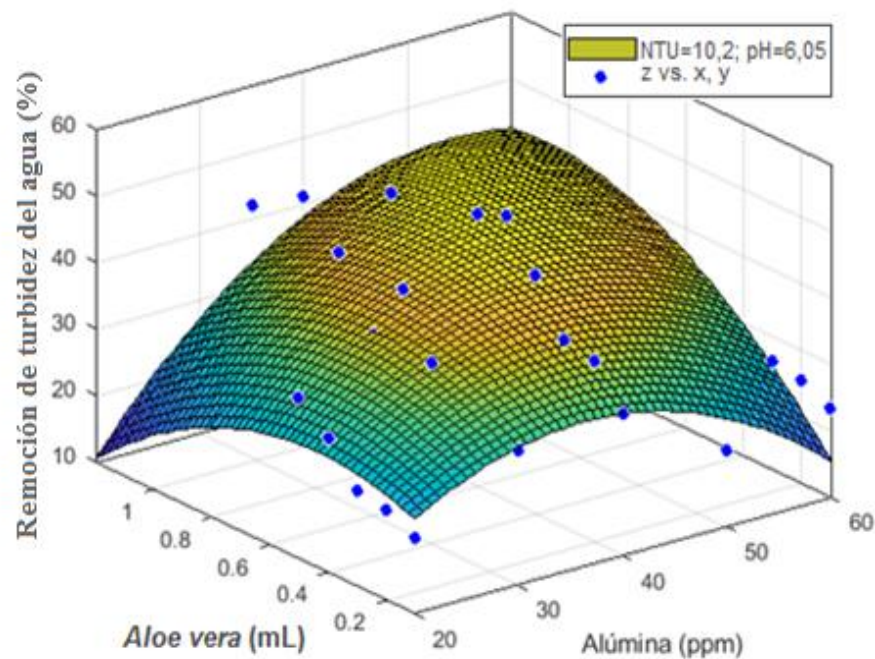


Figura 23. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 10,2 NTU y un pH de 6,05.

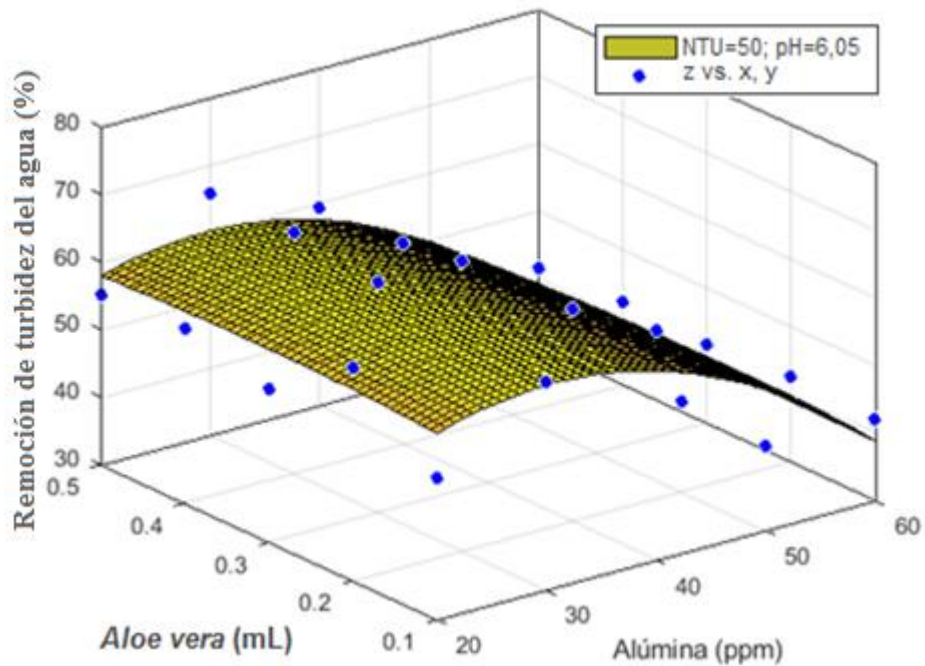


Figura 24. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 50 NTU y un pH de 6,05.

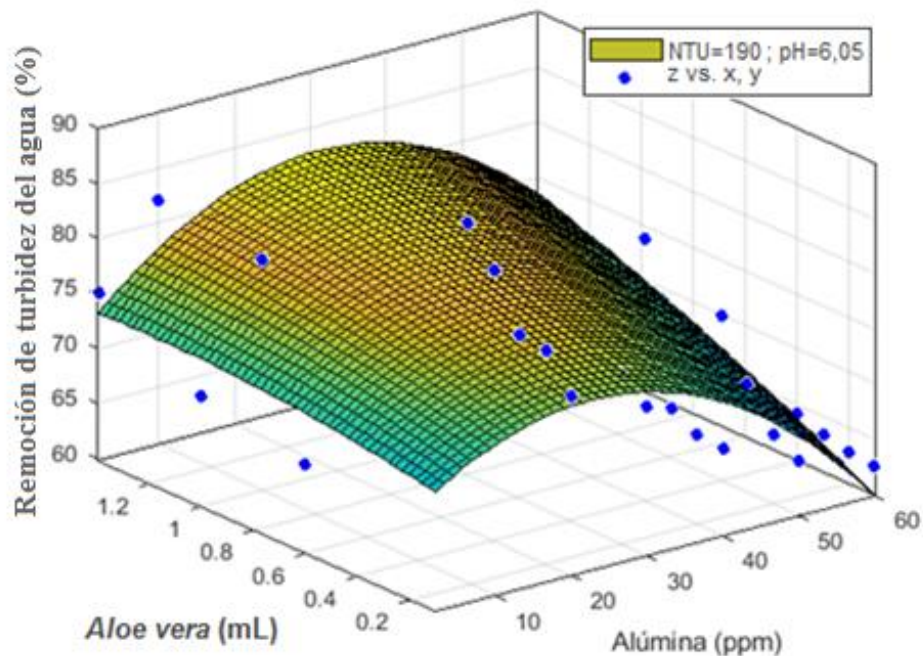


Figura 25. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 190 NTU y un pH de 6,05.

En las figuras 26, 27 y 28 se evidencian las superficies de respuestas del *A. vera* como floculante de una muestra de agua con pH inicial de 7,56, en donde se aprecia que tanto

para una turbidez de 50 y 190 NTU la dosis óptima de floculante común es de 0,4 mL, mientras que para una turbidez de 10,2 NTU, el porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez aumenta a medida que se agrega mayor cantidad de *A. vera*, las eficiencias variaron de 70,00% a 95,50%, resaltando que para una turbidez inicial de 50NTU a un pH de 7,56 se obtuvo la mayor eficiencia, mientras que Daza y Epalza (2016) en su investigación “Evaluación de la eficiencia de biopolímeros derivados de plantas desérticas como agentes de floculación” reportó un máximo de 92,74% de remoción de turbidez de agua usando como coagulante-floculante al *A. vera*, para una muestra de agua de 44,5 NTU y un pH inicial de 7,0, por otra parte Diestra y Ramos (2019) determinaron el efecto de la concentración del gel *A. Vera* en la remoción de sólidos suspendidos (SST) y materia biodegradable (DBO<sub>5</sub>) de un agua residual, logrando remover hasta 88,49%, adicional a ello la remoción de la DBO<sub>5</sub> efectiva llegó hasta un 73,46%.

En las figuras 27 y 28, se aprecia un rango de dosis óptima, según el método de superficie de respuesta, el punto óptimo para una turbidez de 50 NTU y pH inicial de 7,56 se encuentra entre un rango de dosis de 50 a 70 ppm de sulfato de aluminio y 0,1 a 0,5 mL del *A. vera*, mientras que para una turbidez de 190 NTU el rango de dosis óptima se encuentra entre 40 y 50 ppm del coagulante y a entre 0,4 mL a más del floculante (Figura 27 y 28).

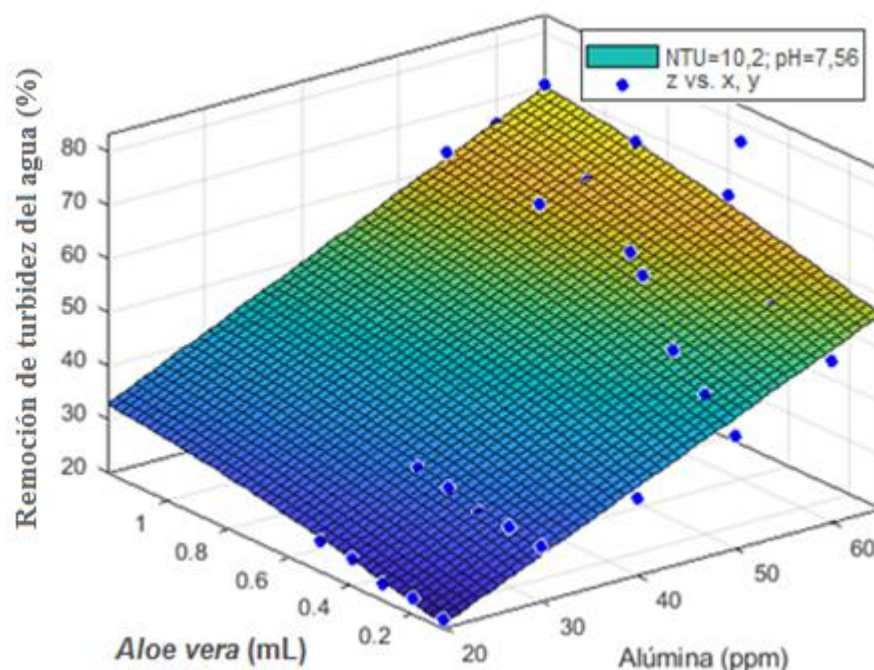


Figura 26. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 10,2 NTU y un pH de 7,56.

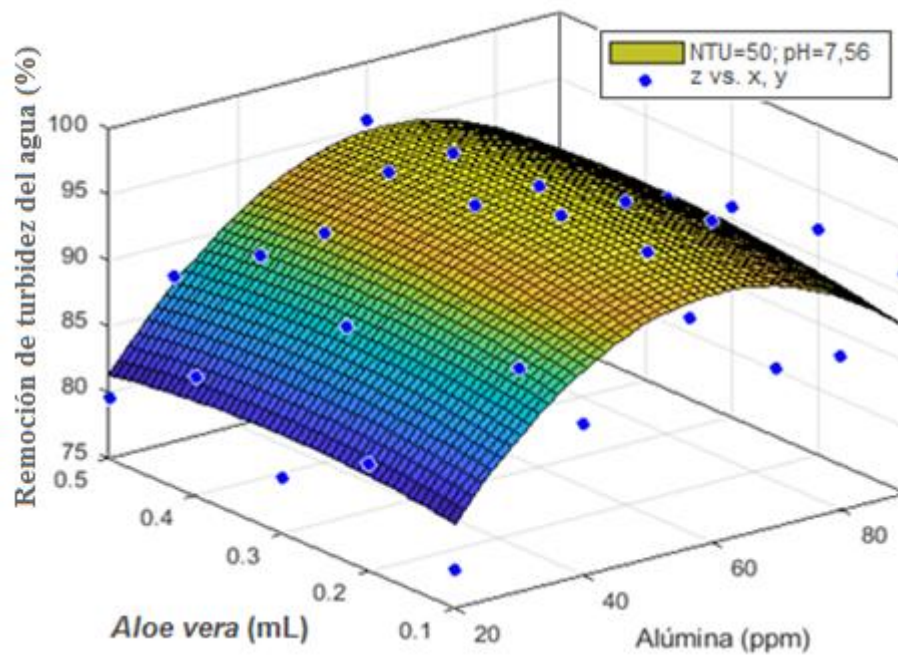


Figura 27. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 50 NTU y un pH de 7,56.

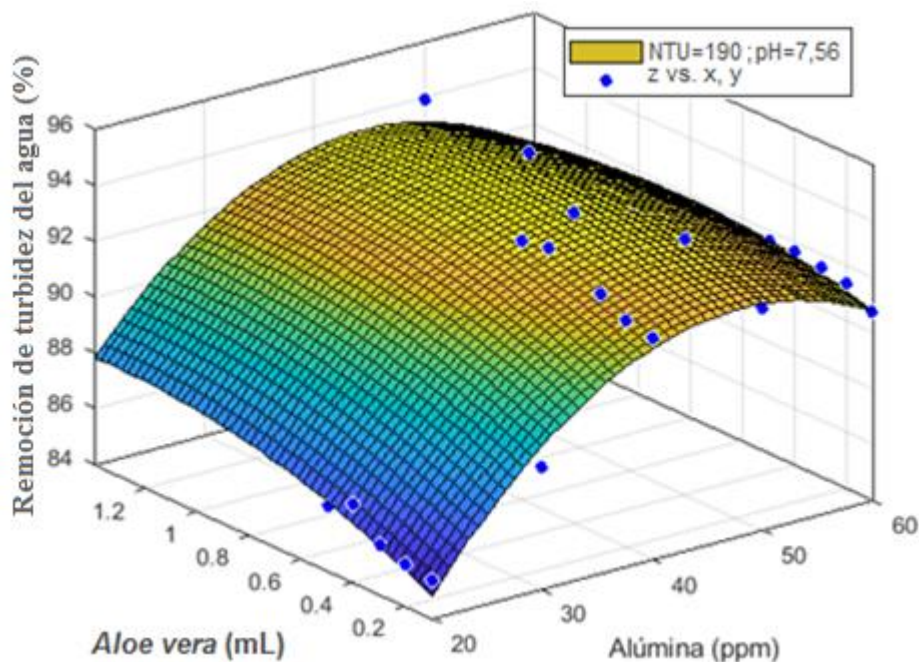


Figura 28. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 190 NTU y un pH de 7,56.

Las dosis óptimas del *A. vera*, dependen de la cantidad de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  agregado, reflejando una mayor remoción de turbidez entre valores que oscilan entre 50 a 80 ppm del coagulante para valores de turbidez inicial de 10,2, 50 y 190 NTU (Figura 29, 30 y 31), mientras

que las dosis del floculante para valores de turbidez inicial de 50 y 190 NTU, se encuentran entre 0,2 a 0,5 mL y 0,6 a 1,0 mL, respectivamente, para una turbidez inicial de 10,2 NTU se refleja un comportamiento distinto, ya que la mayor eficiencia de remoción se refleja en dosis menores a 0,3 mL del floculante NTU (Figura 29, 30 y 31). Según el modelo de superficie de respuesta la mayor eficiencia de remoción de turbidez se encuentran a un pH inicial de 9,07 además se aprecia que el pH está directamente relacionado con la concentración de coagulante agregado, con respecto a la dosis óptima del floculante natural *A. vera*, no se aprecia un comportamiento específico ya que estos depende de la dosis de  $Al_2(SO_4)_3$  agregado, esta información se contrasta con Moreno (2016) y Hurtado (2019), Moreno (2016) en una de sus investigaciones determinó la eficiencia de remoción de la turbidez del *A. vera*, donde obtuvo una remoción de la turbidez de 42,48%, solo haciendo uso de este agente natural, mientras que en nuestros resultados la remoción de turbidez del agua según el método de superficie de respuesta fue de 99,33%, haciendo uso del *A. vera* en combinación con el sulfato de aluminio, asimismo Hurtado (2019), demostró el poder floculante del gel *A. vera*, pero mencionó que el uso de este gel de forma individual no es muy enérgico y que existe un mejor resultado de la remoción de la turbidez al hacer uso de este como coadyuvante de la floculación en mezcla con alúmina, permitiendo una buena floculación de hasta 67% para muestras de agua con las siguientes características: turbidez mayores a 30 NTU, temperatura a 18° C, con tiempo de sedimentación de 20 a 40 minutos.

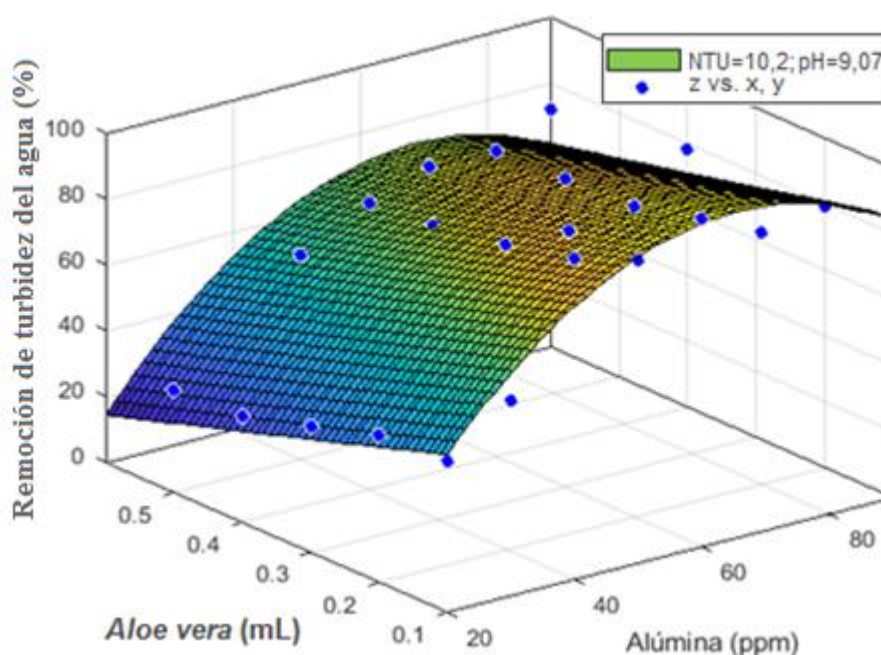


Figura 29. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 10,2 NTU y un pH de 9,07.



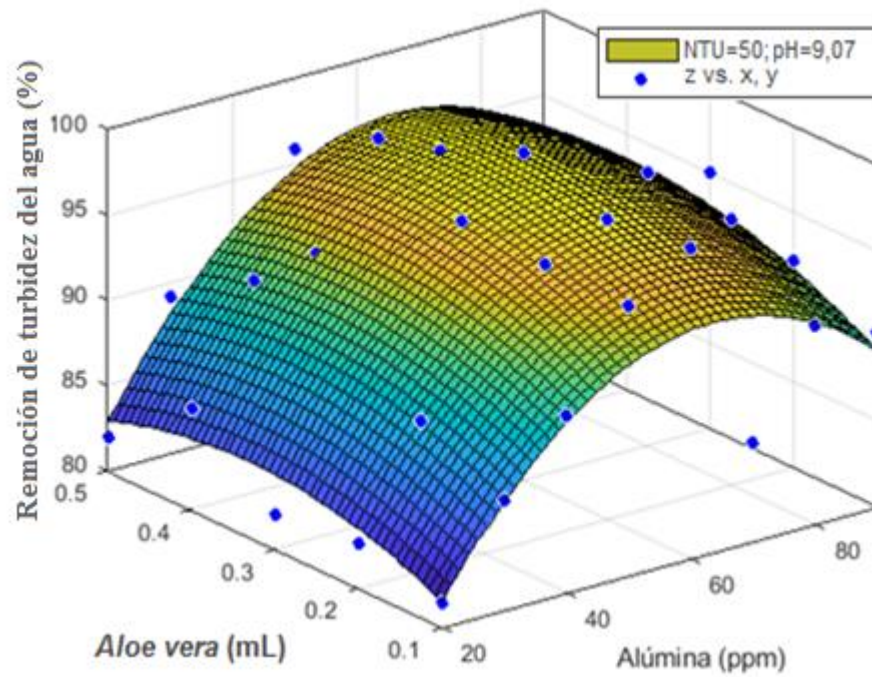


Figura 30. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 50 NTU y un pH de 9,07.

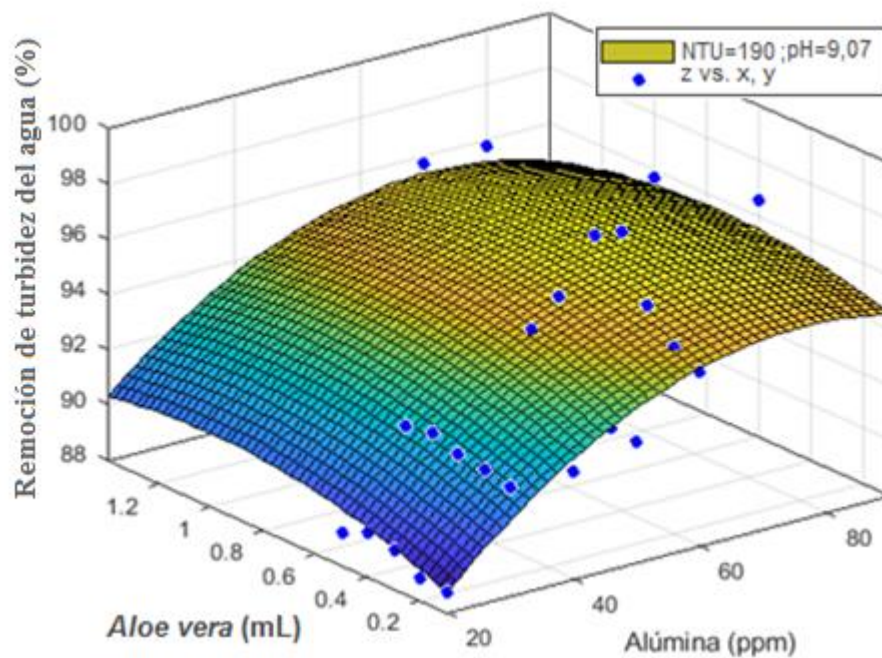


Figura 31. Superficie de respuesta de la dosis óptima de floculante a una turbidez de 190 NTU y un pH de 9,07.

Mayores dosis de coagulante y floculante no reflejan mayor remoción de la turbidez del agua ya que estos dependen de su pH inicial (Tabla 14), esto se puede contrastar con lo reportado por Alvarez (2019), quién mediante el método de superficie de respuesta reportó un conjunto de resultados donde se evidencia que a mayor dosis no necesariamente es mayor la eficiencia de remoción. Las eficiencias de remoción de turbidez haciendo del agua haciendo uso del *A. vera* en conjunto con el sulfato de aluminio según el método de superficie de respuesta alcanzaron valores que variaron desde 45,50% hasta 99,33% (Tabla 14), mientras tanto Cerna (2018) obtuvo un rango de eficiencia de 79,32% hasta 96,4% haciendo uso de la alúmina en conjunto con la *Malachra alceifolia* Jacq (Malva), por otra parte Alvarez (2019) haciendo uso del extracto de moringa en la remoción de turbidez obtuvo eficiencias de 92.25 a 94.16 %, mientras que Ortíz *et al* (2013) hizo de *Opuntia ficus-indica* en polvo para que cumpla la función de un coagulante, cuyo resultado reflejó un 72% de remoción de la turbidez a un 90 mg/L del coagulante para una turbidez inicial de 171 NTU, y Herrera (2015), alcanzó una eficiencia del 94% haciendo uso solo del almidón de la papa.

Tabla 14. Dosis óptima del *A. vera* como floculante, en la remoción de la turbidez del agua según el modelo matemático de Superficie de Respuesta

Turbidez inicial	pH inicial	R <sup>2</sup>	Dosis óptima de Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (ppm)	Dosis óptima de <i>Aloe vera</i> (mL)	Remoción de turbidez (%)
10,2 NTU	6,05	0,553	49,09	0,9	45,501
	7,56	0,821	65,00	1,2	70,001
	9,07	0,789	65,76	0,1	99,330
50,0 NTU	6,05	0,683	29,95	0,3	61,063
	7,56	0,631	61,87	0,4	95,502
	9,07	0,757	65,45	0,4	97,246
190,0 NTU	6,05	0,667	31,11	1,4	82,668
	7,56	0,931	45,51	1,0	93,706
	9,07	0,808	73,33	0,8	96,100

Los R<sup>2</sup> obtenidos mediante el modelo de superficie de respuesta varían desde 0,55 hasta 0,93 (Tabla 14), mientras que Alvarez (2019) obtuvo un R<sup>2</sup> de 0,776 y Asunción

(2017) un R2 que varió de 0,75 a 0,98, según (Soto, 2019) el R<sup>2</sup> no está relacionado con la exactitud de un modelo predictivo y por ende no necesariamente refleja si los datos simulados representan a los observados.

**4.5. Validación del modelo matemático de superficie de respuesta**

**4.5.1. Representación gráfica**

Se realizó la representación gráfica de los valores predictivos y observados (Figura 32) para la eficiencia de remoción de turbidez del agua usando al *A. vera* como floculante. La diferencia entre el valor predictivo del modelo de superficie de respuesta y el observado es de 1,23% (Figura 32), lo que indica que dicho modelo es representativo en aplicaciones reales, el porcentaje de error está asociado a los variables no controladas al momento de la experimentación, asimismo Chavez *et al* (2011) realizó la validación del modelo de superficie de respuesta mediante diferencias en porcentajes donde obtuvo una diferencia de 3% del modelo predictivo y el real observado, indicando que el procedimiento que realizó en su investigación es representativo en condiciones reales.

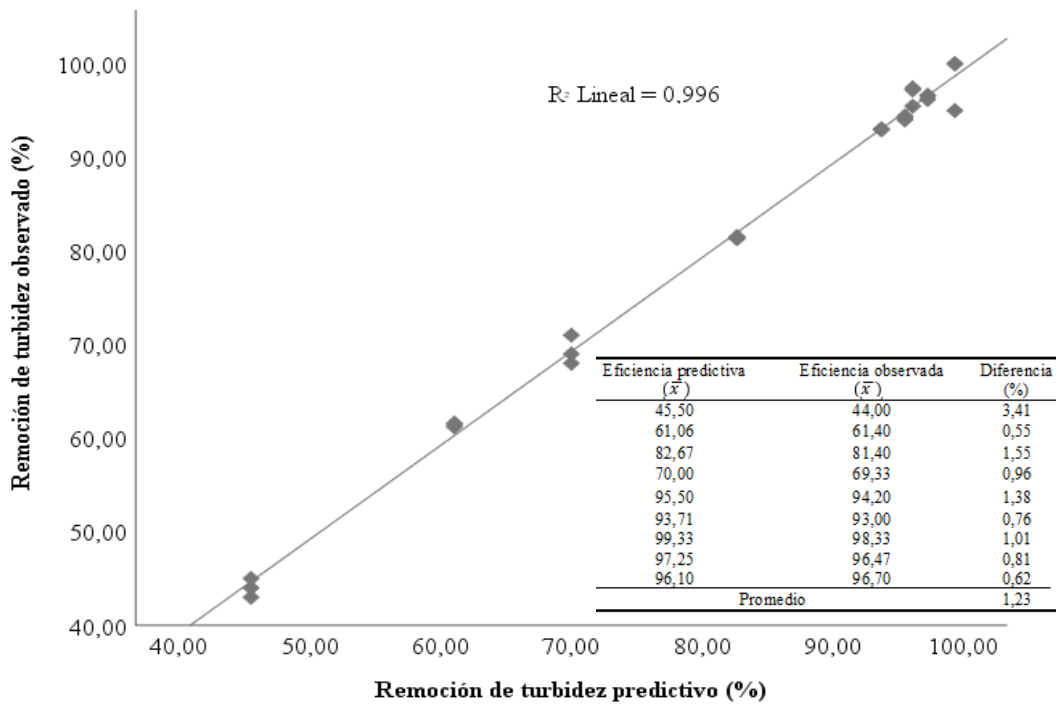


Figura 32. Comparación entre valores predictivos del modelo de superficie de respuesta y los valores reales observados

La relación gráfica existente entre la eficiencia observada versus la predictiva, muestra una distribución homogénea y cercana a la línea de equivalencia con un R<sup>2</sup> de 0,996.

#### 4.5.2. Comparación estadística

La comparación de medias del modelo matemático con muestras de agua en mismas condiciones que las usadas para el modelo en mención pero con dosis óptimas de coagulante y floculante, no encontró diferencias estadísticas significativas en los promedios de las eficiencias predictivas con las eficiencias observadas ( $p > 0.05$ ), esto quiere decir que presentan medias iguales (Tabla 15), por otra parte las muestras de aguas superficiales y las simuladas con la arcilla roja tienen medias diferentes ( $p < 0,05$ ), contrarrestando con el “p” valor, el Wilcoxon calculado (valor de “Z”) en la muestra de agua simulada con el caolín se encuentra dentro de rango de -1,96 y 1,96, a diferencia de las muestras de aguas superficiales y las simuladas con la arcilla, con respecto a los índices de sesgo y exactitud para la primera muestra mencionada fueron: el factor de sesgo fue de  $1,009 > 1,00$  lo que indica un modelo seguro, debido a que los valores observados son menores a los estimados por el modelo de superficie de respuesta, mientras que el valor alcanzado por el factor de exactitud es de 1,014 lo cual indica que las predicciones, en promedio difieren un 1,4% de las observaciones (Tabla 16), ambos índices reflejan un ajuste adecuado del modelo matemático predictivo, asimismo Rodríguez (2003) al realizar la validación del modelo de superficie de respuesta obtuvo índices de sesgo y exactitud que indicaban un buen ajuste del modelo en mención. En la validación con muestras de aguas superficiales se obtuvo un RMSE alto (15,524), pero índices de sesgo y exactitud muy cercanos a la unidad (Tabla 16), lo cual indica que el modelo matemático se ajusta a muestras de aguas superficiales de la zona de Tingo María, mientras que el agua simulada con arcilla roja obtuvo tanto RMSE e índices de sesgo y exactitud muy alejados de la unidad, indicando que el modelo no es aplicable para esas aguas.

Tabla 15. Eficiencia esperada vs eficiencia obtenida, prueba de rango de Wilcoxon con 95% de confianza

Descripción	Wilcoxon calculado (Z)	gl	P valor
Simulación con caolín	-1,910	27	0,056
Agua superficial	-2,670	9	0,008
Simulación con arcilla roja	-2,667	9	0,008

Tabla 16. Comparaciones matemáticas mediante índices de sesgo y exactitud

Descripción	RMSE	Índice de sesgo y exactitud	
		Factor de sesgo ( $B_f$ )	Factor de exactitud ( $A_f$ )
Simulación con caolín	1,383	1,009	1,014
Agua superficial	15,524	0,855	1,169
Simulación con arcilla roja	43,600	2,011	2,011

Con respecto a la validación del modelo matemático, la RMSE fueron: 1,383, 15,524 y 43,600 para muestras de aguas simuladas con caolín, agua superficial y agua simulada con arcilla, respectivamente, don el RMSE con menor valor (1,383) fue la simulada con el caolín por ende su  $R^2$  fue alto (0,996), valores que indican que el método de superficie de respuesta estima los observado con buena precisión, mientras tanto los valores de RMSE para las aguas superficiales y la simulada con la arcilla roja fueron elevados, lo que indica una alta dispersión de los datos, Soto (2019) afirma que individualmente el RMSE no refleja la confiabilidad de un modelo matemático, por lo cual no lo considera un valor útil para evaluar un modelo matemático, pero si para estimar cuanto se alejan los datos observados de los estimados por el modelo de regresión, fue así que Soto (2019) analizó mediante métodos estadísticos el desempeño de los modelos estadísticos, donde obtuvo valores de RMSE bajos (1,98) y un  $R^2$  alto (0,96) indicando que estos valores representan un buen ajuste con respecto a la regresión entre los valores predictivos y los estimados.

## V. CONCLUSIONES

1. Se logró simular la turbidez del agua haciendo uso del caolín, mostrando la relación directa existente entre ambos elementos, reflejándose turbideces reales.
2. La concentración óptima del sulfato de aluminio para 10,2 NTU, 50 NTU y 190 NTU con un pH inicial de 6,05 fueron de 40 ppm, 30 ppm y 20 ppm respectivamente, para un pH inicial de 7,56 fue de 60 ppm para turbideces de 10,2 NTU y 50 NTU y de 40 ppm para un NTU de 190, mientras que para un pH inicial de 9,07 fue de 60 ppm independientemente de la turbidez inicial.
3. La dosis óptima del *A. vera* al 1% es de 0,4 mL por cada 500 mL de muestra, reportándose a estas dosis los mayores porcentajes de remoción de la turbidez del agua.
4. Mediante el modelo matemático de superficie de respuesta se determinó los valores óptimos del *A. vera*, los cuales alcanzan su mayor eficiencia a 0,1 mL y 0,4 mL , los cuales varían de acuerdo a su pH, turbidez inicial y concentración de coagulante.
5. La validación matemática demostró que el modelo matemático de superficie de respuesta es aplicable para aguas del río Huallaga, río Monzón y quebrada Naranjal, obteniendo un índice de sesgo de 0,855 y un índice de exactitud de 1,169.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Emplear el modelo matemático de superficie de respuesta para determinar dosis óptimas en la remoción de la turbidez del agua, considerando variables de alcalinidad y sólidos totales.
2. Realizar un estudio sobre el efecto del *A. vera* en la formación de los sólidos que se generan en el proceso de coagulación-floculación.
3. Realizar una investigación sobre la aplicación adecuada de las dosis óptimas reportadas en la presente investigación en captaciones de aguas superficiales que son de consumo para pobladores del distrito de Rupa-Rupa (asociaciones y centros poblados que cuentan con captaciones de aguas superficiales las cuales no llegan a ser tratadas eficientemente).
4. Se recomienda que para próximas investigaciones sobre el uso del *A. vera* en la remoción de la turbidez, se trabaje con las dosis óptimas reportadas en la presente investigación, asimismo realizar la comparación de las eficiencias de remoción de turbidez con diferentes plantas propias de la zona, con la finalidad de obtener dosis óptimas y deseadas, teniendo en cuenta la accesibilidad de estas plantas y su aplicación de forma sencilla.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., Ortuño, J. (2002). Tratamiento físico-químico de aguas residuales, coagulación-floculación. Impreso en España.
- Álvarez, H. (2019). Extracto de moringa (*Moringa oleífera*) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio la Molina. [http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3923/alvarezchancasana\\_mpa-hermelinda.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3923/alvarezchancasana_mpa-hermelinda.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Álvarez, R. (1994). Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS. Ediciones Díaz de Santos. <https://books.google.com.pe/books?id=GxhpROT-HB0C&pg=PA337&dq=prueba+de+wilcoxon&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiB0cHg7KbyAhXVr5UCHZ8yDvcQ6AEwAXoECAsQAg#v=onepage&q=prueba%20de%20wilcoxon&f=false>
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua, coagulación y floculación. SEDAPAL. [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)
- Apostol, G., Kouachi, R., Constantinescu, I. (2011). Optimization of coagulation / flocculation in aluminum sulfate processes based on the response surface methodology. Universidad Politécnica de Buchares. Sci, Bull. Romania. 1(8), 1-8. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/APOSTOL%20et%20al%202011%20Optimization%20of%20Coagulation%20Flocculation%20Process%20with%20Aluminium%20Sulfate%20Based%20on%20Surface%20Methodology.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/APOSTOL%20et%20al%202011%20Optimization%20of%20Coagulation%20Flocculation%20Process%20with%20Aluminium%20Sulfate%20Based%20on%20Surface%20Methodology.pdf)
- Arce, R., Molina, J., Morán, F., Moreno, J. (2007). Efecto protector del *Aloe vera* (sábila) en lesiones gástricas inducidas con etanol en ratas. CIMEL Ciencia e Investigación Médica Estudiantil Latinoamericana, Lima. 12 (2), 71-75. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=71712207>
- Asunción, R. (2017). Optimización por el método de superficie de respuesta del efecto de la proporción Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) / Cedrón (*Aloysia triphylla*) y tiempo de infusión en el sabor, olor y aceptabilidad general en la obtención de té filtrante a partir



- de Stevia y cedrón. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Latinoamericano. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1430980>
- Barajas, C; León, A. (2015). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial. Investigación para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Santo Tomás, Bogotá.
- Cerna, A. (2018). Evaluación de la eficiencia de remoción de turbidez de un floculante de *Malachra alceifolia* Jacq (Malva) a escala de laboratorio. [Tesis, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://es.slideshare.net/Chemplen/floculante-de-malva>
- Cerna, A. (2020). Optimización de las dosis de alúmina en diferentes valores de pH y turbidez iniciales para la remoción de turbidez en el agua de consumo humano en la UNAS. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio de la Universidad Nacional Agraria de la selva. [http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1732/TS\\_CCAF\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1732/TS_CCAF_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Chacón, I., Ramos, C. (2019). Optimización de parámetros para remoción de turbidez,  $DBO_5$  Y DQO mediante procesos de coagulación/floculación de aguas residuales domésticas empleando organoarcilla. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de tesis Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2144?show=full>
- Chavez, L., Hernandez, C., Manzana, R. (2011). Modelación del envejecimiento de los pavimentos asfálticos con la metodología de la superficie de respuesta. Ingeniería investigación y tecnología. 12, 373-382. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432011000400002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432011000400002)
- Chiliquinga, C. (2017). Volumetría I: Neutralización acido-base, disoluciones. Laboratorio de química analítica. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Ecuador. 14 p.
- Claros, J. (2015). Efectos del polihidroxiclورو de aluminio, velocidad de agitación y pH en la turbidez del agua del río shullcas -huancayo, 2013. [Tesis para optar el grado académico de Doctor, Escuela politécnica de Chimborazo]. <https://docplayer.es/182217095-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html>
- Custodio, M. Chanamé, F. (2016). Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú. Scientia

- Agropecuaria, Trujillo. 7(1) , 33-44. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172016000100004&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172016000100004&script=sci_abstract)
- Daza, R., Epalza, J. (2016). Evaluation of the efficiency of biopolymers derived from desert plants as flocculation agents. Universidad de Santander Programa UDES de Ingeniería Ambiental, Grupo de Investigación Ambiental Aplicada - GAIA, Bucaramanga, Colombia, 49, 361-366. <https://www.aidic.it/cet/16/49/061.pdf>
- Diamadopoulos, E., Anastasakis. K., Kalderis, D. (2009). Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater, *Desalination*, 249(1): 786 - 791. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916409008935>
- Ebeling, J., Rishel, K., Sibrell, P. (2005). Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aquacultural effluents. *Revista de Ingeniería Acuícola*. 33(4), 235-49. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860905000221>
- Eugene, F. (1988). *Agua y salud humana*. Organización Panamericana de la Salud. Editorial Limusa S.A. Traducido por Edward Cruz Quevedo. México.
- Feria, J., Bermúdez, S., Estrada, M. (2014). Eficiencia de la semilla *Moringa Oleifera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Revista Producción + Limpia*. 9(1), 9-22.
- Fúquene, D., Yate, A. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Working Papers, ECAPMA*. 2(1), 1-7.
- Gaikwad, V., Munavalli, G., (2019). Eliminación de la turbidez mediante coagulación convencional y lastrada con coagulantes naturales. *Revista de la ciencia aplicada del agua*, 130, 2-9.
- Gómez, N. (2005). Remoción de materia orgánica por coagulación/floculación. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2841/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gutiérrez, H., Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. Tercera edición, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V. México. 506 p.
- Herrera, M. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *@LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA*. Colombia.13(2), 123-135.
- Hurtado, A. (2019). Polisacáridos del gel de *Aloe vera* l. como floculante en tratamiento de aguas. UNSAAC, <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/5093>.

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2019). Perú: formas de acceso al agua y saneamiento básico. INEI, [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_agua\\_nov2019.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_nov2019.pdf).
- Jhorvys, V. (2018). Eficacia de un coagulante a base de aloe vera para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas. Moyobamba, 2018. [Tesis de título, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31614>
- Juram, J., Gryna, F. (1983). Manual de control de calidad. Editorial Reverté, España. 159 p.
- Kumar, S., Krishna, G., Sivasankar, V. (2015). Coagulation performance evaluation of natural and synthetic coagulants in waste water treatment. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. JOURNALS, [http://www.arpnjournals.com/jeas/research\\_papers/rp\\_2015/jeas\\_0415\\_1820.pdf](http://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2015/jeas_0415_1820.pdf)ISSN 1819-6608.
- Mandar, M., Mitesh, P. (2009). Extracción, purificación e identificación de gel de aloe de Aloe vera (*Aloe barbadensis* Molinero). Trade Science Inc. 5(3), 111-115.
- Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., Garcia, M. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). Revista de Higiene y Sanidad Ambiental. 4(1), 72-82.
- Moreno, S. (2016). Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa. [Tesis para título, Universidad de César Vallejo]. Repositorio de la Universidad de César Vallejo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6854/moreno\\_ps.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6854/moreno_ps.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Muñoz, O., Leal, X., Quitral, V., Cardemil, L. (2015). Extracción, caracterización y propiedades del gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) Cultivado en Chile. 4(3), 1-7.
- Nougbo, E., Sessou, P., Alassane, A., YOussao, A., Agbangnan, P., Mama, D., Sohounhloue, C., (2016). Evaluación de Aloe vera gel de hoja como floculante natural: cribado fitoquímico y eliminación de turbidez Ensayos de agua por coagulación y floculación. Revista de investigación de ciencias actuales. 1, 9-15.
- Orellana, J. (2014). Tratamiento de las aguas, unidad temática número seis. Ingeniería sanitaria. Chile.

- Ortiz, A., Paz, I., Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista colombiana Biotecnol.* 15(1), 137-144.
- Ramírez, H., Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.* 11(2), 136-153.
- Razuri, K. (2017). Disminución del contenido de la DBO<sub>5</sub> y la DQO mediante coagulantes naturales (*Aloe Vera* L. y *Opuntia ficus indica*) en las aguas del canal de regadío E-8 Chuquitanta – San Martín de Porres. [Tesis para título, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/3588/Razuri\\_MKE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/3588/Razuri_MKE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rodríguez, J., García, C., García, J. (2016). Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia. *Revista de salud pública.* 18(5), 738-745.
- Rodríguez, P. (2003). Desarrollo y Validación de modelos matemáticos para la predicción de vida comercial de productos cárnicos. [Tesis, Universidad de Córdoba – Colombia]. Repositorio de la Universidad de Córdoba. <https://1library.co/document/yjoxpg6z-desarrollo-validacion-modelos-matematicos-prediccion-comercial-productos-carnicos.html>
- Rojas, S., Sastoque, Y. (2007). Desarrollo de un prototipo de un instrumento nefelométrico para medir turbidez. *Universidad de San Buenaventura, Bogotá.*
- Salett, M., Hein, N. (2004). Modelación matemática y los desafíos para enseñar matemática. *Redalyc, México.* 16 (2), 105-125.
- Schweizer, M. (1994). *Aloe Vera, La planta que cura.* Traducido por Ascolies Anna, París, Francia. Copyright by APB.
- Serrano, J. (2013). Comparación de métodos para determinar los parámetros de Weibull para la generación de energía eólica. *Scientia Et Technica. Colombia.* 18 (2), 315-320.
- Soto, J. (2016). Estimación objetiva de la dispersividad en suelos arcillosos en el ensayo de PINHOLE basada en una carta de colores y valores cuantitativos de turbidez. *Universidad Católica de Colombia.*
- Suárez, A. (2017). Método de superficies de respuesta (MSR) para procesos de optimización aplicado a la filtración de lodos provenientes del sedimentador primario de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). [Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio de tesis digitales. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/6161>

- Tejaswinee, A. (2016). Tratamiento de jugo de aloe vera en agua por el proceso de coagulación-floculación. *Revista Internacional de Tecnologías Emergentes en Investigación de Ingeniería (IJETER)*, 4, 70-73.
- Terrones, L. (2019). Determinación de la eficiencia de floculación en la mezcla de (*Aloe vera* y *citrus reticulata*) para la disminución de la turbidez en las aguas del río chico, del distrito de San Silvestre de Cochán, provincia de San Miguel, región Cajamarca – 2018. [Tesis, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. Repositorio de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo. <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1007/DETERMINACION%20DE%20LA%20EFICIENCIA%20DE%20FLOCULACION%20EN%20LA%20MEZCLA%20DE%20%28ALOE%20VERA%20Y%20CITRUS%20RETICULATA%29%20PARA%20LA%20D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tucanes, M. (2019). Uso de gel de sábila (*Aloe Vera*) y nopal (*Opuntia ficus-indica*) como floculantes naturales para la clarificación de jugo de caña en la elaboración de panela. [Tesis, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. Repositorio de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi. <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/878/1/010%20Uso%20de%20gel%20de%20s%C3%A1bila%20y%20nopal%20como%20floculantes%20naturales%20para%20la%20clarificaci%C3%B3n%20de%20jugo%20de%20ca%C3%B1a.pdf>
- Vega, A., Ampuero, N., Díaz, L., Lemus, R. (2005). El Aloe vera (*Aloe barbadensis miller*) como componente de alimentos funcionales. *Revista Chilena de nutrición*. 32(3), 208-214.
- Vielman, R. (2019). Determinación del pH óptimo de coagulación, mediante los coagulantes sulfato de aluminio y sulfato ferroso de las aguas residuales de una industria de alimentos, trabajo de graduación para optar el título de ingeniero químico, Universidad de San Carlo de Guatemala. Guatemala.

# **ANEXOS**

### Apéndice 1. Eficiencia de remoción de turbidez del agua

Anexo 1. Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada, para una turbidez inicial de 10,2 NTU y un pH de 6,05.

A (Turbidez)	B (pH)	C (Sulfato de aluminio)	D (Aloe vera)	Repetición pH	Repetición NTU	Eficiencia%
10.2	6.05	20	0.1	5.89	7.80	23.529
10.2	6.05	20	0.1	5.88	8.10	20.588
10.2	6.05	20	0.1	5.87	8.10	20.588
10.2	6.05	20	0.2	5.88	7.90	22.549
10.2	6.05	20	0.2	5.89	7.70	24.510
10.2	6.05	20	0.2	5.84	7.80	23.529
10.2	6.05	20	0.3	5.88	7.80	23.529
10.2	6.05	20	0.3	5.87	7.30	28.431
10.2	6.05	20	0.3	5.89	8.00	21.569
10.2	6.05	20	0.4	5.88	7.00	31.373
10.2	6.05	20	0.4	5.88	6.90	32.353
10.2	6.05	20	0.4	5.88	7.40	27.451
10.2	6.05	20	0.5	5.87	6.80	33.333
10.2	6.05	20	0.5	5.88	6.90	32.353
10.2	6.05	20	0.5	5.89	6.40	37.255
10.2	6.05	30	0.1	5.87	7.10	30.392
10.2	6.05	30	0.1	5.86	7.10	30.392
10.2	6.05	30	0.1	5.88	7.10	30.392
10.2	6.05	30	0.2	5.88	6.80	33.333
10.2	6.05	30	0.2	5.86	6.90	32.353
10.2	6.05	30	0.2	5.87	7.00	31.373
10.2	6.05	30	0.3	5.89	6.70	34.314
10.2	6.05	30	0.3	5.85	6.50	36.275
10.2	6.05	30	0.3	5.9	6.90	32.353
10.2	6.05	30	0.4	5.88	6.20	39.216
10.2	6.05	30	0.4	5.88	6.70	34.314
10.2	6.05	30	0.4	5.85	6.30	38.235
10.2	6.05	30	0.5	5.87	5.70	44.118
10.2	6.05	30	0.5	5.89	5.30	48.039
10.2	6.05	30	0.5	5.88	5.50	46.078
10.2	6.05	40	0.1	5.85	6.90	32.353
10.2	6.05	40	0.1	5.87	7.30	28.431
10.2	6.05	40	0.1	5.8	6.80	33.333
10.2	6.05	40	0.2	5.86	6.60	35.294
10.2	6.05	40	0.2	5.84	6.50	36.275
10.2	6.05	40	0.2	5.85	6.10	40.196
10.2	6.05	40	0.3	5.87	6.40	37.255
10.2	6.05	40	0.3	5.86	6.30	38.235

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
10.2	6.05	40	0.3	5.82	6.20	39.216
10.2	6.05	40	0.4	5.85	5.80	43.137
10.2	6.05	40	0.4	5.83	5.40	47.059
10.2	6.05	40	0.4	5.87	5.30	48.039
10.2	6.05	40	0.5	5.86	4.90	51.961
10.2	6.05	40	0.5	5.85	4.60	54.902
10.2	6.05	40	0.5	5.87	4.90	51.961
10.2	6.05	50	0.1	5.76	7.90	22.549
10.2	6.05	50	0.1	5.77	8.20	19.608
10.2	6.05	50	0.1	5.78	7.90	22.549
10.2	6.05	50	0.2	5.76	7.20	29.412
10.2	6.05	50	0.2	5.76	7.50	26.471
10.2	6.05	50	0.2	5.73	7.50	26.471
10.2	6.05	50	0.3	5.74	7.00	31.373
10.2	6.05	50	0.3	5.76	7.50	26.471
10.2	6.05	50	0.3	5.75	7.40	27.451
10.2	6.05	50	0.4	5.77	6.90	32.353
10.2	6.05	50	0.4	5.76	7.30	28.431
10.2	6.05	50	0.4	5.75	7.10	30.392
10.2	6.05	50	0.5	5.75	6.90	32.353
10.2	6.05	50	0.5	5.75	7.20	29.412
10.2	6.05	50	0.5	5.75	6.90	32.353
10.2	6.05	60	0.1	5.64	7.90	22.549
10.2	6.05	60	0.1	5.63	7.80	23.529
10.2	6.05	60	0.1	5.68	7.70	24.510
10.2	6.05	60	0.2	5.63	7.70	24.510
10.2	6.05	60	0.2	5.66	7.50	26.471
10.2	6.05	60	0.2	5.69	7.60	25.490
10.2	6.05	60	0.3	5.69	7.40	27.451
10.2	6.05	60	0.3	5.61	7.30	28.431
10.2	6.05	60	0.3	5.68	7.80	23.529
10.2	6.05	60	0.4	5.73	7.10	30.392
10.2	6.05	60	0.4	5.71	7.50	26.471
10.2	6.05	60	0.4	5.69	7.30	28.431
10.2	6.05	60	0.5	5.72	6.90	32.353
10.2	6.05	60	0.5	5.75	7.00	31.373
10.2	6.05	60	0.5	5.72	7.40	27.451



Anexo 2. Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada, para una turbidez inicial de 10,2 NTU y un pH de 7,56.

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
10.2	7.56	20	0.1	7.42	7.90	22.549
10.2	7.56	20	0.1	7.41	8.00	21.569
10.2	7.56	20	0.1	7.37	8.10	20.588
10.2	7.56	20	0.2	7.46	7.89	22.647
10.2	7.56	20	0.2	7.42	7.89	22.647
10.2	7.56	20	0.2	7.47	7.86	22.941
10.2	7.56	20	0.3	7.47	7.83	23.235
10.2	7.56	20	0.3	7.47	7.80	23.529
10.2	7.56	20	0.3	7.47	7.92	22.353
10.2	7.56	20	0.4	7.51	7.70	24.510
10.2	7.56	20	0.4	7.47	7.62	25.294
10.2	7.56	20	0.4	7.52	7.63	25.196
10.2	7.56	20	0.5	7.55	7.58	25.686
10.2	7.56	20	0.5	7.49	7.61	25.392
10.2	7.56	20	0.5	7.55	7.61	25.392
10.2	7.56	30	0.1	7.21	7.12	30.196
10.2	7.56	30	0.1	7.21	7.07	30.686
10.2	7.56	30	0.1	7.18	7.11	30.294
10.2	7.56	30	0.2	7.23	7.02	31.176
10.2	7.56	30	0.2	7.19	7.01	31.275
10.2	7.56	30	0.2	7.24	6.97	31.667
10.2	7.56	30	0.3	7.2	6.99	31.471
10.2	7.56	30	0.3	7.22	7.01	31.275
10.2	7.56	30	0.3	7.21	6.97	31.667
10.2	7.56	30	0.4	7.24	6.76	33.725
10.2	7.56	30	0.4	7.19	6.79	33.431
10.2	7.56	30	0.4	7.23	6.79	33.431
10.2	7.56	30	0.5	7.22	6.69	34.412
10.2	7.56	30	0.5	7.22	6.71	34.216
10.2	7.56	30	0.5	7.22	6.70	34.314
10.2	7.56	40	0.1	7.09	6.70	34.314
10.2	7.56	40	0.1	7.11	6.70	34.314
10.2	7.56	40	0.1	7.1	6.70	34.314
10.2	7.56	40	0.2	7.15	6.65	34.804
10.2	7.56	40	0.2	7.12	6.60	35.294
10.2	7.56	40	0.2	7.12	6.64	34.902
10.2	7.56	40	0.3	7.13	6.59	35.392
10.2	7.56	40	0.3	7.12	6.61	35.196
10.2	7.56	40	0.3	7.08	6.60	35.294
10.2	7.56	40	0.4	7.09	6.32	38.039
10.2	7.56	40	0.4	7.1	6.29	38.333

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
10.2	7.56	40	0.4	7.14	6.29	38.333
10.2	7.56	40	0.5	7.11	5.99	41.275
10.2	7.56	40	0.5	7.09	6.02	40.980
10.2	7.56	40	0.5	7.1	5.99	41.275
10.2	7.56	50	0.1	6.95	6.03	40.882
10.2	7.56	50	0.1	6.94	6.03	40.882
10.2	7.56	50	0.1	7.02	6.00	41.176
10.2	7.56	50	0.2	7.01	5.45	46.569
10.2	7.56	50	0.2	6.99	5.49	46.176
10.2	7.56	50	0.2	6.97	5.53	45.784
10.2	7.56	50	0.3	6.99	4.80	52.941
10.2	7.56	50	0.3	6.99	5.10	50.000
10.2	7.56	50	0.3	6.99	4.80	52.941
10.2	7.56	50	0.4	7.01	3.77	63.039
10.2	7.56	50	0.4	6.94	3.74	63.333
10.2	7.56	50	0.4	6.99	3.77	63.039
10.2	7.56	50	0.5	7.01	5.27	48.333
10.2	7.56	50	0.5	6.98	5.31	47.941
10.2	7.56	50	0.5	6.95	5.17	49.314
10.2	7.56	60	0.1	6.77	5.10	50.000
10.2	7.56	60	0.1	6.73	5.10	50.000
10.2	7.56	60	0.1	6.84	5.10	50.000
10.2	7.56	60	0.2	6.78	4.87	52.255
10.2	7.56	60	0.2	6.78	4.91	51.863
10.2	7.56	60	0.2	6.78	4.92	51.765
10.2	7.56	60	0.3	6.77	4.64	54.510
10.2	7.56	60	0.3	6.79	4.61	54.804
10.2	7.56	60	0.3	6.78	4.55	55.392
10.2	7.56	60	0.4	6.81	1.50	85.294
10.2	7.56	60	0.4	6.79	1.70	83.333
10.2	7.56	60	0.4	6.8	1.90	81.373
10.2	7.56	60	0.5	6.81	5.95	41.667
10.2	7.56	60	0.5	6.81	6.04	40.784
10.2	7.56	60	0.5	6.84	6.01	41.078

Anexo 3. Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada, para una turbidez inicial de 10,2 NTU y un pH de 9,07.

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
10.2	9.07	20	0.1	7.45	5.43	46.765
10.2	9.07	20	0.1	7.41	5.52	45.882
10.2	9.07	20	0.1	7.64	5.55	45.588
10.2	9.07	20	0.2	7.55	5.58	45.294
10.2	9.07	20	0.2	7.51	5.62	44.902
10.2	9.07	20	0.2	7.47	5.60	45.098
10.2	9.07	20	0.3	7.49	6.30	38.235
10.2	9.07	20	0.3	7.51	6.30	38.235
10.2	9.07	20	0.3	7.5	6.30	38.235
10.2	9.07	20	0.4	5.7	6.92	32.157
10.2	9.07	20	0.4	5.3	6.82	33.137
10.2	9.07	20	0.4	5.5	6.96	31.765
10.2	9.07	20	0.5	7.52	6.19	39.314
10.2	9.07	20	0.5	7.51	6.21	39.118
10.2	9.07	20	0.5	7.5	6.20	39.216
10.2	9.07	30	0.1	7.47	4.30	57.843
10.2	9.07	30	0.1	7.5	4.10	59.804
10.2	9.07	30	0.1	7.35	3.90	61.765
10.2	9.07	30	0.2	7.41	5.15	49.510
10.2	9.07	30	0.2	7.38	5.08	50.196
10.2	9.07	30	0.2	7.41	5.07	50.294
10.2	9.07	30	0.3	7.43	6.71	34.216
10.2	9.07	30	0.3	7.43	6.88	32.549
10.2	9.07	30	0.3	7.43	6.81	33.235
10.2	9.07	30	0.4	7.4	6.10	40.196
10.2	9.07	30	0.4	7.44	6.09	40.294
10.2	9.07	30	0.4	7.45	6.11	40.098
10.2	9.07	30	0.5	7.42	6.00	41.176
10.2	9.07	30	0.5	7.48	6.00	41.176
10.2	9.07	30	0.5	7.42	6.00	41.176
10.2	9.07	40	0.1	7.38	0.80	92.157
10.2	9.07	40	0.1	7.41	0.70	93.137
10.2	9.07	40	0.1	7.41	0.75	92.647
10.2	9.07	40	0.2	7.41	0.20	98.039
10.2	9.07	40	0.2	7.4	0.20	98.039
10.2	9.07	40	0.2	7.39	0.23	97.745
10.2	9.07	40	0.3	7.4	3.85	62.255
10.2	9.07	40	0.3	7.43	3.82	62.549
10.2	9.07	40	0.3	7.37	3.91	61.667
10.2	9.07	40	0.4	7.38	1.30	87.255
10.2	9.07	40	0.4	7.41	1.28	87.451

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
10.2	9.07	40	0.4	7.41	1.29	87.353
10.2	9.07	40	0.5	7.45	3.63	64.412
10.2	9.07	40	0.5	7.41	3.71	63.627
10.2	9.07	40	0.5	7.37	3.61	64.608
10.2	9.07	50	0.1	7	0.60	94.118
10.2	9.07	50	0.1	6.98	0.90	91.176
10.2	9.07	50	0.1	7.02	0.90	91.176
10.2	9.07	50	0.2	7.12	0.76	92.549
10.2	9.07	50	0.2	7.09	0.80	92.157
10.2	9.07	50	0.2	7.18	0.72	92.941
10.2	9.07	50	0.3	7.12	3.80	62.745
10.2	9.07	50	0.3	7.16	4.10	59.804
10.2	9.07	50	0.3	7.14	3.80	62.745
10.2	9.07	50	0.4	7.2	2.41	76.373
10.2	9.07	50	0.4	7.08	2.50	75.490
10.2	9.07	50	0.4	7.02	2.59	74.608
10.2	9.07	50	0.5	7.19	3.70	63.725
10.2	9.07	50	0.5	7.09	3.70	63.725
10.2	9.07	50	0.5	7.17	3.70	63.725
10.2	9.07	60	0.1	7.4	0.00	100.000
10.2	9.07	60	0.1	7.38	0.00	100.000
10.2	9.07	60	0.1	7.27	0.00	100.000
10.2	9.07	60	0.2	7.33	0.50	95.098
10.2	9.07	60	0.2	7.33	0.40	96.078
10.2	9.07	60	0.2	7.33	0.75	92.647
10.2	9.07	60	0.3	7.36	0.55	94.608
10.2	9.07	60	0.3	7.41	0.70	93.137
10.2	9.07	60	0.3	7.37	0.63	93.824
10.2	9.07	60	0.4	7.3	2.15	78.922
10.2	9.07	60	0.4	7.33	2.10	79.412
10.2	9.07	60	0.4	7.3	2.11	79.314
10.2	9.07	60	0.5	7.31	0.70	93.137
10.2	9.07	60	0.5	7.31	0.80	92.157
10.2	9.07	60	0.5	7.31	0.62	93.922

Anexo 4. Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada, para una turbidez inicial de 50 NTU y un pH de 6,05.

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
50	6.05	20	0.1	5.8	24.40	51.200
50	6.05	20	0.1	5.82	24.30	51.400
50	6.05	20	0.1	5.78	24.80	50.400
50	6.05	20	0.2	5.81	19.40	61.200
50	6.05	20	0.2	5.82	19.20	61.600
50	6.05	20	0.2	5.8	19.00	62.000
50	6.05	20	0.3	5.85	23.30	53.400
50	6.05	20	0.3	5.83	23.90	52.200
50	6.05	20	0.3	5.9	23.90	52.200
50	6.05	20	0.4	5.89	22.00	56.000
50	6.05	20	0.4	5.9	22.10	55.800
50	6.05	20	0.4	5.91	21.90	56.200
50	6.05	20	0.5	5.91	22.10	55.800
50	6.05	20	0.5	5.92	22.20	55.600
50	6.05	20	0.5	5.93	22.90	54.200
50	6.05	30	0.1	5.88	19.60	60.800
50	6.05	30	0.1	5.87	19.50	61.000
50	6.05	30	0.1	5.86	19.70	60.600
50	6.05	30	0.2	5.85	13.50	73.000
50	6.05	30	0.2	5.89	13.40	73.200
50	6.05	30	0.2	5.84	13.60	72.800
50	6.05	30	0.3	5.85	17.90	64.200
50	6.05	30	0.3	5.81	17.80	64.400
50	6.05	30	0.3	5.8	18.00	64.000
50	6.05	30	0.4	5.75	17.10	65.800
50	6.05	30	0.4	5.82	17.10	65.800
50	6.05	30	0.4	5.83	17.10	65.800
50	6.05	30	0.5	5.86	17.00	66.000
50	6.05	30	0.5	5.91	17.30	65.400
50	6.05	30	0.5	5.93	17.00	66.000
50	6.05	40	0.1	5.15	18.10	63.800
50	6.05	40	0.1	5.13	18.40	63.200
50	6.05	40	0.1	5.11	17.50	65.000
50	6.05	40	0.2	5.31	19.00	62.000
50	6.05	40	0.2	5.37	19.40	61.200
50	6.05	40	0.2	5.4	19.50	61.000
50	6.05	40	0.3	5.49	21.40	57.200
50	6.05	40	0.3	5.47	21.50	57.000
50	6.05	40	0.3	5.42	21.90	56.200
50	6.05	40	0.4	5.39	20.10	59.800
50	6.05	40	0.4	5.35	20.40	59.200

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
50	6.05	40	0.4	5.4	19.80	60.400
50	6.05	40	0.5	5.37	20.40	59.200
50	6.05	40	0.5	5.5	20.00	60.000
50	6.05	40	0.5	5.33	20.50	59.000
50	6.05	50	0.1	5.04	28.50	43.000
50	6.05	50	0.1	4.84	28.90	42.200
50	6.05	50	0.1	4.97	28.70	42.600
50	6.05	50	0.2	4.98	28.10	43.800
50	6.05	50	0.2	4.98	28.50	43.000
50	6.05	50	0.2	4.98	28.30	43.400
50	6.05	50	0.3	5.03	28.60	42.800
50	6.05	50	0.3	5.01	28.10	43.800
50	6.05	50	0.3	4.99	29.10	41.800
50	6.05	50	0.4	5.09	29.20	41.600
50	6.05	50	0.4	5.03	28.90	42.200
50	6.05	50	0.4	5.18	29.20	41.600
50	6.05	50	0.5	5.17	28.40	43.200
50	6.05	50	0.5	5.08	29.10	41.800
50	6.05	50	0.5	5.17	28.00	44.000
50	6.05	60	0.1	4.89	29.10	41.800
50	6.05	60	0.1	4.79	28.90	42.200
50	6.05	60	0.1	4.96	29.00	42.000
50	6.05	60	0.2	4.9	28.60	42.800
50	6.05	60	0.2	4.95	28.70	42.600
50	6.05	60	0.2	4.88	28.50	43.000
50	6.05	60	0.3	5.01	29.00	42.000
50	6.05	60	0.3	4.98	29.30	41.400
50	6.05	60	0.3	4.95	29.00	42.000
50	6.05	60	0.4	5.03	28.30	43.400
50	6.05	60	0.4	5.05	29.00	42.000
50	6.05	60	0.4	5.01	29.10	41.800
50	6.05	60	0.5	5.1	29.10	41.800
50	6.05	60	0.5	5.14	29.00	42.000
50	6.05	60	0.5	5.12	29.50	41.000

Anexo 5. Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada, para una turbidez inicial de 50 NTU y un pH de 7,56.

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
50	7.56	20	0.1	7.35	10.90	78.200
50	7.56	20	0.1	7.38	10.80	78.400
50	7.56	20	0.1	7.38	11.30	77.400
50	7.56	20	0.2	7.40	8.70	82.600
50	7.56	20	0.2	7.38	8.20	83.600
50	7.56	20	0.2	7.42	8.30	83.400
50	7.56	20	0.3	7.44	10.50	79.000
50	7.56	20	0.3	7.38	10.30	79.400
50	7.56	20	0.3	7.41	10.40	79.200
50	7.56	20	0.4	7.40	8.00	84.000
50	7.56	20	0.4	7.39	8.00	84.000
50	7.56	20	0.4	7.38	8.00	84.000
50	7.56	20	0.5	7.38	10.00	80.000
50	7.56	20	0.5	7.41	10.50	79.000
50	7.56	20	0.5	7.5	10.10	79.800
50	7.56	30	0.1	7.20	4.00	92.000
50	7.56	30	0.1	7.25	3.50	93.000
50	7.56	30	0.1	7.27	4.50	91.000
50	7.56	30	0.2	7.27	6.90	86.200
50	7.56	30	0.2	7.27	7.20	85.600
50	7.56	30	0.2	7.27	6.90	86.200
50	7.56	30	0.3	7.29	5.50	89.000
50	7.56	30	0.3	7.33	5.10	89.800
50	7.56	30	0.3	7.31	5.30	89.400
50	7.56	30	0.4	7.28	4.00	92.000
50	7.56	30	0.4	7.31	4.30	91.400
50	7.56	30	0.4	7.31	3.70	92.600
50	7.56	30	0.5	7.35	6.50	87.000
50	7.56	30	0.5	7.27	6.10	87.800
50	7.56	30	0.5	7.31	6.00	88.000
50	7.56	40	0.1	7.44	6.70	86.600
50	7.56	40	0.1	7.36	6.50	87.000
50	7.56	40	0.1	7.43	6.90	86.200
50	7.56	40	0.2	7.41	6.00	88.000
50	7.56	40	0.2	7.44	6.12	87.760
50	7.56	40	0.2	7.41	5.88	88.240
50	7.56	40	0.3	7.42	5.33	89.340
50	7.56	40	0.3	7.43	5.37	89.260
50	7.56	40	0.3	7.41	5.38	89.240
50	7.56	40	0.4	7.48	3.70	92.600
50	7.56	40	0.4	7.43	3.80	92.400

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
50	7.56	40	0.4	7.44	3.90	92.200
50	7.56	40	0.5	7.53	5.56	88.880
50	7.56	40	0.5	7.5	5.59	88.820
50	7.56	40	0.5	7.5	5.50	89.000
50	7.56	50	0.1	7.37	0.80	98.400
50	7.56	50	0.1	7.33	0.80	98.400
50	7.56	50	0.1	7.32	0.80	98.400
50	7.56	50	0.2	7.36	0.90	98.200
50	7.56	50	0.2	7.31	0.90	98.200
50	7.56	50	0.2	7.32	0.90	98.200
50	7.56	50	0.3	7.29	1.89	96.220
50	7.56	50	0.3	7.34	1.90	96.200
50	7.56	50	0.3	7.36	1.91	96.180
50	7.56	50	0.4	7.30	2.00	96.000
50	7.56	50	0.4	7.31	2.20	95.600
50	7.56	50	0.4	7.26	2.10	95.800
50	7.56	50	0.5	7.31	3.90	92.200
50	7.56	50	0.5	7.36	3.10	93.800
50	7.56	50	0.5	7.35	4.40	91.200
50	7.56	60	0.1	7.08	0.30	99.400
50	7.56	60	0.1	7.01	0.20	99.600
50	7.56	60	0.1	7.06	0.40	99.200
50	7.56	60	0.2	7.10	1.00	98.000
50	7.56	60	0.2	6.99	0.98	98.040
50	7.56	60	0.2	7.03	1.02	97.960
50	7.56	60	0.3	7.05	1.80	96.400
50	7.56	60	0.3	7.01	1.74	96.520
50	7.56	60	0.3	7.09	1.86	96.280
50	7.56	60	0.4	7.04	2.00	96.000
50	7.56	60	0.4	7.03	2.10	95.800
50	7.56	60	0.4	7.05	1.90	96.200
50	7.56	60	0.5	7.01	2.30	95.400
50	7.56	60	0.5	7.09	2.10	95.800
50	7.56	60	0.5	7.05	2.20	95.600



Anexo 6. Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada, para una turbidez inicial de 50 NTU y un pH de 9,07.

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
50	9.07	20	0.1	7.65	9.30	81.400
50	9.07	20	0.1	7.7	9.33	81.340
50	9.07	20	0.1	7.72	9.27	81.460
50	9.07	20	0.2	7.70	8.60	82.800
50	9.07	20	0.2	7.68	8.73	82.540
50	9.07	20	0.2	7.75	8.77	82.460
50	9.07	20	0.3	7.77	9.00	82.000
50	9.07	20	0.3	7.76	9.00	82.000
50	9.07	20	0.3	7.78	9.00	82.000
50	9.07	20	0.4	7.70	7.30	85.400
50	9.07	20	0.4	7.74	6.50	87.000
50	9.07	20	0.4	7.81	7.20	85.600
50	9.07	20	0.5	7.80	9.00	82.000
50	9.07	20	0.5	7.79	8.70	82.600
50	9.07	20	0.5	7.75	9.30	81.400
50	9.07	30	0.1	7.45	7.03	85.940
50	9.07	30	0.1	7.5	6.50	87.000
50	9.07	30	0.1	7.52	6.87	86.260
50	9.07	30	0.2	7.55	5.80	88.400
50	9.07	30	0.2	7.53	5.40	89.200
50	9.07	30	0.2	7.57	5.60	88.800
50	9.07	30	0.3	7.54	5.72	88.560
50	9.07	30	0.3	7.53	5.81	88.380
50	9.07	30	0.3	7.52	5.87	88.260
50	9.07	30	0.4	7.55	3.90	92.200
50	9.07	30	0.4	7.58	3.70	92.600
50	9.07	30	0.4	7.55	3.80	92.400
50	9.07	30	0.5	7.60	5.50	89.000
50	9.07	30	0.5	7.61	5.37	89.260
50	9.07	30	0.5	7.65	5.33	89.340
50	9.07	40	0.1	7.39	4.80	90.400
50	9.07	40	0.1	7.4	4.75	90.500
50	9.07	40	0.1	7.35	4.85	90.300
50	9.07	40	0.2	7.42	5.18	89.640
50	9.07	40	0.2	7.4	5.19	89.620
50	9.07	40	0.2	7.41	4.93	90.140
50	9.07	40	0.3	7.40	4.96	90.080
50	9.07	40	0.3	7.43	4.75	90.500
50	9.07	40	0.3	7.49	4.99	90.020
50	9.07	40	0.4	7.42	3.50	93.000
50	9.07	40	0.4	7.4	3.50	93.000

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
50	9.07	40	0.4	7.44	3.50	93.000
50	9.07	40	0.5	7.50	4.98	90.040
50	9.07	40	0.5	7.5	5.12	89.760
50	9.07	40	0.5	7.5	4.90	90.200
50	9.07	50	0.1	7.22	2.10	95.800
50	9.07	50	0.1	7.25	2.00	96.000
50	9.07	50	0.1	7.22	2.20	95.600
50	9.07	50	0.2	7.21	2.00	96.000
50	9.07	50	0.2	7.26	1.90	96.200
50	9.07	50	0.2	7.28	2.10	95.800
50	9.07	50	0.3	7.28	1.90	96.200
50	9.07	50	0.3	7.3	1.80	96.400
50	9.07	50	0.3	7.32	2.00	96.000
50	9.07	50	0.4	7.34	0.60	98.800
50	9.07	50	0.4	7.33	0.60	98.800
50	9.07	50	0.4	7.29	0.60	98.800
50	9.07	50	0.5	7.38	2.00	96.000
50	9.07	50	0.5	7.33	1.80	96.400
50	9.07	50	0.5	7.34	2.50	95.000
50	9.07	60	0.1	7.30	0.80	98.400
50	9.07	60	0.1	7.35	0.90	98.200
50	9.07	60	0.1	7.31	1.00	98.000
50	9.07	60	0.2	7.29	1.50	97.000
50	9.07	60	0.2	7.3	1.00	98.000
50	9.07	60	0.2	7.31	1.10	97.800
50	9.07	60	0.3	7.30	0.50	99.000
50	9.07	60	0.3	7.32	0.20	99.600
50	9.07	60	0.3	7.31	0.50	99.000
50	9.07	60	0.4	7.22	1.40	97.200
50	9.07	60	0.4	7.19	1.30	97.400
50	9.07	60	0.4	7.19	1.80	96.400
50	9.07	60	0.5	7.23	3.00	94.000
50	9.07	60	0.5	7.19	3.60	92.800
50	9.07	60	0.5	7.21	3.30	93.400

Anexo 7. Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada, para una turbidez inicial de 190 NTU y un pH de 6,05.

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
190	6.05	20	0.1	6.04	45.40	76.105
190	6.05	20	0.1	6.04	45.20	76.211
190	6.05	20	0.1	6.07	45.30	76.158
190	6.05	20	0.2	6.06	39.30	79.316
190	6.05	20	0.2	6.03	39.70	79.105
190	6.05	20	0.2	6.06	39.20	79.368
190	6.05	20	0.3	6.05	38.70	79.632
190	6.05	20	0.3	6.08	38.70	79.632
190	6.05	20	0.3	6.08	38.40	79.789
190	6.05	20	0.4	6.12	29.40	84.526
190	6.05	20	0.4	6.11	29.70	84.368
190	6.05	20	0.4	6.13	29.70	84.368
190	6.05	20	0.5	6.20	23.70	87.526
190	6.05	20	0.5	6.2	23.50	87.632
190	6.05	20	0.5	6.2	23.30	87.737
190	6.05	30	0.1	5.93	50.50	73.421
190	6.05	30	0.1	5.92	50.10	73.632
190	6.05	30	0.1	5.97	50.60	73.368
190	6.05	30	0.2	5.96	47.00	75.263
190	6.05	30	0.2	5.96	47.00	75.263
190	6.05	30	0.2	5.99	47.00	75.263
190	6.05	30	0.3	5.94	46.50	75.526
190	6.05	30	0.3	5.98	46.90	75.316
190	6.05	30	0.3	5.99	47.00	75.263
190	6.05	30	0.4	5.98	44.30	76.684
190	6.05	30	0.4	5.98	44.60	76.526
190	6.05	30	0.4	5.98	44.60	76.526
190	6.05	30	0.5	5.90	43.20	77.263
190	6.05	30	0.5	6.1	43.90	76.895
190	6.05	30	0.5	6	44.30	76.684
190	6.05	40	0.1	5.30	61.40	67.684
190	6.05	40	0.1	5.3	61.00	67.895
190	6.05	40	0.1	5.3	61.50	67.632
190	6.05	40	0.2	5.35	60.70	68.053
190	6.05	40	0.2	5.4	61.00	67.895
190	6.05	40	0.2	5.3	60.40	68.211
190	6.05	40	0.3	5.56	58.60	69.158
190	6.05	40	0.3	5.5	58.30	69.316
190	6.05	40	0.3	5.56	58.30	69.316
190	6.05	40	0.4	5.55	31.00	83.684
190	6.05	40	0.4	5.5	31.50	83.421

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
190	6.05	40	0.4	5.54	30.80	83.789
190	6.05	40	0.5	5.60	54.80	71.158
190	6.05	40	0.5	5.8	54.70	71.211
190	6.05	40	0.5	5.52	54.90	71.105
190	6.05	50	0.1	4.85	66.90	64.789
190	6.05	50	0.1	4.87	66.30	65.105
190	6.05	50	0.1	4.89	67.50	64.474
190	6.05	50	0.2	4.88	63.90	66.368
190	6.05	50	0.2	4.87	64.20	66.211
190	6.05	50	0.2	4.88	64.20	66.211
190	6.05	50	0.3	4.88	57.50	69.737
190	6.05	50	0.3	4.88	57.30	69.842
190	6.05	50	0.3	4.88	57.40	69.789
190	6.05	50	0.4	4.93	47.50	75.000
190	6.05	50	0.4	4.89	47.20	75.158
190	6.05	50	0.4	4.97	48.10	74.684
190	6.05	50	0.5	4.96	55.50	70.789
190	6.05	50	0.5	4.95	55.80	70.632
190	6.05	50	0.5	4.94	56.10	70.474
190	6.05	60	0.1	4.40	70.80	62.737
190	6.05	60	0.1	4.7	71.10	62.579
190	6.05	60	0.1	4.4	71.10	62.579
190	6.05	60	0.2	4.50	70.50	62.895
190	6.05	60	0.2	4.65	70.90	62.684
190	6.05	60	0.2	4.65	70.40	62.947
190	6.05	60	0.3	4.60	69.60	63.368
190	6.05	60	0.3	4.6	69.60	63.368
190	6.05	60	0.3	4.6	69.90	63.211
190	6.05	60	0.4	4.73	68.00	64.211
190	6.05	60	0.4	4.71	68.00	64.211
190	6.05	60	0.4	4.69	68.00	64.211
190	6.05	60	0.5	4.85	70.00	63.158
190	6.05	60	0.5	4.85	70.30	63.000
190	6.05	60	0.5	4.94	70.00	63.158

Anexo 8. Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada, para una turbidez inicial de 190 NTU y un pH de 7,56.

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
190	7.56	20	0.1	7.30	27.90	85.316
190	7.56	20	0.1	7.3	27.80	85.368
190	7.56	20	0.1	7.3	27.70	85.421
190	7.56	20	0.2	7.30	27.50	85.526
190	7.56	20	0.2	7.29	27.50	85.526
190	7.56	20	0.2	7.34	27.50	85.526
190	7.56	20	0.3	7.42	27.10	85.737
190	7.56	20	0.3	7.45	27.00	85.789
190	7.56	20	0.3	7.45	26.90	85.842
190	7.56	20	0.4	7.44	24.90	86.895
190	7.56	20	0.4	7.44	25.00	86.842
190	7.56	20	0.4	7.44	25.10	86.789
190	7.56	20	0.5	7.46	26.10	86.263
190	7.56	20	0.5	7.44	26.00	86.316
190	7.56	20	0.5	7.45	25.90	86.368
190	7.56	30	0.1	7.20	22.00	88.421
190	7.56	30	0.1	7.21	22.20	88.316
190	7.56	30	0.1	7.22	22.10	88.368
190	7.56	30	0.2	7.24	21.80	88.526
190	7.56	30	0.2	7.22	21.80	88.526
190	7.56	30	0.2	7.23	21.80	88.526
190	7.56	30	0.3	7.29	21.40	88.737
190	7.56	30	0.3	7.27	21.40	88.737
190	7.56	30	0.3	7.28	21.70	88.579
190	7.56	30	0.4	7.33	19.80	89.579
190	7.56	30	0.4	7.3	19.70	89.632
190	7.56	30	0.4	7.3	19.90	89.526
190	7.56	30	0.5	7.30	19.10	89.947
190	7.56	30	0.5	7.34	19.10	89.947
190	7.56	30	0.5	7.35	19.40	89.789
190	7.56	40	0.1	7.12	15.10	92.053
190	7.56	40	0.1	7.12	15.80	91.684
190	7.56	40	0.1	7.12	15.30	91.947
190	7.56	40	0.2	7.13	15.00	92.105
190	7.56	40	0.2	7.17	15.00	92.105
190	7.56	40	0.2	7.15	15.00	92.105
190	7.56	40	0.3	7.10	13.80	92.737
190	7.56	40	0.3	7.3	14.30	92.474
190	7.56	40	0.3	7.2	13.90	92.684
190	7.56	40	0.4	7.22	9.10	95.211
190	7.56	40	0.4	7.26	9.30	95.105

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
190	7.56	40	0.4	7.15	9.20	95.158
190	7.56	40	0.5	7.28	12.30	93.526
190	7.56	40	0.5	7.26	12.60	93.368
190	7.56	40	0.5	7.21	12.30	93.526
190	7.56	50	0.1	7.13	15.20	92.000
190	7.56	50	0.1	7.13	15.20	92.000
190	7.56	50	0.1	7.11	15.50	91.842
190	7.56	50	0.2	7.10	15.00	92.105
190	7.56	50	0.2	7.12	15.00	92.105
190	7.56	50	0.2	7.08	15.00	92.105
190	7.56	50	0.3	7.10	14.70	92.263
190	7.56	50	0.3	7.1	14.90	92.158
190	7.56	50	0.3	7.1	14.80	92.211
190	7.56	50	0.4	7.15	12.90	93.211
190	7.56	50	0.4	7.09	13.10	93.105
190	7.56	50	0.4	7.09	13.00	93.158
190	7.56	50	0.5	7.10	14.60	92.316
190	7.56	50	0.5	7.12	14.70	92.263
190	7.56	50	0.5	7.08	14.80	92.211
190	7.56	60	0.1	7.09	17.50	90.789
190	7.56	60	0.1	7.19	17.50	90.789
190	7.56	60	0.1	7.02	17.50	90.789
190	7.56	60	0.2	7.20	16.30	91.421
190	7.56	60	0.2	7.2	16.20	91.474
190	7.56	60	0.2	7.2	16.70	91.211
190	7.56	60	0.3	7.38	16.20	91.474
190	7.56	60	0.3	7.41	16.00	91.579
190	7.56	60	0.3	7.41	16.10	91.526
190	7.56	60	0.4	7.19	15.70	91.737
190	7.56	60	0.4	7.2	15.80	91.684
190	7.56	60	0.4	7.21	16.20	91.474
190	7.56	60	0.5	7.00	16.00	91.579
190	7.56	60	0.5	7	16.00	91.579
190	7.56	60	0.5	7	16.00	91.579

Anexo 9. Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada, para una turbidez inicial de 190 NTU y un pH de 9,07.

<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
190	9.07	20	0.1	7.85	21.30	88.789
190	9.07	20	0.1	7.89	21.40	88.737
190	9.07	20	0.1	7.84	21.50	88.684
190	9.07	20	0.2	7.85	21.30	88.789
190	9.07	20	0.2	7.88	21.20	88.842
190	9.07	20	0.2	7.91	21.40	88.737
190	9.07	20	0.3	7.90	20.10	89.421
190	9.07	20	0.3	7.81	20.20	89.368
190	9.07	20	0.3	7.84	20.06	89.442
190	9.07	20	0.4	7.93	19.60	89.684
190	9.07	20	0.4	7.87	19.60	89.684
190	9.07	20	0.4	7.93	19.90	89.526
190	9.07	20	0.5	7.90	20.60	89.158
190	9.07	20	0.5	7.9	20.60	89.158
190	9.07	20	0.5	7.9	20.60	89.158
190	9.07	30	0.1	7.44	15.30	91.947
190	9.07	30	0.1	7.51	15.10	92.053
190	9.07	30	0.1	7.52	15.50	91.842
190	9.07	30	0.2	7.55	15.00	92.105
190	9.07	30	0.2	7.49	15.00	92.105
190	9.07	30	0.2	7.46	15.00	92.105
190	9.07	30	0.3	7.51	14.90	92.158
190	9.07	30	0.3	7.51	14.50	92.368
190	9.07	30	0.3	7.54	14.70	92.263
190	9.07	30	0.4	7.53	14.10	92.579
190	9.07	30	0.4	7.53	13.90	92.684
190	9.07	30	0.4	7.59	14.00	92.632
190	9.07	30	0.5	7.55	14.00	92.632
190	9.07	30	0.5	7.53	14.50	92.368
190	9.07	30	0.5	7.57	14.40	92.421
190	9.07	40	0.1	7.32	15.10	92.053
190	9.07	40	0.1	7.29	15.60	91.789
190	9.07	40	0.1	7.29	15.50	91.842
190	9.07	40	0.2	7.29	15.00	92.105
190	9.07	40	0.2	7.36	14.90	92.158
190	9.07	40	0.2	7.34	15.40	91.895
190	9.07	40	0.3	7.31	14.80	92.211
190	9.07	40	0.3	7.34	14.90	92.158
190	9.07	40	0.3	7.33	14.40	92.421
190	9.07	40	0.4	7.40	14.10	92.579
190	9.07	40	0.4	7.4	14.60	92.316

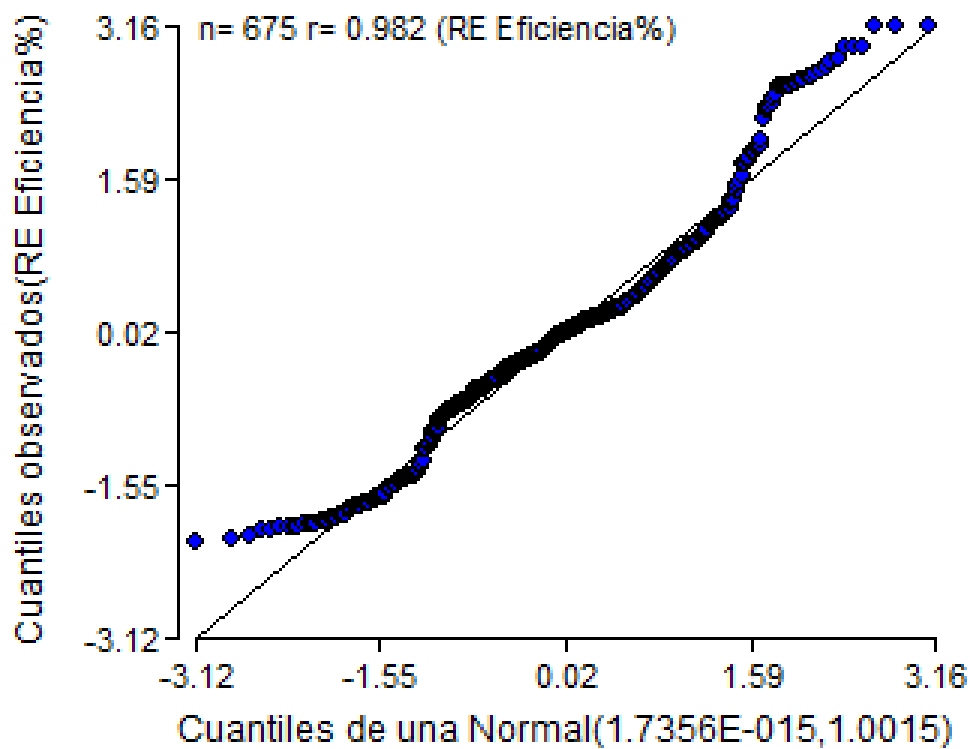
<b>A (Turbidez)</b>	<b>B (pH)</b>	<b>C (Sulfato de aluminio)</b>	<b>D (Aloe vera)</b>	<b>Repetición pH</b>	<b>Repetición NTU</b>	<b>Eficiencia%</b>
190	9.07	40	0.4	7.4	14.20	92.526
190	9.07	40	0.5	7.44	15.00	92.105
190	9.07	40	0.5	7.4	15.40	91.895
190	9.07	40	0.5	7.42	15.20	92.000
190	9.07	50	0.1	7.45	14.80	92.211
190	9.07	50	0.1	7.48	14.30	92.474
190	9.07	50	0.1	7.45	14.40	92.421
190	9.07	50	0.2	7.29	14.40	92.421
190	9.07	50	0.2	7.27	14.40	92.421
190	9.07	50	0.2	7.34	14.40	92.421
190	9.07	50	0.3	7.31	13.40	92.947
190	9.07	50	0.3	7.3	13.00	93.158
190	9.07	50	0.3	7.29	12.90	93.211
190	9.07	50	0.4	7.30	6.80	96.421
190	9.07	50	0.4	7.3	7.00	96.316
190	9.07	50	0.4	7.3	6.90	96.368
190	9.07	50	0.5	7.28	10.00	94.737
190	9.07	50	0.5	7.3	10.00	94.737
190	9.07	50	0.5	7.29	10.00	94.737
190	9.07	60	0.1	7.33	10.70	94.368
190	9.07	60	0.1	7.36	10.90	94.263
190	9.07	60	0.1	7.39	11.10	94.158
190	9.07	60	0.2	7.19	10.00	94.737
190	9.07	60	0.2	7.21	9.90	94.789
190	9.07	60	0.2	7.2	10.10	94.684
190	9.07	60	0.3	7.22	7.90	95.842
190	9.07	60	0.3	7.22	7.60	96.000
190	9.07	60	0.3	7.22	8.20	95.684
190	9.07	60	0.4	7.19	3.40	98.211
190	9.07	60	0.4	7.23	3.70	98.053
190	9.07	60	0.4	7.21	3.70	98.053
190	9.07	60	0.5	7.25	4.70	97.526
190	9.07	60	0.5	7.18	4.50	97.632
190	9.07	60	0.5	7.23	4.90	97.421



Anexo 10. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la normalidad de los datos obtenidos

Descripción	Estadístico	gl	Sig.
Eficiencia de la remoción de la turbidez del agua	0,184	675	0,000
Turbidez	0,202	675	0,000
pH	0,248	675	0,000

Anexo 11. Figura de la normalidad de los datos obtenidos



Anexo 12. Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, con respecto a la comparación de valores de los parámetros de turbidez inicial del agua

Turbidez	Medias	Rangos	Sig
190	85,11	439,04	A
50	78,33	403,79	A
10	46,21	171,17	B

Anexo 13. Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, con respecto a la comparación de valores de los parámetros del pH inicial del agua

pH	Medias	Rangos	Sig
9	83,66	457,31	A
8	73,55	365,1	B
6	52,44	191,59	C

Anexo 14. Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, con respecto a la comparación de valores de los parámetros del sulfato de aluminio como coagulante

Sulfato de amonio	Medias	Rangos	Sig
60	73,58	397,15	A
50	71,78	377,73	A
40	72,89	354,78	A
30	68,26	307,3	B
20	62,89	253,03	C

## Apéndice 2. Pruebas para la validación del modelo de superficie de respuesta

Anexo 15. Validación con agua simulada con caolín a dosis óptimas según el modelo de superficie de respuesta.

NTU	pH	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (ppm)	Aloe vera (mL)	Eficiencia observada	Eficiencia predictiva
10,2	6,05	49.091	0.906	43.000	45.501
10,2	6,05	49.091	0.906	45.000	45.501
10,2	6,05	49.091	0.906	44.000	45.501
50	6,05	29.950	0.294	61.400	61.063
50	6,05	29.950	0.294	61.600	61.063
50	6,05	29.950	0.294	61.200	61.063
190	6,05	31.111	1.400	81.316	82.668
190	6,05	31.111	1.400	81.368	82.668
190	6,05	31.111	1.400	81.526	82.668
10,2	7,56	65.000	1.200	69.000	70.001
10,2	7,56	65.000	1.200	68.000	70.001
10,2	7,56	65.000	1.200	71.000	70.001
50	7,56	61.869	0.342	94.400	95.502
50	7,56	61.869	0.342	94.000	95.502
50	7,56	61.869	0.342	94.200	95.502
190	7,56	45.505	1.006	93.053	93.706
190	7,56	45.505	1.006	92.947	93.706
190	7,56	45.505	1.006	93.000	93.706
10,2	9,07	65.758	0.100	100.000	99.330
10,2	9,07	65.758	0.100	100.000	99.330
10,2	9,07	65.758	0.100	95.000	99.330
50	9,07	65.455	0.367	96.600	97.246
50	9,07	65.455	0.367	96.200	97.246
50	9,07	65.455	0.367	96.600	97.246
190	9,07	73.333	0.820	95.474	96.100
190	9,07	73.333	0.820	97.421	96.100
190	9,07	73.333	0.820	97.211	96.100
				<b>RMSE</b>	1,383
				<b>Bf</b>	1,009
				<b>Af</b>	1,014

Anexo 16. Validación con aguas superficiales a dosis óptimas según el modelo de superficie de respuesta.

Descripción	NTU	pH	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (ppm)	Aloe vera (mL)	Eficiencia observada	Eficiencia predictiva
Q-NJ	27,7	7,64	65,199	0,834	87,365	81,981
Q-NJ	27,7	7,64	65,199	0,834	88,448	81,981
Q-NJ	27,7	7,64	65,199	0,834	87,726	81,981
R-HUALL	70.6	7.98	63,556	0,413	100.000	95,590
R-HUALL	70.6	7.98	63,556	0,413	99.292	95,590
R-HUALL	70.6	7.98	63,556	0,413	100.000	95,590
R-MONZON	6.1	7.77	64,953	1,286	100.000	67,194
R-MONZON	6.1	7.77	64,953	1,286	100.000	67,194
R-MONZON	6.1	7.77	64,953	1,286	88.525	67,194
					RMSE	15,524
					Bf	0,855
					Af	1,169

Anexo 17. Validación con aguas superficiales a dosis óptimas según el modelo de superficie de respuesta.

NTU	pH	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (ppm)	Aloe vera (mL)	Eficiencia observada	Eficiencia predictiva
10.7	7.69	65,006	1,189	25.234	70.343
10.7	7.69	65,006	1,189	32.710	70.343
10.7	7.69	65,006	1,189	27.103	70.343
44.8	7.68	65,395	0,476	30.804	93.687
44.8	7.68	65,395	0,476	31.473	93.687
44.8	7.68	65,395	0,476	32.589	93.687
201	7.6	74,234	0,858	87.313	96.147
201	7.6	74,234	0,858	87.562	96.147
201	7.6	74,234	0,858	87.264	96.147
				RMSE	43,600
				Bf	2,011
				Af	2,011

### Apéndice 3. Panel fotográfico



Figura 33. Vista lateral del *A. vera*, usada como floculante natural en la remoción de la turbidez del agua.



Figura 34. Obtención del gel del *A. Vera*, para su posterior dilución al 1%, usada como floculante natural en la remoción de la turbidez del agua.

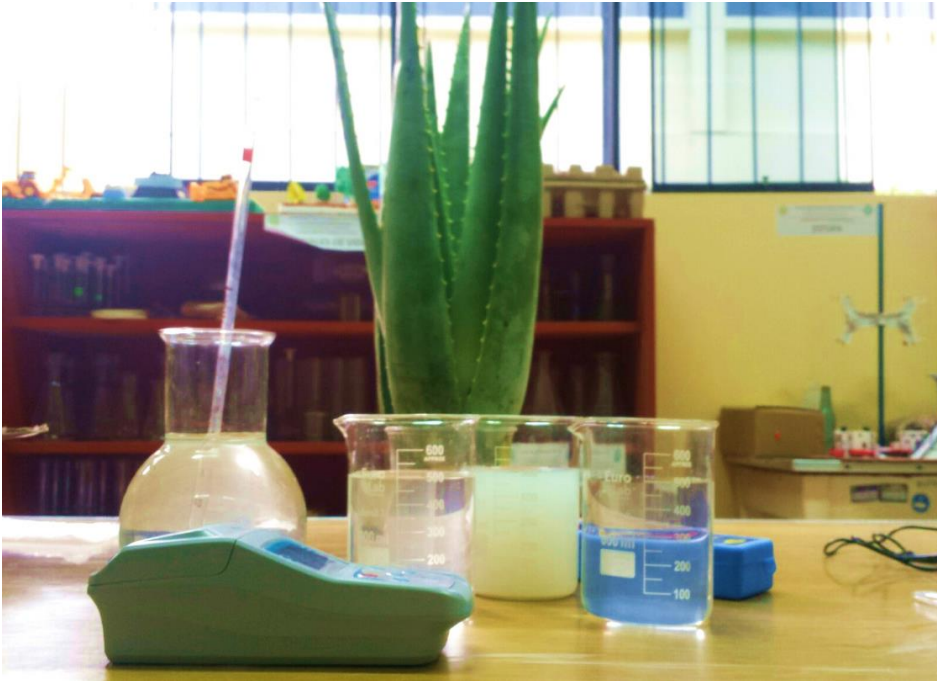


Figura 35. Vista de los insumos y equipos usados para realizar el modelo de superficie de respuesta.



Figura 36. Turbidímetro usado para medir la turbidez del agua, en el proceso de la elaboración y validación de modelo matemático de superficie de respuesta.



Figura 37. Muestras de agua a diferentes pH, para realizarse el modelo de superficie de respuesta.



Figura 38. Formación de flóculos después de agrega las dosis óptimas de sulfato de aluminio y *A. vera* como floculante natural.



Figura 39. Toma de muestra de agua de un cuerpo superficial, para realizar la validación de modelo de superficie de respuesta.



Figura 40. Toma de muestra del agua de un cuerpo superficial.





Figura 41. Toma del pH de una muestra de agua del río Huallaga, para realizar la validación del modelo de superficie de respuesta.



Figura 42. Traspaso de agua recolectada de una fuente superficial a un balón de fondo plano para su posterior análisis.

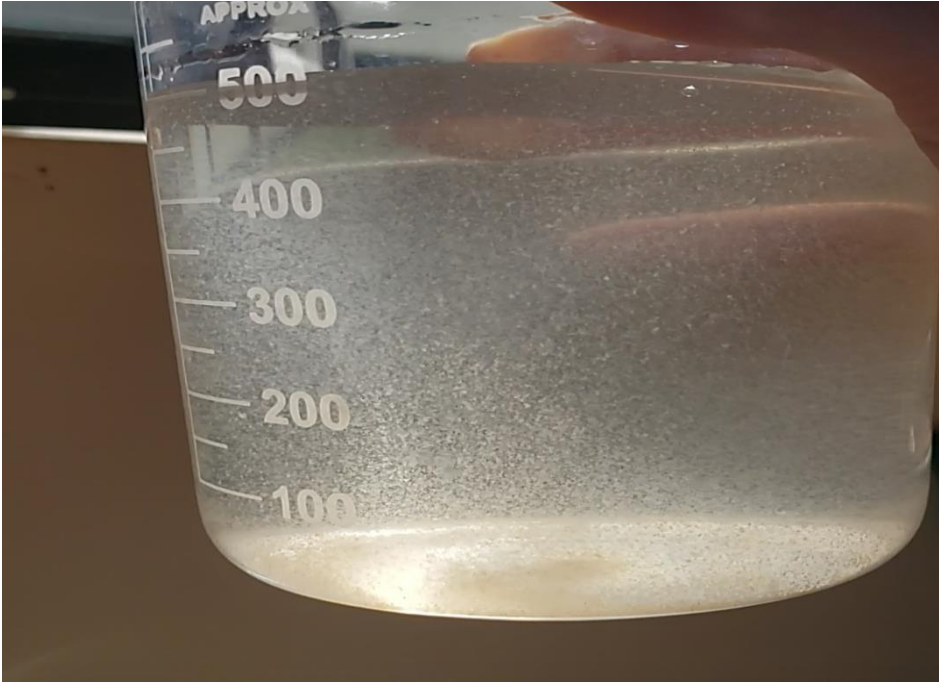


Figura 43. Formación de flóculos para una muestra de agua del río Huallaga, después de agregar las dosis óptimas de sulfato de aluminio y *A. vera* como floculante natural.