

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
QUÍMICA**



**“EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA
TURBIDEZ DE UN SISTEMA DE COAGULACIÓN
MEDIANTE ALMIDÓN DE LA ARRACACHA
(Arracacia xanthorrhiza) ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR

**CORREA MEDRANO GIAN CARLO
GUIDINO CASTAÑEDA PAMELA DESIREE ROSA
LLAMOJHA CUYA CRISTHIAN ERICK ANCHI**

**ASESOR
ING° SANEZ FALCON LIDA CARMEN**

CALLAO – 2019

PERÚ

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre por ser mi principal pilar y apoyo para lograr mis metas y sueños y a mis hermanos por darme su cariño; mi familia es mi más grande fortaleza y para ellos todos mis logros hoy y siempre.

A Francesco, por siempre estar a mi lado apoyándome en todo momento y ser parte de mi vida

**PAMELA DESIREE ROSA GUIDINO
CASTAÑEDA**

DEDICATORIA

**La presente tesis se la dedico:
A Dios por siempre estar a mi
lado y dándome las fortalezas
necesarias ante las dificultades
que se me presentaban
A mi familia que ha sido mi pilar
fundamental en mi formación
como profesional, por brindarme
la confianza, consejos,
oportunidades y recursos para
lograrlo
A Tania por siempre darme su
amor, sus consejos y sus ánimos
hacia mi persona para llegar a
mis objetivos.**

**GIAN CARLO CORREA
MEDRANO**

DEDICATORIA

**Este trabajo se lo dedico a dios
por darme las fuerzas para
continuar en este proceso de
obtener uno de los anhelos más
deseados**

**A mis padres por todo su amor,
trabajo y sacrificio en estos años**

**CRISTHIAN ERICK ANCHI
LLAMOJHA CUYA**

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE GRÁFICOS	5
RESUMEN	7
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN.....	11
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1. Descripción de la realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Objetivos	13
1.4. Limitantes de la investigación.....	13
1.4.1. Teórica.....	13
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes	15
2.2. Bases teórico científicas	18
2.3. Conceptual.....	35
2.4. Definición de términos básicos	36
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	38
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	40
.....	43
	1

V. RESULTADOS	77
5.2. Resultados inferenciales.....	84
5.2.1. Modelo de regresión.....	85
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	93
6.1. Contrastación de la hipótesis.....	93
6.2. Contrastación de resultados con estudios similares	94
CONCLUSIONES.....	99
RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS.....	104
A1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	105
A2. Nomenclatura de términos científicos	106
A3. Rendimiento del almidón obtenido.....	107
A4. Evaluación de costos y proyección de producción del almidón de arracacha ...	108
A5. Evaluación de alumbre a los diferentes parámetros	109
A6. MSDS del ácido sulfúrico.....	110
A7. Certificado de calibración del equipo HQ40 - Ph.....	113
A8. Certificado de calibración del equipo HQ40 – Conductividad.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Composición química-bromatológica de la arracacha</i>	31
Tabla 2 <i>Minerales presentes en Arracacia xanthorrhiza</i>	32
Tabla 3 <i>Producción mensual de la arracacha</i>	33
Tabla 4 <i>Producción anual de la arracacha</i>	33
Tabla 5 <i>Operacionalización de variables</i>	39
Tabla 6 <i>Resultados preliminares</i>	77
Tabla 7 <i>Valores de turbidez con almidón de arracacha a Vel. =100rpm</i>	78
Tabla 8 <i>Valores de turbidez con almidón de arracacha a Vel. =150rpm</i>	79
Tabla 9 <i>Valores de turbidez con almidón de arracacha a Vel. =2000rpm</i>	80
Tabla 10 <i>Porcentajes de remoción obtenidos a diferentes velocidades y concentraciones</i>	81
Tabla 11 <i>Valores de parámetros utilizando almidón de arracacha</i>	84
Tabla 12 <i>Información de los niveles del factor</i>	85
Tabla 13 <i>Análisis de varianza</i>	86
Tabla 14 <i>Resumen del modelo estadístico</i>	86
Tabla 15 <i>Coefficientes</i>	86
Tabla 16 <i>Valores óptimos para la remoción</i>	95
Tabla 17 <i>Valores de % de Remoción obtenidos a 100rpm</i>	95
Tabla 18 <i>Valores de % de Remoción obtenidos a 150rpm</i>	96
Tabla 19 <i>Valores de % de Remoción obtenidos a 200rpm</i>	96
Tabla 20 <i>Resultados de los ensayos realizados</i>	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Coagulación.....	19
Figura 2 Fuerzas de atracción y repulsión	21
Figura 3 Reestabilización de partículas	22
Figura 4 Atrapamiento de las partículas en un floc	23
Figura 5 Efecto de puente en las partículas en suspensión	24
Figura 6 Etapas de la coagulación	26
Figura 7 Coagulación por adsorción.....	27
Figura 8 Coagulación por barrido.....	28
Figura 9 Arracacha Almedida J. (2017) Obtención de bioetanol a partir de hidrólisis enzimática y fermentación de Arracacha, Quito- Ecuador.....	30
Figura 10 Estructura química de la amilopectina y la amilosa.....	34
Figura 11 Diseño experimental.....	41
Figura 12 Tratamiento de aguas contaminadas mediante la coagulación con almidón de arracacha.....	42
Figura 13 Estructura de control de variables	43
Figura 14 Arracacha	44
Figura 15 Arracacha pelada.....	44
Figura 16 Troceado.....	45
Figura 17 Triturado y homogenizado	45
Figura 18 Estandarizado	46
Figura 19 Sedimentación	46

Figura 20	Secado del almidón Arracacha.....	46
Figura 21	Clarificación del agua - Evaluación con dosis optima.....	47
Figura 22	Colorímetro marca HACH DR900 (Rango 0-1000NTU).....	48
Figura 23	Multimedidor digital de dos canales marca HACH HQ40	48
Figura 24	Determinación de la alcalinidad - Titulación.....	49
Figura25	Determinación de la alcalinidad- adición de indicador anaranjado de metilo	49
Figura 26	Diseño experimental para la obtención del almidón	50
Figura 27	Obtención del almidón de la arracacha (Arracacia xanthorrhiza)	50
Figura 28	Diseño experimental.....	51

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico	1 Curva de valores de la caracterización del agua antes del tratamiento.	77
Gráfico	2 Turbidez vs tiempo a Vel. =100rpm – Almidón de arracacha	78
Gráfico	3 Turbidez vs tiempo a Vel. =150rpm – Almidón de arracacha	79
Gráfico	4 Turbidez vs tiempo a Vel. =2000rpm – Almidón de arracacha	80
Gráfico	5 Porcentaje de remoción de turbidez vs tiempo a diferentes velocidades y concentraciones	82
Gráfico	6 Graficas de residuos para %Remoción de turbidez.....	87
Gráfico	7 Efectos principales para el %Remoción de turbidez.....	88
Gráfico	8 Probabilidad de %Remoción de turbidez	89
Gráfico	9 Valores de % de remoción.....	89
Gráfico	10 Porcentaje de remoción de turbidez vs Concentración; tiempo	90
Gráfico	11 Porcentaje de remoción de turbidez vs velocidad; tiempo	90

Gráfico	12	Gráfico de caja de %Remoción v.s Concentración	91
Gráfico	13	Gráfico de caja de %Remoción v.s Velocidad	91

RESUMEN

En esta investigación se presenta la evaluación de la remoción de la turbidez de un sistema de coagulación mediante el almidón de la arracacha con la finalidad de proponer un método alternativo en vías de encontrar un sistema más económico y ecológico en la remoción de sólidos disueltos en aguas contaminadas, además de desarrollar una aplicación y uso de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*).

Para el desarrollo de esta investigación se consideraron dos variables, las cuales presentaron dos niveles, cada una. Esto nos llevó definir un rango de trabajo más óptimo que nos permitió determinar los parámetros óptimos para obtener un mayor porcentaje de remoción de la turbidez.

La determinación de la concentración óptima se realizó mediante el método de coagulación-floculación, usando el equipo de test de jarras, ubicado en el laboratorio de operaciones unitarias de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao. Adicionalmente a esto, se realizaron mediciones de turbidez y color de la solución empleando un colorímetro portátil marca HACH DR900 y de los sólidos disueltos mediante un multimedidor digital de dos canales marca HACH HQ40D.

Una vez obtenidos los resultados y porcentajes de remoción de la turbidez, se realizó un análisis estadístico utilizando el software Minitab 18, basado en el diseño experimental factorial, obteniendo como concentración óptima de almidón de la arracacha de 150mg/L y una velocidad de 150rpm.

Finalmente, del análisis estadístico se obtiene un porcentaje de remoción de la turbidez de 92.347%

Palabras clave: Evaluación de la remoción de la turbidez, coagulación-floculación, test de jarras, Diseño ANOVA

ABSTRACT

In this investigation, the evaluation of the turbidity removal of a coagulation system using the starch of arracacha with the purpose of proposing an alternative method in the process of finding a more economical and ecological system in the removal of dissolved solids in contaminated waters, besides developing an application and use of the arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). This root is widely employable in various branches of engineering.

For the development of this research, two variables were considered, which presented two levels, each one. To determine these levels, a preliminary analysis was carried out. This led us to define a more optimal range of work that allowed us to determine the optimal parameters to obtain a greater percentage of removal of the turbidity.

The determination of the optimal concentration was made by the coagulation-flocculation method, using the jar test equipment, located in the unitary operations laboratory of the Faculty of Chemical Engineering of the National University of Callao. In addition to this, measurements of Turbidity and color of the solution were made using a HACH DR900 portable colorimeter and dissolved solids using a HACH HQ40D digital two-channel multimeter.

Once the results and percentages of turbidity removal were obtained, a statistical analysis was carried out using the Minitab 17 software, based on the factorial experimental design, obtaining as an optimum starch concentration of the arracacha 150mg / L and a speed of 150RPM. Finally, from the statistical analysis a percentage of removal of the turbidity of 92.347% is obtained

Key words: Assessment of turbidity removal, coagulation-flocculation, jar test, ANOVA Design

INTRODUCCIÓN

La preocupación por el uso de alumbre y la alta demanda de este recurso hídrico para la población mundial, han conducido en los últimos años al interés por la búsqueda de nuevas alternativas para la recuperación de este recurso como lo son los coagulantes naturales de origen vegetal.

En la presente tesis se desarrolló un método alternativo de un sistema de coagulación mediante el almidón nativo con el objetivo de remover la mayor cantidad turbidez de aguas contaminadas, tomando como materia prima la arracacha principalmente utilizada para la fabricación de harinas y como sustituto de diversos tubérculos como la papa y la yuca..

La evaluación se centró fundamentalmente en determinar el porcentaje de remoción y parámetros óptimos para alcanzar la mayor eficacia, mediante test de jarras y análisis estadístico con el software Minitab18 y Excel, los cuales ayudaron a determinar la influencia de las variables operativas (concentración de almidón nativo y velocidad), estableciendo los parámetros físicos adecuados de desarrollo.

Para establecer el rango de trabajo de las variables operativas se consultaron referencias nacionales e internacionales.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En el presente la contaminación industrial y doméstica ha venido en aumento generando la escasez del recurso hídrico potable conllevando a cortes parciales y totales de la distribución del mismo.

Por ello en la actualidad el tratamiento del agua juega un papel importante para mitigar la contaminación, en su mayoría empleando métodos físicos y químicos los cuales llegan a generar lodos que impactan negativamente en los suelos y aguas (Miller 2008)

Es por ello que proponemos un medio alternativo para la disminución de la turbidez mediante un coagulante natural que no genere impactos ambientales negativos en comparación a los coagulantes empleados tradicionalmente tales como las sales de aluminio.

Tomando como materia prima la arracacha, una raíz oriunda del norte peruano, de la cual solo se encuentran estudios en los cuales solo se analizan composición y propiedades fisicoquímicas, pero no hay proyectos para su posterior aplicación y máximo aprovechamiento de sus propiedades.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál será el grado de remoción de la turbidez de un sistema de coagulación mediante almidón de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)?

1.2.2. Problema específico

- a. ¿Cuáles son las características físico químicas del agua antes del tratamiento?
- b. ¿Cuáles serán los parámetros óptimos para obtener una mayor eficiencia de remoción de la turbidez empleando el coagulante –floculante (almidón de arracacha)?
- c. ¿Cuál es el porcentaje de reducción de los parámetros físico químicos respecto a los valores iniciales del agua?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el grado de remoción de la turbidez de un sistema de coagulación mediante almidón de la arracacha (Arracacia Xanthorrhiza).

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Determinar las características físico químicas del agua antes del tratamiento
- b. Identificar los parámetros para obtener una mayor eficiencia de remoción de la turbidez empleando el coagulante-floculante (almidón de la arracacha)
- c. Calcular el porcentaje de reducción de los parámetros físico químicos respecto a los valores iniciales del agua

1.4. Limitantes de la investigación

1.4.1. Teórica

La falta de estudios previos de investigación sobre el tema y recomendaciones de investigaciones de la materia prima nos hace ahondar en la aplicación del almidón de la arracacha (Arracacia Xanthorrhiza).

1.4.2. Espacial

La arracacha es una raíz usada principalmente para el consumo directo y como sustituto de otros tubérculos, la cual es principalmente utilizada para la extracción de su harina, esta planta no es muy conocida a nivel nacional, pero se pueden encontrar en los diversos mercados, principalmente en tiendas naturistas.

1.4.3. Temporal

Normas, leyes, informes comerciales y otros. Según DS N° 015–2015–MINAM aprobó los “Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua”, donde se establece los límites máximos permisibles, como parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos y fisicoquímicos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

(OLIVERO Y OTROS, 2012) “Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus – indica*” Investigación realizada en ciudad de Sincelejo en el año 2012. La metodología que aplicaron fue poner la muestra analizar de agua en vasos precipitado de 1 litro donde emplearon un diseño experimental y factorial 2^k aleatorizado, siendo “k” los factores estudiados en dos niveles: tipos de coagulante (alumbre y opuntia), velocidad agitación (100 y 200 rpm) y coagulante (35 y 40 mg/L). La velocidad de agitación en la prueba de jarras se mantuvo durante 1 minuto, luego se dejó sedimentar los flóculos durante una hora. Transcurrido el tiempo al sobrenadante se le realizó la prueba de turbidez empleando un turbidímetro (Modelo 2100N, marca HACH), además se utilizó un pH metro y un conductímetro para establecer los valores de pH, conductividad (uS/cm) y sólidos disueltos totales (mg/L) tanto para el agua cruda como para las muestras tratadas con el coagulante natural y alumbre. Se realizó los experimentos por triplicados para poder analizarse estadísticamente.

Se concluyó que el tipo de coagulante natural utilizado en este estudio influyó en el proceso de clarificación del agua, pero la velocidad de agitación y concentración no lo hicieron. La mayoría de la remoción de agua del río Magdalena se logró con coagulante químico (99.80%), sin embargo, fue menor con la *Opuntia* (93.25%).

(CARRASQUERO Y OTROS, 2017) “Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas”. En la presente se trató aguas de alta, media y baja turbidez

utilizando coagulantes naturales obtenidos a partir de cáscara de plátano y de papa evaluando la eficiencia en el porcentaje de remoción de la turbidez y del color.

La metodología que aplicaron fue mediante un diseño completamente al azar, con un total de dos tratamientos (solución coagulante con residuos de papa y plátano) con tres repeticiones cada uno, donde se seleccionó el más eficiente.

Se concluyó que la solución coagulante de cáscaras de papa y la solución coagulante de residuos de plátano fueron mayormente activas en alta turbidez donde se obtuvieron remociones mayores al 97% para la papa y 89 % para el plátano antes del filtrados y superiores a 99 % para ambos luego de esta operación, donde la dosis óptima para la solución coagulante de cáscaras de papa es de 50 mg/L y la de la solución coagulante de residuos de plátano es de 25 mg/L.

(VILLABONA, PAZ Y MARTÍNEZ, 2013) “Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural”. Investigación publicada en revista Colombia de Biotecnología Vol. 15 N° 1, Pág.137-144 en el año 2013 en la Universidad de Cartagena, Colombia.

En la presente investigación realizaron la evaluación de la eficacia del coagulante natural (*Opuntia ficus-indica*) mediante la eliminación y/o reducción de color y la turbidez en las distintas aguas crudas. La turbidez inicial hallada fue de 171 NTU.

La máxima remoción de color fue de 54% y de la turbidez un valor de 72% al momento de aplicar a una concentración de dosis de 90 ppm.

2.1.2. Antecedentes nacionales

(SALAVERRY, 2016) “Efecto del coagulante obtenido de maíz amarillo en la disminución de turbidez del agua en la bocatoma de Paiján septiembre 2016”. Tesis realizada en el año 2016 en la Universidad Cesar Vallejo de Trujillo, Perú. La

metodología que aplicó fue del diseño factorial para apreciar la influencia que tiene el coagulante a partir del maíz amarillo para la disminución y/o remoción de la turbidez de la muestra de agua.

Trabajó con 3 velocidades (60,70 y 80 rpm) y con tres niveles de concentración (0.25 y 0.5 M) obteniendo un total de 36 ensayos (12 ensayos para 3 repeticiones)

Se concluyó que al realizar los dos extractos acuosos salinos del maíz amarillo para la extracción de su componente activo fue notoria logrando una mayor eficiencia de disminución de turbidez con el extracto acuoso salino de maíz con 0.5 Molar. Se decidió utilizar 3 velocidades distintas de agitación siendo la velocidad de 80 rpm más efectiva al interaccionar con los demás factores.

(CHOQUE Q., 2018) “Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua”. Investigación publicada en revista Tecnología Química Vol. 38 N° 2, Pág.298-309 en el año 2018 en la Universidad Nacional San Antonio de Abad. Cusco- Perú.

Trabajó con Cactáceas *Echinopsis pachanoi*, *Neoraimandia arequipensis* y *Opuntia ficus*- aplicó dosis de 1%, 2% y 3% de coagulantes de las tres variedades de cactáceas se observó el incremento de la capacidad de clarificación y porcentaje de remoción. Con respecto a los demás parámetros fisicoquímicos, el ph tuvo un incremento de 6.61 a 7.58 de agua sin tratar, mientras que la dureza y alcalinidad no mostraron diferencia significativa ($p>0.05$). La variedad *Echinopsis pachanoi* presentó mejores resultados para la actividad floculante y % de remoción alcanzó valores de $48.58 \pm 0.063\%$ y $99.329 \pm 0.060\%$ respectivamente, cuando se extrajo mediante el solvente etanol.

(CHAMA J, 2017) “Evaluación del poder coagulante del almidón de papa (*Solanum Tuberosum*) variedad única y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua”. Tesis realizada, en el año 2017 en la Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua-Perú. La metodología que aplicó fue del Diseño Factorial 3x3.

En esta investigación la obtención del coagulante natural de almidón de papa variedad única se logró utilizando distintas operaciones unitarias como el triturado, filtrado, sedimentado, secado, tamizado, dónde no se presentó un alto costo obteniendo un rendimiento de 17.5% de almidón. El análisis de los resultados obtenidos permitió establecer que la concentración optima del almidón de papa es 133mg/L (0,2g de almidón) lográndose remover el parámetro turbidez a 6.3NTU y la concentración de policloruro de aluminio más adecuada es 272mg/l (13ml de policloruro de aluminio), lográndose remover el parámetro de turbidez a 9.1 NTU. Los resultados de las mezclas óptimas son de 133mg/L de almidón de papa como agente coadyuvante mezclado con 1597mg/L de policloruro de aluminio, se logró una turbidez de 7.8NTU

2.2. Bases teórico científicas

2.2.1. Coagulación

Cuando agregamos coagulantes químicos y aplicamos la energía de mezcla producimos la neutralización de las fuerzas que mantiene separadas las partículas coloidales, a esta desestabilización química se le llama coagulación.

Estos coagulantes tienen por objetivo anular las cargas eléctricas que se encuentran en la superficie de las partículas coloidales lo que permite que estas se aglomeren formando los flóculos. El proceso de coagulación es un tratamiento muy eficaz, pero si no se realiza correctamente puede representar un gasto muy elevado.

Este método se considera universal debido a que es el más usado y elimina gran cantidad de impurezas a menor costo en comparación con métodos alternos.

Por tanto, se concluye que la concentración y/o dosis del coagulante óptimo determina la cantidad de decantación y que es imposible realizar una buena clarificación sino se tiene esta concentración determinada.

En la figura podemos apreciar como los coagulantes neutralizan a esas cargas eléctricas en las superficies de las partículas (coloides), teniendo como consecuencia que las partículas coloidales se junten y/o aglomeren formando los flóculos.

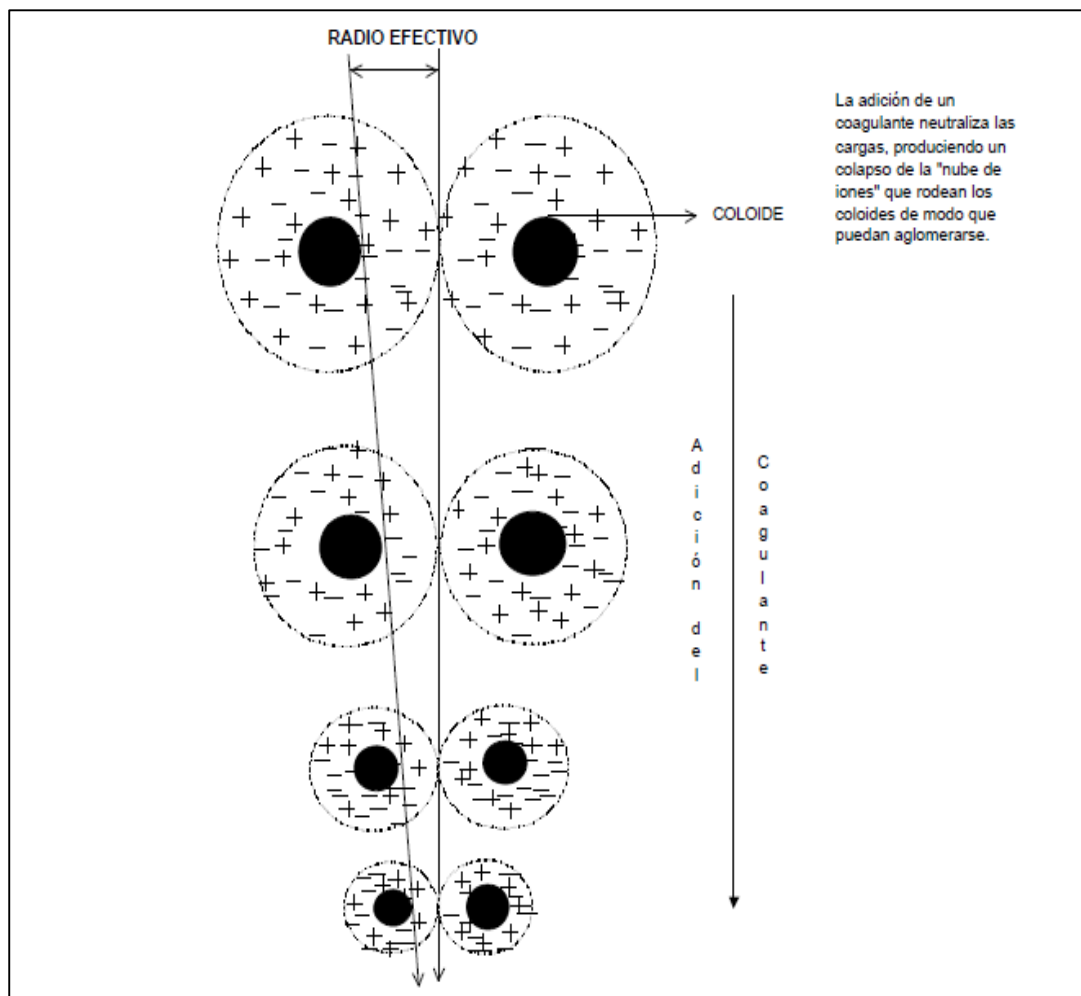


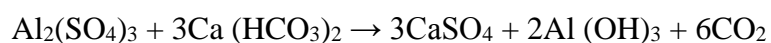
Figura 1
Coagulación

Cardenas, Y. A. (2000). Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación. Lima.

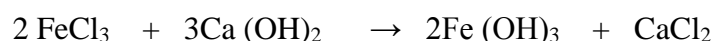
Coagulantes

Los coagulantes más ampliamente usados están hechos a base de sales de hierro y aluminio. Los más ampliamente usados son sulfatos de aluminio, cloruro de hierro (II) y sulfato de hierro (II) (Kelderman y Kruis, 2001)

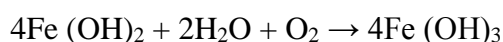
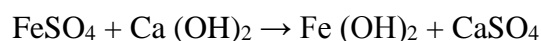
Cuando el sulfato de aluminio es agregado al agua, los iones de Al^{3+} desestabilizan las cargas negativas de los coloides. También, dependiendo de la alcalinidad presente en el agua, se puede llevar a cabo la reacción siguiente, donde el precipitado de hidróxido de aluminio formado arrastra las impurezas suspendidas o disueltas presentes en el agua.



De manera similar, al adicionar cloruro de hierro (III) en presencia de suficiente hidróxido de calcio, se forma el hidróxido de hierro (III) que también arrastra las impurezas (Camareno, 2006):



Finalmente, en el caso de utilizar sulfato de hierro (II) se debe de llevar a cabo la oxidación del hierro (II) a hierro (III) para obtener el hidróxido de hierro (III) (Camareno, 2006):



En la coagulación se forman partículas gelatinosas producto de la adición del coagulante al agua y la generación de energía mediante el mezclado, que produce la desestabilización de las partículas suspendidas mediante neutralización de las cargas de las partículas coloidales que tiene carga negativa. (Cogollo, 2010)

Según Ada Barrenechea Martel (2004) los principales coagulantes utilizados para la coagulación y generar la floculación son:

- Sulfato de Aluminio
- Sulfato ferroso
- Cloruro férrico
- Cloruro de Aluminio
- Sulfato férrico
- Aluminato de sodio

Mecanismos de la coagulación

La desestabilización de las partículas se puede obtener mediante los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

a) Compresión de la doble capa

En el momento que un par de partículas semejantes se aproximan, sus capas difusas se juntan se genera una repulsión, este potencial de repulsión está en función de la distancia que a estas las separa y caen rápidamente con el incremento de carga opuesta de los iones de las partículas y se consigue solamente con los iones que presenta el coagulante.

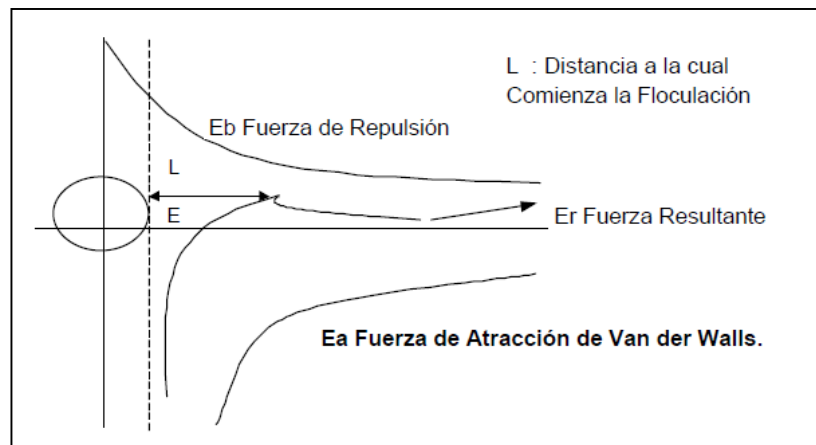


Figura 2

Fuerzas de atracción y repulsión

Cardenas, Y. A. (2000). Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación. Lima.

b) *Adsorción y neutralización de las cargas*

Las partículas coloidales tienen cargas negativas en la superficie, estas cargas “primarias” atraen los iones positivos que están dentro del agua formando la prima capa adherida al coloide.

Existe el potencial ZETA, este rige el desplazamiento de los coloides y la interacción mutua entre estos. Este potencial Zeta es conocido como potencial electro cinético que es el potencial en la superficie en el plano del cizallamiento.

Luego de la teoría de doble capa, la coagulación se considera como la anulación del potencial que se obtuvo por la adición de productos de coagulación y floculación, que mediante la fuerza de mezcla natural producidos por el movimiento browniano no es suficiente requiriendo otra energía de complemento necesaria, por ejemplo, al realizar la agitación hidráulica o mecánica.

Al adicionar un exceso de coagulante al agua que se trata se origina la reestabilización de la carga de la partícula, esto se explica debido a que el exceso del coagulante es absorbido en toda la superficie de la partícula lo que produce una carga invertida en la carga original.

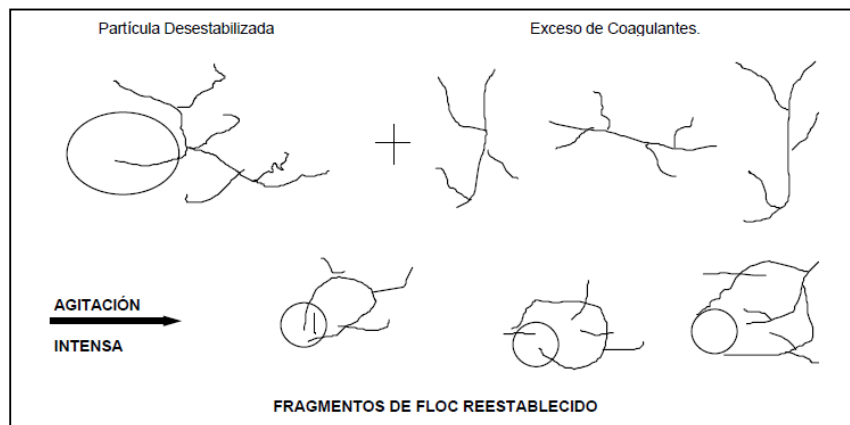


Figura 3
Reestabilización de partículas

Cardenas, Y. A. (2000). Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación. Lima.

c) *Atrapamiento de partículas en un precipitado*

Las partículas desestabilizadas pueden atraparse en un floc en la adición de una cantidad suficiente de coagulante mayormente sales de metales trivalentes como cloruro férrico o sulfato de aluminio. La aceleración de la formación del precipitado es debido a la presencia de ciertos aniones y de partículas coloidales.

Durante la formación del floc las partículas coloidales toman el papel de rol de anillo, este fenómeno presenta una relación inversa entre la cantidad de coagulante que se requiere y la turbiedad. En conclusión, una concentración grande de partículas suspendidas puede requerir menor cantidad de uso de coagulante.

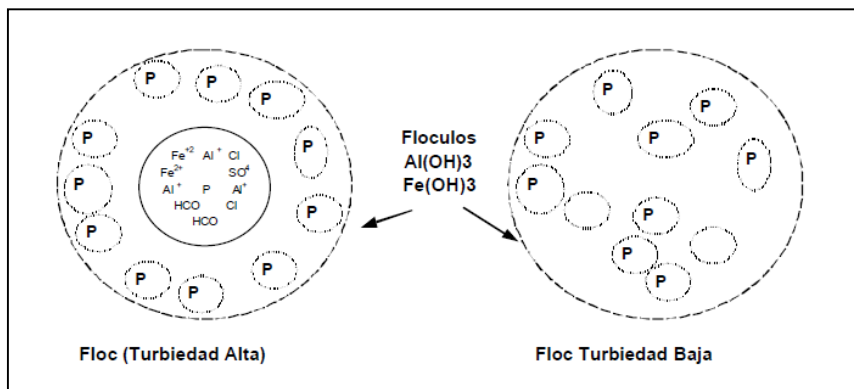


Figura 4
Atrapamiento de las partículas en un floc

Cardenas, Y. A. (2000). Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación. Lima.

d) *Adsorción y puente*

Las moléculas del polímero muy largas presentan grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas. Por eso razón se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales.

Por esta razón pueden tener una reestabilización de la suspensión debido a una excesiva carga de polímeros.

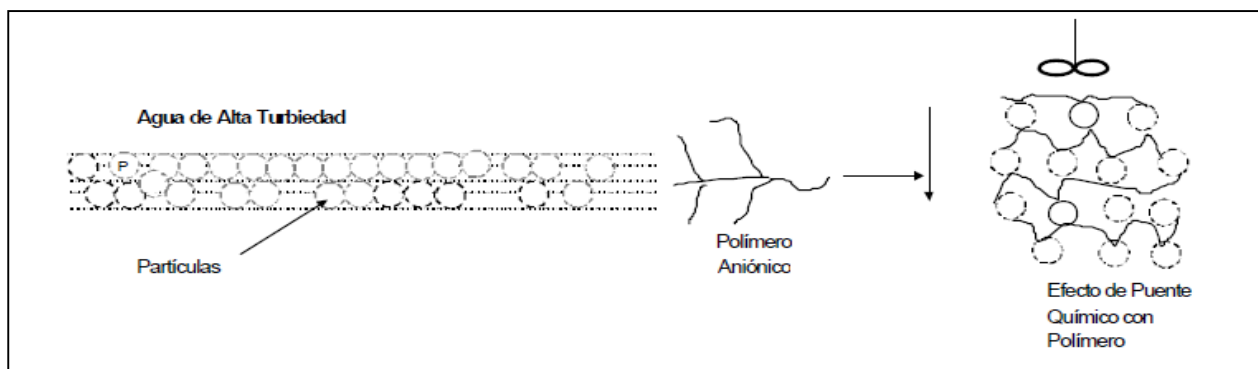


Figura 5

Efecto de puente en las partículas en suspensión

Cardenas, Y. A. (2000). Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación. Lima.

Factores que influyen en la coagulación

Los siguientes factores se deben tener en cuenta con el objetivo de aumentar la eficiencia de proceso de coagulación.

Las interrelaciones entre los diferentes factores nos permiten predecir las cantidades óptimas de coagulantes que adicionar al agua a tratar.

a. Influencia del pH

El pH es una medida de la actividad de hidrógeno en una solución, y es igual a:

$$\text{pH: } -\log(\text{H}^+)$$

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

b. Influencia de las sales disueltas

Las sales contenidas en el agua ejercen algunas influencias sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de pH óptimo
- Modificación del tiempo requerido para la floculación

- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

c. Influencia de la temperatura del agua

La variación de 1°C en la temperatura del agua lleva a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados afectando a la energía cinética de las partículas en suspensión, esto conduce a que la coagulación sea más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad, esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

d. Influencia de la dosis del coagulante

La influencia de la cantidad de coagulante que se utiliza está relacionada directamente con la eficiencia de la coagulación:

Poca cantidad: No neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escaso, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.

Alta cantidad produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.

La selección del coagulante y la cantidad óptima; se determinará con los ensayos en el laboratorio.

e. Influencia de la Mezcla

El grado de agitación que se le da al agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa, la turbulencia desigual provocara que

cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra casi nada, entonces la agitación debe ser uniforme a toda la masa de agua para que haya una buena distribución del coagulante y ese haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

f. Influencia de la turbiedad

La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5 um. La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo.

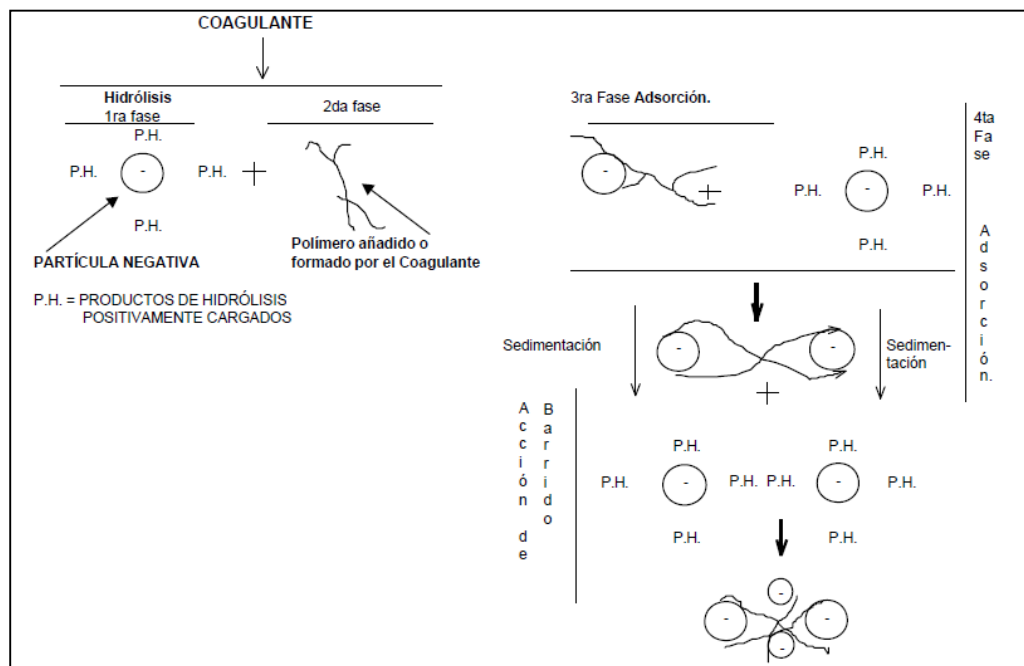


Figura 6
Etapas de la coagulación
Cardenas, Y. A. (2000). Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación. Lima.

Tipos de coagulación

Existen dos tipos de coagulación: Por adsorción y por barrido.

- Coagulación por adsorción: Ocurre cuando el agua presenta una alta concentración de partículas suspendidas en estado coloidal; cuando el

coagulante es añadido al agua turbia los productos solubles de estos son absorbidos por los coloides y llegan a formar los flóculos manera instantánea.

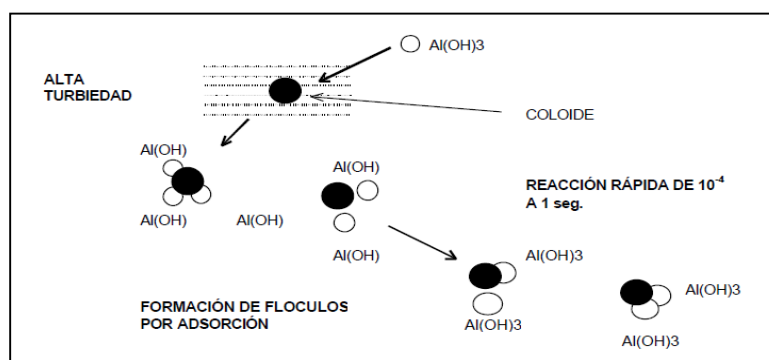


Figura 7

Coagulación por adsorción

Cardenas, Y. A. (2000). Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación. Lima.

- b. Coagulación por barrido: Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son atrapadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico. (Ver Figura N°8)

2.2.1. Floculación

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

En algunos casos los flóculos formados en el proceso de aglomeración no son lo suficientemente grandes para lograr sedimentar de forma rápida, entonces se emplea un floculante para unir en formar de red, logrando formar puentes entre superficies entrelazando las partículas en aglomerados. La floculación se favorece aplicando una agitación en forma lenta que permite juntar poco a poco los flóculos; en el caso que

el mezclado sea demasiado rápido e intenso los flóculos se rompen y raramente se vuelven a formar.

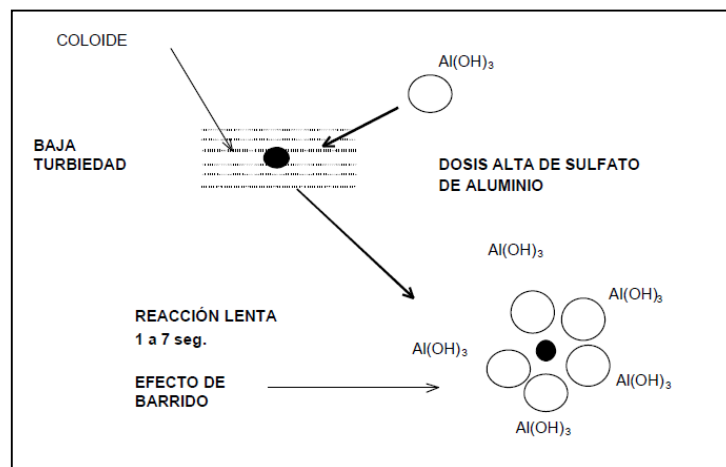


Figura 8
Coagulación por barrido
Cardenas, Y. A. (2000). Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación. Lima.

Mecanismo de transporte del proceso de floculación

Floculación Pericinéctica

Esta producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

Floculación ortocinéctica

Tiene como base las colisiones de las partículas ocasionado por el movimiento del agua, el cual es impulsado por una energía exterior y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Para que ocurra la aglomeración de los microfloculos; primero se realiza la floculación pericinéctica y luego la floculación ortocinéctica. (Andía, 2000,p.34)

Clasificación de los floculantes

Los floculantes pueden ser inorgánicos y orgánicos.

Floculantes inorgánicos:

Son sales que se disuelven fácilmente en agua, generalmente formadas por cationes polivalentes, siendo las más empleadas las sales de hierro, aluminio y sílice.

Floculantes orgánicos

Pueden ser naturales y sintéticos los cuales tienen grupos activos distribuidos a lo largo de su cadena. Los floculantes orgánicos sintéticos, son muy efectivos en pequeñas concentraciones y pueden hallarse como un producto no iónico o como floculantes catiónicos y aniónicos de diversos pesos moleculares, diferente densidad de carga y de una eficacia independiente del pH (Inchausti, 2000)

2.2.2. Ventajas y desventajas de la coagulación

Según (Díaz Claros, J. N, 2014.)

Ventajas:

- Generación de lodos artificiales que sean ecoamigables con el ambiente
- Hace posible la remoción de la turbidez que no puede sedimentarse rápidamente
- Remoción de color
- Eliminación de patógenos
- Bajos costos de producción

Desventajas:

- Variación del pH del agua
- Aumento del uso de la cal para normalizar pH
- Depende de las características fisicoquímicas del agua
- Depende de la velocidad de agitación del agua

2.2.3. Arracacha

Descripción:

Planta herbácea, nombre botánico *arracacia xanthorrhiza* Bancroft. De la familia *Apiaceae* ramificada con 0.5 a 1.20 m. de altura, hojas ampliamente ovaladas de 10 a 15 cm. de largo y ancho. Es una hierba cultivada originalmente a lo largo de la cordillera andina del área de Colombia, Ecuador y Perú. El peso total de la raíz y sus ramas llega a veces hasta 4kg. La altura de la planta es de 60 a 100 cm. Se conocen tres formas hortícolas principales, la diferencia radica en el color de la superficie o pulpa de las raíces siendo esta blanca, amarilla y morada. (Almeida, 2017,p.3)



Figura 9

Arracacha

Almedida J. (2017) Obtención de bioetanol a partir de hidrólisis enzimática y fermentación de Arracacha, Quito- Ecuador.

Composición de la raíz de la arracacha

(Palacios 2011) La composición de la arracacha es:

Tabla 1
Composición química-bromatológica de la arracacha

	Variedades					
	Amarilla		Blanca		Morada	
	Fresca	Seca	Fresca	Seca	Fresca	Seca
	g%					
Sólidos totales	28.66	100	26.37	100	26.14	100
Agua	71.34	0	73.63	0	73.86	0
Proteína total (*)	0.76	2.65	0.61	2.34	0.55	2.1
Extracto etéreo	0.28	0.98	0.24	0.91	0.24	0.92
Ceniza	0.67	2.34	0.74	2.81	0.59	2.26
Carbohidratos	26.95	86.9	24.78	86.67	24.76	86.91
Fibra cruda	0.95	3.31	0.89	3.38	0.85	3.25
Azúcares reductores totales	1.02	3.56	0.7	2.65	1.03	3.94
Almidón	21.51	75.05	20.20	76.60	19.81	75.78
pH	6.20	-	6.30	-	6.30	-
Vitamina C (**)	24.78	86.46	26.46	100.34	19.8	75.75
Valor calórico (***)	113.06	365.78	103.57	363.4	103.32	363.79

*Factor proteína=6.25 **Valor expresado en mg% ***Valor expresado en kilocalorías

Palacios (2011) Evaluación químico bromatológica de tres variedades de Arracacia xanthorrhiza "Arracacha"

Tabla 2
Minerales presentes en Arracacia xanthorrhiza

	Variedades					
	Amarilla		Blanca		Morada	
	Fresca	Seca	Fresca	Seca	Fresca	Seca
	mg%					
Calcio	34.33	119.78	30.67	116.31	32.77	125.36
Hierro	11.96	41.73	9.52	36.1	7.91	30.26
Fósforo	57.56	200.84	56.90	215.78	46.00	175.98
Potasio	2.40	8.37	2.35	8.91	2.28	8.72
Magnesio	69.98	244.17	68.94	261.43	55.97	214.12
Zinc	5.98	20.87	5.20	19.72	5.07	19.40

Palacios (2011) Evaluación química bromatológica de tres variedades de *Arracacia xanthorrhiza* "Arracacha"

La arracacha como raíz se produce en diversas regiones de nuestro país siendo las regiones productoras las descritas a continuación.

Los mayores exportadores y productores a nivel mundial son los países vecinos de Brasil, Colombia y Ecuador.

- Producción mensual de la arracacha (Ton) (INEI, 2018,p.69)

Tabla 3

Producción mensual de la arracacha

Región	Total	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Amazonas	5877	540	496	461	262	447	397	407	465	724	725	486	466
Apurímac	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
Cajamarca	13987	2041	2024	1663	1128	387	238	148	605	884	1179	1826	1864
Cusco	460	0	31	32	82	188	127	0	0	0	0	0	0
Moquegua	42	7	0	7	0	7	7	0	0	7	0	0	7
Puno	757	0	0	0	0	646	111	0	0	0	0	0	0

Ministerio de Agricultura y Riego - Dirección General de Evaluación y Seguimiento de Políticas - Dirección de Estadística Agraria

- Producción anual de la arracacha (Ton) (Ministerio de Agricultura y Riego, 2018,p.959)

Tabla 4

Producción anual de la arracacha

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Arracacha	22870	22083	23433	24100	22227	21311	21150

Ministerio de Agricultura y Riego - Dirección General de Evaluación y Seguimiento de Políticas - Dirección de Estadística Agrario

2.2.4. Almidón

El almidón es un hidrato de carbono complejo (polisacárido) digerible, del grupo de los glucanos. Los granos de almidón están formados por macromoléculas organizadas en capas. Dos estructuras poliméricas diferentes componen los almidones: la amilosa y la amilopectina. Cerca del 20 % de la mayoría de los almidones es amilosa y el 80 % amilopectina. Las moléculas de amilosa, situadas en las capas interiores, están compuestas de aproximadamente 200 a 20.000 moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α -1,4 en cadenas no ramificadas o enrolladas en forma de hélice. Muchas moléculas de amilosa tienen algunas ramificaciones α -D-(1,6), aproximadamente entre 0,3 a 0,5 % del total de los enlaces. Estas generalmente, no son ni muy largas ni muy cortas y están separadas por grandes distancias permitiendo a las moléculas actuar, esencialmente como un polímero lineal, formando películas y fibras fuertes, y retrogradando fácilmente. Como consecuencia de la formación de cadenas en forma de hélice las fibras y películas de amilosa son más elásticas que las de celulosa. La amilosa es soluble en agua caliente lo cual se debe a la formación de una suspensión coloidal. Dos almidones de maíz de alta amilosa comerciales tienen cerca de 50 y 70 % cada uno. (Avilés, 2006,p.7)

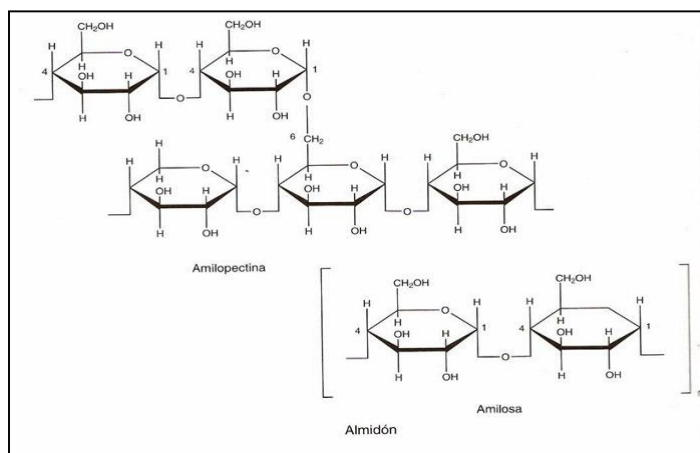


Figura 10

Estructura química de la amilopectina y la amilosa
Méndez, A. (2012). El almidón y su química.

2.2.5. Calidad del agua para uso agrícola

La calidad se determina por la presencia o ausencia de impurezas, tales como bacterias, virus, minerales y sustancias orgánicas o inorgánicas. Tampoco debe exhibir turbiedad, o color, sabor u olor desagradable.

Es importante mencionar algunas características que intervienen en la calidad del agua para la agricultura:

- a. La concentración de sales solubles
- b. La concentración de sodio (Na) en relación con otras sales.
- c. La concentración de sustancias toxicas
- d. Acidez (pH)

2.3. Conceptual

Las aguas turbias poseen partículas suspendidas, estas confieren color y turbiedad indeseables. Para este problema se usa agentes químicos como el alumbre que permite remover significativamente los sólidos suspendidos clarificando el agua.

En esta investigación compararemos la eficiencia del almidón obtenido a partir de la arracacha respecto al alumbre, donde podremos demostrar que podemos usar un coagulante natural con el fin de reducir costo económico, impacto ambiental y efecto de salud de la población.

En nuestro procedimiento experimental tendremos dos variables dependientes que son la velocidad de agitación y concentración del almidón, donde realizaremos un análisis preliminar para determinar un rango óptimo de las variables a trabajar.

Esta tesis no da un camino a seguir para el estudio de la Arracacha como coagulante natural, donde se realizaremos un estudio a nivel de laboratorio y aportar a la sociedad

con nuevos estudios de nuevos coagulantes naturales especialmente del almidón de la arracacha.

2.4. Definición de términos básicos

- Almidón

El almidón es el principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales, y la principal fuente de calorías de la mayoría de la humanidad.

El almidón es la mezcla de dos polisacáridos, la amilasa y la amilopectina. Ambos están formados por unidades de glucosa.

- Alcalinidad

Es la capacidad del agua para neutralizar ácidos a alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, no obstante, algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos.

- Coagulante

Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.

- Floculante

Los floculantes son polímeros o polielectrolitos con pesos moleculares muy elevados moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga.

- pH

Es la medida de alcalinidad o acidez de una solución, nos indica la concentración de iones de Hidrógeno presentes en disoluciones.

- Sólidos disueltos

Es la cantidad de sólidos disueltos en una muestra de agua, en una corriente de proceso mayormente el TDS (sólidos disueltos totales) se mide con un analizador de conductividad.

- Sulfato de aluminio.

El sulfato de aluminio es una sal sólida y de color blanco. Generalmente en la industria permite clarificar el agua potable, ya que es un coagulante y por ello sedimenta los sólidos en suspensión, los cuales por su tamaño requerirán un tiempo muy largo para sedimentar.

- Turbidez

Es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas.

- Velocidad de agitación

La agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Un sistema de coagulación mediante almidón de la arracacha (*Xanthorrhiza*) permite la remoción de la turbidez de aguas contaminadas en un porcentaje superior al 90%

3.1.2 Hipótesis específicas

- a. Las características físico-químicas del agua antes del tratamiento evaluadas serán color, alcalinidad, turbidez, pH y sólidos disueltos totales.
- b. Los parámetros óptimos se determinarán en un rango que se obtendrá mediante una prueba a diferentes concentraciones de coagulante y velocidades de agitación.
- c. El porcentaje de reducción de los parámetros físico-químicos respecto a los valores iniciales del agua será superior a 90%.

3.2 Definición conceptual de variables

3.2.1. Variable dependiente

- F (x) : Grado de remoción
X1 : Determinación de sólidos totales
X2 : Medición de la turbidez

3.2.2. Variable independiente

- G (y) : Almidón de la Arracacha
Y1 : Concentración de coagulante
Y2 : pH
Y3 : Color
Y4 : Alcalinidad
Y5 : Tiempo

Tabla 5
Operacionalización de variables.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE				
Variables	Definiciones	Magnitudes	Indicadores	Método
Variables Dependientes F(x) = Grado de remoción	Parámetro que nos indica la cantidad de sólidos disueltos en suspensión.	X1 = Determinación de Sólidos Totales	X1 = mg sólidos totales /L	Medidor HACH
		X2 = Medición de la Turbidez	X2 = UNT	Nefelometría
Variables Independientes G(y) = Almidón de Arracacha	Polisacárido que actúa como coagulante ayudando a la remoción de la turbidez.	Y1 = Dosis óptima de almidón para la remoción de la turbidez	Y1 = Concentración (mg/L)	Test de Jarras
		Y2 = Medición del pH	Y2 = Ácida o Básica (1 -14)	pHmetro
		Y3 = Medición de Color	Y3 = UC	Absorbancia
		Y4 = Determinación de Alcalinidad	Y4 = mg CaCO ₃ / L	Titulación
		Y5= Tiempo	Y5= Segundo	Cronómetro

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de investigación

4.1.1. Tipo de la investigación

La presente investigación es de tipo tecnológica debido a que se tiene como objetivo la remoción de la turbidez de aguas mediante un coagulante natural “arracacha” (*Arracacia xanthorrhiza*) para darle una nueva aplicación a este producto.

4.1.2. Diseño de la investigación

Por su diseño interpretativo es experimental ya que se evaluará el efecto de los diferentes parámetros (velocidad y concentraciones de coagulantes).

4.2. Método de investigación

4.2.1. Proceso de la investigación

a. Por su diseño explicativo

- Experimental. - Para conseguir el objetivo de remoción de turbidez de las aguas a tratar se determinó dosificación óptima y parámetros, que intervengan en el rendimiento del proceso, mediante procesos fisicoquímicos.

b. Por su nivel de estudios

- Cuantitativa. - Ya que va a sustituir total o parcialmente el uso de coagulantes químicos en el proceso de remoción de turbidez empleando el almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)

c. Por su ámbito de desarrollo

- En laboratorio. - Se desarrolló en el laboratorio de operaciones unitarias (LOPU) y en el laboratorio de química inorgánica de la facultad de ingeniería química de la Universidad Nacional del Callao.

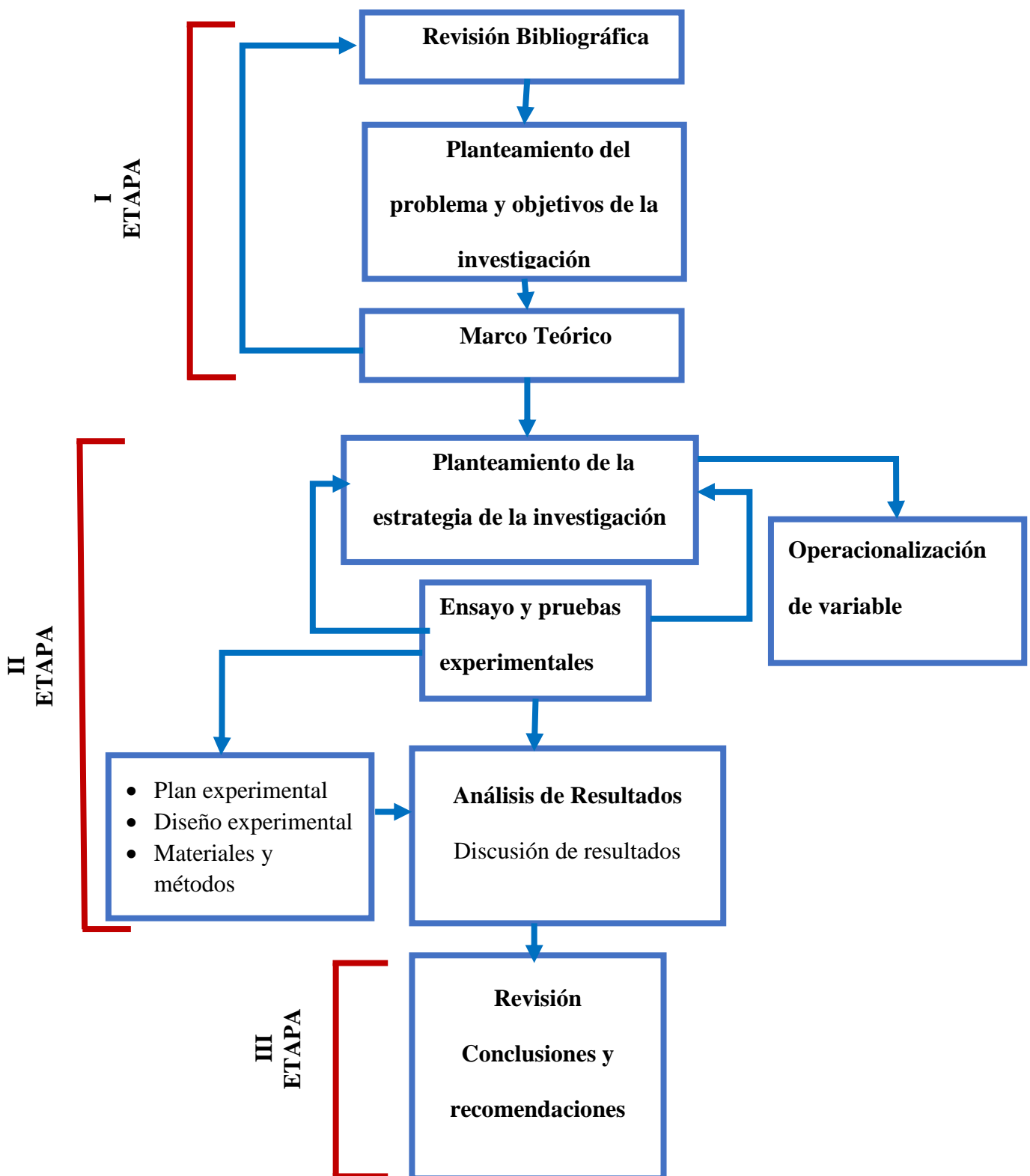


Figura11
Diseño experimental

4.2.2. Esquema de procesamiento experimental

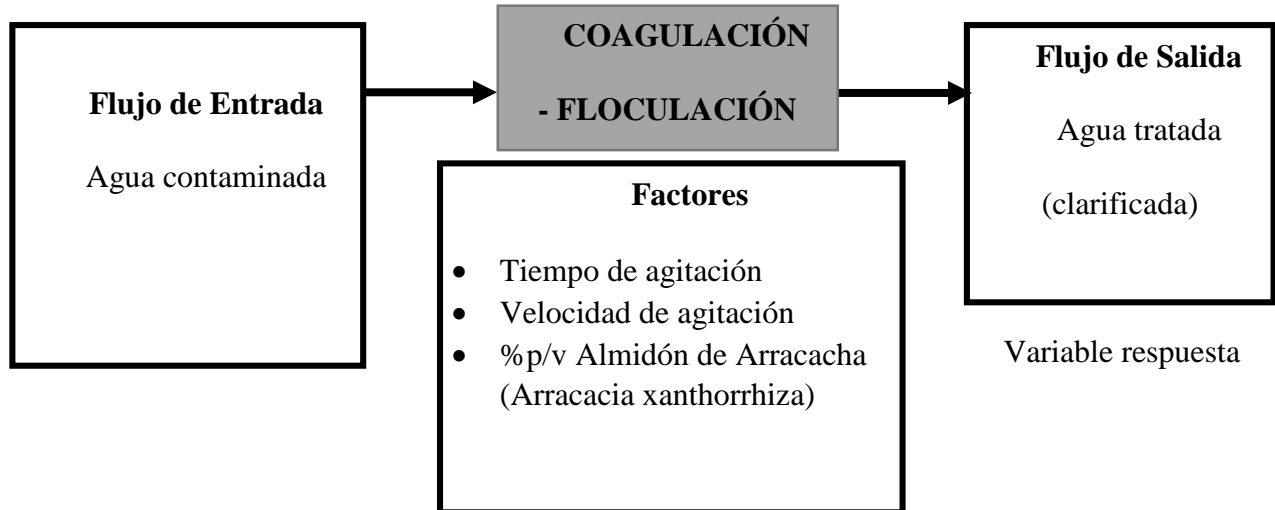


Figura12
Tratamiento de aguas contaminadas mediante la coagulación con almidón de arracacha

La variable respuesta, es la cantidad de remoción de turbidez en el agua a tratar.

La variable respuesta depende de los factores de operación utilizada en la coagulación – floculación, que son:

- Tiempo de extracción (min)
- Temperatura de operación (°C)
- Velocidad de mezclado (rpm)
- Mezclado rápido: 100, 150 y 200 rpm durante 2 minutos
- Mezclado lento: 50 rpm durante 10 minutos
- Fase de sedimentación: Agua en reposo por lapso de 15 min

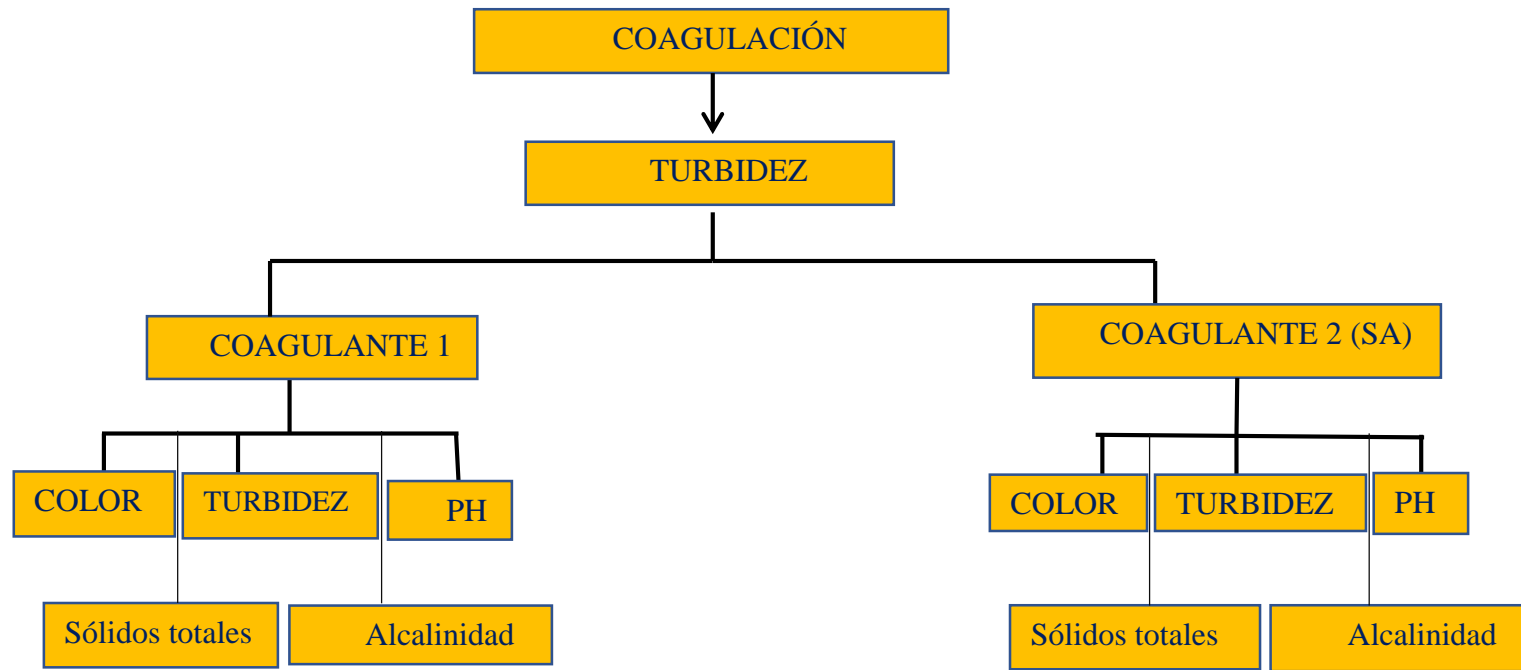


Figura13
Estructura de control de variables

Asumiendo que experiencia se realiza para 6 tiempos, entonces el número de experimentos requeridos es 90.

El modelo que puede representar es:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 \mp \sigma$$

4.2.3. Método

Recepción y clasificación:

Recepción. - La raíz de arracacha, materia prima de nuestra investigación fue adquirida en el mercado Santa Rosa del distrito de Bellavista-Callao.

Clasificación. - Se clasificó la materia prima eliminando aquellas que se encontraron en mal estado.



Figura 14
Arracacha

Pesado. - Se pesó la materia prima que estuvo apta para el procesamiento.

Limpieza y pelado. - Se procedió a lavar la materia prima con abundante agua para eliminar la tierra e impurezas y luego se procedió a pelar de forma manual.



Figura15
Arracacha pelada

Obtención del almidón de arracacha nativo:

Pesado. - Una vez separada la cascara de la pulpa. Se procedió al pesado utilizando una balanza analítica

Cortados trozos pequeños. - Esta operación consistió en aumentar la superficie de contacto de la pulpa de la raíz se realizó de forma manual utilizando un cuchillo



Figura16
Troceado

Trituración de la muestra. - Esta operación consistió en triturar la arracacha ya pelada y limpia para obtener la parte líquida donde se encuentra el almidón.

Homogenizado. - Esta operación tiene como objeto romper las partículas para obtener un producto uniforme.



Figura17
Triturado y homogenizado

Extracción de almidón por presión al vacío. – Mediante el equipo de presión al vacío se separó el sólido (Almidón) del líquido

Estandarizado. - Regular la dilución pulpa: agua, regular el pH, para la cual se utiliza ácido cítrico.



Figura18
Estandarizado



Figura19
Sedimentación

Secado. - Se procedió a secar el almidón en una estufa a una temperatura de aproximada de $32^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.



Figura20
Secado del almidón Arracacha

En base a este procedimiento y a los pesos obtenidos se calculó el rendimiento de la obtención del almidón de arracacha nativo (AAN). Ver Anexo 1

Evaluación de la eficiencia del almidón de arracacha y alumbre como coagulante:

Se determinó como rango óptimo de desarrollo a través de la “Prueba de jarra”, evaluando primero la solución coagulante, preparada con Almidón de Arracacha Nativa (ANN) y luego con Sulfato de Aluminio (SA) dosis de 50, 100, 150, 200 mg/L, y velocidades de 100, 150 y 200 rpm durante 30 minutos y se finalizó el

proceso con la fase de sedimentación, en la cual se dejó el agua en reposo por un lapso de treinta minutos.

Después del período de sedimentación, se procedió a recolectar una muestra del sobrenadante en un punto situado aproximadamente 2 cm por debajo de la parte superior del nivel de líquido de cada vaso de precipitado, para la determinación de los parámetros fisicoquímicos: color, turbidez, ST, PH y alcalinidad total, de acuerdo a los descrito en el método estándar de análisis de aguas y líquidos residuales (APHA et al.2005)

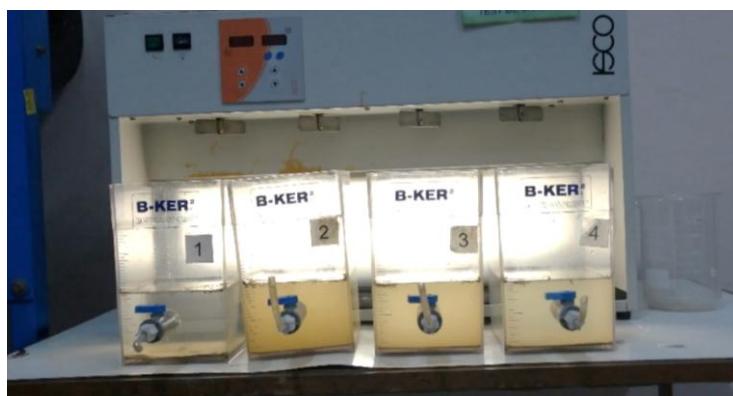


Figura21
Clarificación del agua - Evaluación con dosis optima

Los ensayos exploratorios se realizaron en aguas contaminadas.

Parámetro:

Se tomó una alícuota y se procedió a evaluar los siguientes parámetros:

1. Turbidez

Se determinó la turbidez empleando el Colorímetro portátil HACH DR 900 (Rango de 0- 10000NTU) y usando como CERO agua destilada.



Figura22
Colorímetro marca HACH DR900 (Rango 0-1000NTU)

2. pH

Se empleó el multimedidor digital de dos canales para realizar el seguimiento de la variación del pH en la solución.

3. Sólidos totales disueltos.

Se realizó la medición de los sólidos totales disueltos utilizando el multimedidor de dos canales marca HACH HQ40 EN unidades g/L, además se tomó nota de la conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura23
Multimedidor digital de dos canales marca HACH HQ40

4. Color

Se obtuvieron valores de absorbancia a 420nm empleando el colorímetro portátil marca HACH DR900 en unidades nm

5. Alcalinidad

Se determinó la alcalinidad total mediante titulación con H_2SO_4 0.02N y empleando anaranjado de metilo como indicador, determinando el volumen gastado de H_2SO_4 y la cantidad de CaCO_3 en unidades de mg/L.

Método de cálculo:

$$\text{Alcalinidad} \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} = \frac{A * N * 50000}{\text{mL muestra}}$$

Dónde:

A: mL estándar de H_2SO_4 usado

N: normalidad estándar ácido

Ácido sulfúrico (H_2SO_4): 0.02N

Volumen de muestra: 5 mL



Figura25
Determinación de la alcalinidad-
adición de indicador anaranjado de
metilo



Figura24
Determinación de la alcalinidad -
Titulación



Figura 26
Diseño experimental para la obtención del almidón
G, Reyna, p.61.

4.2.4. Diseño experimental

Para el desarrollo de esta investigación se tomaron dos variables que se consideran influyentes como la velocidad de agitación con 4 niveles y la concentración de coagulante con tres niveles y realizando 3 réplicas para obtener valores más precisos; evaluando el rango de estas variables en bases teóricas de investigaciones previas similares.

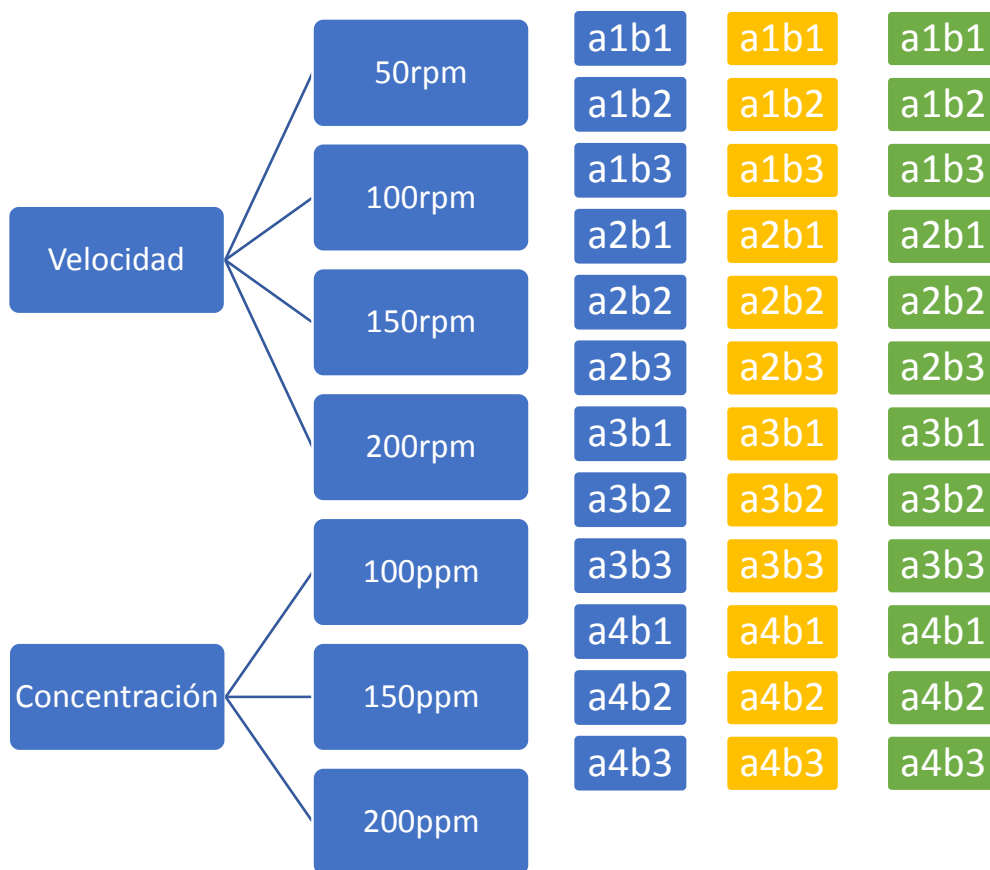


Figura 28
Diseño experimental

Se realizaron las tres repeticiones evaluando los resultados en el software Minitab 17 planteando el diseño experimental antes descrito a un nivel de confianza del 95% y una significancia del 5%

4.2.5. Requerimientos

Equipos:

- Balanza analítica digital AND
- Equipo de Jarras
- Potenciómetro (pH–metro)
- Colorímetro portátil HACH DR900 (Turbidez, NTU / Color, Abs. 420nm)
- Multimedidor digital de dos canales HQ40 (TDS)
- Titulación

Materiales:

- Probetas
- Matraces aforados
- Pipetas
- Bureta
- Pipeta
- Soporte Universal
- Bagueta
- Espatula
- Vasos precipitados

Reactivos:

- Agua destilada
- $Al_2(SO_4)_3$
- Almidón de arracacha
- H_2SO_4 0.02N
- Anaranjado de metilo

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Aguas contaminadas del río Chillón (volumen)

4.3.2. Muestra: 30 L extraída del volumen de la población indicada

Verificar la remoción de turbidez con un Volumen de muestra aproximada de 500 ml. mediante la coagulación con el Almidón de la Arracacha (Arracacia xanthorrhiza).

- **Determinación del Tamaño de la muestra:**

Pasos para realizar un adecuado tamaño de muestra:

1. Tenemos que determinar el grado de confianza con el que se va trabajar:

$\bar{X} = 1.96$; se da igual al 95% de los casos (Se usa este dato con más frecuencia)

$\bar{X} = 2.58$; se da igual al 99% de los casos

2. Se evalúa la situación que guarda en el mercado el fenómeno o característica investigada. Cuando no se tiene claro, es necesario dar valores máximos tanto a la probabilidad de que se realice en evento favorable como que no se realice ($p = 50\%$, $q = 50\%$)

3. Determinar el error máximo, se trabaja mayormente con 5% error.

4. Teniendo en cuentas los anteriores procedimientos obtengo los datos para la determinación de mi tamaño de muestra ya sean finitos o infinitos.

➤ Muestra en poblaciones infinitas: (Se realiza para más de 500,000 elementos):

$$n = \frac{\sigma^2 pq}{e^2}$$

σ : nivel de confianza

p: probabilidad a favor

q: probabilidad en contra

n: número de elementos (tamaño de la muestra)

e: error de estimación (precisión de resultados)

➤ Muestra en poblaciones infinitas:

$$n = \frac{\sigma^2 N p q}{e^2 (N-1) + \sigma^2 p q}$$

σ : nivel de confianza

p: probabilidad a favor

q: probabilidad en contra

n: número de elementos (tamaño de la muestra)

e: error de estimación (precisión de resultados)

N: Universo o población

➤ Error de estimación: Se utiliza principalmente para 3 propósitos:

- Realizar la comparación de la precisión obtenida por el muestreo simple aleatorio con otros métodos de muestreo
- Averiguar el tamaño de muestra que se necesita en la tesis
- Estimar cuanta precisión obtenemos en la tesis

$$e = \sqrt{\frac{\sigma^2 p q}{n}}$$

σ : nivel de confianza

p: probabilidad a favor

q: probabilidad en contra

n: número de elementos (tamaño de la muestra)

e: error de estimación (precisión de resultados)

Observación: Se puede usar una tabla para evitar el uso de esta fórmula (“Determinación del margen de error de la muestra”)

- **Cálculo del tamaño de muestra:**

Actualmente el caudal promedio anual del río chillón es de un valor de 1.93 m³/min

donde el volumen aproximado de un día será de:

$$V = 1.93 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \times 24 \text{ horas}$$

$$V \approx 2780 \text{ m}^3/\text{día}$$

Realizamos nuestros cálculos para tamaño de muestra:

$$n = \frac{\sigma^2 N p q}{e^2 (N-1) + \sigma^2 p q}$$

σ : 1.96

p: 0.50

q: 0.50

n: Lo que se va a determinar

e: 0.05

N: 2800 m³

$$n = \frac{(1.96)^2 * 2800 * 0.5 * 0.5}{(0.05)^2 * (2800 - 1) + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}$$

n = 338 m³/día (tamaño de muestra)

Tomando de referencia un tiempo de 5 segundos para la recolección de la muestra se tiene como volumen de muestra lo siguiente:

$$338 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{3600 \text{ seg}} * 5 = 18.3 \text{ L}$$

4.4. Lugar y fecha de estudio

Se obtiene la muestra del Río Chillón, ladera Asociación de vivienda Las lomas de Chillón–Chuquitanta Distrito San Martín de Porres. Estas serán trasladadas al laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad Nacional del Callao para su estudio en Junio del año 2019.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Turbidez

Este parámetro se tomó para determinar la turbidez de las muestras, se preparan muestras de (50, 100,150 y 200) mg/L y se regula la velocidad de agitación en (100, 150 y 150) RPM para el análisis preliminar y muestras de (100 y 150) mg/L con velocidades de (100 y 150) RPM para comparación de coagulante.

Se tomó una muestra patrón de agua destilada y se realizó la medición de las muestras tomadas en un tiempo de 30min (rango 10min). Se hizo uso del colorímetro portátil DR900

El pH para una calidad óptima de agua tratada (pH=7).

4.5.2. pH

Este parámetro se tomó para verificar y validar la variación de pH de la muestra inicial el cual varía dependiendo de la concentración del coagulante empleado.

Se usó un pH-metro marca Hanna.

El pH para una calidad óptima de agua tratada (pH=7).

4.5.3. Color

Este parámetro se consideró para comprobar la disminución del color de la muestra con la variación del tiempo. Se usó un colorímetro portátil DR900. Se tomaron muestras cada 10 minutos para cada condición experimental y se realizó la lectura en el colorímetro, midiendo la absorbancia a 420nm.

4.5.4. Instrumentos de recolección

- Software: Minitab18 y Excel

El Minitab es un software utilizado para realizar la captura y análisis de datos para crear tablas y gráficas con data compleja

La base del software estadístico Minitab incluye estadísticas descriptivas como la tabulación y frecuencias de cruce, estadísticas de dos variables, además pruebas T, ANOVA y de correlación.

- Estadística descriptiva e inferencial

La estadística descriptiva se encarga de resumir o reducir las cantidades de largas de valores de la manera más exacta posible, con el objetivo de tener las características generales de un determinado grupo.

La estadística inferencial analiza y estudia los datos más allá de los resultados, es decir, que logra llegar a conclusiones usando los datos aportados, pero valiéndose del cálculo de probabilidades, de esta manera logra estimar las propiedades con las cuales cuenta la muestra o población.

- Formatos de diseño experimental

4.6. Análisis y procesamiento de datos

4.6.1. Pre tratamiento:

- Muestra. - Agua turbia proveniente ya sea de fábricas, ríos, etc.
- Coagulante. - Almidón de la Arracacha; promedios estadísticos

4.6.2. Desarrollo de la investigación:

- Coagulación – Floculación de las aguas tratadas, promedios porcentuales de Remoción de turbidez
- Evaluación de la coagulación; promedios estadísticos

4.6.3. Resultados:

- Uso de Minitab y Excel para contrastar los resultados

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

- Se realizó la caracterización del agua antes del tratamiento,

Resultados de los análisis.

Tabla 6
Resultados preliminares

PARAMETROS	R1	R2	R3
Turbidez (NTU)	392	410	311
PH	8.104	7.2	7.95
Temperatura(°C)	18	20	26.8
Color (unid. Pt-Co)	100	42	15
Alcalinidad(mgCaCO ₃ /L)	620	410	400
Solidos Disueltos Totales (mg/L)	1138.33	795	949.9

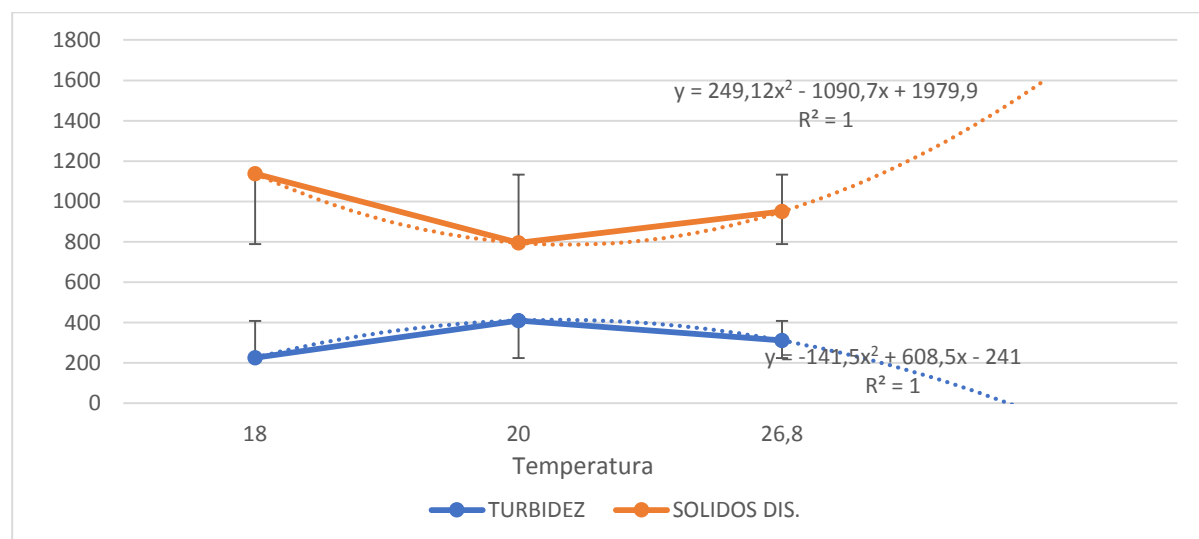


Gráfico 1

Curva de valores de la caracterización del agua antes del tratamiento.

5.1.1. Influencia del tiempo

Se realizó la evaluación de la remoción de la turbidez con toma de muestras cada 10 minutos, hasta el minuto 30. Obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 7
Valores de turbidez con almidón de arracacha a Vel. =100rpm

Conc. (ppm)	N°	Turbidez T = 0 min	Turbidez T= 10 min	Turbidez T = 20 min	Turbidez T = 30 min
50	1	392	146	82	44
	2	392	150	85	43
	3	392	148	81	44
100	1	392	232	168	146
	2	392	232	165	145
	3	392	230	162	145
150	1	392	188	130	105
	2	392	190	130	106
	3	392	189	132	104
200	1	392	244	180	152
	2	392	246	178	155
	3	392	244	177	153

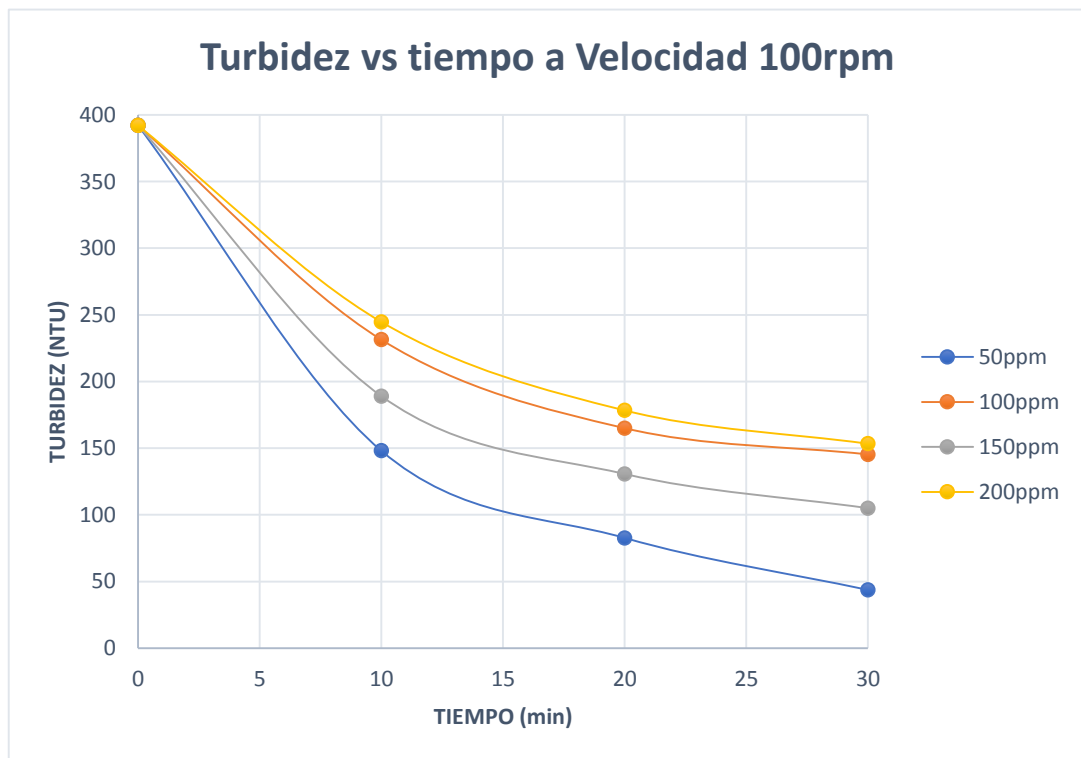


Gráfico 2
Turbidez vs tiempo a Vel. =100rpm – Almidón de arracacha

Tabla 8
 Valores de turbidez con almidón de arracacha a Vel. =150rpm

Conc. (ppm)	N°	Turbidez T = 0 min	Turbidez T= 10 min	Turbidez T = 20 min	Turbidez T = 30 min
50	1	392	277	220	140
	2	392	275	222	138
	3	392	273	225	142
100	1	392	172	83	54
	2	392	180	80	51
	3	392	177	87	55
150	1	392	151	58	30
	2	392	146	62	33
	3	392	148	66	28
200	1	392	168	71	37
	2	392	173	75	35
	3	392	170	68	39

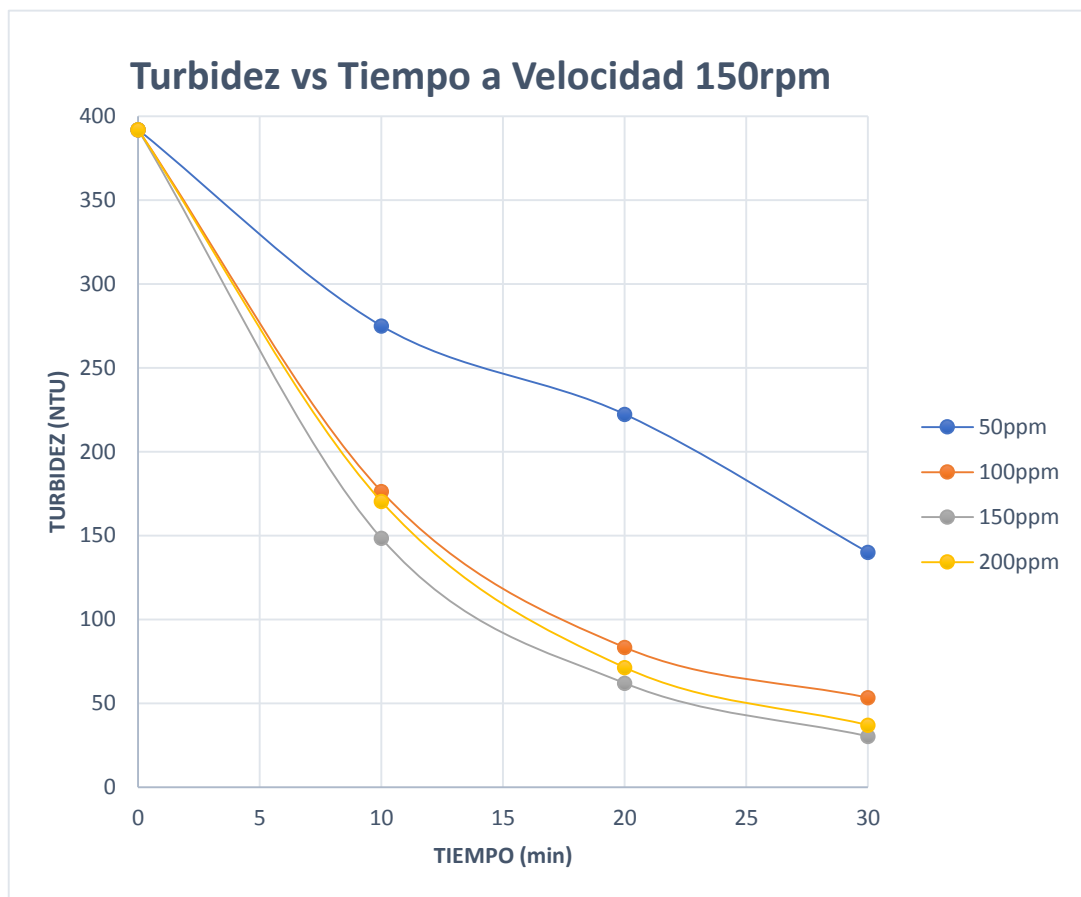


Gráfico 3
 Turbidez vs tiempo a Vel. =150rpm – Almidón de arracacha

Tabla 9

Valores de turbidez con almidón de arracacha a Vel. =2000rpm

Conc. (ppm)	Nº	Turbidez T = 0 min	Turbidez T= 10 min	Turbidez T = 20 min	Turbidez T = 30 min
50	1	392	221	141	68
	2	392	218	145	65
	3	392	217	140	63
100	1	392	251	162	78
	2	392	248	165	77
	3	392	247	159	81
150	1	392	281	192	95
	2	392	284	195	92
	3	392	279	191	96
200	1	392	177	89	54
	2	392	182	92	57
	3	392	176	93	52

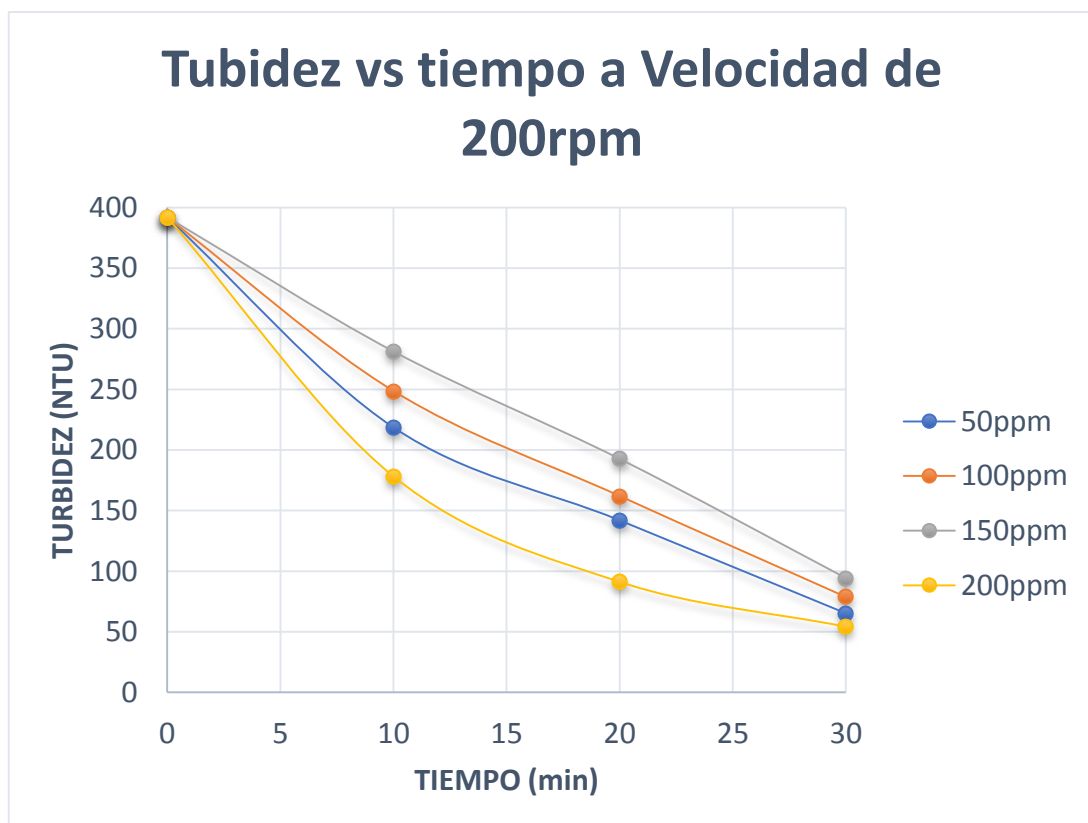


Gráfico 4

Turbidez vs tiempo a Vel. =2000rpm – Almidón de arracacha

- Basándonos en los resultados obtenidos se procedió a realizar el cálculo del porcentaje de remoción de turbidez empleando el almidón de arracacha. (Ver tabla 11)

Tabla 10
Porcentajes de remoción obtenidos a diferentes velocidades y concentraciones

%Remoción a una velocidad de 100rpm				
Tiempo	CONCENTRACIÓN			
(min)	50ppm	100ppm	150ppm	200ppm
0	0	0	0	0
10	62.755	40.816	52.041	37.755
20	79.082	57.143	66.837	54.082
30	88.776	62.755	73.214	61.224

%Remoción a una velocidad de 150rpm				
Tiempo	CONCENTRACIÓN			
(min)	50ppm	100ppm	150ppm	200ppm
0	0	0	0	0
10	29.337	56.122	61.480	57.143
20	43.878	78.827	85.204	81.888
30	64.286	86.224	92.347	90.561

%Remoción a una velocidad de 200rpm				
Tiempo	CONCENTRACIÓN			
(min)	50ppm	100ppm	150ppm	200ppm
0	0	0	0	0
10	43.622	35.969	28.316	54.847
20	64.031	58.673	51.020	77.296
30	82.653	80.102	75.765	86.224

A partir de los datos valores obtenidos se representaron en los gráficos siguientes:

a. **Vel. =100rpm.** - En el grafico 5, se observa que el mayor porcentaje de remoción de a turbidez corresponde al experimento realizado a una concentración de 50ppm y para un tiempo de sedimentación de 30minutos, siendo igual a 88.776% presentado en la Tabla11.

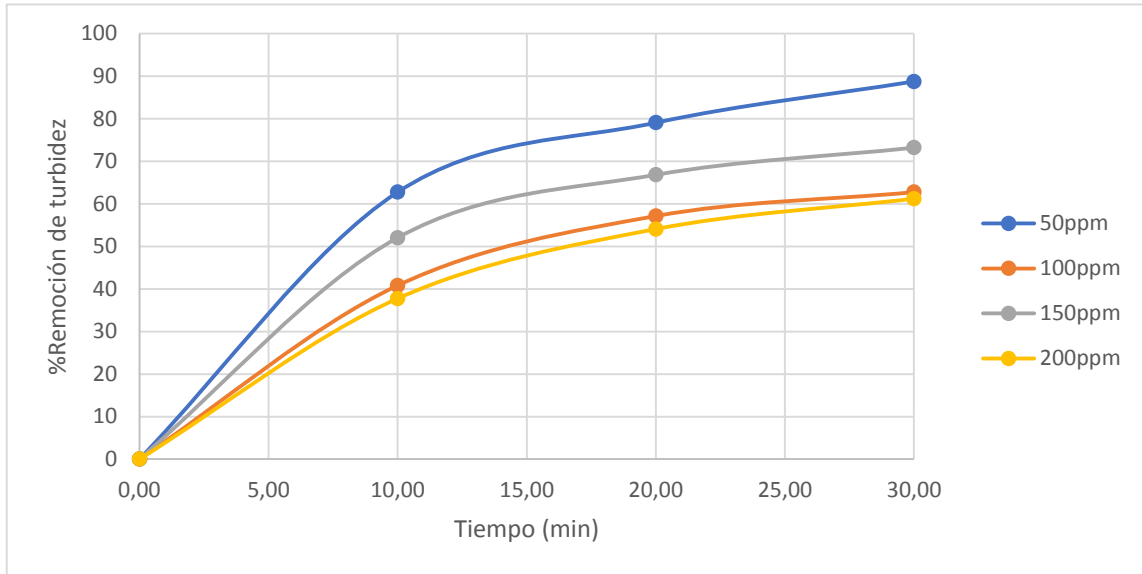


Gráfico 5
%Remoción de la turbidez a una velocidad de 100 rpm

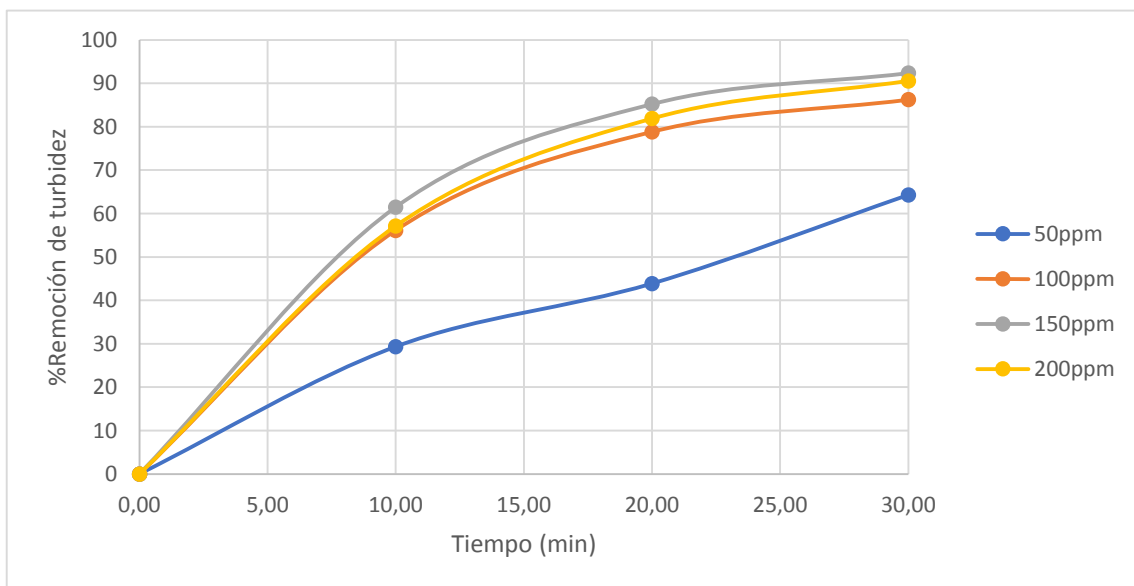


Gráfico 6
%Remoción de la turbidez a una velocidad de 150 rpm

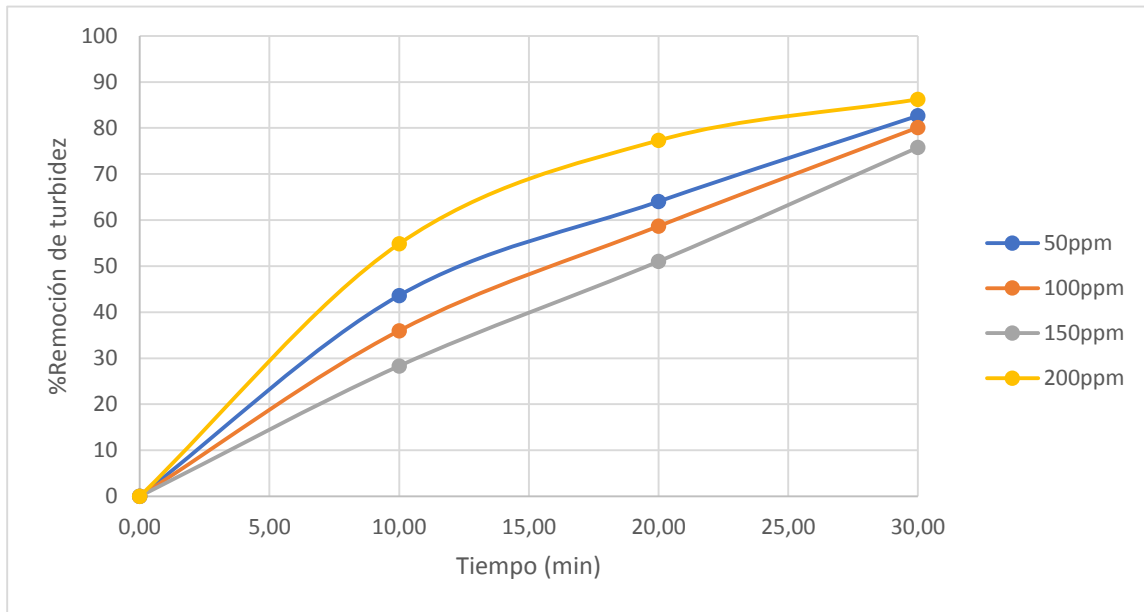


Gráfico 7
%Remoción de la turbidez a una velocidad de 200 rpm

- b. **Vel. =150rpm.** - En el grafico 6, se observa que el mayor porcentaje de remoción de a turbidez corresponde al experimento realizado a una concentración de 150ppm y para un tiempo de sedimentación de 30minutos, siendo igual a 92.347% presentado en la Tabla11.
- c. **Vel. =200rpm.** - En el grafico 7, se observa que el mayor porcentaje de remoción de a turbidez corresponde al experimento realizado a una concentración de 200ppm y para un tiempo de sedimentación de 30minutos, siendo igual a 86.224% presentado en la Tabla11.

Tabla 11
 Valores de parámetros utilizando almidón de arracacha

Arracacha					
Velocidad	Concentración (ppm)	Absorbancia (420 nm)	TDS (mg/L)	Alcalinidad (mg CaCO₃/L)	pH
100 rpm	50	0.196	416	80	7.8
	100	0.681	423	100	7.7
	150	0.478	417	80	7.7
	200	0.666	419	100	7.6
150 rpm	50	0.540	369	100	7.5
	100	0.234	365	120	7.7
	150	0.170	360	140	7.6
	200	0.186	356	120	7.8
200 rpm	50	0.258	358	100	7.8
	100	0.301	357	120	7.4
	150	0.343	359	120	7.5
	200	0.203	356	140	7.6

Se realizó un análisis paralelo con alumbre para realizar la comparación con el almidón de arracacha nativo (Ver anexo 4)

5.2. Resultados inferenciales

Los resultados inferenciales se basan en el análisis estadístico realizado mediante el Minitab 18. Primero se determinó el modelo matemático que se ajusta a los datos obtenidos para la variable respuesta (%remoción de turbidez) para cada tiempo de contacto, dicho modelo matemático tiene como variables la velocidad de agitación y la concentración de los coagulantes, el modelo tiene la forma de $Y = f(\text{Veloc.}, [\text{Coag.}])$, con el software SPSS25

determinamos las constantes del modelo matemático, también se obtuvieron los valores estimados por el modelo matemático, y se determinó el error relativo que se obtiene comparando los valores determinados experimentalmente y los valores estimados con el modelo

Adicionalmente, elaboramos gráficos de contorno y gráficos de superficie, con los cuales determinamos visualmente las zonas donde existen máximos o mínimos

Las interacciones de las variables se determinaron mediante el análisis de varianza – regresión de superficie respuesta

5.2.1. Modelo de regresión

Con los resultados se generó la ecuación que correlaciona la variable dependiente (%Remoción de la turbidez) y las variables independientes: Velocidad de agitación (rpm), Concentración de coagulante ([Coag.]). Para el ajuste se utilizó la regresión multivariable con el Minitab 17, obteniendo así los coeficientes del modelo de regresión para cada tiempo = 10, 20 y 30 min.

a. Diseño factorial de múltiples niveles

FACTORES	3	REPLICAS	3
CORRIDAS BASE	36	TOTAL, DE CORRIDAS	108
BLOQUES BASE	1	TOTAL, DE BLOQUES	1

b. Regresión factorial general; %Remoción vs Concentración, Velocidad y tiempo:

Tabla 12
Información de los niveles del factor

FACTOR	NIVELES	VALORES
Concentración	4	50;100;150;200
Velocidad	3	100; 150; 20
Tiempo	3	10; 20; 30

c. Resumen del modelo:

Tabla 13
Análisis de varianza

FUENTE	GL	SC Ajuste	MC Ajuste	Valor F	Valor p
REGRESIÓN	2	271.3	135	0.43	0.652
Velocidad	1	14.8	14.81	0.05	0.829
Concentración	1	256.5	256.53	0.81	0.370
ERROR	5	33210.6	316.29		
Falta de ajuste	9	13267.2	1474.13	7.10	0.000
Error puro	7	19943.4	207.74		
TOTAL	25	33481.9			

Tabla 14
Resumen del modelo estadístico

S	R – cuad.	R – cuad. (ajustado)	R – cuad. (pred)
1,77351	89,08%	88,86%	88,12%

d. Ecuación de regresión. - con ayuda del Software Minitab18, se pudo obtener la siguiente ecuación:

Tabla 15
Coefficientes

Termino	Coef.	EE del coef.		Valor T	Valor p	VIF
Constante	59.33	7.56		7.85	0.000	
Velocidad	0.0091	0.0419		0.22	0.829	1.00
Concentración	0.0276	0.0306		0.90	0.370	1.00

1. Ecuación de regresión del % de Remoción de turbidez con almidón de arracacha.

$$\%R = 59.33 + 0.0091 V + 0.0276 C$$

R: Remoción

V: Velocidad

C: Concentración

5.2.2. Gráfico de residuos para % de remoción de la turbidez con almidón de arracacha.

Mediante el siguiente gráfico de probabilidad normal y residuos, podemos tener conclusiones muy importantes, el porcentaje de residuo (se le llama así a toda desviación que existe luego de ajustar nuestros datos con el R^2 ajustado), que nuestros datos obtenidos de reducción tienen una distribución normal y simétrica.

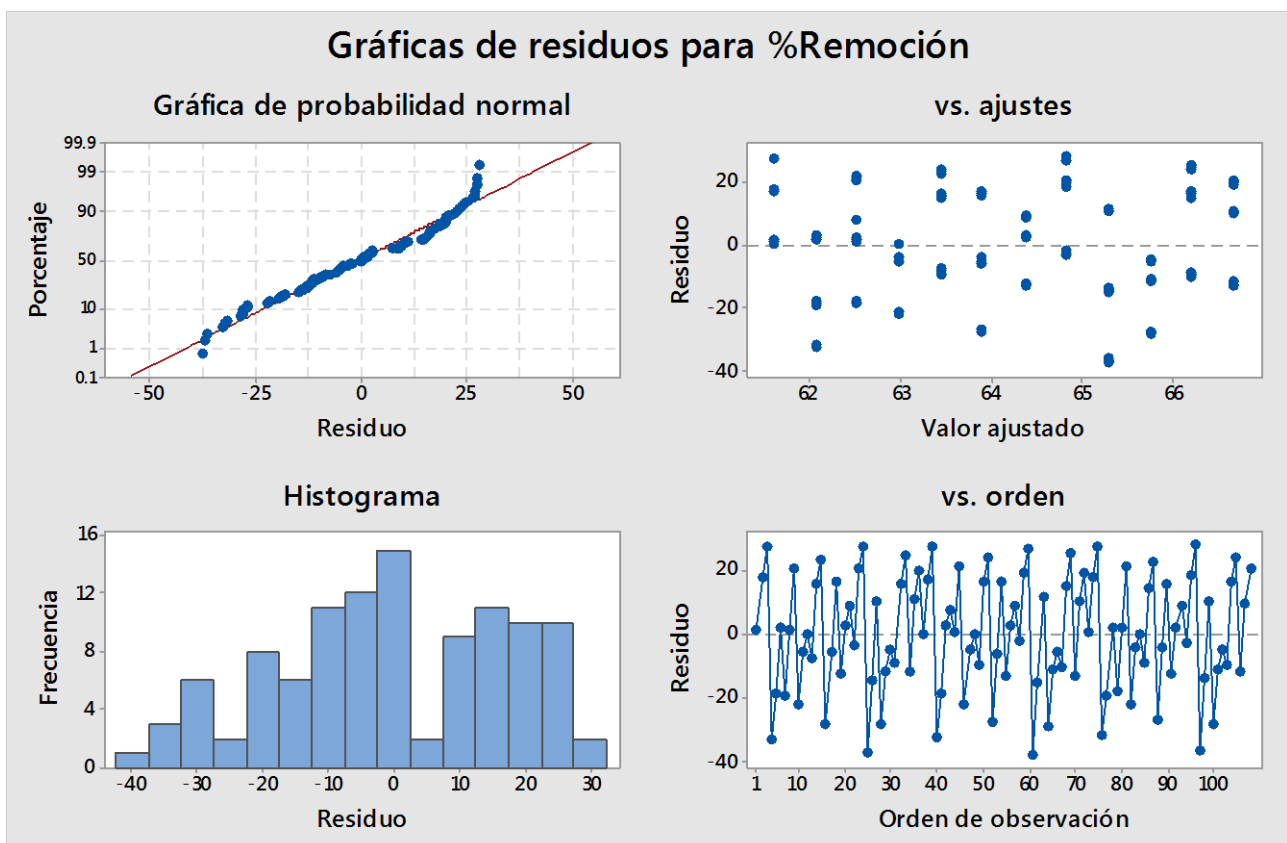


Gráfico 8
Gráficas de residuos para %Remoción de turbidez

5.2.3. Gráfico de efectos principales y de interacciones

Del gráfico8 se puede apreciar lo siguiente:

A mayor tiempo de sedimentación ($t=30\text{min}$), a una concentración de 150ppm y a una velocidad de 150rpm se obtiene mayor porcentaje de remoción de turbidez.

A mayor concentración la solución se satura y el porcentaje de remoción empieza a disminuir.

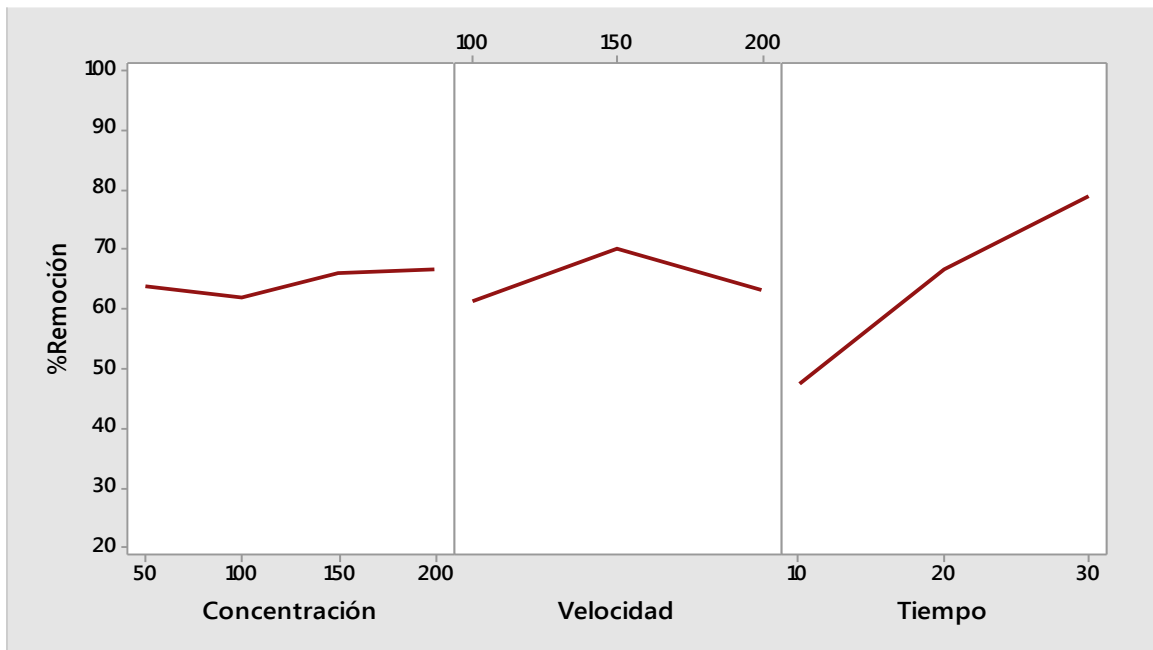


Gráfico 9
Efectos principales para el %Remoción de turbidez

5.2.4. Probabilidad normal de respuesta

Con la ecuación de regresión (ver ecuación1 pag.56), se calculó los residuales y la normalidad de la respuesta y sus valores atípicos.

Observamos que la remoción de la turbidez va en aumento y obtenemos porcentajes mayores al 90% (Ver Gráfico 8 y 9).

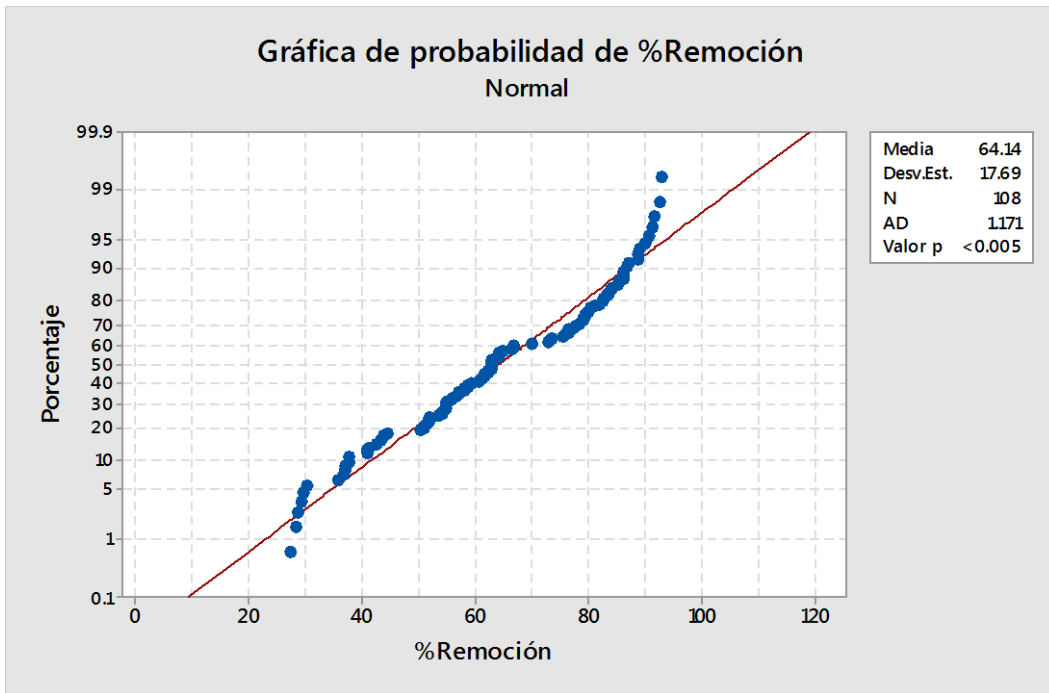


Gráfico 10
Probabilidad de %Remoción de turbidez

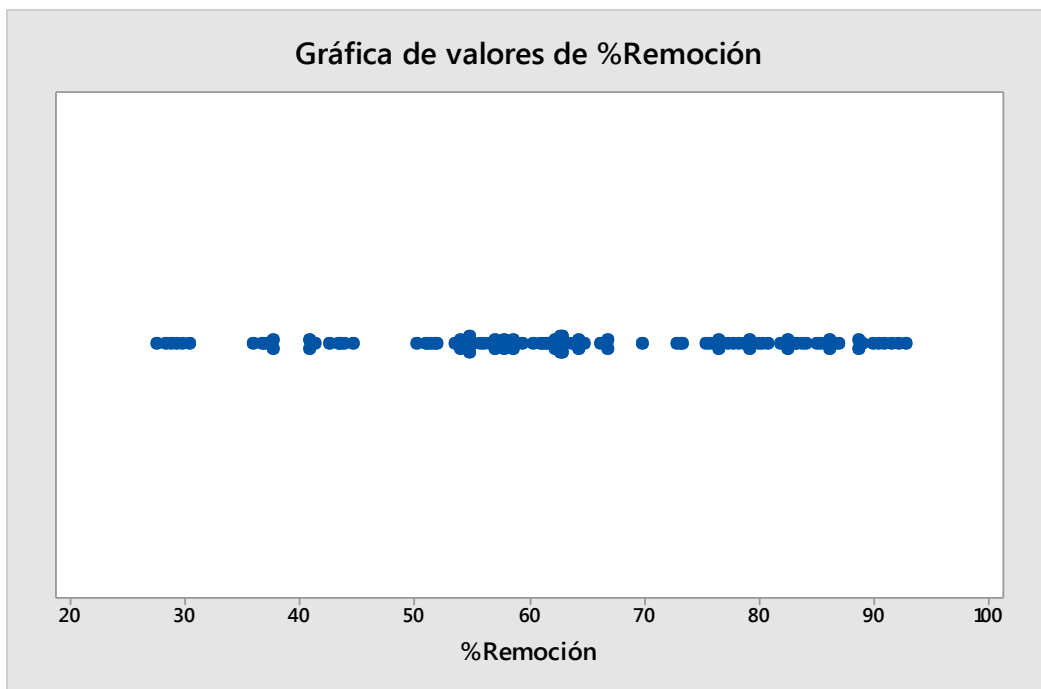


Gráfico 11
Valores de % de remoción

5.2.5. %Remoción mediante graficas de contorno

Para analizar las interacciones se usó el software Minitab18. Se elaboró gráficos para el porcentaje de remoción de turbidez vs Concentración; tiempo.

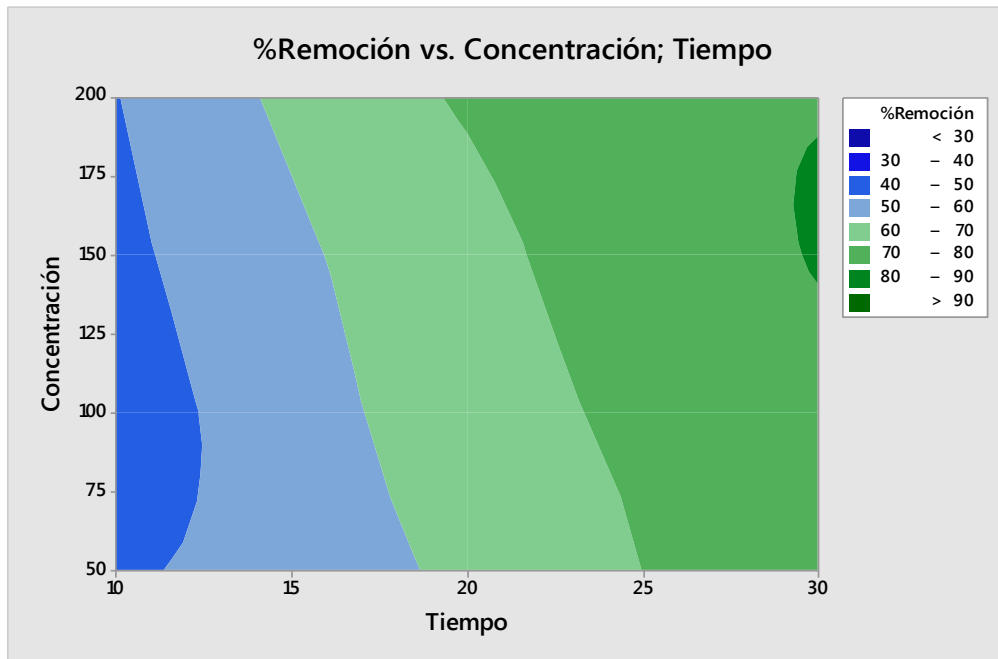


Gráfico 12

Porcentaje de remoción de turbidez vs Concentración; tiempo

Para analizar las interacciones se usó el software Minitab18. Se elaboró gráficos para el porcentaje de remoción de turbidez vs velocidad; tiempo.

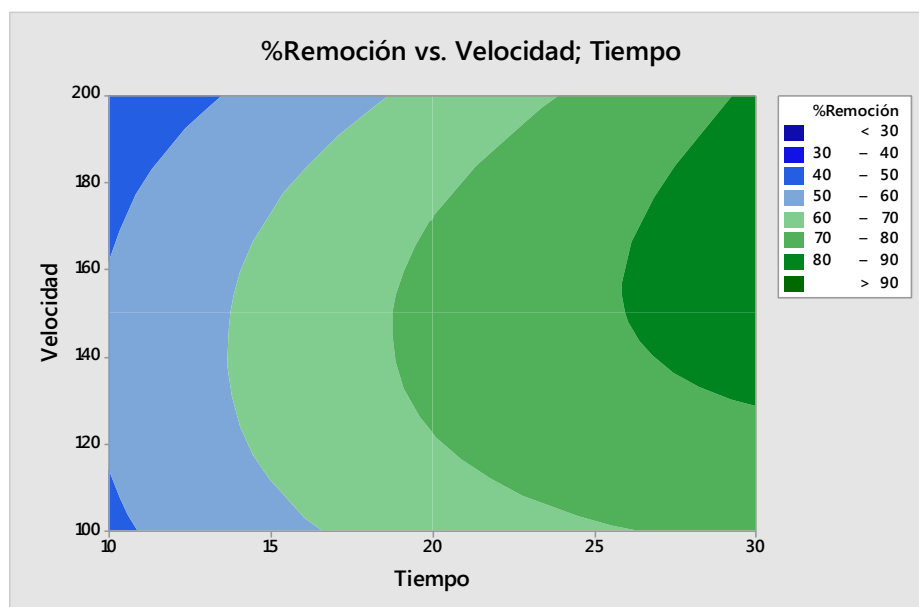


Gráfico 13

Porcentaje de remoción de turbidez vs velocidad; tiempo

5.2.6. Diagrama de cajas para la variable respuesta

Otro medio muy ilustrativo y en frecuencia empleado para determinar el efecto de las variables de respuesta es el diagrama de caja para los tiempos estimados de 10, 20 y 30 minutos.

En el grafico se puede apreciar un diagrama de cajas del %Remoción vs Concentración (Ver gráfico 12) y por último apreciamos el grafico de cajas del %Remoción vs velocidad (Ver gráfico 13)

La remoción de la turbidez sobrepasa el 90% a los 30 minutos de sedimentación.

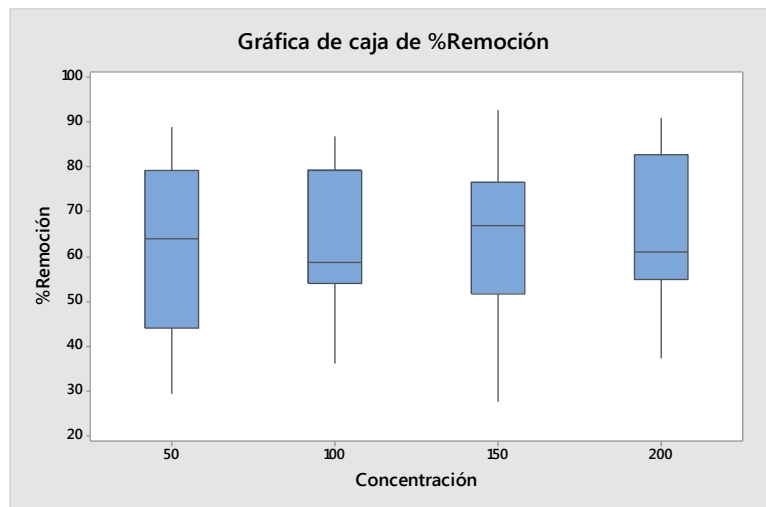


Gráfico 14
Gráfico de caja de %Remoción v.s Concentración

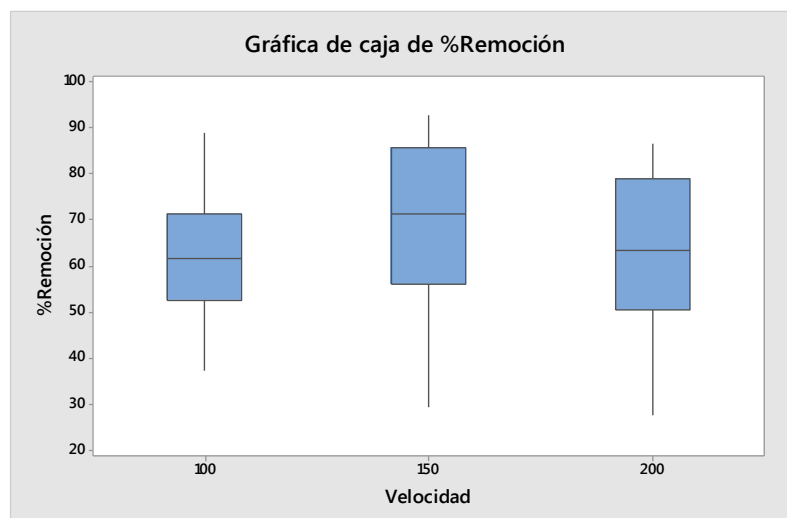


Gráfico 15
Gráfico de caja de %Remoción v.s Velocidad

Los parámetros de velocidad y concentración óptimos para nuestro caso será para la máxima remoción de turbidez posible que podemos obtener, mediante el software MinitabV17 este valor fue de 92.375%, a la velocidad de 150rpm, una concentración de 150ppm y un tiempo de sedimentación de 30 minutos.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la evaluación estadística se usó la prueba p-value, donde la hipótesis nula se rechaza se el valor $-p$ (asociado al resultado observado) es igual o menor que el nivel de significancia.

En la presente investigación se trabajó con un nivel de significancia de 0.05.

6.1. Contrastación de la hipótesis

6.1.1. Contrastación de hipótesis general

: Si se logra remover más del 90% de turbidez de un sistema de coagulación mediante almidón de la arracacha.

: No se logra remover más del 90% de turbidez de un sistema de coagulación mediante almidón de la arracacha.

Se acepta la hipótesis alterna que nos dice que si se logrará remover una porcentaje mayor al 90% de turbidez de un sistema de coagulación mediante almidón de arracacha, para las concentraciones de coagulante de 50, 100, 150y 200ppm y velocidades de agitación de 100, 150 y 200rpm, porque el valor p está por debajo del nivel de significancia ($p < 0.05$)

6.1.2. Contrastación de hipótesis específicas

a. Las características físico químicas del agua antes del tratamiento evaluadas serán color, alcalinidad, turbidez, pH y sólidos disueltos totales.

1) : Es posible determinar las características fisicoquímicas del agua antes del tratamiento.

2) : No es posible determinar las características fisicoquímicas del agua antes del tratamiento.

Se aceptan la hipótesis alterna () para los valores de turbidez, color, alcalinidad, pH y solidos disueltos totales.

3) () : Debido a que los valores de p – value están por debajo de la significancia establecida 0,05

b. Los parámetros óptimos se determinaran en un rango que se obtendrá mediante pruebas a diferente concentraciones de coagulante y velocidades de agitación

1) : Es posible determinar el rango óptimo de concentración de coagulante y velocidad de agitación.

2) : No es posible determinar el rango óptimo de concentración de coagulante y velocidad de agitación.

Se acepta la hipótesis alterna () a 50, 100, 150 y 200ppm de coagulante y 100, 150 y 200rpm de velocidad de agitación

3) () : Debido a que los valores de p – value están por debajo de la significancia establecida 0,05

c. El porcentaje de reducción de los parámetros fisicoquímicos respecto a los valores iniciales del agua será mayor o igual a 90%

1) : Es posible reducir los parámetros fisicoquímicos iniciales respecto a los valores iniciales del agua en un porcentaje mayor o igual a 90%

2) : No es posible reducir los parámetros fisicoquímicos iniciales respecto a los valores iniciales del agua en un porcentaje mayor o igual a 90%

Se acepta la hipótesis nula () ya que solo la turbidez, TDS y color se ven afectos a la variación de las variables.

6.2.Contrastación de resultados con estudios similares

6.2.1. Influencia de la concentración de coagulante y velocidad de agitación

De los resultados obtenidos (Ver tabla 10, pág.63), se afirma:

- a. A una velocidad de 100 rpm y a una concentración de 50ppm con un tiempo de 30min de sedimentación se logró obtener una remoción de 88.77% de turbidez. (Ver tabla 17)
- b. A una velocidad de 150 rpm y a una concentración de 150ppm con un tiempo de 30min de sedimentación se logró obtener una remoción de 92.347% de turbidez. (Ver tabla 16 y 17)
- c. A una velocidad de 200 rpm y a una concentración de 200ppm con un tiempo de 30min de sedimentación se logró obtener una remoción de 88.224% de turbidez. (Ver tabla 18)

Tabla 16
Valores óptimos para la remoción

CONCENTRACIÓN			
50ppm	100ppm	150ppm	200ppm
29.337	56.122	61.480	57.143
43.878	78.827	85.204	81.888
64.286	86.224	92.347	90.561

Tabla 17
Valores de % de Remoción obtenidos a 100rpm

VEL.	CONC	Rep.	10	20	30
100	50	1	62.76	79.08	88.78
		2	61.73	78.32	89.03
		3	62.24	79.34	88.78
		Promedio	62.24	78.91	88.86
	100	1	40.82	57.14	62.76
		2	40.82	57.91	63.01
		3	41.33	58.67	63.01
		Promedio	40.99	57.91	62.93
	150	1	52.04	66.84	73.21
		2	51.53	66.84	72.96
		3	51.79	66.33	73.47
		Promedio	51.79	66.67	73.21
200	1	37.76	54.08	61.22	
	2	37.24	54.59	60.46	
	3	37.76	54.85	60.97	
	Promedio	37.59	54.51	60.88	

Tabla 18
Valores de % de Remoción obtenidos a 150rpm

VEL.	CONC	Rep.	10	20	30
150	50	1	62.76	79.08	88.78
		2	61.73	78.32	89.03
		3	62.24	79.34	88.78
		Promedio	62.24	78.91	88.86
	100	1	40.82	57.14	62.76
		2	40.82	57.91	63.01
		3	41.33	58.67	63.01
		Promedio	40.99	57.91	62.93
	150	1	52.04	66.84	73.21
		2	51.53	66.84	72.96
		3	51.79	66.33	73.47
		Promedio	51.79	66.67	73.21
200	1	37.76	54.08	61.22	
	2	37.24	54.59	60.46	
	3	37.76	54.85	60.97	
	Promedio	37.59	54.51	60.88	

Tabla 19
Valores de % de Remoción obtenidos a 200rpm

VEL.	CONC	Rep.	10	20	30
200	50	1	62.76	79.08	88.78
		2	61.73	78.32	89.03
		3	62.24	79.34	88.78
		Promedio	62.24	78.91	88.86
	100	1	40.82	57.14	62.76
		2	40.82	57.91	63.01
		3	41.33	58.67	63.01
		Promedio	40.99	57.91	62.93
	150	1	52.04	66.84	73.21
		2	51.53	66.84	72.96
		3	51.79	66.33	73.47
		Promedio	51.79	66.67	73.21
200	1	37.76	54.08	61.22	
	2	37.24	54.59	60.46	
	3	37.76	54.85	60.97	
	Promedio	37.59	54.51	60.88	

Salaverry (2016), evalúa la eficiencia de disminución de la turbidez de dos extractos salinos del maíz amarillo, obteniendo que a 8ml de dosis y una velocidad de agitación 80rpm reduce 81.79% de turbidez.

Tabla 20
Resultados de los ensayos realizados

Extracto	DOSIS	Turbidez Inicial	Velocidad de Agitación						
			60 RPM	% Eficiencia	70 RPM	% Eficiencia	80 RPM	% Eficiencia	
Acuoso	D1	178	68.0	61.80	55.3	68.93	39.2	77.98	
	(12ml)	178	72.5	59.27	59.7	66.46	41.3	76.80	
E1	(0.5 M)	178	65.4	63.26	55.8	68.65	43.8	75.39	
		D2	178	45.5	74.44	34.6	80.56	22.1	87.58
E2	(0.25M)	(8ml)	178	43.4	75.62	32.1	81.97	26.3	85.22
		178	48.1	72.98	32.3	81.85	21.4	87.98	
E2	(12ml)	D1	178	81.5	54.21	67.1	62.30	51.3	71.18
		178	79.8	55.17	73.6	58.65	53.4	70.00	
E2	(0.25M)	178	83.6	53.03	73.7	58.60	48.2	72.92	
		D1	178	65.3	63.31	64.6	63.71	59.6	66.52
E2	(8ml)	178	62.8	64.72	62.1	65.11	58.3	67.25	
		178	68.1	61.74	65.6	63.15	59.2	66.74	

Salaverry, R. 2016. "Efecto del Coagulante obtenido de Maíz Amarillo en la disminución de la turbidez del agua en la bocatoma de Paiján septiembre 2016"

Olivero (2018), evalúa la remoción de la turbidez comparando dos tipos de coagulantes alumbre y la Opuntia, obteniendo 99.80% de remoción con el alumbre y 93.25% de remoción con el mucilago de la Opuntia a 40mg/L y 200rpm determinando que este estudio influyo el tipo de coagulante pero la velocidad de agitación y concentración no lo hicieron.

Choque (2017), evalúa el poder coagulante del almidón de la papa y el policloruro de aluminio para la remoción de turbidez, extrayendo el almidón de la papa con un rendimiento de 17.5% y logrando reducir la turbidez a 6.3NTU con una concentración de 133ppm de almidón de papa y a 9,1NTU con una concentración de policloruro de aluminio de 272ppm.

CONCLUSIONES

Se concluye respecto a cada objetivo:

- Se logró remover el 92.375% de turbidez del agua tratada teniendo una turbidez final de 30NTU y 360mg/L de solidos disueltos totales.
- Se determinó que la turbidez inicial del agua antes del tratamiento es de 392NTU y 1138mg/L de solidos disueltos totales en condiciones ambientales.
- Se tuvieron como parámetros óptimos de remoción una velocidad de 150rpm y una concentración de 150ppm de almidón de arracacha a un tiempo de sedimentación de 30min.
- Mediante los ensayos realizados se observó que los parámetros físico químicos como el color, la turbidez y los sólidos disueltos totales son los únicos afectos a la variación de los parámetros ([Conc.], velocidad); logrando reducir en un 86.64% el color (absorbancia, 420nm).

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso del almidón de arracacha para las distintas plantas de tratamiento de aguas residuales en su etapa de clarificación de aguas, ya que por su procedencia de origen vegetal no genera lodos ecotoxicos.
- Esta tesis da inicio a que a futuro se haga investigación de distintos tipos de almidón para la aplicación en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- Empleabilidad de la raíz de arracacha para otras aplicaciones industriales.
- Aprovechamiento de la propiedad gelificante y espesante del almidón
- Investigación de otros productos de origen vegetal como coagulante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, J. (2017). *Obtención de bioetanol a partir de hidrólisis enzimática y fermentación de arracacha.*
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación.*
- Arboleda. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua.* Bogotá: Mc Graw Hill.
- Burgos, C. (2006). *Arracacha (Arracacia xanthorrhiza).* Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del medio ambiente.
- Caldera, M. y. (2007). *Eficiencia de las semillas de Moringa oleífera como coagulante alternativo en la potabilización del agua.* Centro de Investigación Biológica, Bolivia.
- Cardenas, Y. A. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación.* Lima.
- Carrasquero, L. y. (2015). Eficiencia de las semillas de durazno como coagulante en la potabilización de aguas. *Revista Internacional.*
- Carrasquero, M. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Internacional.*
- Chama, J. (2016). Evaluación del poder coagulante del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) var. única y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento de agua de Samegua, Moquegua .
- Fayo, G. (2007). *Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo.*
- Godoy, V. (2018). *Análisis comparativo de la disminución de la turbidez en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y la paleta de tuna.* Cajamarca.

- Guzman, V. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales. *Revista Udcaactual divulg Cient*, 253-262.
- INEI. (2018). Compendio Estadístico. 9.
- Mas y Rubí, M. V. (2012). *Eficiencia de las semillas de Hymenea courbaril como coagulante natural en el proceso de clarificación del agua*.
- Olivero, M. (2012). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus – indica*. 8.
- Palacios, R. (2011). Evaluación químico bromatológica de tres variedades de *Arracacia xanthorrhiza* "Arracacha".
- Pardo, A. (2012). *Efecto de la modificación de arracacha y la concentración del plastificante sobre las propiedades mecánicas de películas biodegradables* (Vol. X).
- Ramirez, S. (2011). *Evaluación de las propiedades floculantes de Malvaviscus arboreus, Heliocarpus popayanensis e Hylocereus undatus para clarificación de aguas* (Vol. 2).
- Reyna. (1993). *Obtención y modificación por acetilación del almidón de la Arracacha (Arracacia Xanthorrhiza Bancroft)*. Universidad Nacional del Callao.
- Riego, M. d. (2018). *Compendio Estadístico Perú 2018*.
- Salas. (2018). *Caracterización fisicoquímica y propiedades funcionales del almidón de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) modificado por Irradiación UV – C*. Universidad de Tolima.
- Salaverry. (2016). *Efecto del Coagulante obtenido de Maíz Amarillo en la disminución de la turbidez del agua en la bocatoma de Paiján septiembre 2016*. Universidad César Vallejo.

Villabona, A. (2013). *Caracterización de Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural* (Vol. 15). Cartagena de Indias, Colombia: Revista Colombia de biotecnología.

ANEXOS

A1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DE UN SISTEMA DE COAGULANTE MEDIANTE ALMIDÓN DE LA ARRACCACHA (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)							
Objetivo General	Problema General	Hipótesis General	Variable Dependiente	Definiciones	Magnitudes	Indicadores	Método
Determinar el grado de remoción de la turbidez de un sistema de coagulación mediante almidón de la arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>).	¿Cuál será el grado de remoción de la turbidez de un sistema de coagulación mediante almidón de la arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)?	Un sistema de coagulación mediante almidón de la Arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>) permite la remoción de la turbidez de aguas contaminadas.	Grado de remoción	Parámetro que nos indica la cantidad de sólidos disueltos en suspensión.	X1 = Determinación de Sólidos Totales X2 = Medición de la Turbidez	X1 = mg sólidos totales /L X2 = UNT	Medidor HACH Nefelometría
Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Hipótesis Específicas					
Determinar las características físico-químicas del agua antes del tratamiento.	¿Cuáles serían las características físico-químicas del agua antes del tratamiento?	Las características físico-químicas del agua antes del tratamiento evaluadas serán color, alcalinidad, turbidez, pH y sólidos disueltos totales.	Variable Independiente	Polisacárido que actúa como coagulante ayudando a la remoción de la turbidez.	Y1 = Dosis óptima de almidón para la remoción de la turbidez Y2 = Medición del pH Y3 = Medición de Color Y4 = Determinación de Alcalinidad Y5= Tiempo	Y1= Concentración (mg/L) Y2 = Ácida o Básica (1 -14) Y3 = UC Y4 = mg CaCO ₃ /L Y5= Segundo	Test de Jarras PHmetro Absorbancia Titulación Cronómetro
Obtener los parámetros óptimos para obtener una mayor eficiencia de remoción de la turbidez empleando el coagulante-floculante (Almidón de Arracacha).	¿Cuáles serán los parámetros óptimos para obtener una mayor eficiencia de remoción de la turbidez empleando el coagulante – floculante (Almidón de Arracacha)?	Los parámetros óptimos se determinarán en un rango que se obtendrá mediante una prueba preliminar.	Almidón de Arracacha				
Calcular el porcentaje de reducción de los parámetros físico-químicos respecto a los valores iniciales del agua.	¿Cuál es el porcentaje de reducción de los parámetros físico-químicos respecto a los valores iniciales del agua?	El porcentaje de reducción de los parámetros físico-químicos respecto a los valores iniciales del agua será mayor o igual a 90%.					

A2. Nomenclatura de términos científicos

mg/L	:	miligramos/litro
rpm	:	revoluciones por minuto
H ₂ SO ₄	:	Ácido sulfúrico
NTU	:	Unidad nefelométrica de turbidez
Al ₂ (SO ₄) ₃	:	Sulfato de aluminio (SA)
AAN	:	Almidón de arracacha nativo
TON	:	Tonelada métrica
TDS	:	Sólidos disueltos totales
Abs	:	Absorbancia
nm	:	nanometros
ppm	:	partes por millón
t	:	Tiempo de sedimentación
CaCO ₃	:	Carbonato de calcio
%p/v	:	Porcentaje peso/volumen
T ₀	:	Turbidez inicial

A3. Rendimiento del almidón obtenido

Rendimiento del almidón	
Masa inicial de la arracacha	5152.5 g
Masa de la arracacha luego del lavado	5072.8 g
Masa de la arracacha luego del pelado	4037.2 g
Masa de merma	1035.6 g
Masa de arracacha luego del molido	2934.0 g
Masa de líquido residual	2003.2 g
Masa de la torta luego del filtrado	930.8 g
Almidón obtenido luego del secado	928.6 g
Rendimiento	18.02 %

A4. Evaluación de costos y proyección de producción del almidón de arracacha

Costos	
Costo de 1 kg de arracacha	\$ 2.50
Costo de 180.2 g de almidón	\$ 2.50
Costo de 100 g de almidón	\$ 1.40

Costo de 1 kg de arracacha	Costo de 100 gramos de almidón
\$ 2.50	\$ 1.40

Costo de 100 g de alumbre	Costo de 100 gramos de almidón
\$ 1.00	\$ 1.40

Producción anual de arracacha	21500 Ton
-------------------------------	-----------

Cantidad de almidón = 21500 Ton x 0.1802 = 3874.3 Ton

ALMIDÓN QUE PODRÍA OBTENERSE	3874.3 Ton
------------------------------	------------

A5. Evaluación de alumbre a los diferentes parámetros

Alumbre					
Velocidad	Concentración (ppm)	Absorbancia (420 nm)	TDS (mg/L)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	pH
100 rpm	50	0.010	407	80	7.2
	100	0.015	425	80	7.4
	150	0.061	417	60	7.3
	200	0.052	432	60	7.5
150 rpm	50	0.013	448	100	7.8
	100	0.036	436	80	7.7
	150	0.023	460	80	7.8
	200	0.043	462	80	7.8
200 rpm	50	0.040	427	80	7.6
	100	0.097	441	80	7.4
	150	0.074	451	80	7.5
	200	0.081	455	60	7.6

A6. MSDS del ácido sulfúrico



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: ACIDO SULFURICO
Fecha de Revisión: Agosto 2014. Revisión N°3



SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

PRODUCTO

Nombre Químico: ACIDO SULFURICO – H₂SO₄
Número CAS: 7664-93-9
Sinónimos: Acido de vitriolo, Acido fertilizante, Sulfato de Hidrogeno, Acido de batería.

COMPañÍA: GTM

Teléfonos de Emergencia

México : +55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00
Guatemala: +502 66285858
El Salvador: +503 22517700
Honduras: +504 2540 2520
Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSa: +505 22897395
Costa Rica: +506 25370010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028
Panamá: +507 5126182 – Emergencias 9-1-1
Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
Perú: +511614 65 00
Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
Argentina +54 115031 1774

SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

H ACIDO SULFURICO 7664-93-9 98% Acido Puro

SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 8, Corrosivo
Clasificación NFPA: Salud: 3 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 2

agua directo (puede salpicar y reacciona violentamente). Sólo use agua para mantener fríos los contenedores cercanos al fuego. De ser posible evite que el líquido alcance drenajes, ríos, etc., formando diques de arena o tierra.

Condiciones que conducen a otro riesgo especial: Fuentes de ignición cercanas. Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos generando calor.

Productos de la combustión nocivos para la salud: Vapores de combustión altamente tóxicos. Emite SO_2 y SO_3 . En contactos con metales genera H_2 , el cual es altamente explosivo.

SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Proceda con precaución, restrinja el área cercana al derrame. Use equipo de protección personal. Conténgalo con diques, pueden ser de tierra o de arena, evitando que alcance drenajes, ríos, etc. Manténgase a favor del viento. No se toque directamente. Opere con equipo de protección personal completo (ropa antiácida y equipo de protección respiratoria). El contacto con metales produce gas hidrogeno, el cual es potencialmente inflamable y explosivo. Trasvase de ser posible para su posterior disposición o neutralícelo con cal u otro material alcalino, hágalo con precaución, puede reaccionar violentamente.

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Almacene en lugares frescos, manteniendo buena ventilación, sepárelo de combustibles o materiales reactivos, cloratos, fulminatos, nitratos, metales, explosivos. Es importante mantenerlo resguardado con diques de ladrillo antiácido; para contención se almacena en recipientes de acero al carbón. Use su equipo de protección respiratoria y ropa antiácido cuando opere con él. En caso de reparaciones en tanques de acero al carbón que hayan contenido ácido sulfúrico, efectuar la prueba de explosividad, usando el explosímetro especial para gas hidrógeno, ya que éste gas puede estar presente y causar explosión.

SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

Protección respiratoria: Mascarilla para vapores ácidos / línea de aire respirable.

Protección de los ojos y rostro: Goggles, careta facial con lentes o capucha antiácida completa.

Protección de la piel: Guantes de neopreno o PVC.

Otros: Botas de hule, equipo completo antiácido. A concentraciones desconocidas o arriba de 50 mg/m^3 , en caso de incendio, utilice equipo de respiración autónomo.

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Temperatura de Ebullición:	330 °C
Temperatura de Inflamación:	No es inflamable
Temperatura de Autoignición:	No aplica
Densidad relativa (agua = 1):	1.84
Densidad de vapor (aire = 1):	No registrado
Peso molecular:	98.1

Color:	Incoloro
Olor:	Irritante característico
Solubilidad en el agua:	Muy soluble
Presión de vapor (mm Hg) a 20 °C:	0.001 Puede emitir humos
Limites de inflamabilidad:	No es explosivo

Otros datos: Líquido viscoso, incoloro, higroscópico. Este ácido es un fuerte oxidante, reacciona violentamente con combustible. Cuando se disuelve en agua es un ácido fuerte que reacciona violentamente con las sustancias causticas y es corrosivo. Reacciona con muchos metales formando gas inflamable (Hidrogeno). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos generando calor, ataca la ropa, madera y otros materiales (carbonizándolos).

SECCION 10 : ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Sustancia:	Estable
Condiciones a Evitar:	Contacto con todos los metales, oxidantes, álcalis fuertes, cloratos, nitratos, acetocianhidrina, acetona y otros compuestos orgánicos.

SECCION 11 : INFORMACION TOXICOLOGICA

TLV (como TWA): 1 mg/m³ (ACGIH 1993-1994).
TLV (como STEL): 3 mg/m³ (ACGIH 1993-1994).

SECCION 12 : INFORMACION ECOLOGICA

COMPORTAMIENTO EN EL AMBIENTE

Movilidad o Dispersión:	Producto altamente soluble en agua.
Persistencia / Degradabilidad:	Producto mineral reactivo / no degradable
Bioacumulación:	No bioacumulable
Ecotoxicidad:	En general pH de 5 o menos es mortal.

SECCION 13 : CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

Tratamientos de residuos:	Tratar según legislación vigente
Eliminación de envases:	Lavar y descartar según legislación vigente

SECCION 14 : INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

ONU
UN: 1832
Corrosivo

A7. Certificado de calibración del equipo HQ40 - Ph



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 018



Registro N° LC - 018

LAB. FÍSICO QUÍMICA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LFQ - 119 - 2019

Pág. 2 de 2

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de Físico Química (Jr. Antonio Cabo N° 596, Los Olivos - Lima).

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Método de comparación directa, Según el procedimiento PC-022 "Procedimiento para la Calibración de Conductímetros"; Primera edición, Setiembre 2014, SNM - INDECOPI.

PATRONES DE REFERENCIA

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Análisis
Material de referencia del NIST-EEUU	MRC de 9,92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con valor de incertidumbre de 0,55 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25 °C)	CONTROL COMPANY , Certificado N° 4175-9899505
Material de referencia del NIST-EEUU	MRC de 98,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con valor de incertidumbre de 2,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25 °C)	CONTROL COMPANY , Certificado N° 4176-9626950
Material de referencia del NIST-EEUU	MRC de 1411 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con valor de incertidumbre de 4,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25 °C)	CONTROL COMPANY , Certificado N° 4173-9915391

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia del INACAL/DM	Termómetro digital con valor de incertidumbre de 0,025 °C (en 25°C)	INACAL/DM , Certificado N° LT-312-2018

CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	25,0	25,1
Humedad Relativa (%HR)	64,4	64,2

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Indicación del conductímetro	Valor de referencia	Error de indicación	Incertidumbre
10,52 $\mu\text{S}/\text{cm}$	9,92 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0,56 $\mu\text{S}/\text{cm}$
97,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$	98,80 $\mu\text{S}/\text{cm}$	-1,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$	2,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$
1 420 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1 411 $\mu\text{S}/\text{cm}$	9 $\mu\text{S}/\text{cm}$	6 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Notas

- Valor de la Constante de celda usada en la calibración es $K = 0,393 \text{ l}/\text{cm}$
- La calibración fue realizada a 25 °C sin utilizar el factor de compensación de temperatura.

FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

A8. Certificado de calibración del equipo HQ40 – Conductividad



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 018



Registro N° LC - 018

		LAB. FÍSICO QUÍMICA	
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN			
LFQ - 119 - 2019			
Pág. 1 de 2			
EXPEDIENTE	E19062429	<p><i>La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura de aproximadamente k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre de la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95% de confianza. Los resultados reportados son válidos sólo para el objeto calibrado y corresponden a las condiciones y momento en que se realizó la calibración y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de productos. Al solicitante y/o usuario le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición. Nuestros certificados de calibración sin firmas y sello carecen de toda validez alguna.</i></p> <p>Observaciones: (*) Alcance para el parámetro de conductividad. El equipo posee múltiples parámetros y resoluciones, según el manual del fabricante (**) Resolución observada durante la calibración para el parámetro de conductividad: 0,01 uS/cm (0,0 uS/cm a 19,99 uS/cm); 0,1 uS/cm (20,0 uS/cm a 199,9 uS/cm); 1 uS/cm (200,0 uS/cm a 1999,0 uS/cm) (***) Cód. De identif.: C-03 (indicado en una etiqueta ubicada en el mango del medidor)</p>	
SOLICITANTE	INSTITUTO DE EDUCACION AMBIENTAL S.A.C.		
DIRECCIÓN	Cal. Pacífico Mza. 29 Lote 9 A.H. Nuevo Lurín, Lurín - Lima - Lima.		
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	MEDIDOR MULTIPARÁMETRO		
INFORMACIÓN DEL INDICADOR			
MARCA	HACH		
MODELO	HQ40d		
NÚMERO DE SERIE	121100080893		
INTERVALO DE INDICACIONES	0,01 µS/cm a 200,0 mS/cm (*)		
RESOLUCIÓN	0,01 uS/cm; 0,1 uS/cm; 1 uS/cm (**)		
INFORMACIÓN DE LA CELDA			
MARCA	HACH		
MODELO	CDC401		
NUMERO DE SERIE	171212588002 (***)		
PROCEDENCIA	USA		
UBICACIÓN	No indica		
FECHA DE CALIBRACIÓN	2019-06-26		
TEMP. DE REFERENCIA	25 °C		
SELLO	FECHA DE EMISIÓN	JEFE DE LABORATORIO	GERENTE DE OPERACIONES
	2019-06-26	Alexander Alza Zamudio	Wilmer Mena Chavez

Jr. Antonio Cabo N° 596, Urb. el Trébol - Los Olivos / Teléfono: 6224288, servicios@gesmin.pe, ventas@gesmin.pe / www.gesmin.pe.
El certificado se publica o reproduce en forma completa y sin modificaciones