



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO
SOSTENIBLE



TESIS

**EXTRACCIÓN DE COAGULANTES DE CACTÁCEAS POR LIOFILIZACIÓN PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUA DE CONSUMO HUMANO**

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y
DESARROLLO SOSTENIBLE

Presentado por lá:

Maestro en Ingeniería Civil Mención
Recursos Hídricos y Medio Ambiente.

Yudith Choque Quispe

Asesor:

Dra. Mery Luz Masco Arriola

CUSCO - PERÚ

2021



DEDICATORIA

A mi familia por su apoyo incondicional, para lograr el desarrollo de mi vida académica.



AGRADECIMIENTOS

A mis asesora la Dra. Mery Luz Masco Arriola, por brindarme su apoyo incondicional para la ejecución y culminación de la investigación

A la Universidad Nacional José María Arguedas de Andahuaylas, por permite el acceso a los laboratorios, equipos e instrumentos para el desarrollo del trabajo de investigación

A los docentes del programa de doctorado de la Universidad Andina del Cusco, quienes durante mi estadía en clases permitieron aclarar mis dudas para la conclusión de la investigación.



RESUMEN

El objetivo de la investigación fue extraer coagulantes de cactáceas por liofilización para el tratamiento de agua de consumo humano. Se utilizaron dos variedades de cactáceas pencas de Nopal (*Opuntia ficus*) y San Pedro (*Echinopsis pachanoi*), las pencas fueron picadas y sometidas a liofilización y molidas hasta 250 micras; se preparó una solución de agua potable con caolín al 0.15% (agua artificial); se utilizó un arreglo factorial 3x2x2, tres niveles para el factor 1 (dosis de coagulante, 30, 40 y 50 mg/L), dos niveles para el factor 2 (velocidad de agitación, 30 y 40 RPM) y 2 niveles para el factor 3 (variedad del coagulante, Nopal y San Pedro), obteniéndose 12 tratamientos, los cuales fueron analizados en un test de prueba de jarras de marca Phipps & Bird; se evaluó la capacidad clarificante a través de la actividad floculante (AF) por absorbancia y el Porcentaje de Remoción (%R), así mismo se determinó los parámetros fisicoquímicos del agua tratada como el pH y la Conductividad (con electrodo selectivo), turbidez y Dureza (método colorimétrico); Los datos fueron reportados por triplicado, analizándose la normalidad, se aplicó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de significancia, a través del software Statgraphics. Los resultados obtenidos para el rendimiento de extracción del coagulante liofilizado fue de 3.29 ± 0.25 % para la variedad San Pedro y 7.13 ± 0.32 %; para la variedad Nopal, El efecto de la velocidad de agitación, dosis y variedad de coagulante de cactáceas en la capacidad clarificante fue evaluada a través de la actividad floculante y el Porcentaje de Remoción, respecto a la actividad floculante se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, por otra parte el efecto de la variedad Nopal, mayor dosis de coagulante y menor velocidad de agitación presentó mejor actividad floculante, del mismo modo el Porcentaje de Remoción presentó diferencia significativa entre los tratamientos, además el efecto de la variedad Nopal, mayor dosis de coagulante y menor velocidad de agitación presentaron un mayor Porcentaje de Remoción (99.35%) de remoción de sólidos. El efecto de la velocidad de agitación, dosis y variedad de coagulante de cactáceas en los parámetros fisicoquímicos del agua tratada fue evaluado a través del pH, Turbiedad, Dureza y Conductividad; el pH disminuyó considerablemente respecto a su valor inicial, sin embargo empleando una menor dosis de coagulante, menor velocidad de agitación y variedad San Pedro el pH se mantiene casi neutro, en cambio la Turbiedad reportó valores altos comparados con el valor inicial, sin embargo a mayor dosis, mayor velocidad y variedad Nopal se obtienen valores cercanos al inicial, por otra parte la Dureza y la Conductividad disminuyeron considerablemente respecto al valor inicial.

Palabras clave: *Nopal, San Pedro, actividad floculante, remoción, fisicoquímicas.*



ABSTRACT

The objective of the research was to extract coagulants from cacti by lyophilization for the treatment of water for human consumption. Two varieties of Nopal (*Opuntia ficus*) and San Pedro (*Echinopsis pachanoi*) cacti were used. The leaves were minced and subjected to freeze-drying and ground to 250 microns; A drinking water solution with 0.15% kaolin (artificial water) was prepared; A 3x2x2 factorial arrangement was used, three levels for factor 1 (coagulant dose, 30, 40 and 50 mg / L), two levels for factor 2 (stirring speed, 30 and 40 RPM) and 2 levels for factor 3 (variety of the coagulant, Nopal and San Pedro), obtaining 12 treatments, which were analyzed in a test test of Phipps & Bird brand jars; The clarifying capacity was evaluated through the flocculant activity (AF) by absorbance and the removal percentage (% R), likewise the physicochemical parameters of the treated water were determined such as pH and Conductivity (with selective electrode), turbidity and Hardness (colorimetric method); The data were reported in triplicate, analyzing normality, an analysis of variance and a Tukey mean comparison test at 5% significance was applied, through the Statgraphics software. The results obtained for the extraction performance of the lyophilized coagulant were $3.29 \pm 0.25\%$ for the San Pedro variety and $7.13 \pm 0.32\%$; For the Nopal variety, the effect of the agitation speed, dose and variety of cactus coagulant on the clarifying capacity was evaluated through the flocculant activity and the removal percentage, with respect to the flocculant activity it was observed that there is a significant difference between The treatments, on the other hand, the effect of the Nopal variety, higher coagulant dose and lower agitation speed presented better flocculant activity, in the same way the removal percentage presented a significant difference between the treatments, in addition the effect of the Nopal variety, greater Coagulant dose and lower stirring speed showed a higher percentage of removal (99.35% removal of solids. The effect of stirring speed, dose and variety of cactus coagulant on the physicochemical parameters of the treated water was evaluated through pH, Turbidity, Hardness and Conductivity; the pH decreased considerably with respect to its initial value, if However, using a lower dose of coagulant, lower stirring speed and Nopal variety, the pH remains almost neutral, on the other hand, Turbidity reported high values compared to the initial value; however, at higher doses, higher speed and Nopal variety, close values are obtained. to this, on the other hand, Hardness and Conductivity decreased considerably with respect to the initial value.

Keywords: *Nopal, San Pedro, flocculant activity, removal, physicochemical.*



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
LISTADO DE ABREVIATURAS	xi
CAPITULO 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4. OBJETIVOS	5
1.5. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	5
CAPITULO 2	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS.....	7
2.2. BASES TEÓRICAS.....	14
2.2.1. EL AGUA EN EL PERÚ	14
2.2.2. VULNERABILIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	14
2.2.3. TRATAMIENTOS PARA REMOCIÓN DE MATERIA EN SUSPENSIÓN.....	15
2.2.4. COAGULACIÓN.....	17
2.2.5. FLOCULACIÓN.....	19
2.2.6. LIOFILIZACIÓN.....	22
2.2.7. LAS CACTACEAS	24
2.2.8. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUA DE CONSUMO	27
2.2.9. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA DE CONSUMO..	28
2.3. HIPÓTESIS.....	28
2.4. VARIABLES.....	29
2.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	31
CAPITULO 3	33



MÉTODO.....	33
3.1. ALCANCE DEL ESTUDIO.....	33
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	33
3.3. POBLACIÓN.....	33
3.4. MUESTRA.....	34
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	34
3.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	35
3.7. PLAN DE ANÁLISIS DE DATOS.....	36
CAPITULO 4.....	40
RESULTADOS.....	40
4.1. ANÁLISIS DE NORMALIDAD DE LOS DATOS.....	40
4.2. RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE COAGULANTES.....	40
4.3. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DOSIS Y VARIEDAD EN LA CAPACIDAD CLARIFICANTE.....	41
4.4. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DOSIS Y VARIEDAD EN PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA TRATADA.....	47
CAPITULO 5.....	62
DISCUSIÓN.....	62
5.1. RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE COAGULANTES.....	62
5.2. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DOSIS Y VARIEDAD EN LA CAPACIDAD CLARIFICANTE.....	62
5.3. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DOSIS Y VARIEDAD EN PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA TRATADA.....	64
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS.....	77



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Consumo promedio de agua familiar	20
Tabla 2: .Límites máximos permisibles de parámetros de agua.....	35
Tabla 3: Estándares de calidad ambiental para agua	35
Tabla 4: Operacionalización de variables	37
Tabla 5: Matriz de diseño experimental.....	40
Tabla 6: Parámetros de calidad del agua tratada	36
Tabla 7: Rendimiento de extracción y pH de cactaceas	40
Tabla 8: Actividad Floculante de los coagulantes	41
Tabla 9: ANOVA para efectos e interacción para la Actividad Floculante	42
Tabla 10: Remoción (%) de los coagulantes	51
Tabla 11: ANOVA para efectos e interacción para la remoción	52
Tabla 12: pH del agua tratada.....	48
Tabla 13: ANOVA para efectos e interacción para el pH del agua tratada	49
Tabla 14: Turbiedad (NTU) del agua tratada.....	51
Tabla 15: ANOVA para efectos e interacción para la Turbiedad del agua tratada	51
Tabla 16: Dureza (mg CaCO ₃ /L) del agua tratada	62
Tabla 17: ANOVA para efectos e interacción para la Dureza del agua tratada.....	56
Tabla 18: Conductividad (μS/cm) del agua tratada	58
Tabla 19: ANOVA para efectos e interacción para la Conductividad del agua tratada ...	59



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Coagulación por adsorción.....	21
Figura 2. Coagulación por barrido	22
Figura 3. Diagrama de Presión-Temperatura de los estados del agua	23
Figura 4. Cactácea Echinopsis pachanoi, San Pedro.....	26
Figura 5. Cactacea Opuntia ficus, Nopal.....	27
Figura 6. Diagrama de medias para la Actividad Floculante	42
Figura 7 Efectos principales para la Actividad floculante.....	43
Figura 8 Diagrama de Interacciones para la Actividad Floculante	43
Figura 9. Diagrama de Pareto estandarizada para actividad floculante.....	44
Figura 10. Diagrama de medias para el Porcentaje de Remoción.....	45
Figura 11. Efectos principales para el Porcentaje de Remoción	46
Figura 12. Diagrama de Interacciones para el Porcentaje de Remoción.....	46
Figura 13. Diagrama de Pareto estandarizada para Porcentaje de Remoción	47
Figura 14. Diagrama de medias para el pH	48
Figura 15. Efectos principales para el pH.....	49
Figura 16. Diagrama de Interacciones para el pH.....	50
Figura 17. Diagrama de Pareto estandarizada para el pH	50
Figura 18. Diagrama de medias para la Turbiedad.....	52
Figura 19. Efectos principales para la Turbiedad	53
Figura 20. Diagrama de Interacciones para la Turbiedad.....	53
Figura 21. Diagrama de Pareto estandarizada para Turbiedad	54
Figura 22. Diagrama de medias para la Dureza	55
Figura 23. Efectos principales para la Dureza	56
Figura 24. Diagrama de interacción para Dureza.....	57
Figura 25. Diagrama de Pareto estandarizada para Dureza	57
Figura 26. Diagrama de medias para la Conductividad	59
Figura 27. Efectos principales para la Conductividad	60



Figura 28. Diagrama de Efectos de interacción para Conductividad	60
Figura 29. Diagrama de Pareto estandarizada para Conductividad.....	61



LISTADO DE ABREVIATURAS

%R, Porcentaje de Remoción

AF, actividad floculante

ANOVA, análisis de varianza

C, concentración de coagulante

Cond, Conductividad

D, Dureza

DIGESA, Dirección General de Salud Ambiental

ECA, Estándares de Calidad Ambiental

g, gramo

LMP, Límites Máximos Permisibles

MINAM, Ministerio del Ambiente

Msnm, metros sobre el nivel del mar

nm, nanómetros

NTU, unidades técnicas Nefelométricas

pH, potencial de hidrogeniones

p-value, probabilidad evaluada

R², coeficiente de correlación ajustada

RPM, revoluciones por minuto

s, desviación estándar

T, Turbiedad



CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Las cactáceas constituyen una de las familias botánicas más abundantes en el Perú, encontrándose en todos los pisos altitudinales, en una gran cantidad de géneros y especies. Es así que desde tiempos remotos las cactáceas han sido importantes y han estado ligadas a una gran cantidad de culturas y pueblos latinoamericanos, y en muchas partes del mundo se hace uso de estas de muy distintas maneras, algunas alimenticias otras forrajeras y otras son importantes por sus propiedades medicinales. Otros de los usos y aplicaciones que encuentra son la clarificación de aguas, como polímeros naturales.

Los polímeros naturales son aquellos que se producen debido a las reacciones bioquímicas naturales de animales y plantas. Estos polímeros son complejos en su composición química, están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos y proteínas. Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes y en muchos lugares son usados en forma empírica por los nativos para aclarar el agua turbia con resultados satisfactorios.

Actualmente las comunidades en general enfrentan el reto de tratar las aguas para sus diferentes servicios, es así que, en la actualidad, el creciente interés por el tema ambiental y de salud pública, los estándares internacionales de calidad y medio ambiente ha motivado el surgimiento de nuevas normas que implican una evaluación de los procesos existentes del tratamiento de aguas y una mayor exigencia ambiental a los nuevos proyectos.

El continuo desarrollo tecnológico e investigativo nos obliga a evolucionar los procesos de tratamientos de aguas. Es importante evaluar nuevos productos que han sido desarrollados con el fin de mejorar el proceso de tratamientos de aguas en general, como también dar a conocer importantes desarrollos tecnológicos en cuanto a nuevos equipos y diferentes alternativas para el tratamiento del agua cruda. Todo esto con el fin de dar un diagnóstico de las propuestas que se pretenden plantear.

La clarificación incluye los procesos de coagulación–floculación, donde la coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante. Los coagulantes poseen iones cargados positivamente como Al^{3+} o Fe^{3+} que cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo la aglomeración y la formación de coágulos que inicialmente son pequeños (Kelderman y Kruis, 2001). La floculación por su parte, consiste en la aglomeración de las partículas desestabilizadas, que



forman pequeñas masas con una densidad específica mayor que la del agua, por lo que sedimentan y permiten que haya una remoción de partículas coloidales y suspendidas del 80 a 90% de durante su potabilización (Degremont 1996). Además de esto, este proceso reduce también la turbidez del agua, y parcialmente remueve el color, bacterias (80 a 90%) y virus (Romero y Vargas, 2006).

La selección del coagulante y del floculante es muy importante a la hora de tratar agua, ya que de esto va a depender la eficacia del tratamiento. Entre los coagulantes más usados se tiene el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y sulfato ferroso; entre otros (Andía 2000).

El coagulante más usado es el sulfato de aluminio, el cual presenta muy buenos resultados en cuanto a la remoción de contaminantes, sin embargo, el impacto económico debido a su uso es muy alto. Además, su uso genera grandes cantidades de lodos de desecho, los cuales son difíciles de tratar (Donato *et al.* 2006), y los altos niveles de aluminio remanente en las aguas tratadas ponen en riesgo la salud pública debido a que en grandes concentraciones pueden ser causantes del síndrome de Alzheimer, lo cual ha sido demostrado en investigaciones médicas realizadas en Inglaterra, donde se ha encontrado que el riesgo de contraer esta enfermedad es 1,5 veces mayor en aquellos sitios donde las concentraciones de aluminio en el agua exceden los 0,110 mg/l (González *et al.*, 1991). Por otra parte, los lodos remanentes generan tierras inertes no aptas para algún cultivo.

De otro lado, debido a los problemas que presenta el uso de coagulantes, que fueron mencionados anteriormente, es de suma importancia usar floculantes en el tratamiento del agua, ya que estos por su naturaleza de acción, son ayudantes de la coagulación, por lo que reducen en un alto grado la dosis requerida de coagulante durante este proceso, reduciendo los efectos negativos de su uso. Así, su uso es necesario dado que implica una gran disminución en los costos de tratamiento del agua y en la generación de lodos residuales, además de disminuir las posibilidades de enfermedades debidas a la presencia de aluminio residual en el agua (Ramírez y Velásquez, 2006).

Entre la amplia gama de productos naturales estudiados y probados, se han encontrado diversas fuentes de polímeros, por ejemplo de origen vegetal como los almidones extraídos de maíz, papa y yuca (Arboleda, 2000) (Picado 1984), en los extractos de semillas, hojas y corteza de algunas plantas como por ejemplo al utilizar el cotiledón de las semillas de *Moringa oleífera Lam*, polímeros extraído de las pencas de la tuna (Martínez *et al.*, 2003) y en productos de origen animal como el quitosano (Spinelli 2001).



En nuestro país existen números especies vegetales con características coagulantes y floculantes siendo una de ellas las que pertenecen a la familia de las cactáceas, de los cuales son usados sus extractos que contienen polímeros y proteínas con esa funcionalidad.

Por ello, la introducción de los floculantes naturales, que sean de bajo costo, fácil obtención, baja toxicidad, renovables y amigables ambientalmente son una tecnología necesaria en países en como Perú.

No obstante estos polímeros naturales presentan la desventaja de que al utilizarlos sin purificar y sin una extracción adecuada, introducen compuestos solubles y aportan una gran carga de materia orgánica oxidante al agua, lo que interfiere en el proceso de potabilización (Arboleda, 2000) (Okuda *et al.* 2001). Se ha encontrado que extractos acuosos de tuna y mozote aplicados como ayudantes de coagulación del sulfato de aluminio en agua artificial, han dejado el agua tratada con valores de DQO (como indicador de materia orgánica soluble) superiores al tratamiento convencional donde se aplicó un polímero catiónico sintético como floculante (Jiménez *et al.* 2010).

Es así que este proyecto tuvo como objetivo determinar cuál es el efecto de la velocidad de agitación y dosis de coagulantes de cactáceas extraídas por liofilización en la capacidad clarificante y parámetros fisicoquímicos del agua tratada para consumo humano.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿En qué medida es posible extraer coagulantes de cactáceas por liofilización para el tratamiento de agua de consumo humano?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cuál es el rendimiento de extracción de coagulantes por liofilización de dos especies de Cactáceas?
2. ¿Cuál es el efecto de la velocidad de agitación, dosis y variedad de coagulante de cactáceas en la capacidad clarificante del agua tratada?
3. ¿Cuál es el efecto de la velocidad de agitación, dosis y variedad de coagulante de cactáceas en los parámetros fisicoquímicos del agua tratada?



1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Conveniencia

Naturalmente el agua contiene sales, materiales solubles y sólidos; posee partículas coloidales cargadas negativamente, con gran estabilidad en disolución y con capacidad para modificar propiedades físicas y químicas como la coloración (Guzmán *et al.*, 2005)

La investigación permitió conocer la capacidad clarificante de coagulantes liofilizados de las cactáceas de las variedades Nopal (*Opuntia ficus*) y San Pedro (*Echinopsis pachanoi*), en el tratamiento de agua para consumo humano.

1.3.2. Relevancia social

Durante el tratamiento de aguas a través de la floculación, se utilizan sales de aluminio y cromo (Gomella y Guerree, 1977), los residuos de estas generan problemas a la salud produciendo enfermedades como el Alzheimer (González *et al.*, 1991), el uso de estos coagulantes liofilizados evitaría la diseminación de sustancias contaminantes en el agua, proveyéndose agua segura a los consumidores.

1.3.3. Implicancias prácticas

El conocimiento de la capacidad clarificante por parte de los coagulantes liofilizados de las cactáceas de las variedades Nopal (*Opuntia ficus*) y San Pedro (*Echinopsis pachanoi*), permitiría sustituir total o parcialmente los aditivos y sustancias químicas que se utilizan en el tratamiento de aguas para consumo humano, estas últimas forman tortas o sedimentos inorgánicos que contaminan el medio ambiente; de esta manera se tendría un coagulante amigable con el medio ambiente por ser biodegradable.

1.3.4. Valor teórico

La aplicación de aditivos químicos como sales de Aluminio y Cromo en el tratamiento de agua, modifican los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua, tales como el pH, Conductividad, Dureza y Turbiedad (Cornejo y Alcalde, 2010), es así que el agua de calidad es aquella que cumple con los LMP establecidos en el DS N° 031-2010-SA, de este modo conocer las dosis óptimas de los coagulantes liofilizados de las cactáceas permitirá obtener agua de calidad para el consumo humano.



1.3.5. Utilidad metodológica

La liofilización es un proceso que permite mantener intactas las propiedades funcionales de los materiales con alta humedad, y la aplicación en coagulantes de cactáceas permitirá conocer si este método mejora su capacidad floculante, ya que estos son poli electrolitos (polímeros con unidades monoméricas con grupos ionizables), los cuales pueden ser suficientemente largas y flexibles para ser adsorbidas sobre diversas partículas (García, 2005), debido a su contenido de gomas, almidones y proteínas, las cuales logran desestabilizar partículas coloidales, precipitar y agrupar sólidos suspendidos, facilitando la extracción por medio de la formación de flocs (Inchausti *et al.*, 2000).

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Extraer coagulantes de cactáceas por liofilización para el tratamiento de agua de consumo humano.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Determinar el rendimiento de extracción de coagulantes por liofilización de dos variedades de Cactáceas.
2. Evaluar el efecto de la velocidad de agitación, dosis y variedad de coagulante de cactáceas en la capacidad clarificante del agua tratada.
3. Evaluar el efecto de la velocidad de agitación, dosis y variedad de coagulante de cactáceas en los parámetros fisicoquímicos del agua tratada.

1.5. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

1.5.1. Delimitación espacial

El presente estudio se realizó en la ciudad de Andahuaylas, Apurímac, de donde se tomó las muestras del material vegetal, del mismo modo la parte experimental la cual se realizó en el laboratorio de investigación de control y análisis de aguas de la Universidad Nacional José María Arguedas.



1.5.2. Delimitación temporal

El desarrollo de la investigación se desarrolló entre junio 2018 a junio 2019, el cual comprendió la fase de preparación del proyecto de investigación, recolección de materia prima, extracción y tratamiento de coagulantes, el proceso experimental de floculación, análisis y tratamiento de datos, y la redacción del informe final de tesis.



CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS

2.1.1. Antecedentes internacionales

Ortiz et al. (2018), realizaron la investigación titulada almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. se plantearon el objetivo de determinar la eficiencia de remover diferentes parámetros del tratamiento de agua residual, se utilizó un procedimiento de coagulación con almidones de yuca más floculantes coagulantes de sulfato de aluminio y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, para poder encontrar cantidades recomendables de polímero y coagulantes que remuevan mejor la Turbidez y color. Se utilizaron 216 muestras de agua residual: 54 para conocer la dosis recomendada del coagulante. La resultante más efectiva del trabajo fue la mezcla de 250 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y 750 mg/L de almidón de yuca, la Turbidez al inicio fue de 24 NTU y 958 CU de color inicial. Logrando una remoción del 75 % de Turbidez y 78 del color, logrando una turbidez final de 6 NTU y 210 CU de color final. La mezcla segunda consistió en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en una proporción de 250 mg/L-1 de y almidón en 250 mg/L, logrando una turbidez de 23.9 NTU y 1430 CU de color inicial. Por otra parte la mezcla logro remover 34.3 % de turbidez y 67.6 % de color, finalmente la turbidez llego a 15.7 NTU y 453 CU de color.

Quiros, et al. (2010); Su investigación consistió en la Extracción de polímeros y su análisis que se obtienen de bienes naturales, que serán utilizados como posibles floculantes en el proceso de procedimiento de agua para dispendio .realizado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Se plantearon el objetivo de establecer, las peculiaridades y evaluar las potencialidades ambientales, técnicas, y económicas utilizando tres productos naturales como floculantes para el tratamiento de agua logrando determinar la eficacia la moringa (*Moringa oleifera*), tuna (*Cactus lefaria*) y mozote de caballo (*Triumfetta semitriloba*), para remover materia en suspensión. Se utilizó agua con caolín, con una porción de turbidez, logrando disoluciones de moringa 0,25 molar que removieron 90 % de turbidez.

Contreras et al (2015). Realizaron la investigación “El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua”, el estudio fue para determinar la eficiencia del Nopal como complemento del sulfato de aluminio, en el tratamiento del agua Se utilizó la Prueba de jarras, considerando la cantidad de coagulantes, Celeridad de agitación y pH ; para comprobar la turbiedad (NTU), STD (mg/L), color (UPC), pH y C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$).



Se encontró que al utilizar una proporción de 20 % de Nopal y una celeridad de agitación igual a 200 rpm, la turbiedad se comprime a valores menores de 2 NTU, logrando una eficiencia mayor al 50 % removiendo la turbiedad, también se redujo completamente el color a 0 UPC, y la cantidad de STD fue de valores inferiores a 200mg/L. el coagulante utilizado no influyo en el pH sin embargo la Conductividad incremento en ciertos tratos Concluyendo que el Nopal como coagulante agregado al sulfato de aluminio si tiene efecto en la claridad del agua.

Moscoso (2015), realizaron la investigación titulada uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización, el estudio se realizó en la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulico de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Se planteó como objetivo atinar el proporción del sulfato de aluminio suplido por almidón de yuca en el proceso de floculación y coagulación, en la potabilización La Metodología empleada fue de aislar el almidón de yuca; los desiguales niveles de Turbiedad se lograron utilizando caolín, hasta obtener Turbiedades que van de 0 a 1000 NTU. Como resultado encontró que la cantidad óptima de sulfato de aluminio fue 70 mg/litro, reemplazando el sulfato de aluminio por almidón de yuca en cantidades del 20 %, posteriormente se realizaron 60 pruebas donde evidencio que es posible suplir hasta un 40 % por almidón de yuca para conseguir valores menores a 5 NTU, Concluyendo que los valores de reemplazo repercuten ser elevados para la utilización del producto natural, la investigación económica de la utilización del productos a base de yuca no disminuye los costos, al contradictorio, extendería los costos de operación durante la potabilización.

Herrera (2015), desarrollo la investigación titulada evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domésticas, la investigación se desarrolló en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Se plantearon objetivos para valuar la coagulación de agua residual, adicionando un floculante coagulante natural proveniente de la fécula de papa durante el proceso de clarificación de aguas domésticas, En la Metodología: el almidón nativo se cambió químicamente mediante oxidación, caracterizándolos por FTIR y MEB, se utilizaron tratamientos de simulación para saber la dosis óptima, y se evaluaron la turbiedad y color. Resultando que el almidón de papa, como opción técnica viable de floculación-coagulación. Concluyendo que utilizar el almidón modificado es una alternativa de tecnología que se puede adaptar es viable y flexible a las operaciones del PTAR tradicionales.



López-Vidal et al., (2014), efectuaron el trabajo sobre la valoración de almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) como colaboradores en la eliminación de Turbiedad durante la potabilización, Planteándose objetivos para emplear almidones modificados de malanga coadyuvantes en los procesos de floculación coagulación durante la potabilización La Metodología que emplearon fue utilizar tres variedades de almidones cambiados a partir del almidón nativo fosfatado, pregelatinizado y entrecruzado. Evaluando cuan eficiente es en la clarificación de agua. Se llegó a resultados que mostraron que no hay diferencia significativa con el almidón y las modificaciones de almidón a la hora de tratar la turbiedad, reportando un máximo eliminación de Turbiedad de 95% manipulando 15 mg/L de almidón nativo mezclado con 35mg/L de $Al_2(SO_4)_3$. La eliminación alcanzo hasta un 99.2% máxima de color con una dosis de 25 mg/L de almidón fosfatado de malanga con 25mg/L de sulfato. Concluyendo que el uso de productos naturales y sostenibles como los almidones de malanga permiten utilizar cantidades pequeñas de $Al_2(SO_4)_3$ en los tratamientos de agua.

Trujillo et al. (2014). Ejecutaron la investigación acerca de la remoción de Turbiedad en agua utilizando floculación/ coagulación aplicando fécula de plátano, planteándose de objetivo el análisis de la eliminación de Turbiedad del agua durante la floculación/ coagulación, utilizando fécula de plátano. Se empleó un diseño para determinar la cantidad de coagulante, celeridad de mezcla rápida, celeridad de mezcla lenta y pH, resultando que la remoción de la turbidez de logra con valores de 50:50 porcentaje de peso de la mezcla sulfato de aluminio/almidón de plátano, velocidad de mezcla rápida de 150 rpm, velocidad de mezcla lenta de 20 rpm. pH de 5, concluyendo que el fécula de plátano es recomendado a manera de ayudante en floculación, pero con una precipitación pausada.

Olivero *et al.*, (2013), estudiaron la remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del Nopal *Opuntia ficus-indica*. Se planteó como objetivo la remoción de la turbiedad del agua del río Magdalena, en Colombia, utilizando goma de Nopal *Opuntia ficus-indica*. Se utilizó un diseño experimental factorial; evaluando el tipo de coagulante (*Opuntia* y alumbre), la celeridad de agitación (100 y 200 rpm) y la agrupación del mismo (35 y 40 g/L), para medir la claridad se utilizó. El resultante reportado que el prototipo de coagulante influye en la claridad del agua, pero la celeridad de agitación y agrupación no influyen. Llegando a la conclusión: que utilizando alumbre (99,80%); de remoción es mayor en comparación con (93,25%).de re remoción con *Opuntia* en el río Magdalena

Solís *et al.* (2012), realizaron la investigación sobre mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales, en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Su objetivo fue de hacer comparaciones de mezclas con capacidad coagulante como él y sulfato de aluminio y (*Manihot esculenta* Crantz), las cuales podrían minimizar la cantidad de sulfato de aluminio



usado en el tratamiento de agua. Se estableció la dosis requerida del sulfato de aluminio (30 mg/L, tratamiento 1), en la clarificación de una muestra de agua de río (color de 85 CU, Turbiedad de 70 NTU y pH de 6.8). La cual se utilizó como base para desarrollar seis mezclas con diferentes constituciones de sulfato de aluminio y almidón (tratamientos 2 a 7). Para los tratamientos se calcularon tres parámetros fisicoquímicos importantes durante la coagulación y floculación: Turbiedad, color y pH. Reportando resultados que cuando el color se reduce más hay una eficiencia de 94 % el cual se alcanzó en el T2 (2 mg/L de yuca con 28 mg/L de sulfato de aluminio). Por otra parte al remover el color en los t3 y 4 (4 mg/L de yuca con 26 mg/L de sulfato de aluminio y 6 mg/L de yuca con 24 mg/L de sulfato de aluminio, proporcionalmente), son semejantes al tratamiento 1 estadísticamente. Para el caso de Turbiedad los tratamientos 1 y 2 son iguales haciendo una prueba de medias de Dunnett. Concluyendo al utilizar diferentes mezclas de almidón de yuca mejoran las condiciones cuando se trata el agua.

Ramírez *et al.*, (2011), evaluaron las propiedades floculantes de *Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus popayanensis* e *Hylocereus undatus* para clarificación de aguas, a fin de comprobar efectos floculantes. Aplicaron técnicas que cambiaron las variedades , *Heliocarpus popayanensis* , *Malvaviscus arboreus*, *Hylocereus undatus*), con una dosis de (60,50,40,30,20 y 10 ml).Encontrado como resultado que *Heliocarpus popayanensis* e *Hylocereus undatus* tienen capacidad de atrapar sólidos con un (Valor $P=0.017$), así mismo cuando se aumenta la dosis de floculante la floculación se incrementa (Valor $P=0.08$), y que cuando se almacena no se cambia los principios de floculación que tienen estas especies (Valor $P=0.7813$). Finalmente se concluye que al utilizar los floculantes naturales se logra la remoción de sólidos suspendidos del agua.

Martínez *et al.*, 2003, realizaron su investigación titulada “eficiencia del cactus lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de aguas” se planearon evaluar la eficacia del Cactus lefaria a modo de coagulante durante la clarificación de agua. Se realizaron diferentes pruebas en laboratorio usando aguas con turbiedad artificial que iban de 20 a 150 UNT para hacer una comparación con aguas que son tratadas en una planta de tratamiento. Realizaron diferentes pruebas de coagulación para el cactus con acetato de etilo, metanol y éter de petróleo. Se midieron el color, turbidez y dosis óptima. Según sus reportes indicaron que el Cactus lefaria tiene una remoción de 80 y 90%. Y que cuando el Cactus lefaria es extraído con acetato de etilo y metanol para una turbidez inicial del agua turbia de 30 y 20 UNT. Tiene mejor remoción. Llegando a la conclusión que el Cactus lefaria se consigue usar como coagulante inicial y es eficaz cuando la turbidez al inicio es igual a 30 UNT.



Vaca-Mier et al, (2014), realizaron la investigación titulada aplicación del Nopal (*Opuntia ficus Indica*) como coagulante primario de aguas residuales. Evaluaron si polvo de Nopal (*Opuntia* como coagulante primero en el proceso de tratamiento de aguas domesticas es efectivo. Utilizaron agua que provenía de un sistema de drenaje, con un pH de 6.8 a 7.1, una (DQO) inicialmente de 198 a 215 mg/L, coliformes del orden de 106 UFC/100 mL x5.1 y la Turbiedad de 289 a 367 UNT. Utilizando cantidades de 10 y 70 mg/L de Nopal en polvo con un tiempo de movimiento de 3 min a 150 rpm reposando 30 min. Logrando que la turbidez de reduzca de 65 a 92%., los coliformes al inicio se redujeron a 3.8 Log, sin embargo esta medida necesitaría un tratamiento posterior de desinfección, finalmente se logró eliminar el 37.9% de la DQO, el cual es el indicado para un tratamiento primario.

Villabona et al. (2013), realizaron la investigación Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural en el que las pencas de la planta se sometieron a operaciones de corte, pelado, secado, molienda, tamizado y despigmentado para obtener el coagulante, logrando un rendimiento de 65g de coagulante/Kg de material vegetal. A los resultados indican que la penca tiene alto porcentaje de humedad y proporciones pequeñas de saponinas, flavonoides, hierro y sales minerales de calcio; llegando a la conclusión que los metabolitos y sales no tienen poder coagulante por ser cantidades poco significativas sin embargo considera que otras especies química como el ácido poligalacturónico y compuestos algínicos son los que realmente tienen la característica biomaterial. Además avaluaron cuánto es la capacidad coagulante de la opuntia que extrajeron analizando el resultado de tres dosis en el color, la turbidez y el pH cuando se trata el agua reportando que estos coagulantes tienen la propiedad de remover 50% del color logrando 70% de aguas más claras no se alteró el pH del agua.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Silva (2017), realizo su trabajo sobre extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en coagulación-floculación de aguas turbias su objetivo consistió en obtener un rendimiento alto del mucílago de penca de tuna, para caracterizarlo y luego ver su eficiencia en el tratamiento de agua con turbiedad; obteniendo mucilago seco tipo polvo logrando el mejor rendimiento de extracción de 2.41, para esto se utilizó un diseño factorial por bloques, considerando a la turbidez inicial con niveles de 500 NTU y 1000 NTU y la concentración del mucilago con niveles de 30 ppm y 50 ppm, como factores y bloques a los tratamientos de extracción llegando a los resultados de remover la turbidez de 86 % hasta 88.9 %, cuando la turbidez inicial es igual a 1000 NTU. Llegando a la conclusión que mientras la turbidez aumenta, el Porcentaje de Remoción también se eleva, y en el trabajo se observa con la ecuación % Remoción de turbidez es igual a $0.7284 + 0.000215 \text{ Turbidez inicial} - 0.001732$.



Apaza (2013), realizó el trabajo de investigación titulada “tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa, cuyo objetivo fue desarrollar un sistema de tratamiento para la purificación de aguas que estén destinadas al riego de cultivos agrícolas. Las cuales comprendieron diferentes análisis fisicoquímicos del río Chili, también desarrollaron un sistema en laboratorio, y evaluaron el progreso del cultivo de Nopal in situ. Realizaron evaluaciones donde determinaron la capacidad floculante-coagulante del Nopal y lograron disminuir la turbiedad del agua hasta 18.34 UNT, con un pH de 7.11, utilizando una dosis del 80 %. Destacando que el extracto de Nopal como coagulante y floculante es relativamente lenta versus los coagulantes y floculantes químicos. En conclusión mencionan que cuando reduce la celeridad de la agitación y se deja en quietud la muestra hay más aclaramiento de las aguas.

Vásquez y Zapata (2019), ejecutaron la investigación sobre la predominio del tipo y dosis de productos naturales a partir de plátano verde, yuca blanca y papa amarilla, en el nivel turbidez en agua para riego. Teniendo como objetivo la influencia el tipo y dosis de almidones naturales en el grado de turbidez, en este trabajo utilizaron el agua para riego de la empresa AGUALIMA, así como almidones naturales de plátano verde, yuca blanca, y papa amarilla obteniendo partículas de aproximadamente 0.149 mm. Para obtener los almidones cortaron, licuaron los tubérculos para dejarlos precipitar en refrigeración a 4°C por tres días, eliminado el sobrenadante cada día, llegaron a obtener menor turbidez, utilizando el almidón de yuca blanca, con una turbidez al inicio de 86.8 NTU alcanzo turbidez de 13.3 NTU. Así mismo el tipo y dosis de almidón influye en el grado de turbidez.

López (2018), realizó la investigación titulada “evaluación del uso de la cactácea opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas”, el trabajo se desarrolló en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. El objetivo consistió en valorar la eficacia del cactus Opuntia ficus-indica en la remoción de la aguas conTurbias en aguas artificiales las mismas que tenían una Turbiedad al inicio de 500, 300, 100, 50,20 UNT. Emplearon métodos que consistió en determinar parámetros requeridos para un coagulante natural, por otra parte el coagulante de opuntia se cotejo con el sulfato de aluminio. Entre los resultados a los que llegaron fue que el coagulante proveniente de la opuntia logró una remoción de Turbiedad en un intervalo de 58% al 86%; y que las dosis recomendadas para tratamientos de 20, 50, 100, 300 y 500 UNT han sido de 30, 45, 55, 75 y 90 mg/L, por otra parte el pH recomendado ha sido de 9 en todos los niveles de Turbiedad. También observaron que el sulfato de aluminio funciona eficientemente para remover la turbidez en comparación con el cactus Opuntia ficus-indica, aunque este último alcanzó 86% de clarificación de turbidez 500



UNT de muestra, el trabajo llego a la conclusión que el sulfato de aluminio remueve mejor el color al compáralo con el coagulante natural, pero el uso de sulfato de aluminio aumenta la Conductividad y disminuye el pH, pero al utilizar Opuntia no se observaron desviaciones en el pH ni en la Conductividad.

Chávez et al. (2019), realizaron la investigación titulada “proceso de obtención y evaluación de la eficiencia del almidón del plátano de seda (*Musa acuminata* AAA) para la coagulación – floculación de las aguas superficiales del río Puchca – Ancash, Perú”, a nivel de laboratorio. Esta investigación tuvo como objetivo sacar fécula de plátano y valorar su poder durante la floculación y coagulación de agua del Rio Puchca. Con la fécula de plátano lograron rendimientos de 60.52%, Los resultados indicaron que las dosis recomendadas de composición de almidón de plátano– sulfato de aluminio fueron de 50%, logrando porcentajes de Remoción 98,34% de turbiedad, concluyendo que el almidón de plátano cuando es utilizado como suplente parcial de sales de aluminio logra buenos resultados para ser usado en aguas turbias.

Choque et al. (2018), realizaron la investigación titulada Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua con tres variedades de Cactáceas *Echinopsis pachanoi* (San Pedro), *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus* (Tuna) en el tratamiento de agua residual artificial, el estudio se realizó en la Universidad Nacional José María Arguedas de Andahuaylas, Perú. Dentro de sus objetivos utilizaron dosis entre 1%, 2% y 3% de coagulante de tres Cactáceas las cuales fueron sacadas con diferentes solventes y aplicadas a un agua con turbiedad artificial. Para extraer los productos coagulantes emplearon NaCl 0.25M, Etanol y agua y se comprobó la variación de los parámetros fisicoquímicos Dureza, pH, alcalinidad y DBO, los resultados fueron que existe un incremento del poder clarificante y el % de remoción, cuando la dosis de coagulante aumenta y que la variedad san pedro tiene mejores resultados, concluyendo que al utilizar productos naturales se logra obtener agua para consumo humano la cual cumple con los LMP.

Sánchez y Untiveros, (2004). Su investigación consistió en la determinar cuál es la capacidad floculante de la pectina en preparaciones de cromo (III) y hierro (III). Esta investigación fue realizada en la Universidad Cayetano Heredia. Planteándose evaluar la acción floculante de la pectina en una en una preparación de agua a base de caolín. También evaluaron la acción floculante de la pectina a desiguales niveles de cromo (III) e iones hierro (III) con diferentes pH y desiguales concentraciones de pectina. Los resultados a los que llegaron los autores, fue que la mayor actividad floculante de la pectina fue de 36.53 y esta se logró cuando se utilizó 1mM 30 ppm de pectina de hierro (III) y la solución de caolín a pH 3. El trabajo concluye



en que cuando se usa la pectina para remover los sólidos suspendidos esta disminuye la utilización de sales de hierro y cromo.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. EL AGUA EN EL PERÚ

Desde el año 1969 el Perú contaba con la Ley General de Aguas, D.L. N° 17752, cuyo objetivo fundamental era la protección de la calidad de las aguas superficiales, pero es a partir del Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales (D.L. N° 613) de 1990 donde se inicia un alto interés por la protección del ambiente, 15 años después se aprueba la Ley General del Ambiente, Ley 28611. Consecutivamente, con la instauración del Ministerio del Ambiente, en el 2008 se publicaron los ECA para Agua, (D.S. N° 002-2008-MINAM), renovados actualmente (D.S. N° 004-2017-MINAM).

Los organismos públicos y actores de grupos comisionados de aplicar políticas ambientales, ponen a resguardo de los recursos hídricos, se localizan en grupos en amparo del Sistema Nacional de Gestión de Patrimonios Hídricos y SNGA, dirigidos por MINAM y ANA.

Autoridad Nacional del Agua

La ANA, ampara la calidad del agua y está facultada de clasificar los cuerpos de agua y brindar un informe propicio para estudios de impacto ambiental. El ANA, gobierna SNGRH y profiere las acciones de todos sus componentes para confeccionar, inspeccionar y valorar, el cumplimiento de la Política desmenuza sus políticas en combinación con diferentes entes competentes como Agricultura, Energía y Minas, Salud, Producción, Vivienda construcción y Saneamiento, así como con los gobiernos municipales a nivel regional y local

2.2.2. VULNERABILIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

En las normas actuales, si bien se establecen los límites bacteriológicos para los diferentes usos, más no se contemplan los estándares microbiológicos que garanticen, por ejemplo, que el agua residual tratada y utilizada en los parques y jardines sea la adecuada, por lo que se propicia la contaminación del entorno urbano afectando su salubridad, teniendo incluso menos cuidado en las actividades agropecuarias, donde mayormente se utiliza este recurso (Bolaños y Fernández, 2002). En efecto, como complemento a este tema es necesario indicar las enfermedades asociadas al agua; de acuerdo a lo informado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS en su documento denominado: El costo social de las enfermedades infecciosas, estas enfermedades se dividen en:



- Aquellas que son trasferidas por el agua contaminada
- Aquellas que tienen de plataforma el agua: originadas por entidades acuáticas que transitan una fracción en parásitos de animales y el agua.
- Aquellas de origen vectorial afines con el agua: traspasadas mosquitos principales vectores.
- Aquellas vinculadas a la insuficiencia del agua: como la tuberculosis que se propaga a causa de la escasez de agua dulce y sanidad deficiente.

Las enfermedades pueden controlarse con una mejor higiene, para lo cual es imprescindible disponer de suministros adecuados de agua potable y sistemas de saneamiento utilizando tecnologías apropiadas, para recolectar, tratar y disponer las aguas residuales (Mendez y Feliciano, 2010). En la Tabla 1, se observa el consumo de agua determinada con (RNE) para empleo de una familia de 5 personas.

Tabla 1: Consumo promedio de agua familiar

Concepto	Cantidad: litros por día
limpieza	50
Ingerir y preparar	20
Limpieza de cara y manos	75
Uso del letrina	175
Limpieza de prendas	225
Durante el baño de ducha	175
Limpieza de utensilios	30
Promedio total	750
Cantidad por persona	150

Fuente: Andía, (2000).

2.2.3. TRATAMIENTOS PARA REMOCIÓN DE MATERIA EN SUSPENSIÓN

Los constituyentes en suspensión pueden ser diferentes, desde migas de varios centímetros y muy densas generalmente de origen inorgánico hasta partículas coloidales con tamaños y muy estables de unos pocos nanómetros. También la concentración de los mismos, tanto en el agua a tratar como en el agua una vez tratada, juega un papel fundamental a la hora de la elección del tratamiento más conveniente (Rodríguez *et al.*, 2006).

Los procedimientos para quitar estos compuestos en el agua suelen darse al inicio del tratamiento de potabilización o tratamiento de aguas domésticas.



Para eliminar las partículas en suspensión se realiza diferentes operaciones de forma mecánica. Pero para complementar la separación de estos sólidos se utilizan productos químicos. Por lo cual se le denomina tratamiento físico-químico

Durante esta etapa se utiliza una serie de pasos. La utilización de una u otra es función de las características de las partículas (tamaño, densidad, forma, etc.) así como de la concentración de las mismas (Rodríguez *et al.*, 2006).

DESBASTE

Consiste en erradicar sólidos de mayor tamaño los cuales son arrastrados por las aguas. El desbaste busca eliminar los sólidos es un procedimiento por el cual se hace circular el agua, consiste en barras metálicas de 6 o más mm, colocadas en paralelo y extendidas entre 10 y 100 mm. Se raspan con rastrillos que se maniobran regularmente de forma mecánica. También se utilizan trituradoras, comprimiendo el tamaño de sólidos.

SEDIMENTACIÓN

Es la Acción física donde existe la fuerza de la gravedad ocurre cuando una partícula más pesada que el agua tiene un recorrido de forma descendente, colocándose en el fondo del sedimentador. La sedimentación es más consistente mientras el tamaño sea mayor, ósea a mayor sea velocidad de sedimentación la partícula caerá más rápido. A la sedimentación también se le conoce como decantación.

FILTRACIÓN

Consiste en la eliminación de partículas través de un medio poroso donde pasa el agua logrando que se retenga la materia en suspensión. Desde siempre se utilizaba un medio poroso a base de un lecho de arena con una altura que variaba, esta era dispuesta en diferentes capas para que las partículas de diferente tamaño se filtren, siendo los tamaños de entre 0.15 y 0.3 mm. La filtración es una operación que se usa durante la potabilización del agua. También durante el proceso de aguas con fines de reutilización que busca eliminar materia flotante que no puede eliminarse en procesos anteriores.



FLOTACIÓN

Consiste en formar pequeñas burbujas de gas (aire) es una operación física donde las partículas se asocian en el agua y se elevan hasta la superficie, generalmente son arrastradas y sacadas del sistema. Durante la flotación se debe considerar diferentes parámetros a la hora de hacer diseños como:

La proporción aire/sólidos, ya que ml/l de aire que son liberados por el sistema determinara la concentración de sólidos en suspensión contenidos en el agua a tratar. Un aspecto a considerar durante la experimentación es el valor óptimo que va de 0.005 y 0.06. en los diferentes tratamientos del agua, el aire se utiliza como agente de flotación, y tiene dos tipos de sistemas de flotación: cuando se da la flotación por aire disuelto y cuando se da por flotación por aire inducido

2.2.4. COAGULACIÓN

Consiste en la desestabilización eléctrica de ciertas partículas usando coagulantes. Durante el proceso se da en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible (Rodríguez, 2005).

Durante el proceso se puede usar para:

- Existencia de aguas con Turbiedad ya sea orgánica o inorgánica y no puede decantar
- Color verídico y aparente para poder efectuar la remoción
- Eliminar bacterias, virus y organismos patógenos que pueden ser separados por coagulación.
- Destruir algas y plancton.
- Eliminar de sustancias que producen sabor y olor.

El uso de cualquier otro proceso para la remoción de partículas muy finas, como la sedimentación simple, resulta muy poco económico y en ocasiones imposible, debido al alto tiempo requerido (Arboleda, 2000).

En el proceso de la coagulación hay que tener presente las peculiaridades físicas y químicas del agua, la porción del coagulante, el punto de aplicación del coagulante, la concentración del coagulante, la intensidad, tiempo y el tipo de dispositivo que usaremos al momento de hacer la mezcla.



TEORÍA DE LA COAGULACIÓN

Muchas partículas hacen que se produzca la Turbiedad y el color en el agua tienen cargas eléctricas que son negativas en su mayoría, pero también hay partículas con cargas eléctricas positivas, por lo que se puede deducir que el agua y las diferentes soluciones son neutras. Las cargas eléctricas que poseen las partículas forman fuerzas de repulsión entre ellas, es por eso que se mantienen flotando y separadas en el agua a raíz de este fenómeno las partículas no decantan.

Un sistema coloidal es el conjunto hecho por partículas con una dupla capa de iones, el cual está sujeto a un potencial en la zona inferior del doble lecho, llamado potencial Z . el cual posee un valor crítico, donde los coloides son estables, por encima de ese valor en cambio por debajo de este valor hay separación de partículas. La coagulación trata de reducir el potencial Z usando los métodos siguientes:

- neutralización de la carga en la Coagulación: se presenta cuando los coloides de diferente carga se mezclan en el agua. Sucede con frecuencia cuando se utiliza alumbre o sales de hierro al agua.
- Coagulación por pérdida del espesor de la doble capa. Al aumentar la concentración de iones en el agua también disminuye, distancia d logrando que el valor del potencial Z menor al punto crítico.

Además, algunas de estas reacciones producen CO_2 , cuyo efecto consiste en el incremento de la acidez del agua y por consiguiente la disminución del pH (Rodríguez, 2005).

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA COAGULACIÓN

- **Valencia**

Cuanto más sea la valencia del ion, más efectividad tendrá el coagulante.

- **Capacidad de cambio**

Es una disposición de la predisposición a cambiar cationes de poca valencia por otros de más valencia, estimulando la desestabilización y conjunto de partículas en forma rápida.

- **Tamaño de las partículas:**

El tamaño de una partícula debe ser inferior a una micra. Cuando el tamaño es de una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, pero si el diámetro es más de cinco micras, no pueden formar floculos.



- **Temperatura:**

La formación del floculos, es influenciada por la temperatura ya que cuanto más fría es el agua es más lenta la formación de floculos y si la temperatura es mayor el tiempo de formación del floculos será también mayor.

- **Concentración de iones H^+ o pH**

La concentración de iones se da para cada coagulante con una zona de óptima de pH bajo esas condiciones ocurre una buena floculación ya que el tiempo es más reducido y se utiliza la misma dosis de coagulante.

- **Relación cantidad-tiempo**

Es una relación que esta inversamente proporcional al tiempo de formación del floc y la dosis de coagulante.

- **Alcalinidad**

La alcalinidad y pH guardan mucha relación por él es importante considerar durante la etapa de la coagulación.

CLASES DE COAGULANTES

Dentro de los coagulantes que se usan en el tratamiento de agua potable encontramos a los siguientes:

- **Sales de Aluminio:** *Estas sales forman* un floculos poco pesados. Entre las más utilizadas son: El Sulfato de Aluminio, $Al_2(SO_3).14H_2O$, que es más conocida como Alumbre; el Aluminio Amoniacal y el Aluminato Sódico..
- **Sales de Hierro:** Son compuestos como los Sulfatos de Hierro Férrico , Cloruro Férrico, $FeCl_3$, y Ferroso, $Fe(SO_4)_3$ y $FeSO_4$. Que constituyen un floculos más densos y de mayor celeridad de precipitación en comparación con las sales de aluminio.
- **Polímeros o polielectrolitos:** Son agregados de gran peso molecular complejos, que se usan de colaboradores de coagulación. Las cantidades de estos polímeros son muy bajos siendo de mucha ventaja al costo del polímero. Estos polímeros son usados ampliamente en el tratamiento de potabilización del agua. Por otra parte la producen lodos de desecho fáciles de tratar.

2.2.5. FLOCULACIÓN

La floculación consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor



tamaño y peso específico –flocos-(Rodríguez, 2005). La floculación tiene por objetivo reunir microflocos que formaran partículas con peso específico mayor a la del agua, logrando compactar al floculo reduciendo su grado de absorción para originar baja unión volumétrica, lo cual ocasiona una alta eficacia en técnicas posteriores como precipitación y filtración.

CINÉTICA DE LA FLOCULACIÓN

Cuando se integran los coagulantes a una solución coloidal, se da una sucesión de reacciones hidrolíticas que unen iones al espacio de las partículas que hay en la suspensión que con muchas colisiones forman flocos que aumentan con el tiempo.

Ocurre de forma apresurada y depende de la dimensión de partículas con y la agitación del líquido, también al “grado de desestabilización”, ya que se permiten que las colisiones sean efectiva. Las colisiones pueden darse de dos diferentes modos.

- **Floculación Pericinetica:** se producen por la inclinación de las moléculas del líquido (movimiento browniano) que sólo influyen en partículas de tamaños inferiores a un micrón.
- **Floculación Ortocinetica:** Se da por reuniones por turbulencia de líquido, causando la tendencia de partículas con desemejantes velocidades y orientaciones, la cual aumenta intensamente la probabilidad de colisión, sólo con partículas con tamaños superiores a un micrón.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN

- **La Concentración y naturaleza de las partículas**

La celeridad con las que se forman los floc es semejante a la congregación de partículas en el agua y del tamaño al inicio de las partículas.

- **El Gradiente de velocidad**

Consiste en el componente correspondiente a la celeridad de afluencia de las partículas. Consta un límite máximo de gradiente que no puede ser superado, para evitar el quebrantamiento del floc.

FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Las partículas coloidales de tamaño reducido presentes en un agua, las cuales tienen cargas negativas en su superficie y dan lugar a la inmovilidad de las coloides suspendidos por ello

es necesario desestabilizarlos y excluir es entonces donde entran en acción los coagulantes.

Para desestabilizar los coloides, se realiza mediante la neutralización de las cargas eléctricas. Se denomina coagulante al producto que se utiliza en la neutralización. Cuando se agrupan las partículas dan lugar a la formación de floculos preparados de ser atrapados por el agua. Es así que hay productos que favorecen la formación del floculo; a éstos se les denomina floculantes. La separación sólido-líquido, del floculo formado y del agua, puede hacerse por filtración, por decantación o flotación, seguidas o no de filtración (Guerrero *et al.*, 2003).

Durante la coagulación se utilizan con frecuencia sales de aluminio o de hierro. La cual se da bajo las formas que se muestran en la Figura 1 y 2.

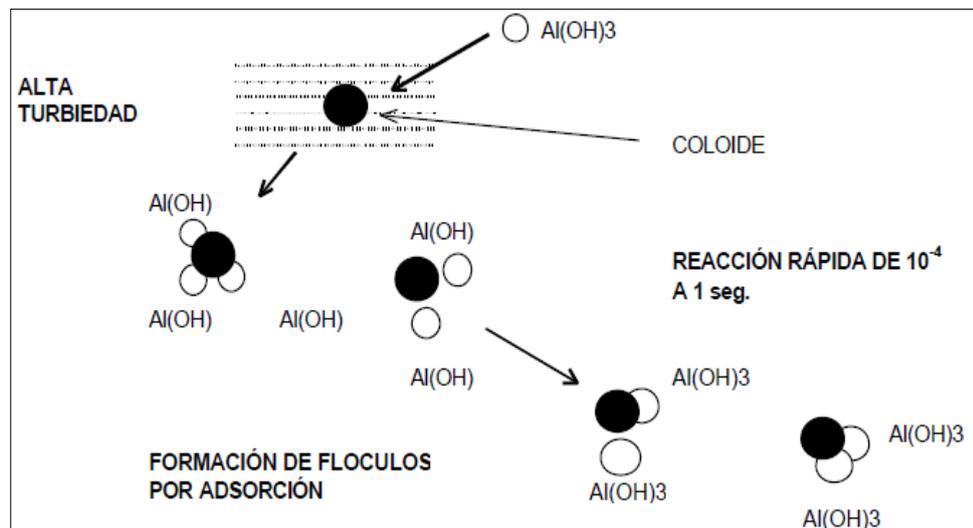


Figura 1. Coagulación en adsorción
Fuente: Andía, (2000)

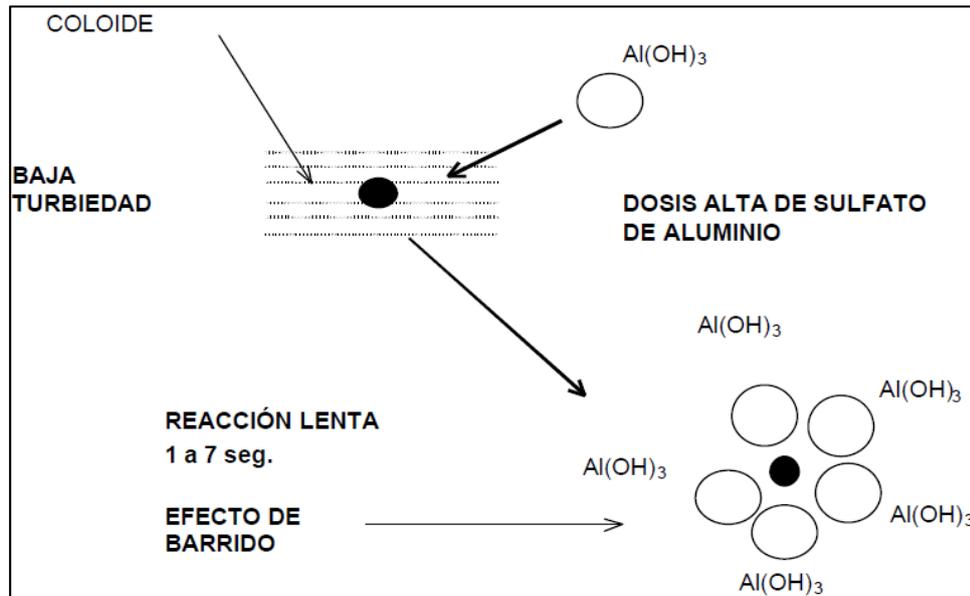


Figura 2. Coagulación en barrido
Fuente: Andía, (2000)

2.2.6. LIOFILIZACIÓN

Consiste en secar algunos materiales utilizando la sublimación del agua que contienen dichos productos. Se realiza congelando el producto y se remueve el hielo aplicando calor en condiciones de vacío, de esta forma el hielo sublima evitando el paso por la fase líquida (Ramírez, 2006).

Esta tecnología es efectiva ya que logra la preservación de elementos biológicos como levaduras, sueros, algas, frutas, vegetales, células, enzimas, vacunas, virus que tienen sustancias termosensibles que no serán afectadas al utilizar la técnica, ya que se trabaja a temperaturas y presiones reducidas, logrando que no se altere la organización fisicoquímica del producto.

Cuando se utiliza la liofilización se logra eliminar más del 95% del agua que contienen los alimentos, siendo beneficioso a la hora de transportarlos ya que ocuparán menos espacio y mantendrán sus características intactas sin una cadena de frío previa.

Una sustancia pura puede existir como sólido, líquido o gas y puede cambiar de estado por medio de un proceso en el cual libera o absorbe calor a temperatura constante (calor latente) (Figura 3), de esto depende hacia donde se direcciona dicho cambio. El cambio de fase de sublimación, debe ejecutarse en escenarios de presión y temperatura mínimas a las del punto triple ya que inferiores a éste no existe la fase líquida. Por ejemplo si se tiene agua congelada, al calentarla a una presión menor a la de dicho punto el hielo sublima (Orrego, 2008).

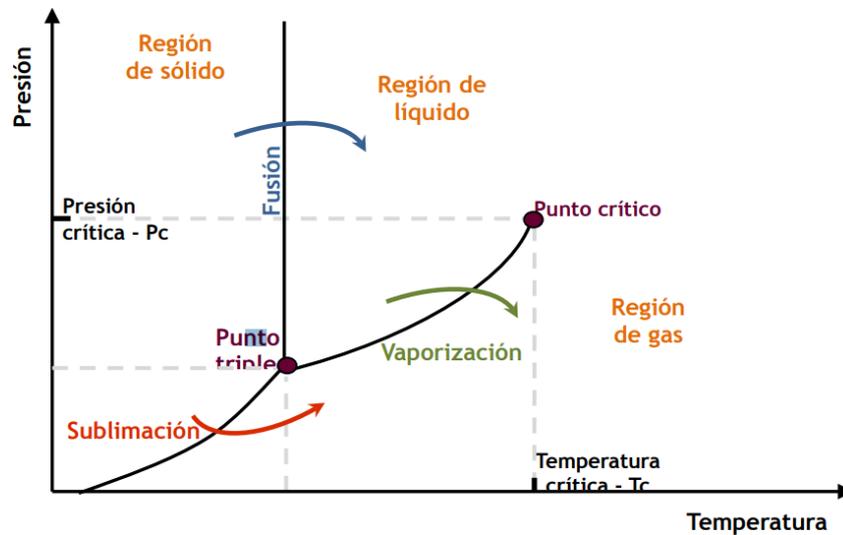


Figura 3. Diagrama de Presión-Temperatura de los estados del agua
Fuente: Roos, (1987)

PROCESO DE LIOFILIZACIÓN

La liofilización involucra cuatro etapas principales (Ramírez, 2006):

1. Preparaciones
2. Congelaciones
3. Desecciones primarias
4. Desecciones secundarias

Previo al inicio de la liofilización es primordial la preparación de toda la materia prima, esto debido a que todos los productos que son liofilizados no deben ser manipulados luego de completar el proceso.

Durante el proceso de liofilización hay que prestar y examinar detalladamente la temperatura en la que acontece la máxima congelación así como la celeridad óptima de enfriamiento y finalmente la temperatura mínima de fusión.

Este procedimiento busca que los bienes congelados tengan una estructura sólida, dejando libre de líquido reunido, haciendo que el secado se realice solo por sublimación. Sin embargo los diferentes alimentos pueden tener mezclas de estructuras luego de realizarse la congelación. Durante la tercera etapa de liofilización esta se da la desecación primaria de los productos, donde el hielo se sublima y durante esta etapa se debe mejorar los controles de velocidad en el calentamiento de las bandejas. Una liofilización buena y rápida y es inevitable vigilar puntualmente esta destemplanza y posibilitar la presión total o parcial del sistema.



La desecación secundaria es la cuarta y última etapa del proceso de liofilización, consiste en volatilizar el agua no congelable, de los alimentos; haciendo que el porcentaje de humedad final sea mínimo al 2% aquí no existe agua libre, en esta fase la presión se reduce al mínimo. Es importante, finalmente, controlar el contenido final de humedad del producto, de manera que se corresponda con el exigido para garantizar su estabilidad (Sceni, 2007)

2.2.7. LAS CACTACEAS

Los cactus, originarios del continente americano, los cuales llegaron inicialmente a Europa, posteriormente al mundo, donde se encuentran distribuidos actualmente, van aumentando su población según aumenta su cultivo. Por eso, hoy es posible encontrar cactus cultivados en lugares tan remotos como Australia, Japón, Nueva Zelanda o Rusia (Ostolaza, 2010).

Pero, ¿a qué se debe esta urgente demanda?, ¿por qué esa poderosa atracción que ejercen los cactus sobre algunas personas, que induce a sus fieles y sufridos cultivadores en muchos y diversos países, incluido el nuestro, a agruparse en sociedades como la Sociedad Peruana de Cactus y Suculentas (SPECS), para poder intercambiar información, experiencias, plantas o semillas? (Ostolaza, 2010).

La gran mayoría de estas plantas se cultivan de forma ornamental generalmente en macetas, florecen una vez al año y son muy vistosas, y con colores y formas variadas, aunque no duran mucho tiempo, otra característica de estas plantas es la gran resistencia a la sequía adaptándose muy bien a condiciones de stress. Por ellos es bastante cultivada en los hogares.

Los cactus han ido evolucionando y se puede encontrar, otras variedades utilizando de patrón al san pedro, encontrando plantas mucho más hermosas que las descritas. Volviendo a los cactus peruanos, diremos que la mayoría de nuestras especies, cuatro de cada cinco, son endémicas, es decir sólo se encuentran en el Perú, formando parte de nuestra rica flora silvestre (Ostolaza, 2010).

LAS CACTÁCEAS COMO COAGULANTES

La precipitación química fue uno de los primeros procesos químicos utilizados en el tratamiento de aguas (Schulz y Okum, 1991).

Hoy en día se usan diferentes sustancias como agentes de precipitación, con resultados en la clarificación de agua el resultado dependerá de la cantidad de producto a utilizar de igual forma como los productos químicos, el proceso de clarificación se suscita a travez de la decantación química obteniendo un efluente claro. Con respecto al mezclado, entendemos



que está encaminado a la distribución uniforme y rápida de los coagulantes en el agua que se esté tratando, ya que cuando más alta sea la velocidad y mayor la turbulencia, más eficaz será el mezclado, pudiéndose llevar a cabo el proceso de precipitación totalmente (Rivas, 1983). La adición de coagulantes puede hacerse de dos maneras:

- Pasando una cantidad de agua por un determinado punto donde se provoca una fuerte perturbación provocada por un dispositivo hidráulico.
- Deteniendo el agua en un tanque especial por un determinado tiempo se aplican coagulantes, al mismo tiempo en que batan con una turbina creando una turbulencia hidráulica.

Una vez que la dispersión de los coagulantes se ha llevado a cabo, la agitación debe controlarse con mucho cuidado, de modo que se favorezca el contacto entre las partículas para la formación de floculos (SIQYPN, 1992), ya que si la agitación fuese demasiado fuerte los esfuerzos cortantes que se producen romperán el floculo (CEPIS, 1981). Stequist y Kaufman (Hanson y Jhon, 2000), demostraron que a medida que la alcalinidad del agua cruda es mayor, el proceso de coagulación queda más afectado por la velocidad con que se dispersan los coagulantes.

VARIEDADES DE CACTÁCEAS

A. *Echinopsis pachanoi*

Se le llama “San Pedro” en muchas zonas de la sierra del Perú. Es una especie arbórea de 3 a 6 m. de longitud, con numerosas ramas de color azul-verdoso, con 8 a 6 costilla redondeadas y anchas tiene hojas modificadas tipo espinas de 1 cm, la flor es de 23 cm. de largo de color blanco (Ostolaza, 2010).

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Caryophyllidae

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Cactoideae

Tribu: Trichocereae

Género: *Echinopsis*

Nombre Científico: *Echinopsis pachanoi*



Figura 4. Cactácea *Echinopsis pachanoi*, San Pedro
(Fuente: Ostolaza, 2010)

B. *Opuntia ficus*

La revisión de los aspectos teóricos indican que las sustancias naturales que se plantea en la investigación del coagulante natural alternativo, específicamente la obtención, preservación y aplicación de los polisacáridos de la Tuna (*Opuntia ficus*) como coagulante y/o ayudante de coagulación en agua de alta Turbiedad y alta alcalinidad son eficaces (Hernández, 2005).

Existen muchos Sub productos del nopal como polvos blancos solubles en agua que han sido utilizados en agua turbia logrando resultados satisfactorios en comparación a los coagulantes sintéticos. Su producción no ha sido hecha en escala industrial hasta el momento, (Salas, 1998). Pertenece a la familia cactácea y su clasificación taxonómica se presenta a continuación.

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Opuntioideae

Tribu: Opuntieae

Género: *Opuntia*

Subgénero: *Opuntia*

Nombre Científico: *Opuntia ficus indica*



Figura 5. Cactacea Opuntia ficus, Nopal
(Fuente: Ostolaza, 2010)

2.2.8. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUA DE CONSUMO

Según D.S N° 031-2010-SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, dispuesto por el Ministerio de Salud y la DIGESA, obligan a que toda persona natural o jurídica, pública o privada, dentro de nuestro país tenga compromiso de ser controlado, supervisado o fiscalizado cuando haga uso del agua, desde el origen hasta su utilización final, se instituyen límites máximos permisibles que se observan en la tabla 2.

Tabla 2. Límites máximos permisibles de parámetros de Calidad de agua para consumo

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁻ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoniaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

Fuente: Decreto Supremo N° 031-2010-SA

2.2.9. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA DE CONSUMO

En la tabla 3, se manifiestan los estándares de calidad según el D.S. N° 004-2017-MINAN

Tabla 3. (ECA) Estándares de calidad ambiental en el Agua.

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**

Fuente: Decreto Supremo N° 04-2017-MINAN

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. Hipótesis general

Los coagulantes naturales extraídos por liofilización de las Cactáceas presentan capacidad floculante para el tratamiento de agua para consumo humano.

2.3.2. Hipótesis específicas

1. El rendimiento de extracción de coagulantes por liofilización fue mayor para la variedad Nopal.
2. El efecto de la velocidad de agitación, dosis y variedad coagulantes de cactáceas incremento la capacidad clarificante del agua tratada.
3. El efecto de la velocidad de agitación, dosis y variedad de coagulante de cactáceas modificaron los parámetros fisicoquímicos del agua tratada.



2.4. VARIABLES

2.4.1. Identificación de variables

Variable independiente:

VI-1: Velocidad de agitación

VI-2: Dosis de coagulante

VI-3: Variedad de coagulante

Variables dependientes (VD)

VD-1: Capacidad clarificante

VD-2: Parámetros fisicoquímicos del agua tratada

2.4.2. Operacionalización de variables

El cuadro de operacionalización de variables se presenta en la tabla 4



Tabla 4. Operacionalización de variables

Variables de estudio	Definición conceptual	DEFINICIÓN DE OPERACIONES			
		Dimensión	Indicador	Unidad	Tipo de variable
Velocidad de agitación	Es la prontitud que se mide en rpm, posibilitan que se mezclen añadidos y sólidos en suspensión para que se puedan formar flocs cuando se ejecuta la coagulación y floculación durante el Tratamiento primario de agua.	Velocidad de agitación	Velocidad	RPM	Continua Cuantitativa
Dosis de coagulante	Es la cuantía de coagulante que se adiciona durante la coagulación y floculación.	Cantidad/dosis del coagulante de la cactácea	Dosis	mg/L	Continua Cuantitativa
Variedad de coagulante	Es el tipo de cactáceas que poseen mucilagos o gomas con capacidad coagulante y floculante	Variedad de coagulante	-Variedad Nopal -Variedad San Pedro	----	Continua Cuantitativa
Capacidad clarificante	Las sustancias químicas o naturales tiene la capacidad de clarificar el agua con diferentes porcentajes de Turbiedad	Capacidad clarificante	Actividad floculante	----	Continua Cuantitativa
			Porcentaje de Remoción	%	Continua Cuantitativa
Parámetros fisicoquímicos del agua tratada	Parámetros del agua que permite conocer el estado y calidad de agua de consumo humano, según directivas establecidas	Parámetros del agua	pH	----	Continua Cuantitativa
			Conductividad	uS/cm	Continua Cuantitativa
			Turbidez	NTU	Continua Cuantitativa
			Dureza total	ppm	Continua Cuantitativa



2.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Agua para consumo

Es el agua que puede ser consumida por las personas sin limitación usarlo para ingerir, disponer alimentos, en la limpieza personal y otras utilidades a las que las personas puedan dar durante sus actividades.

Cactáceas

Son plantas de tipo suculenta y la mayoría son espinosas, en conjunto se les denomina cactus o pertenecen a la familia cactácea, y son origen de Americano.

Capacidad clarificante

Muchas de las sustancias químicas o también naturales tienen la capacidad de clarificar el agua cuando este tiene diversos grados de turbiedad.

Coagulación

La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancia químicas que son los coagulantes, permitiendo forma un precipitado (Rodríguez, 2005).

Coagulantes

Pueden ser diferentes sustancias orgánicas e inorgánicas las cuales pueden formar coloides, y que sirven durante el transcurso de la coagulación.

Conductividad

Se denomina a la capacidad del agua para transferir calor, sonido o electricidad se mide en Siemens por metro [S/m] o también en micromhos por centímetro [mmho/cm].

Dureza total

Es la agrupación de agregados inorgánicos que se encuentran en una misma proporción de agua, y cuando en su composición tienen magnesio y calcio. También se le conoce como dura y es cuando tiene alto contenido de dichas sales lo contrario es cuando en la composición del agua hay un poco cantidad de sales se le conoce con el nombre de blanda.



Floculación

La floculación consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico – floculos (Rodríguez, 2005).

pH

Se le conoce al pH como una medida sin unidades, mide indirectamente el nivel de acidez o alcalinidad en una disolución, también nos dice cual es la cantidad de iones de hidrógeno que hay en las disoluciones.

Sedimentación

Es la acción física en la que se utiliza la fuerza de la gravedad para que una partícula más densa se deposite en el fondo del sedimentador cuando el agua tenga una trayectoria descendente.

Turbidez

Es una medida que indica el nivel transparencia que va perdiendo el agua cuando las partículas entran en suspensión. Mientras más sólidos suspendidos haya la turbiedad será menor.

Velocidad de agitación

Se denomina así a la velocidad en Angulo que se mide en rpm, la cual hace que se mezclen los aditivos y solidos suspendidos en el agua, esto posibilita que se formen flocs en el proceso de coagulación y floculación.

Liofilización

La liofilización, es cuando se realiza el desecado de diferentes materiales e insumos utilizando la sublimación del agua. El procedimiento consiste en congelar el producto removiendo el hielo y empleando calor en condiciones de vacío, de esta forma el hielo sublima evitando el paso por la fase líquida (Ramírez, 2006).



CAPITULO 3

MÉTODO

3.1. ALCANCE DEL ESTUDIO

La presente investigación fue de alcance explicativo, debido a que se experimentó el efecto de la velocidad de agitación del proceso de coagulación - floculación, en la capacidad clarificante y los parámetros fisicoquímicos del agua tratada.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño correspondió al experimental, debido a variamos intencionalmente las dosis de coagulante, velocidad de agitación en el proceso de coagulación – floculación, y variedad de coagulante. Se realizó un arreglo factorial 3x2x2, tres niveles para el factor 1 (dosis de coagulante), dos niveles para el factor 2 (velocidad de agitación) y 2 niveles para el factor 3 (variedad del coagulante) cuyo arreglo factorial se percibe en la Tabla 5.

Tabla 5. Matriz de diseño experimental

Factor 1 (Dosis de coagulante - mg/L)	Factor 2 (Velocidad de agitación - rpm)	Factor 3 (variedad del coagulante)	Variables dependientes
30	30	San Pedro	R1
50	30	Nopal	R2
70	30	San Pedro	R3
30	40	Nopal	R4
50	40	San Pedro	R5
70	40	Nopal	R6

Fuente: Elaboración propia

R_i, respuesta numérica de la variable de respuesta "i"

Del mismo modo el tipo de investigación correspondió al prospectivo transversal debido a que los datos de las variables de respuesta o dependientes fueron tomados en un mismo tiempo a fin de interpretarlos y relacionarlos.

3.3. POBLACIÓN

La población de estudio correspondió a la totalidad de agua artificial (2030 ml) preparada con fines de aplicar los coagulantes extraídos por liofilización.



3.4. MUESTRA

La muestra comprendió agua artificial preparada, con fines de aplicar los coagulantes extraídos por liofilización, El muestreo fue no probabilístico de tipo censal se utilizó toda el agua tratada ya que todas las muestras provienen de la totalidad de la población de estudio, y que estas presentan las mismas características.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. TÉCNICAS

Consistió en la observación, utilizando pruebas estándar considerando protocolos para la extracción de variedad de coagulante y análisis fisicoquímico del agua tratada.

3.5.2. INSTRUMENTOS

Durante la recolección de datos se usaron los instrumentos siguientes:

- Fichas de registros de observación de la prueba estándar

3.5.3. RECOLECCIÓN DE LAS CACTÁCEAS

El material vegetal de las Cactáceas de las variedades *Opuntia ficus* (Nopal), *Echinopsis pachanoi* (San Pedro), se obtuvieron de cultivos silvestres ubicados en la provincia de Andahuaylas. en el distrito de Talavera específicamente en la zona de Santa Rosa a 3000 msnm. Latitud 13°36'07.89" S, longitud 73°16'33.13" O, con temperaturas promedios de 13 °C y precipitación promedio anual de 630 mm.

3.5.4. EXTRACCIÓN DEL COAGULANTE NATURAL

Para extraer los coagulantes se utilizaron diferentes acciones las cuales se muestra a continuación:

Recepción de las cactáceas: Las pencas de todas las cactáceas que se recolecto estuvieron sin golpes y anomalías posteriormente fueron refrigeradas para evitar su marchitamiento.

Limpieza: A todas las pencas se les realizo la limpieza con bastante agua para excluir partículas.

Apartamiento de epidermis. La epidermis se quitó con tijeras luego se procedió a sacar las espinas seguidamente se sacó la capa externa de la penca, dejando solo la pulpa.

Trozado. Con una cuchilla se realizó el trozado de la pulpa de un diámetro de 1 cm

Deshidratación. Colocadas en recipientes de porcelana las muestras fueron sometidas a congelación a -30°C por 24 h. Una vez congeladas pasaron a un liofilizador por 48 horas.



Molienda. Todas las muestras ya liofilizadas se sometieron a molienda con ayuda de un mortero y tamizadas en una malla 250 micras, para luego ser embaladas y almacenadas.

3.5.5. ELABORACIÓN DEL AGUA ARTIFICIAL

El agua artificial consistió en una disolución madre de caolín la cual se preparó diluyendo 25 g del sólido de caolín en 500 ml de agua destilada la cual se mesclo por 30 min manualmente, esta solución reposo por 24 horas; posteriormente se utilizaron 2 litros de agua y se agregó 30 ml de solución madre de caolín.

3.5.6. PROCESO DE COAGULACIÓN Y/O FLOCULACIÓN

Durante la floculación se empleó la prueba de jarras a través de un equipo de marca Phipps & Bird, a los que se les cargo 200 mL de agua preparada inicialmente Se procedió a agitar por un minuto a 60 rpm; en ese lapso se agregó los coagulantes y coadyuvantes (10 ppm de sulfato férrico), a cada vaso, de acuerdo a las formulaciones propuestas (Tabla 4), posteriormente se redujo la velocidad de acuerdo a cada formulación por 15 minutos. Acontecido el tiempo de movimiento el proceso se detuvo y dejó precipitar por 30 minutos, en luego se sacó las partículas suspendidas para las evaluaciones posteriores.

3.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.6.1. RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE COAGULANTE

El rendimiento de extracción de los coagulantes cristalinos extraídos, se determinó de acuerdo a la ecuación (1).

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{\text{g de cristales de coagulante}}{\text{g de material utilizado}} * 100 \quad \text{ec. (1)}$$



3.6.2. CAPACIDAD CLARIFICANTE

A. EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FLOCULANTE

Se adaptó la metodología utilizada por Sanchez y Untiveros (2004), para cada formulación (Tabla 4), del sobrenadante se tomó un alícuota y se midió la absorbancia a 550 nm (A). La actividad floculante se calculó utilizando la ecuación (2).

$$\text{Actividad floculante} = 1/A - 1/B, \quad \text{ec. (2)}$$

B. EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN

La eficiencia del proceso se determinó mediante el Porcentaje de Remoción de turbidez de acuerdo a la ecuación (3) (Yagual y Torres, 2012).

$$\% \text{ de remoción} = \frac{\text{turbidez inicial} - \text{turbidez final}}{\text{turbidez inicial}} * 100 \quad \text{ec. (3)}$$

3.6.3. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA

La caracterización de la calidad del agua para consumo humano, se realizó tomando en consideración los parámetros que se observan en la Tabla 6, para lo cual se tomó alícuotas del agua las cuales procedieron de la prueba de coagulación-floculación durante la prueba de jarras.

Tabla 6 Parámetros de calidad del agua tratada

Parámetro	Método	Referencia
pH	(pH metro) Potenciométrico electrodo selectivo	Manual de uso
Turbiedad	(NTU) Electrodo selectivo	Manual de uso
Conductividad	(Conductivimetro) Electrodo selectivo	Manual de uso
Dureza	Método colorimétrico con EDTA	2340-C, Standard Methods (APHA, 1998)

3.7. PLAN DE ANÁLISIS DE DATOS

Los datos de las variables dependientes o de salida para los distintos tratamientos se realizó el análisis estadístico y se evaluó a través de:



ANÁLISIS DE NORMALIDAD

Se aplicó el test de Shapiro-Wilks, para datos menores a 50, donde las Hipótesis fueron:

Hipótesis nula, H_0 : Los datos siguen una distribución normal

Hipótesis alterna $-H_A$: Los datos no siguen una distribución normal

Se rechaza H_0 si $\alpha > p\text{-value}$, (α es el nivel de significancia del 5% o 0.05)

ANÁLISIS DE VARIANZA

El análisis de varianza o ANOVA fue de tres factores, que consistió en la dosis de coagulante, velocidad de agitación y variedad de coagulante.

El diseño de hipótesis estadística para el ANOVA fue:

Hipótesis nula $-H_0$: La dosis de coagulante no tiene efecto significativo sobre la capacidad clarificante y parámetros fisicoquímicos

$$\text{Efecto de } A = 0$$

Hipótesis alterna $-H_A$: La dosis de coagulante si tiene efecto significativo sobre la capacidad clarificante y parámetros fisicoquímicos

$$\text{Efecto de } A \neq 0$$

Hipótesis nula $-H_0$: La velocidad de agitación no tiene efecto significativo sobre la capacidad clarificante y parámetros fisicoquímicos

$$\text{Efecto de } B = 0$$

Hipótesis alterna $-H_A$: La velocidad de agitación si tiene efecto significativo sobre la capacidad clarificante y parámetros fisicoquímicos

$$\text{Efecto de } B \neq 0$$

Hipótesis nula $-H_0$: La variedad de coagulante no tiene efecto significativo sobre la capacidad clarificante y parámetros fisicoquímicos

$$\text{Efecto de } C = 0$$

Hipótesis alterna $-H_A$: La variedad de coagulante si tiene efecto significativo sobre la capacidad clarificante y parámetros fisicoquímicos

$$\text{Efecto de } C \neq 0$$



Hipótesis nula – H_0 : La interacción de dosis de coagulante, velocidad de agitación y variedad de coagulante no tiene efecto significativo sobre la capacidad clarificante y parámetros fisicoquímicos

$$\text{Efecto de ABC} = 0$$

Hipótesis alterna – H_A : La interacción de dosis de coagulante, velocidad de agitación y variedad de coagulante si tiene efecto significativo sobre la capacidad clarificante y parámetros fisicoquímicos

$$\text{Efecto de ABC} \neq 0$$

Nivel de significancia (α)

Para realizar las comparaciones de los tratamientos se empleó $\alpha = 0.05$ (Gutiérrez y de la Vara, 2004).

Criterio de rechazo

Se rechaza H_0 si $\alpha > p\text{-value}$

Del mismo modo se realizó un análisis de los tratamientos, el diseño de hipótesis estadística para el ANOVA fue:

Hipótesis nula – H_0 : No existe diferencia significativa entre los resultados de los tratamientos.

$$\bar{x}_i = \bar{x}_j$$

Hipótesis alterna – H_A : Hay diferencia significativa entre los resultados de los tratamientos.

$$\bar{x}_i \neq \bar{x}_j, \text{ al menos dos de ellos.}$$

Nivel de significancia (α)

Para el caso de comparaciones de tratamientos habitualmente se empleó $\alpha = 0.05$ (Gutiérrez y de la Vara, 2004).

Criterio de rechazo

Se rechaza H_0 si $\alpha > p\text{-value}$

COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE TRATAMIENTOS

Para la comparación múltiple de tratamientos se usó el Test Tukey (análisis paramétrico), que consistió en la comparación múltiple de tratamientos, alusivos a las variables de respuesta medibles.



El plan de hipótesis estadística para el test Tukey, consistió en:

Hipótesis nula –H₀: La media de los resultados de las variables dependientes en los diferentes tratamientos son iguales.

$$\bar{x}_i = \bar{x}_j$$

Hipótesis alterna –H_A: La media de los resultados de las variables dependientes en los diferentes tratamientos son diferentes.

$$\bar{x}_i \neq \bar{x}_j, \text{ para algún par } i,j.$$

Nivel de significancia (α)

Para el caso de comparaciones de tratamientos habitualmente se empleo $\alpha = 0.05$ (Gutiérrez y de la Vara, 2004).

Criterio para la prueba de hipótesis

$|\bar{x}_i - \bar{x}_j| > T_\alpha$; Hay diferencia significativa entre el tratamiento “i” contra “j” (diferentes estadísticamente)

$|\bar{x}_i - \bar{x}_j| < T_\alpha$; No hay diferencia significativa entre el tratamiento “i” contra “j” (iguales estadísticamente)

Donde T_α , es el estadístico Tukey, ecuación (9).

$$T_\alpha = q_\alpha(k, N - k) \sqrt{\frac{CM_E}{n}} \quad \text{ec. (9)}$$

Donde:

$q_\alpha(k, N - K)$, valor normalizado de la distribución Tukey

CM_E , cuadrado medio de error, obtenido de la tabla ANOVA

n , número de datos

El número de comparación entre tratamientos se realizará a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Numero de comparaciones} = \frac{T(T - 1)}{2}$$

Para la evaluación de las pruebas ANOVA y Tukey, se utilizó el Software estadístico MINITAB V15 (Minitab Inc. 2006) y Excel vista (Microsoft, 2008)

Asimismo, las pruebas se desarrollaron por triplicado, a fin de evitar sesgos a la hora de la evaluación, y corroborar la tendencia de los resultados.



CAPITULO 4

RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE NORMALIDAD DE LOS DATOS

Los diferentes resultados luego del análisis de normalidad de datos se encuentran en el Anexo 1, de ella se desglosa que los datos persiguen una distribución normal, ya que $p\text{-value} > 0.05$, por lo que se aplicaron análisis estadístico apoyados en la media, desviación estándar, análisis de varianza (ANOVA), y consiguientemente el test de medias de Tukey, para los datos de la actividad floculante (AF), Porcentaje de Remoción (%R), pH, Turbiedad, Dureza, y Conductividad.

4.2. RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE COAGULANTES

Los resultados del rendimiento de extracción de coagulantes por liofilización de dos variedades de cactáceas (Nopal y San Pedro) se presentan en la Tabla 7, en ella se observa que la variedad San Pedro reporto un rendimiento menor de $3.29 \pm 0.25 \%$, mientras que la variedad Nopal reporto mayor rendimiento ($7.13 \pm 0.32 \%$), por otro lado se observa que la extracción del coagulante de la variedad San Pedro presento mayor variabilidad (7.59%), mientras que para el Nopal fue de 4.48% (Anexo 2), es así que el rendimiento de extracción para ambas variedades presentan diferencias significativa ($p\text{-value} < 0.05$), letras diferentes, Finalmente se puede observar que el pH del zumo de la penca de Nopal fue de 4.42 ± 0.32 , mientras que para el zumo de la variedad San Pedro fue de 5.30 ± 0.32 , mostrando diferencia significativa.

Tabla 7: Rendimiento de extracción y pH de cactáceas

Variedad	% Rendimiento				pH					
	\bar{x}	\pm	s	C.V. (%)	Dif. Sig.*	\bar{x}	\pm	s	C.V. (%)	Dif. Sig.*
San Pedro	3.29	\pm	0.25	7.59	A	5.30	\pm	0.09	1.69	A
Nopal	7.13	\pm	0.32	4.48	B	4.42	\pm	0.10	2.26	B

*Diferencia significativa, calculado con el test de Tukey al 5% de significancia, Anexo 2.

Donde: \bar{x} , es la media aritmética; s, es la desviación estándar, C.V., es el coeficiente de variabilidad



4.3. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DOSIS Y VARIEDAD EN LA CAPACIDAD CLARIFICANTE

La capacidad clarificante se determinó través de la actividad floculante y el Porcentaje de Remoción mostrando los resultados a continuación:

4.3.1. ACTIVIDAD FLOCULANTE

Los resultados de la actividad floculante se presentan en la Tabla 8, en ella podemos apreciar que la menor actividad floculante lo presenta la variedad San Pedro (T7) 46.08 cuando de aplican dosis de 30 ml y velocidad de agitación de 30 RPM mientras que la mayor actividad floculante 85.04 lo reporto la variedad Nopal (T3) para una dosis de 70 ml y una velocidad de agitación de 30 RPM del mismo modo se observa que existe diferencia significativa (p-value < 0.05) entre los diferentes tratamientos y el C.V. fue menor al 7%. (Anexo 3).

Tabla 8: Actividad Floculante de los coagulantes

Tratamiento	Dosis de coagulante	Velocidad de agitación(RPM)	Variedad	\bar{x}	\pm	<i>S</i>	<i>CV (%)</i>	Dif Sig.*
T1	30	30	Nopal	55.82	\pm	1.89	3.38	BC
T2	50	30	Nopal	76.41	\pm	5.96	7.80	EF
T3	70	30	Nopal	85.04	\pm	4.38	5.15	F
T4	30	40	Nopal	59.23	\pm	2.12	3.59	CD
T5	50	40	Nopal	67.43	\pm	2.75	4.08	D
T6	70	40	Nopal	80.37	\pm	3.7	4.60	F
T7	30	30	San Pedro	46.08	\pm	1.25	2.72	A
T8	50	30	San Pedro	49.26	\pm	2.51	5.09	AB
T9	70	30	San Pedro	66.04	\pm	4.47	6.77	D
T10	30	40	San Pedro	46.87	\pm	2.28	4.86	AB
T11	50	40	San Pedro	50.06	\pm	1.52	3.03	ABC
T12	70	40	San Pedro	51.91	\pm	2.78	5.35	ABC

*Letras iguales indican que no existe diferencia significativa, evaluado con el test de Tukey al 5% de significancia, Anexo 3.

Donde: \bar{x} , es la media aritmética; *s*, es la desviación estándar, C.V., es el coeficiente de variabilidad

La Figura 6 muestra el grafico de medias para la actividad floculante, en ella se puede observar que el tratamiento T1, T4, T7, T8, T10, T11 y T 12 reportaron menor actividad floculante en comparación con los tratamientos T2, T3, T5 y T6 que mostraron menor actividad floculante respectivamente.

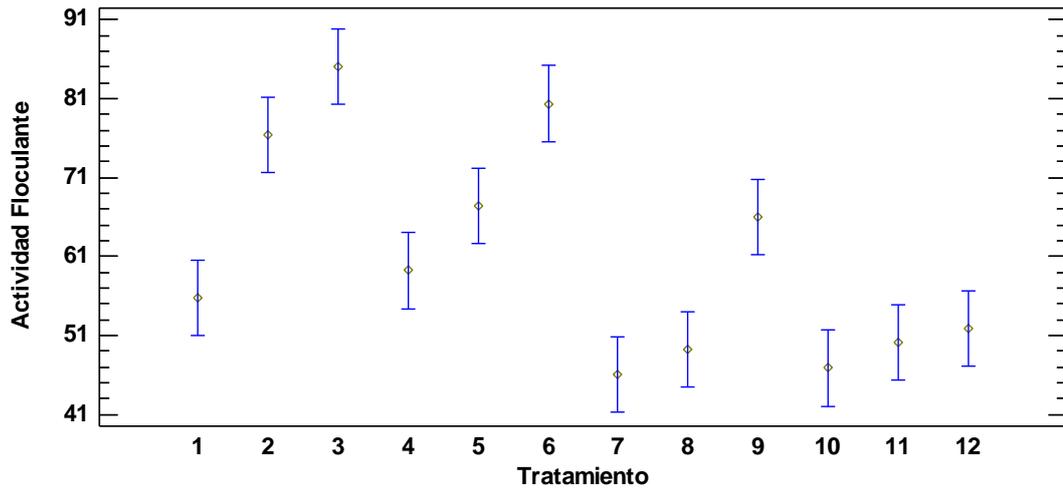


Figura 6. Diagrama de medias para la Actividad Floculante

El ANOVA para efectos e interacción para la Actividad floculante, se muestra en la Tabla 9, podemos observar la dosis de coagulante (A), velocidad de agitación (B) y variedad de coagulante (C), presentan efecto significativo ($p\text{-value} < 0.05$) sobre la Actividad Floculante, en cambio la interacción triple no presenta dicho efecto.

Tabla 9: ANOVA para efectos e interacción para AF

FUENTE	Valor-P
A:Dosis coagulante	0.0000
B:Velocidad agitación	0.0492
C:Variedad	0.0000
ABC	0.1565

Así mismo en la Figura 7, muestra los Efectos principales para la Actividad floculante en ella se puede apreciar que cuanto mayor es la concentración de coagulante, menor velocidad de agitación y variedad Nopal se presenta mayor actividad floculante, mientras que a menor concentración de coagulante, mayor velocidad de agitación y variedad San Pedro se presenta menor actividad floculante.

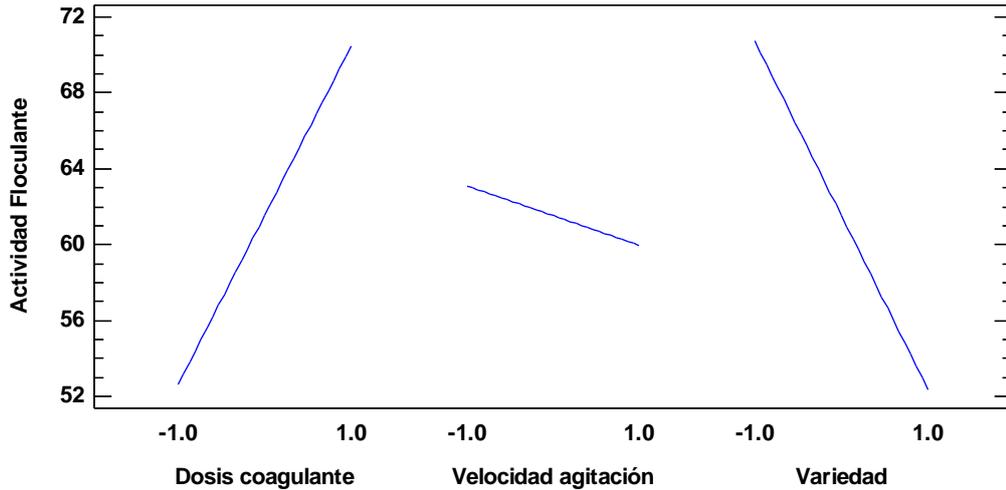


Figura 7 Efectos principales para la Actividad floculante

El efecto de las interacciones dobles de los factores se muestra en la Figura 8; estos resultados muestran que cuando hay menor velocidad y más dosis de coagulante se presenta, mayor actividad floculante, así mismo a mayor dosis de coagulante de la variedad Nopal se obtiene mayor actividad floculante, finalmente a menor velocidad y variedad San Pedro existe menor actividad floculante.

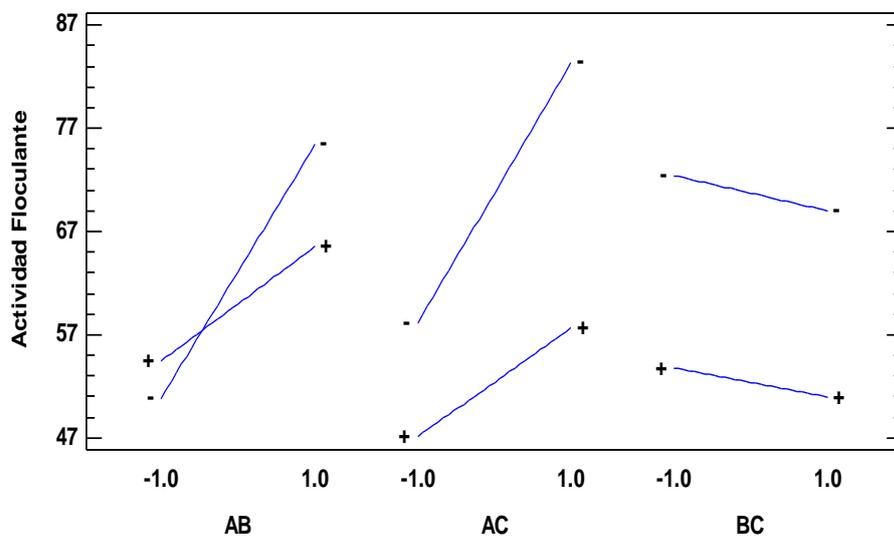


Figura 8 Diagrama de Interacciones para la Actividad Floculante

La Figura 9, muestra el diagrama de Pareto, el cual grafica el efecto estandarizado de la variación de cada efecto sobre la actividad floculante, siendo el efecto de mayor significancia las interacción de la variedad(C), dosis de coagulante(A), e interacciones dobles (AC, AB), Mientras que los factores velocidad de agitación (B), interacciones triple (ABC) y la interacción doble (BC) no presentan efecto significativo sobre la actividad floculante.

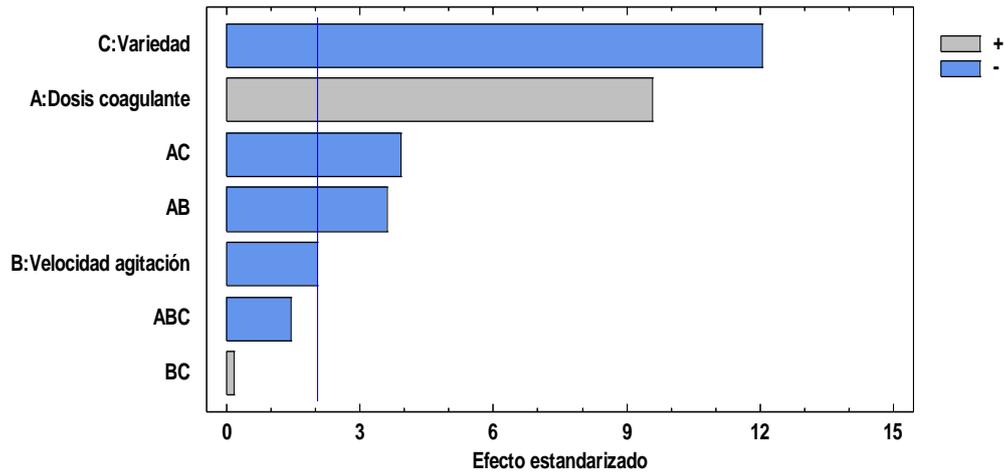


Figura 9. Diagrama de Pareto estandarizada para actividad floculante

4.3.2. EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN

En la Tabla 10 se presentan los resultados del Porcentaje de Remoción en ella se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos ($p\text{-value} < 0.05$) (Anexo 4), los valores de Porcentaje de Remoción mayores lo reporta la variedad Nopal 99.35% un una dosis de 70 ml y una velocidad de agitación de 30 RPM(T3), mientras en el (T7) la variedad San Pedro reporto 98.50 % con una dosis de coagulante de 30 ml y una velocidad de agitación de 30 RPM reporto un menor Porcentaje de Remoción. Asimismo el coeficiente de variabilidad fue menor al 1%.

Tabla 10: Remoción (%) de los coagulantes

Tratamiento	Dosis de coagulante	Velocidad de agitación	Variedad	\bar{x}	\pm	S	CV (%)	Dif Sig.*
T1	30	30	Nopal	99.03	\pm	0.06	0.06	D
T2	50	30	Nopal	99.30	\pm	0.05	0.05	E
T3	70	30	Nopal	99.35	\pm	0.03	0.03	E
T4	30	40	Nopal	99.06	\pm	0.03	0.03	D
T5	50	40	Nopal	99.25	\pm	0.02	0.02	E
T6	70	40	Nopal	99.32	\pm	0.03	0.03	E
T7	30	30	San Pedro	98.50	\pm	0.05	0.05	A
T8	50	30	San Pedro	98.72	\pm	0.05	0.05	B
T9	70	30	San Pedro	99.03	\pm	0.05	0.05	D
T10	30	40	San Pedro	98.59	\pm	0.05	0.05	A
T11	50	40	San Pedro	98.90	\pm	0.05	0.05	C
T12	70	40	San Pedro	99.03	\pm	0.02	0.02	D

* Letras iguales indican que no existe Diferencia significativa, calculado con el test de Tukey al 5% de significancia, Anexo 4. Donde: \bar{x} , es la media aritmética; s, es la desviación estándar, C.V., es el coeficiente de variabilidad.

La Figura 10, muestra el diagrama de medias para el Porcentaje de Remoción donde se comparan los tratamientos, en el cual se observa que los tratamientos T2,T3,T5 y T6



presentan mayor Porcentaje de Remoción frente a los tratamientos T1,T4,T7,T8,T9,T10,T11 y T12 que reportan menor Porcentaje de Remoción.

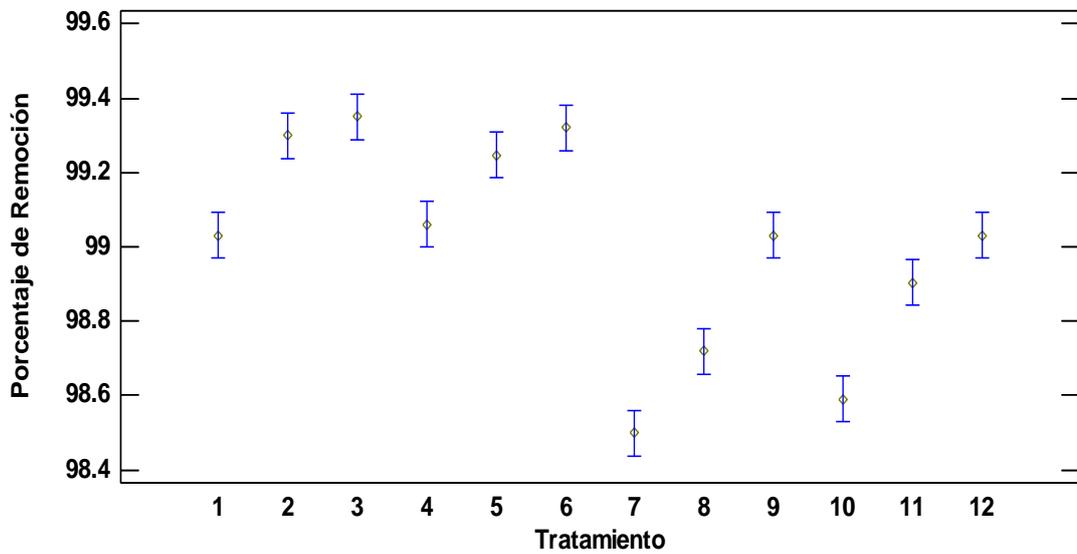


Figura 10. Diagrama de medias para el Porcentaje de Remoción

La Tabla 11, se aprecia los efectos e interacción para el Porcentaje de Remoción se puede apreciar que la dosis de coagulante y variedad presentan efecto significativo ($p\text{-value} < 0.05$) sobre la remoción, sin embargo la velocidad de agitación no mostro efecto significativo ($p\text{-value} > 0.05$), por consiguiente al incrementar la velocidad no se obtiene una variación significativa de la remoción, por lo que el Porcentaje de Remoción depende de la dosis de coagulante. Respecto a la interacción triple (ABC) no mostro efecto significativo.

Tabla 11: ANOVA para efectos e interacción para el Porcentaje de Remoción

FUENTE	p-Value
A:Dosis coagulante	0.0000
B:Velocidad agitación	0.7310
C:Variedad	0.0000
ABC	0.1837

La figura 11, presenta los efectos principales de los factores para el Porcentaje de Remoción, en ella se puede apreciar que el aumento de la dosis de coagulante de la variedad Nopal logró un aumento de la remoción, de manera similar, para la variedad San Pedro el incremento de la dosis de coagulante efecto directamente en la remoción de solidos suspendidos en el agua. Así mismo la velocidad de agitación no reporto una variación significativa en el Porcentaje de Remoción.

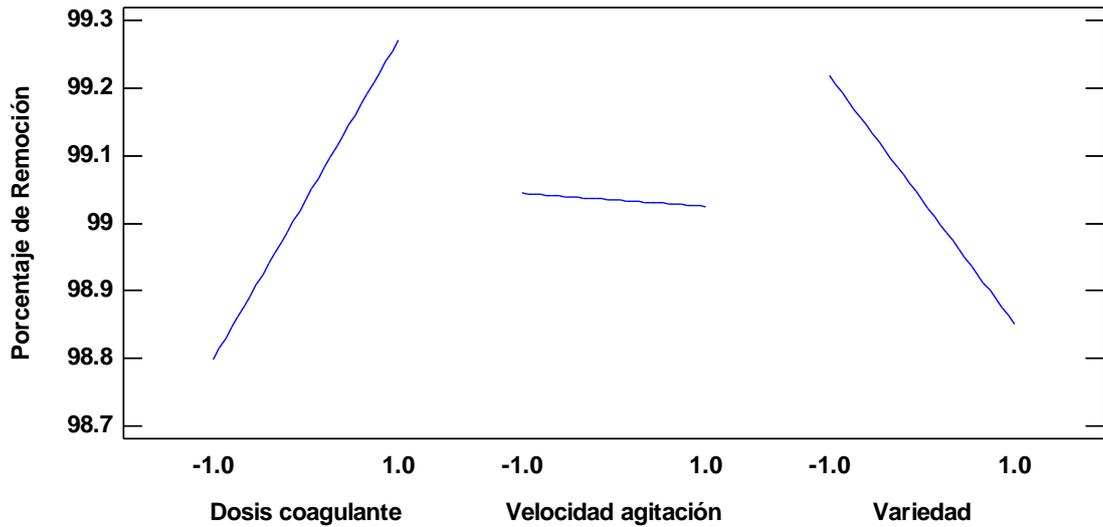


Figura 11. Efectos principales para el Porcentaje de Remoción

Asimismo se puede apreciar en la Figura 12 las Interacciones de los factores para el Porcentaje de Remoción, la interacción doble dosis de Coagulante(A)*Velocidad de agitación(B) muestra la combinación que a mayor dosis y menor velocidad de agitación se obtiene mayor Porcentaje de Remoción, por otra parte la interacción doble dosis de coagulante y variedad Nopal incrementa la remoción y finalmente la interacción doble velocidad de agitación(B)*variedad(C) muestra que a mayor o menor velocidad y variedad San Pedro el Porcentaje de Remoción es similar, este mismo comportamiento sucede con la variedad Nopal.

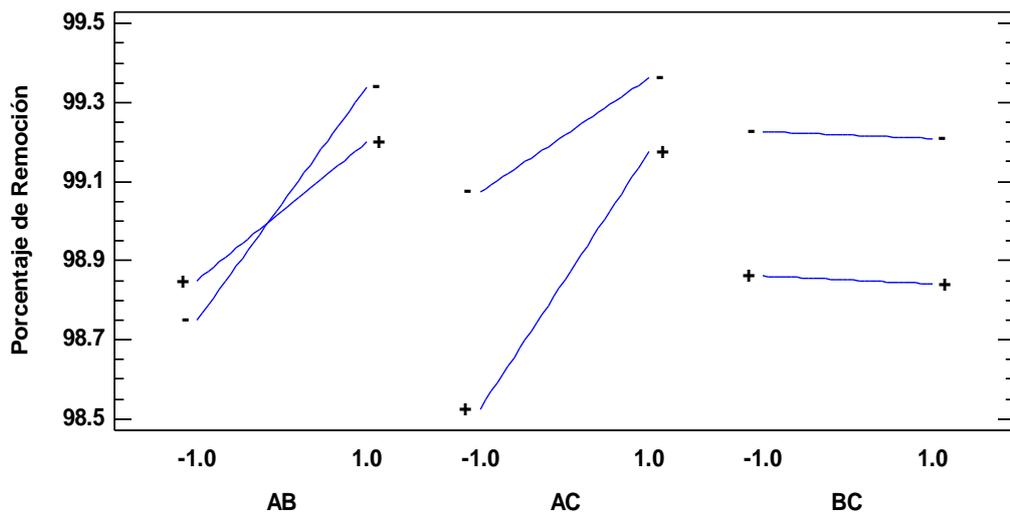


Figura 12. Diagrama de Interacciones para el Porcentaje de Remoción



La Figura 13 se aprecia el diagrama de Pareto en ella podemos observar que la dosis de coagulante(A), variedad(C) e interacción doble (AC) tienen efecto significativo sobre el Porcentaje de Remoción, mientras que las interacciones dobles AB, BC, interacción triple (ABC) y el factor velocidad de agitación(B) no tienen efecto significativo sobre el Porcentaje de Remoción.

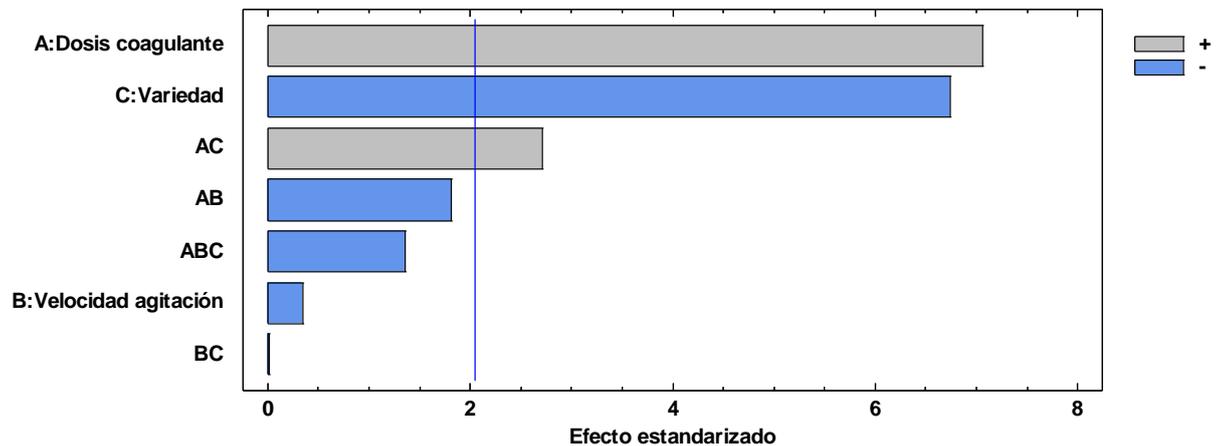


Figura 13. Diagrama de Pareto estandarizada para Porcentaje de Remoción

4.4. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DOSIS Y VARIEDAD EN PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA TRATADA

Los parámetros fisicoquímicos que se evaluaron fueron el pH, Turbiedad, Dureza, y Conductividad las mismas que se describen a continuación.

4.4.1. pH DEL AGUA TRATADA

El pH del agua tratada se midió haciendo uso de un potenciómetro los resultados se reportan en la Tabla 12, en ella se aprecia que los tratamientos muestran diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$), así mismo el pH inicial disminuye después de los tratamientos, reportando el menor valor de pH 6.35 para la variedad Nopal (T3) con una dosis de 70 ml y una velocidad de agitación de 30 RPM mientras que para la variedad San Pedro (T7) reportó un valor de pH mayor 6.90 con una dosis de coagulante de 30 ml y una velocidad de agitación de 30 RPM.

Por otra parte los tratamientos T1, T2, T4 y T5 para la variedad Nopal presentaron mayor pH, mientras que los tratamientos T3 y T6 presentaron menor pH, de la misma forma los tratamientos T7, T10 y T11 para la variedad San Pedro mostraron pH mayores y los tratamientos T8, T9, T12 reportaron pH bajos mientras que el coeficiente de variabilidad fue menor al 1%



Los resultados de pH están de acuerdo a los LMP para agua de consumo humano que determina los valores de 6.5 a 8.5 (DIGESA, 2011- DS N° 031-2010-SA), reportando que a la utilización de los coagulante naturales no alteran el pH del agua.

Tabla 12: pH del agua tratada

Tratamiento	Dosis de coagulante (mg/L)	Velocidad de agitación	Variedad	\bar{x}	\pm	s	C.V. (%)	Dif. Sig.*
T1	30	30	Nopal	6.55	\pm	0.02	0.003	B
T2	50	30	Nopal	6.50	\pm	0.02	0.003	B
T3	70	30	Nopal	6.35	\pm	0.03	0.004	A
T4	30	40	Nopal	6.55	\pm	0.02	0.002	B
T5	50	40	Nopal	6.54	\pm	0.02	0.002	B
T6	70	40	Nopal	6.38	\pm	0.03	0.005	A
T7	30	30	San Pedro	6.90	\pm	0.03	0.004	E
T8	50	30	San Pedro	6.74	\pm	0.02	0.002	CD
T9	70	30	San Pedro	6.71	\pm	0.03	0.004	C
T10	30	40	San Pedro	6.80	\pm	0.02	0.002	D
T11	50	40	San Pedro	6.79	\pm	0.01	0.002	D
T12	70	40	San Pedro	6.69	\pm	0.02	0.003	C
Inicial				7.87				

* Letras iguales indican que no existe Diferencia significativa, evaluado con el test de Tukey al 5% de significancia, Anexo 5.

Donde: \bar{x} , es la media aritmética; s, es la desviación estándar, C.V., es el coeficiente de variabilidad.

La Figura 14 muestra el Diagrama de medias para el pH, donde se puede observar que el T7 muestran un pH cercano al neutro mientras que los tratamientos T1,T2,T3,T4,T5,T6,T8, T9,T10 T11 y T12 muestran pH ligeramente ácido.

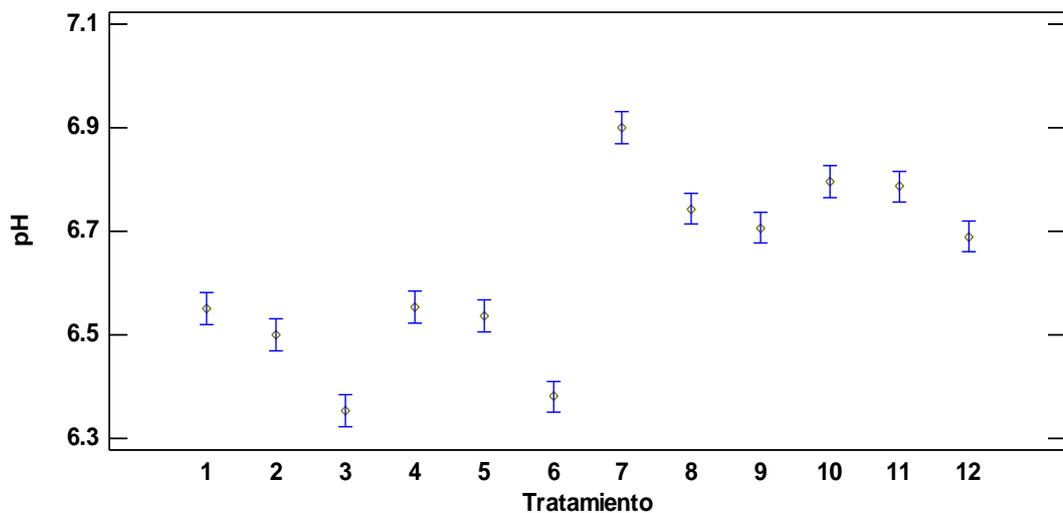


Figura 14. Diagrama de medias para el pH



Por otra parte, la Tabla 13 muestra los efectos e interacción del el pH del agua tratada donde se aprecia que el aumento de dosis de coagulante (A) y variedad (C) tiene efecto significativo ($p\text{-value} < 0.05$) sobre el PH del agua, mientras que la velocidad de agitación (B) y la interacción (ABC) no presenta ningún efecto en dicho parámetro ($p\text{-value} > 0.05$.)

Tabla 13: ANOVA para efectos e interacción para el pH del agua tratada

FUENTE	p -Value
A:Dosis coagulante	0.0149
B:Velocidad agitación	0.3431
C:Variedad	0.0010
ABC	0.2377

En cuanto a la gráfica de efectos principales para el pH (Figura 15) se puede observar que a menor dosis de coagulante, el pH disminuye ligeramente comparado con el valor inicial (7.87), de la misma forma a mayor velocidad de agitación el pH disminuye, finalmente la variedad San Pedro es la que mejor mantiene el pH inicial del agua tratada.

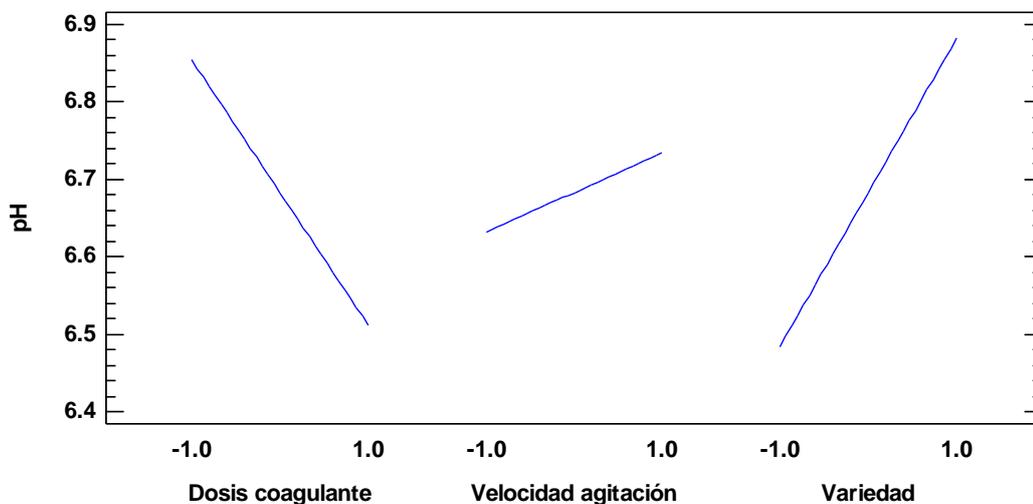


Figura 15. Efectos principales para el pH

La Figura 16, se observa las Interacciones de los factores para el pH de la cual podemos apreciar que a menor dosis de coagulante y mayor velocidad de agitación dicho parámetro disminuye ligeramente comparado con el valor inicial. De la misma forma a menor dosis de coagulante y variedad Nopal se mantiene el pH, finalmente a mayor velocidad y variedad Nopal el pH inicial disminuye.

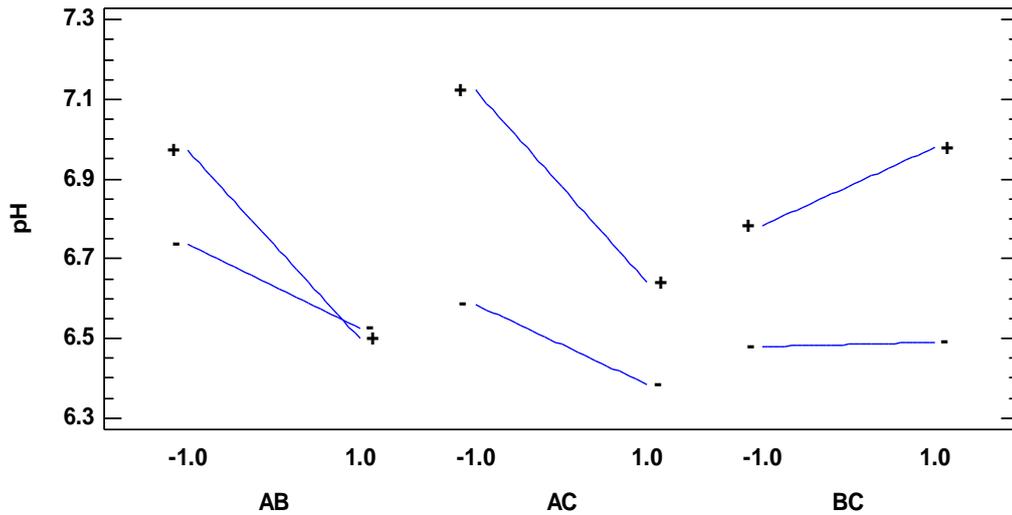


Figura 16. Diagrama de Interacciones para el pH

La figura 17, muestra el diagrama de Pareto en el observamos el efecto estandarizado de la variación de una unidad sobre el pH, el efecto de mayor significancia fue la variedad (C) y dosis de coagulante (A), mientras la interacción triple dosis de coagulante*velocidad de agitación*variedad (ABC), interacciones dobles (AC, AB, BC) y velocidad de agitación (B) tienen menor efecto significativo sobre el pH del agua tratada.

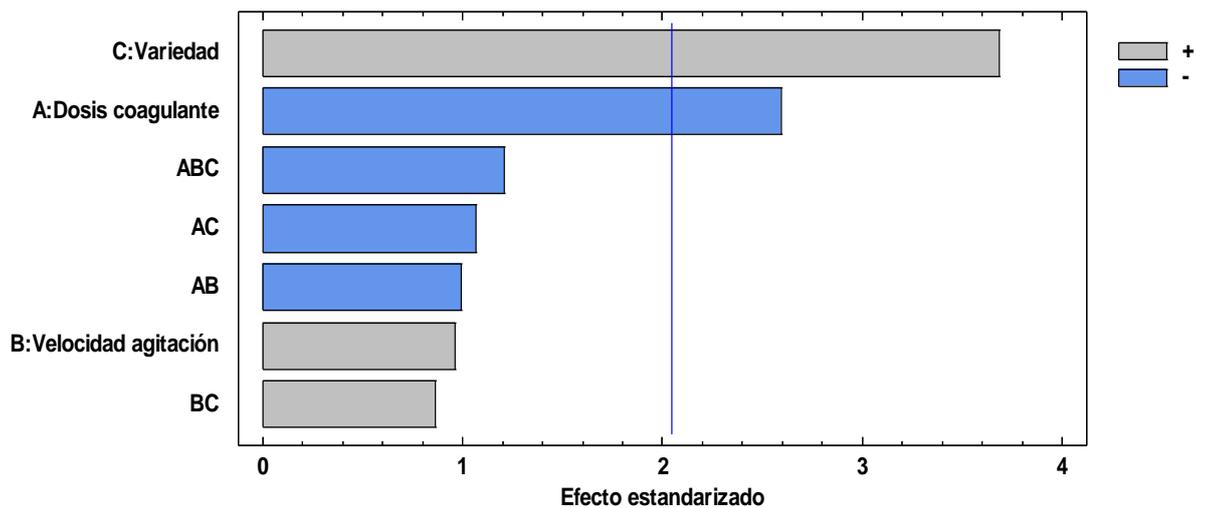


Figura 17. Diagrama de Pareto estandarizada para el pH



4.4.2. TURBIEDAD DEL AGUA TRATADA

La Turbiedad del agua tratada se midió haciendo uso de un turbidímetro los resultados se reportan en la Tabla 14, en ella se aprecia que los tratamientos muestran diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) (Anexo 6) los valores para la variedad Nopal (T3) reportan menor turbiedad de 0.21 NTU con una dosis 70 ml y una velocidad de agitación de 30 RPM, mientras que la Turbiedad del agua tratada con el coagulante de la variedad San Pedro (T7) reporto mayor valor 0.31 NTU, con una dosis de 30 ml y velocidad de agitación de 30 RPM. Sin embargo estos valores se han incrementado ligeramente respecto a la turbidez inicial de (0.2NTU).

Por otra parte los tratamientos T1 y T4 para la variedad Nopal presentaron mayor Turbiedad, en tanto los tratamientos T2, T3, T4, T5 y T6 presentaron menor de la misma forma los tratamientos T7, T10 para la variedad San Pedro mostraron Turbiedad mayor y los tratamientos T8, T9, T11 y T12 reportaron Turbiedad menor, así mismo el coeficiente de variabilidad fue menor al 1%.

Finalmente los resultados obtenidos de la Turbiedad están dentro de los LMP para el agua de consumo humano que establece valores de Turbiedad menores a 5 NTU (DIGESA, 2011), aunque la OMS recomienda valores ideales de hasta 1 NTU.

Tabla 14: Turbiedad (NTU) del agua tratada

Tratamiento	Dosis de coagulante	Velocidad de agitación	Variiedad	\bar{x}	\pm	s	CV (%)	Dif Sig *
T1	30	30	Nopal	0.31	\pm	0.02	0.066	BC
T2	50	30	Nopal	0.23	\pm	0.02	0.067	A
T3	70	30	Nopal	0.21	\pm	0.01	0.048	A
T4	30	40	Nopal	0.30	\pm	0.01	0.038	B
T5	50	40	Nopal	0.24	\pm	0.01	0.024	A
T6	70	40	Nopal	0.22	\pm	0.01	0.045	A
T7	30	30	San Pedro	0.48	\pm	0.02	0.032	E
T8	50	30	San Pedro	0.41	\pm	0.02	0.037	D
T9	70	30	San Pedro	0.31	\pm	0.02	0.049	BC
T10	30	40	San Pedro	0.45	\pm	0.02	0.034	DE
T11	50	40	San Pedro	0.35	\pm	0.02	0.043	C
T12	70	40	San Pedro	0.31	\pm	0.01	0.018	BC
Inicial				0.2				

* Letras iguales indican que no existe Diferencia significativa, calculado con el test de Tukey al 5% de significancia, Anexo 6.

Donde: \bar{x} , es la media aritmética; s, es la desviación estándar, C.V., es el coeficiente de variabilidad.

La Figura 18, muestra el Diagrama de medias para la Turbiedad en ella podemos observar que los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T9, T11 y T12 muestran menor Turbiedad comparada con los tratamientos T7, T8 y T10 que reportan mayor Turbiedad

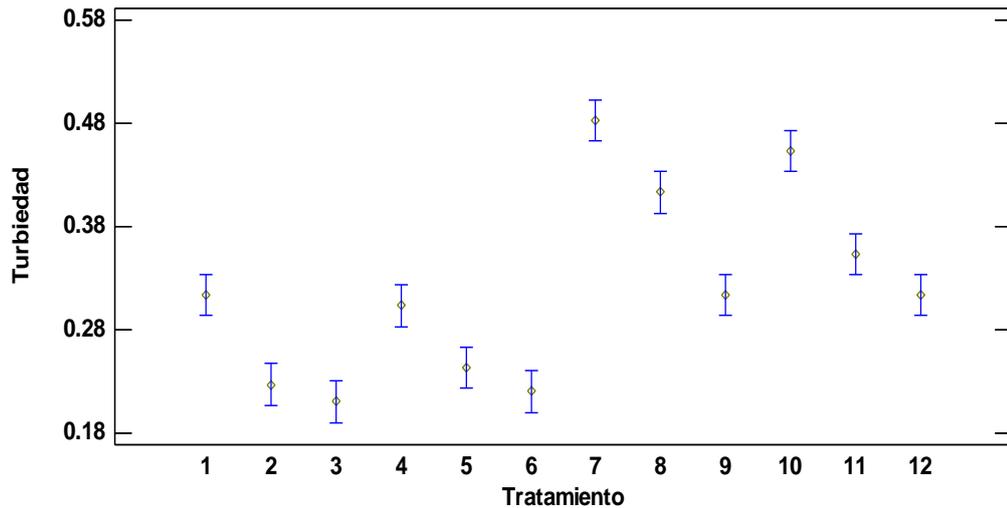


Figura 18. Diagrama de medias para la Turbiedad

La tabla 15 muestra efectos e interacción para la Turbiedad donde podemos ver que la dosis de coagulante (A) y variedad (C) muestra efecto significativo ($p\text{-value} < 0.05$) mientras que la velocidad de agitación (B) y efecto triple (ABC) no tiene efecto significativo ($p\text{-value} > 0.05$).

Tabla 15: ANOVA para efectos e interacción para la Turbiedad del agua tratada.

FUENTE	p-value
A:Dosis coagulante	0.0000
B:Velocidad agitación	0.0605
C:Variedad	0.0000
ABC	0.7463

Por otra parte en la Figura 19, se observa el efecto de los factores primordiales para la Turbiedad donde podemos apreciar que a más dosis de coagulante hay mayor remoción de sólidos suspendidos por lo tanto hay menor Turbiedad, mientras que a mayor o menor velocidad la Turbiedad permanece casi constante. Finalmente la variedad Nopal es la que mejor mantiene la Turbiedad inicial del agua tratada.

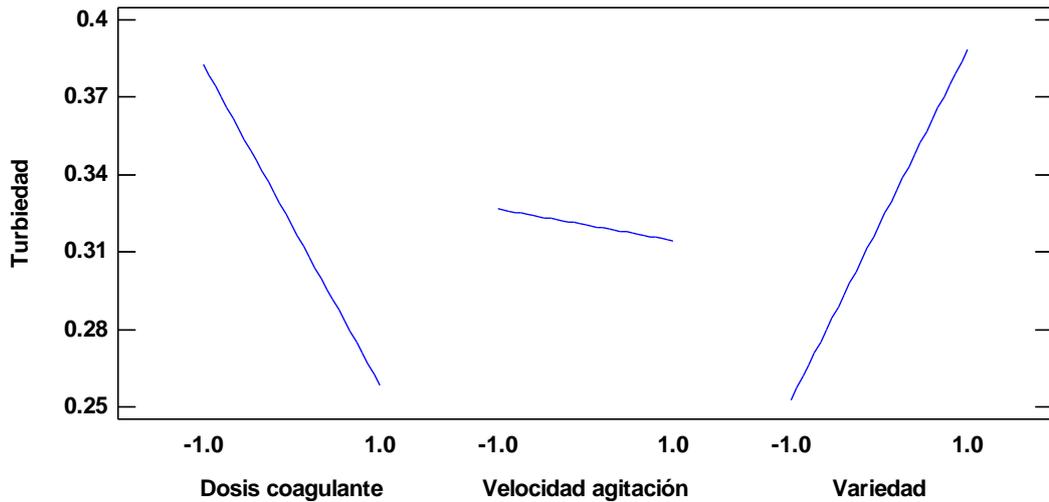


Figura 19. Efectos principales para la Turbiedad

Respecto al grafico de interacciones (Figura 20) se puede observar que a mayor dosis de coagulante y mayor o menor velocidad disminuye la Turbiedad, así mismo a mayor dosis y variedad San Pedro se reduce considerablemente la Turbiedad, finalmente a velocidad mayor o menor y variedad San Pedro la Turbiedad permanece casi constante.

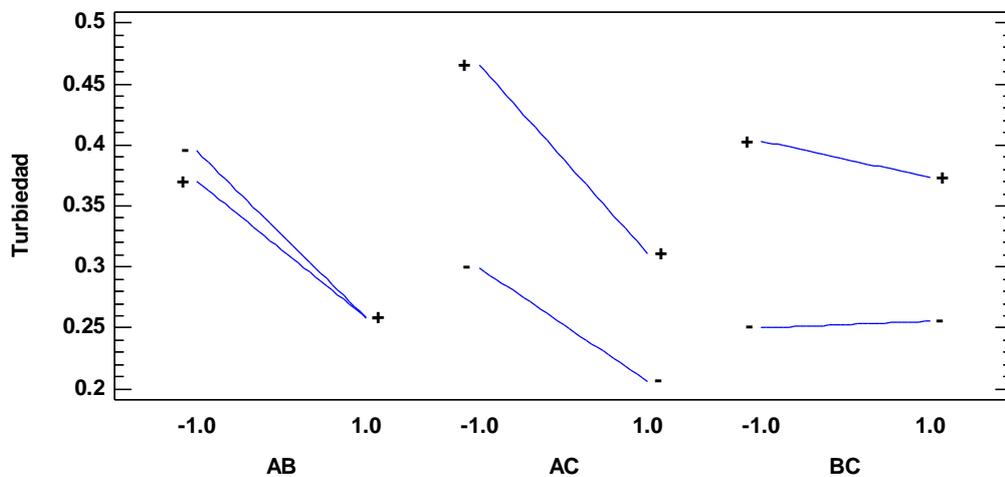


Figura 20. Diagrama de Interacciones para la Turbiedad

La figura 21 muestra el diagrama de Pareto para la Turbiedad en la cual podemos observar que la variedad (C) y dosis de coagulante (A) e interacciones dobles (AC y BC) presentan mayor efecto sobre la Turbiedad mientras que la interacción triple dosis (ABC), interacción doble (AB) y velocidad de agitación (B) no tienen efecto significativo sobre la Turbiedad.

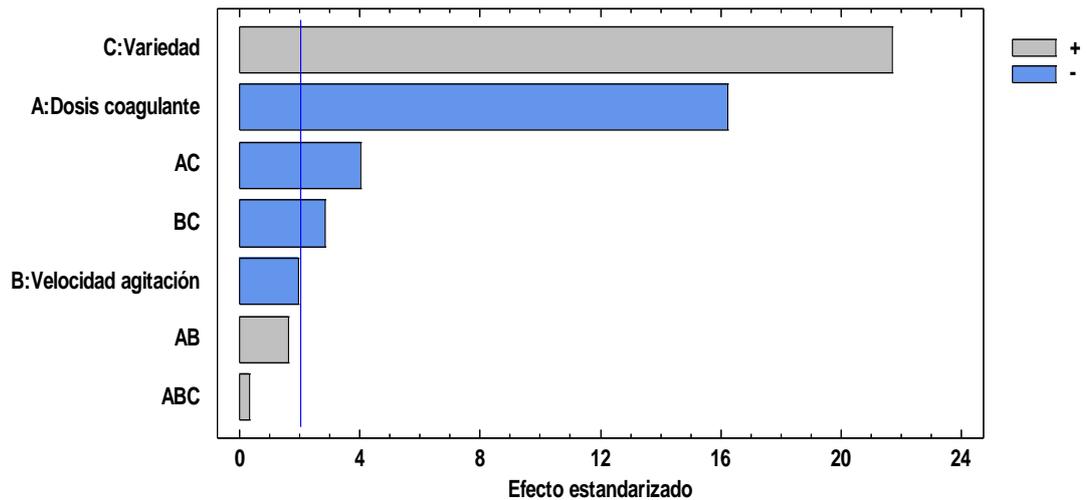


Figura 21. Diagrama de Pareto estandarizada para Turbiedad

4.4.3. DUREZA DEL AGUA TRATADA

Los resultados de la Dureza en mg CaCO₃/L se muestran en la Tabla 16, en ella se aprecia que los tratamientos muestran diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) (Anexo 7), por otra parte el menor valor fue de 165 mg CaCO₃/L reportado por la variedad Nopal (T3) con una dosis de 70 ml y una velocidad de agitación de 30 RPM y el mayor valor 193.67 mg CaCO₃/L fue reportado por la variedad San Pedro (T7) con una dosis de 30 ml y una velocidad de agitación de 30 RPM.

Asimismo el tratamiento T3 (70 mg/L y 30 rpm) y T6 reportaron valores similares de Dureza, siendo estos menores, para el caso de la variedad Nopal, por otro lado para la variedad San Pedro el tratamiento T9 (70 mg/L y 30 rpm) y T12 (70 mg/L y 40 rpm) reportaron valores menores.

De acuerdo a la OMS las personas toleran hasta 300 mg CaCO₃/L de Dureza, mientras que la DIGESA (2011) establece como valor máximo 500 mg CaCO₃/L para agua de consumo humano, de acuerdo a los resultados obtenidos el agua tratada con los coagulantes se encuentra dentro de los LMP, no obstante no se ha definido si la Dureza tiene efectos adversos sobre la salud (Soto, 2010).



Tabla 16: Dureza (mg CaCO₃/L) del agua tratada

Tratamiento	Dosis de coagulante	Velocidad de agitación	Variedad	X	±	S	CV	Dif Sig*
T1	30	30	Nopal	171.00	±	1.00	0.006	B
T2	50	30	Nopal	167.67	±	1.53	0.009	AB
T3	70	30	Nopal	165.67	±	1.53	0.009	A
T4	30	40	Nopal	170.67	±	1.53	0.009	B
T5	50	40	Nopal	167.33	±	2.08	0.012	AB
T6	70	40	Nopal	165.00	±	1.00	0.006	A
T7	30	30	San Pedro	193.67	±	2.52	0.013	D
T8	50	30	San Pedro	191.33	±	2.08	0.011	CD
T9	70	30	San Pedro	188.00	±	2.00	0.011	C
T10	30	40	San Pedro	192.00	±	1.00	0.005	CD
T11	50	40	San Pedro	191.00	±	1.00	0.005	CD
T12	70	40	San Pedro	187.67	±	2.08	0.011	C
Inicial				231.0				

* Letras iguales indican que no existe Diferencia significativa, calculado con el test de Tukey al 5% de significancia, Anexo 7.

Donde: \bar{x} , es la media aritmética; s, es la desviación estándar; C.V., es el coeficiente de variabilidad

En la Figura 22, se observa el diagrama de medias para la Dureza donde los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 presentaron valores menores a 180 mg CaCO₃/L comparado con los tratamientos T7, T8, T9, T10, T11 y T12 que reportaron valores mayores 180 mg CaCO₃/L.

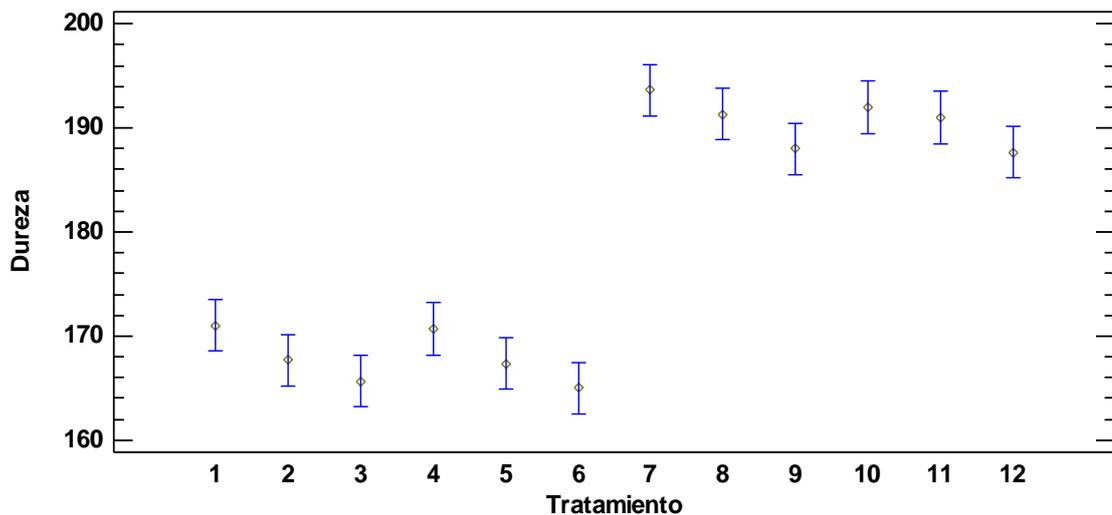


Figura 22. Diagrama de medias para la Dureza



Por otra parte al evaluar los efectos e interacción de factores para la Dureza (Tabla 17), se observó que la dosis de coagulante (A) y variedad (C) tienen efecto significativo (p -value < 0.05), así mismo a la velocidad de agitación (B) e interacción triple ABC no muestran efecto significativo (p -value > 0.05) sobre la Dureza del agua tratada.

Tabla 17: ANOVA para efectos e interacción de la Dureza del agua tratada

FUENTE	Valor-P
A:Dosis coagulante	0.0000
B:Velocidad agitación	0.2667
C:Variedad	0.0000
ABC	0.5332

La Figura 23 muestra los efectos principales de los factores para la Dureza se observa que a mayor dosis del coagulante se disminuye relativamente la Dureza comparada con el valor inicial (231.0 mg CaCO₃/L), por otro lado a mayor o menor velocidad los valores de Dureza permanecen constantes de acuerdo a la figura. Finalmente la variedad Nopal mostro mejores resultados por disminuir notablemente la Dureza.

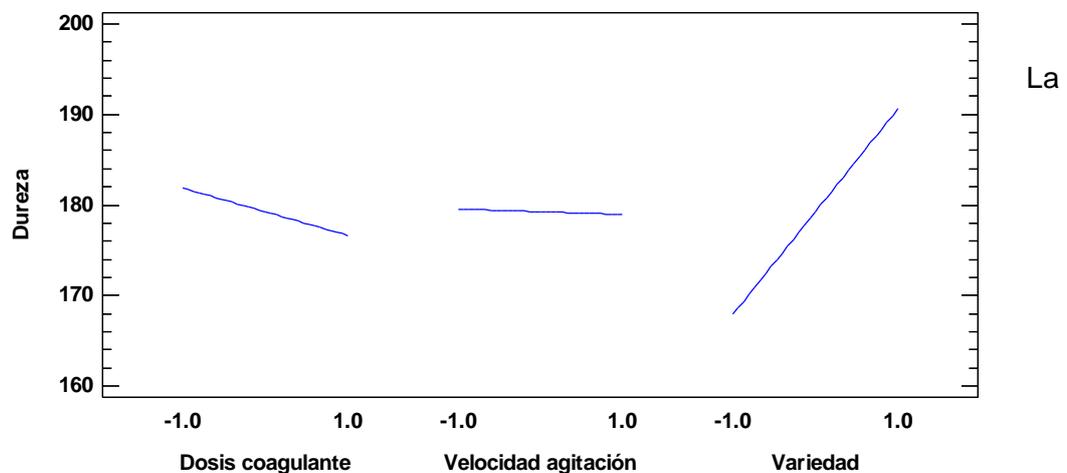


Figura 23. Efectos principales para la Dureza

Figura 24 muestra el gráfico de interacciones para Dureza se aprecia que a más dosis de coagulante y mayor o menor velocidad disminuye la Dureza, así mismo a mayor dosis y variedad Nopal disminuye la Dureza, finalmente a mayor o menor velocidad y variedad San Pedro la Dureza aumenta frente a la variedad Nopal.

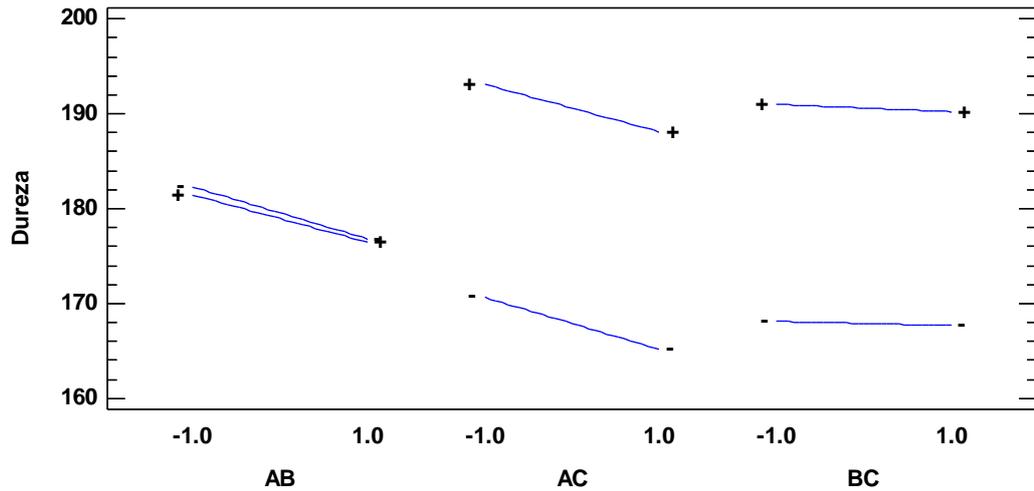


Figura 24. Diagrama de interacción para Dureza

El diagrama de Pareto para la Dureza (Figura 25) se puede observar el efecto estandarizado de la variación de una unidad de cada efecto sobre la Dureza siendo el efecto de mayor significancia la variedad (C) y dosis de coagulante (A), mientras que la velocidad de agitación (B) interacción triple (ABC) e interacciones dobles (AC, AB, BC) no tienen efecto significativo sobre la Dureza del agua tratada.

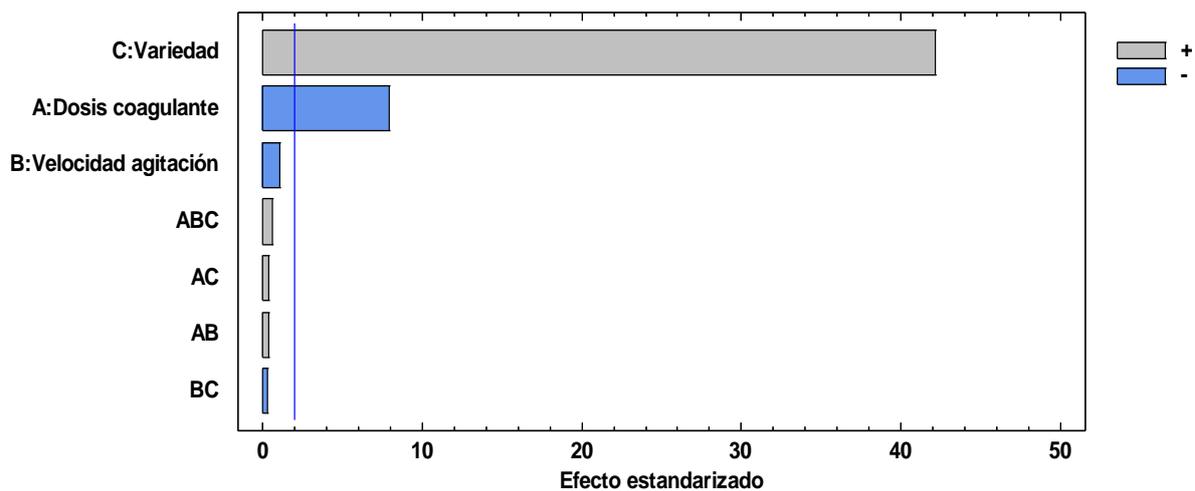


Figura 25. Diagrama de Pareto estandarizada para Dureza



4.4.4. CONDUCTIVIDAD

Los resultados de la Conductividad del agua tratada se presentan en la Tabla 18, en ella se aprecia que los tratamientos muestran diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$), (Anexo 8), el menor valor lo presenta el T6 para la variedad Nopal con una dosis de coagulante de 70 ml y una velocidad de agitación de 40 RPM reporto 396.33 $\mu\text{S/cm}$ mientras que el tratamiento T10 para la variedad San Pedro reporto un valor mayor de 460.00 $\mu\text{S/cm}$ con una dosis de coagulante de 30 ml y una velocidad de agitación de 40 RPM, por otra parte los tratamientos T1 y T4 para la variedad Nopal reportaron valores altos de Conductividad y los tratamientos T2, T3, T5 y T6 reportaron valores menores. De la misma forma para la variedad San Pedro se evidencio que T9 y T12 adquirieron los valores más bajos, frente a los tratamientos T7, T8, T10, T11.cabe mencionar que la Dureza disminuyo para todos los tratamientos en relación al valor inicial (523.0 $\mu\text{S/cm}$)

Tabla 18: Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) del agua tratada

Tratamiento	Dosis de coagulante	Velocidad de agitación	Variedad	X	\pm	S	CV	Dif Sig
T1	30	30	Nopal	412.00	\pm	2.65	0.006	B
T2	50	30	Nopal	398.67	\pm	2.08	0.005	A
T3	70	30	Nopal	396.00	\pm	1.00	0.003	A
T4	30	40	Nopal	409.67	\pm	1.53	0.004	B
T5	50	40	Nopal	399.00	\pm	1.00	0.003	A
T6	70	40	Nopal	396.33	\pm	1.53	0.004	A
T7	30	30	San Pedro	459.33	\pm	1.53	0.003	D
T8	50	30	San Pedro	455.67	\pm	1.15	0.003	CD
T9	70	30	San Pedro	453.00	\pm	1.00	0.002	C
T10	30	40	San Pedro	460.00	\pm	1.00	0.002	D
T11	50	40	San Pedro	458.33	\pm	1.53	0.003	D
T12	70	40	San Pedro	453.67	\pm	1.15	0.003	C
Inicial				523.0				

* Letras iguales indican que no existe Diferencia significativa, calculado con el test de Tukey al 5% de significancia, Anexo 8.

La Figura 26 muestra diagrama de medias para la Conductividad claramente se observa que los T1,T2,T3,T4,T5 y T6 presentan menor Conductividad frente a los tratamientos T7,T8,T9,T10,T11 y T12 que reportaron mayor Conductividad.

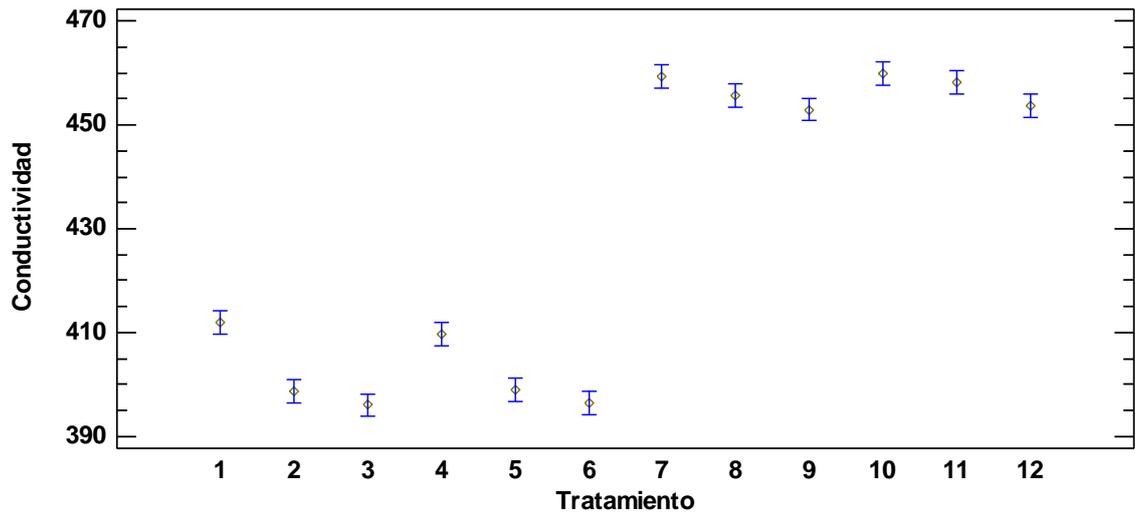


Figura 26. Diagrama de medias para la Conductividad

La Tabla 19 muestra los efectos e interacción de factores para la Conductividad donde la dosis de coagulante(A) y variedad (C) tiene efecto significativo ($p\text{-value} < 0.05$), mientras la velocidad de agitación (B) e interacción triple (ABC) no representa efecto significativo ($p\text{-value} > 0.05$).

Tabla 19: ANOVA para efectos e interacción para la Conductividad del agua tratada

FUENTE	p-value
A:Dosis coagulante	0.0000
B:Velocidad agitación	0.6165
C:Variedad	0.0000
ABC	0.4842

Los efectos principales de los factores para la Conductividad del agua tratada se muestran en la (Figura 27), en la que se evidencia que a mayor dosis de coagulante disminuye la Conductividad mientras que a mayor o menor velocidad la conductividad permanece casi constante, por otro lado la variedad Nopal fue la que disminuyó considerablemente la conductividad inicial.

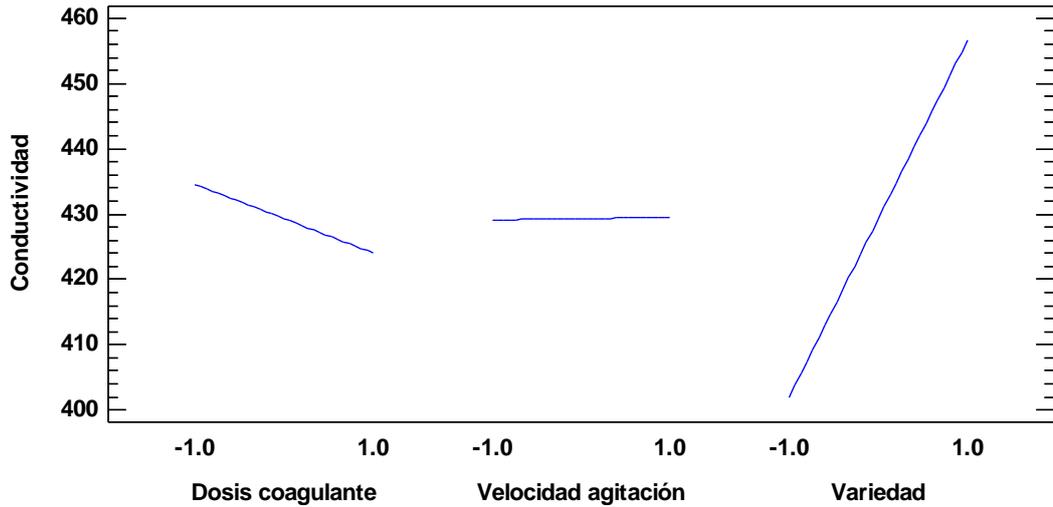


Figura 27. Efectos principales para la Conductividad

La grafica de interacción de factores para la Conductividad (Figura 28) reporta que a mayor dosis coagulante y menor o mayor velocidad agitación disminuye la Conductividad, mientras que a mayor dosis de coagulante para la Nopal se disminuye considerablemente la Conductividad, finalmente para la variedad San Pedro y velocidad mayor o menor la Conductividad permanece constante, sin embargo este valor disminuyo considerablemente respecto al valor inicial 523.0 $\mu\text{S/cm}$.

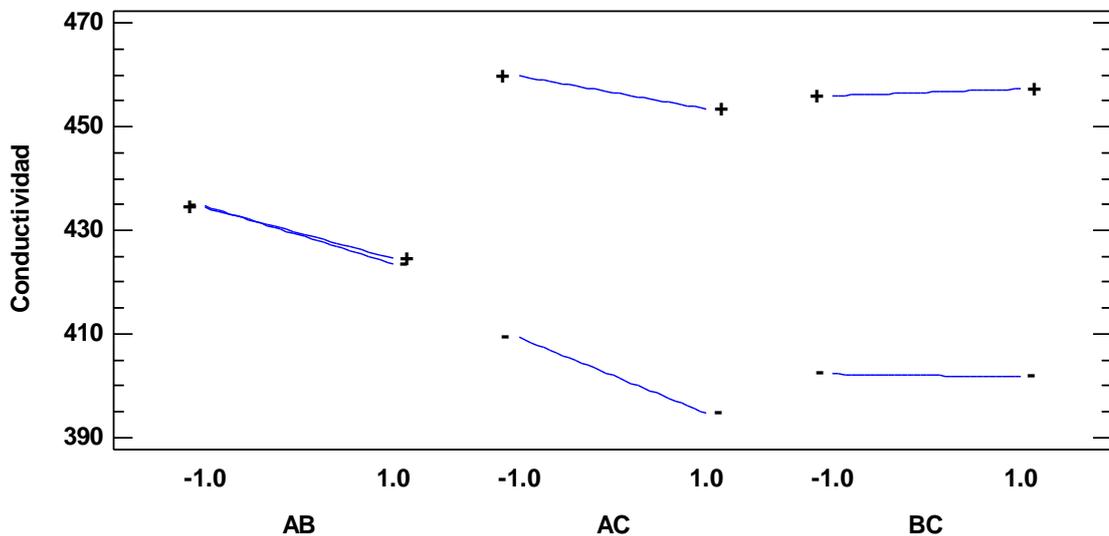


Figura 28. Diagrama de Efectos de interacción para Conductividad



El diagrama de Pareto de Conductividad se muestra en la Figura 29 de ella podemos apreciar que la variedad (C) presenta mayor efecto sobre la Conductividad, seguido de la dosis de coagulante (A) e interacciones dobles AC, mientras que las interacciones dobles BC, AB, interacción triple ABC y velocidad de agitación no tienen efecto significativo sobre la Conductividad.

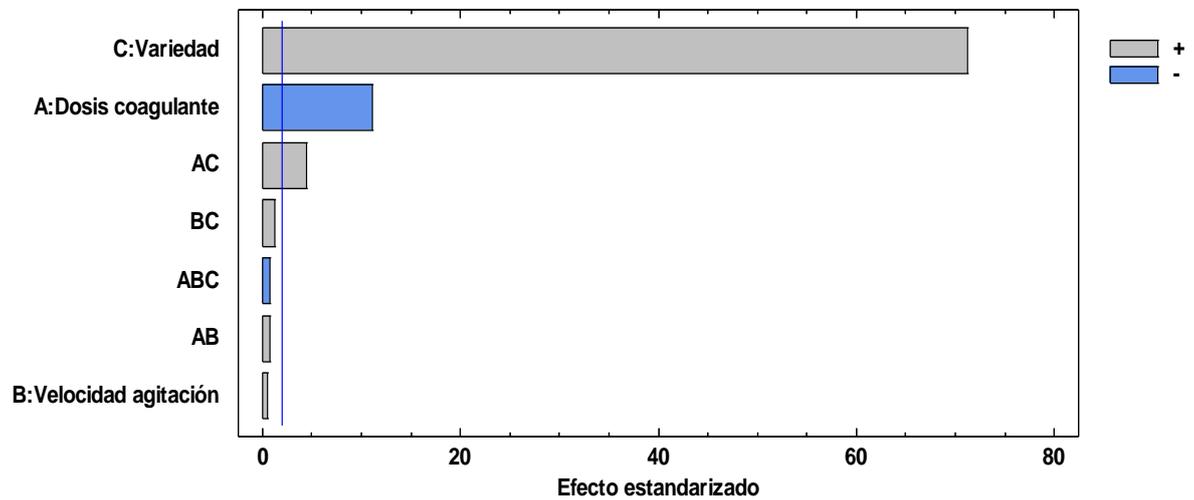


Figura 29. Diagrama de Pareto estandarizada para Conductividad



CAPITULO 5

DISCUSIÓN

5.1. RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE COAGULANTES.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que la extracción de los coagulantes presento bajo rendimiento sobre todo para la variedad San Pedro, esto se debe a que cerca del 20% (Anexo 01) del peso corresponde a la cascara, espinas y la parte central. Por otro lado la variedad Nopal presento un rendimiento más alto comparado con la variedad San Pedro (Tabla 7) estas variaciones se debe a alto contenido de humedad de estas plantas, no obstante el rendimiento para ambas variedades fue mayor en comparación a lo reportado por Vázquez (1994) quien obtuvo 2.5% para la variedad *Opuntia lindheimeri* y 6.3% para la variedad *Opuntia microdasys*, Villabona et al. (2013) reporto un rendimiento del 6.5%, para la variedad *Opuntia ficus*, Vargas-Rodríguez et al. (2016) Reportaron un rendimiento del 2,56% para la variedad Nopal, y Rodríguez (2017) quien reporto 1,96%, de rendimiento para mucilago de Nopal estas variaciones dependen de varios factores como las condiciones climáticas, debido a la capacidad de estos polisacáridos para absorber el agua como defensa de la planta contra las condiciones de estrés y edad de la planta. Por otra parte Sepúlveda, et.al, (2007) considera a la temperatura como un factor responsable de la variación del rendimiento, quien manifiesta que a mayor temperatura el rendimiento de extracción se incrementa.

5.2. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DOSIS Y VARIEDAD EN LA CAPACIDAD CLARIFICANTE.

5.2.1. ACTIVIDAD FLOCULANTE

En cuanto a la actividad floculante se aprecio la existencia de diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) entre los diferentes tratamientos. Por otra parte el coagulante de la variedad Nopal presento mejor actividad floculante, superando significativamente a la variedad San Pedro; el incremento de la dosis de coagulante aumento la actividad floculante, mientras que la velocidad de agitación reporto ligeros efectos sobre actividad floculantes, es así que se obtuvieron valores de actividad floculantes de hasta 85.04 ± 4.38 para el Nopal y 66.04 ± 4.47 para San Pedro (Tabla 8), estos valores son mayores en comparación con lo reportado por Choque-Quispe *et al.* (2018) quien encontró una actividad floculante de 46.5 y 48.5 para coagulantes de Nopal y San Pedro respectivamente los cuales fueron extraídos con solvente como el



etanol. Resultados similares encontraron Sánchez y Untiveros (2004) quienes reportaron 36.54 de actividad floculante para la pectina evaluada en agua residual artificial formulada con caolín y hierro (III), y 10.53 en agua residual artificial formulada con caolín y cromo (III), sin embargo en ambos casos presento un descenso de la actividad floculante con el incremento de concentración de pectina, por otro lado los resultados obtenidos en la investigación son relativamente mayores comparados con los antecedentes, este hecho se debe al proceso de liofilización, el cual permite mantener intactas la estructuras de las cadenas polianiónicas, las cuales presentan propiedades coloidales, que permiten la capacidad de floculación por la acción de iones de carga positiva (Herbstreith y Fox, 2003).

5.2.2. PORCENTAJE DE REMOCIÓN

En cuanto al Porcentaje de Remoción se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los tratamientos ($p\text{-value}<0.05$) además el efecto de la variedad Nopal (T3), mayor dosis de coagulante y menor velocidad de agitación presentaron alto Porcentaje de Remoción de sólidos (99.35%), mientras el efecto de la variedad San Pedro, menor dosis de coagulante y menor velocidad de agitación presentaron una remoción de 98.50% (Tabla 10). Resultados similares fueron reportados por Y, Torres (2012), quienes reportaron porcentajes de remoción de 95.0 % a 99.6 % cuando utilizaron coagulantes sintéticos de Sulfato de Aluminio, Floculante Praestol, además mencionan que la velocidad de agitación no es significativa en el Porcentaje de Remoción. En tanto Quirós *et al.* (2010), Reportaron un % de Remoción de sólidos del 83% utilizando Moringa como coagulante natural a 400 ppm y entre 20% al 100% cuando emplearon quitosano como coagulante, mientras que para el Nopal (*Cactus lefaria*) el Porcentaje de Remoción fue de 94% y 100% para dosis de 45 ppm y 180 ppm respectivamente, concluyendo que a mayor dosis de coagulante el Porcentaje de Remoción aumenta, en todos los casos se agregó CaO. Mientas que Sciban *et al* (2009) encontraron porcentajes de remoción que van del 70% a 80% para coagulantes naturales procedentes de semillas de castaño y bellota de algunas variedades de *Fagaceae* como el roble común y castaña Europea, Contreras *et al.* (2015) reporto remoción de hasta el 98% al utilizar extracto de Nopal con alumbre con formulación 20% y 80% respectivamente, de igual forma Almendárez (2004) comprobó la efectividad de coagulación de un polímero natural extraído de las pencas de *Opuntia cochinellifera* (planta nativa de Centroamérica) en aguas superficiales. Solís *et al.*, (2012) propuso la mezcla de un polímero natural basado en almidón extraído de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) con sulfato de aluminio comercial, comparando la eficiencia



de remoción de partículas suspendidas con la eficiencia alcanzada solamente con sulfato de aluminio grado comercial, logrando rendimientos de remoción del 97.9 % a 98.7% para agua superficial de un río. Los resultados de Solís *et al.*, (2012) coinciden con la resultados de este trabajo, que el Porcentaje de Remoción se incrementa cuando se aumenta la dosis del coagulante. Finalmente Schulz y Okun (1998), manifiesta que una gran variedad de materiales tanto sintéticos como naturales están disponibles para ayudar la clarificación del agua la aplicación correcta de estos coadyuvantes coagulantes puede mejorar las características de sedimentación y la firmeza del floculo, lo que a su vez permite periodos de sedimentación más cortos y tasas de filtración más altas. Sin embargo, lo más importante de los coadyuvantes es que pueden reducir significativamente la dosis requerida del coagulante primario (por ejemplo, sulfato de aluminio), lo cual es un beneficio para los países en desarrollo que deben importar coagulantes. En general los coagulantes extraídos por liofilización presentan alto Porcentaje de Remoción de sólidos mejorando la capacidad clarificante.

5.3. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DOSIS Y VARIEDAD EN PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA TRATADA

5.3.1. pH DEL AGUA TRATADA

Los resultados de pH se visualizan en la Tabla 12, en ella se observa que los tratamientos expresan diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) así mismo se encontró valores que oscilaron entre 6.35 a 6.55 para la variedad Nopal mientras que para la variedad San Pedro se encontró valores entre 6.69 a 6.90. Por otro lado empleando una menor dosis de coagulante (30ml/l), menor velocidad de agitación (30 RPM) y variedad San Pedro el pH se mantiene casi neutro, sin embargo el pH del agua tratada disminuyó cuantiosamente respecto al pH inicial (7.87), este hecho se debe a que al pH de los coagulantes extraídos eran bastante ácidos (5.30 para Nopal y 4.42 para San Pedro). Los resultados obtenidos durante el estudio fueron análogos a los reportados por Choque-Quispe *et al.* (2018) quien determinó valores de pH 6.96 y 7.28 para las variedades de Nopal y San Pedro, así mismo Villabona *et al.* (2013) logró valores de pH de 7.5 a 7.9 al utilizar agua con coagulante Nopal desecado por aire caliente, Vaca-Mier *et al.* (2014) reportó el incremento del pH de 7.04 a 7.148 al adicionar dosis de 10 a 70 mg/L de Nopal en polvo, mientras que Vázquez (1994), determinó una ligera depreciación del pH de 7.46 a pH 7.43 del agua tratada cuando se someten a tratamiento utilizando variedades de Opuntia, por otra parte Solís *et al.*, (2012) demostraron que el pH del agua no varía cuando se trata con diferentes mezclas de coagulantes de almidón de yuca y Sulfato de Aluminio, Miranda *et al.* (2012) reportaron



que cuando se trata aguas residuales mineras utilizando coagulantes Cal – Kollpa (alumbre del Altiplano) a modo de mezcla estas muestran un incremento del pH de 5.83 a 7.87.

Por otra parte la OMS no implanta un valor pero exhorta su control para una correcta clarificación y desinfección del agua en ese entender el valor para el pH no debe exceder a 8. Del mismo modo según la normativa peruana (DIGESA, 2011- DS N° 031-2010-SA) establece valores de 6.5 a 8.5. Es así que los resultados reportados en la investigación se encuentran dentro de los LMP para agua de consumo humano, por lo que la adición de los coagulante naturales no afectan el pH del agua tal como lo evidencio Contreras et al. (2015) y Vaca-Mier et al (2014).

5.3.2. TURBIEDAD DEL AGUA TRATADA

Los resultados se reportan en la Tabla 14, en ella se aprecia que los tratamientos muestran diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) reportando valores de Turbiedad de 0.21 a 0.31 NTU para la variedad Nopal y 0.31 a 0.48 NTU para la variedad San Pedro, Sin embargo estos valores se incrementaron ligeramente respecto a la turbidez inicial (0.2NTU), este hecho se debe a que a mayor dosis de coagulantes hay formación de microflocs cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo tanto, la Turbiedad residual se eleva (Torres. 2009). Es importante tener en cuenta que el proceso de clarificación es una de las primeras etapas implementadas durante el tratamiento del agua para consumo y el valor deseado para los parámetros en mención se puede alcanzar en etapas posteriores Silva (2017). Sin embargo los valores obtenidos en los diferentes tratamientos son relativamente menores, a los obtenidos por Ortiz *et al.* (2018) quien realizó tratamientos de coagulación-floculación agregando el polímero natural almidón de yuca y combinando coagulantes floculantes como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, cuya combinación de 250 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y 750 mg/L del almidón, fue la que presento mayor eficiencia obtenido 6 NTU de Turbiedad final respecto a 24 NTU de Turbiedad final, Este comportamiento se encuentra en concordancia con los datos obtenidos por Martínez *et al.*, 2003 al utilizar Cactus lefaria con acetato de etilo, para niveles de turbidez iniciales de 20 hasta 150 UNT en agua turbia sintética encontró concentraciones mínimas de turbidez final menores a 5 UNT. Estos resultados se debe a los mecanismos de acción de los polielectrolitos naturales que contienen un alto contenido de carbohidratos y proteínas con propiedades aglomerantes y al utilizarlos de forma combina con los coagulantes sintéticos estos son más eficientes Valeriano *et al.* (2013). Estos resultados coinciden con los reportes de López (2018), que al utilizar opuntia ficus-indica para la remoción de Turbiedad obtuvo



valores de 12.3, 12.1 y 10.7 NTU de 143 NTU iniciales, Vaca-Mier *et al.*, (2014) al tratar agua residual con polvo de Nopal logro reducir la Turbiedad hasta 92% de una Turbiedad inicial de 310 NTU. Por otro lado la Turbiedad del agua es causada por la presencia de coloides suspendidos muchas veces provienen de polímeros naturales los cuales son difíciles de remover, sin embargo los reportes de la Turbiedad para el agua tratada con ambas variedades de coagulante son bajos y están dentro de los LMP los cuales contemplan valores de Turbiedad inferiores a 5 NTU, por otra parte la OMS encomienda valores ideales de hasta 1 NTU.

5.3.3. DUREZA DEL AGUA TRATADA

En la Tabla 16, se reporta los hallazgos de la Dureza en mg CaCO₃/L en ella se estima que los diferentes tratamientos muestran diferencia significativa (p -value < 0.05) así mismo se obtuvieron valores para la variedad Nopal entre 165.00 mg/L y 171 mg/L y para la variedad San Pedro entre 187.67 a 193.67 mg/L. estos resultados son menores frente a lo reportado por Vázquez (1994), encontró que la Dureza del agua artificial sometidos a un tratamiento con una mezcla de coagulantes de Sulfato de Aluminio y *Opuntia L.* disminuye de 0.2 mg CaCO₃/L a 0.196 mg CaCO₃/L, Miranda *et al.* (2012), reporta que la dureza se incrementa de 0.692 a 0.942.0 mg CaCO₃/L al tratar aguas residuales mezcladas con coagulantes de Cal y Kollpa, también menciona que al realizar tratamientos con coagulante Sulfato ferroso y Cal la dureza se disminuye a valores de 1122.0 a 0.293.0 mg CaCO₃/L. Por otra parte Morejón (2017), menciona que al tratar agua para consumo humano con extracto de Nopal no encontró variación considerable de la Dureza del agua, en tanto que Choque *et al.* (2018), encontró que el incremento de la dosis de coagulante de Nopal y coagulante San Pedro no mostraron disminución significativa en comparación al agua sin tratamiento. Cabe señalar que de acuerdo a la OMS la gente tolera hasta 300 mg CaCO₃/L de Dureza, Así mismo de acuerdo a los LMP (DS.N°031-2010-SA) y los ECA (DS.N°004-2017-MINAM) establecen como valor máximo 500.0 mg CaCO₃/L para de agua de consumo humano no obstante no se ha definido si la Dureza tiene efectos adversos sobre la salud (Soto, 2010).



5.3.4. CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Los resultados de Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del agua tratada se contemplan en la Tabla 18, en ella se aprecia que los tratamientos presentan diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$), también se obtuvieron valores para la variedad Nopal que oscilaron entre 396.33 a 499 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para la variedad San Pedro oscilaron entre 453.67a 460.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, así mismo la Conductividad disminuyó en todos los tratamientos en relación al valor inicial (523.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$), del mismo modo a mayor dosis coagulante y menor o mayor velocidad agitación disminuye la Conductividad, el echo se podría deber a que los coagulantes naturales poseen el efecto quelante, permitiéndoles atrapar iones y metales (Vicentius, 2008), Contreras et al (2015) encuentra una ligera disminución de la Conductividad al utilizar Nopal cristalizado en el tratamiento de agua, obteniendo resultados de 117,87 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 118,13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de la Conductividad inicial que presentó 119,47 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por otra parte Choque (2018), manifestó que la Conductividad no tuvo una variación significativa al utilizar Nopal y San Pedro cristalizado durante el tratamiento del agua. Así mismo la Conductividad dependerá de la presencia de iones, su movilidad, valencia ,concentración y la temperatura a la que se realice la medición. La variación de la Conductividad proporciona información acerca de la productividad primaria y descomposición de la materia orgánica (Samboni *et al.*, 2002), y esta se incrementa principalmente con el contenido de iones (Ramírez *et al.*, 1998). Finalmente la Conductividad obtenida en la presente investigación se encuentran dentro de los LMP y ECA para aguas de consumo humano, que estable como máximo 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (DS.N°031-2010-SA) y (DS.N°004-2017-MINAM).



CONCLUSIONES

De los resultados a los que se logró durante el trabajo de investigación podemos concluir:

1. La extracción de coagulantes de cactáceas (Nopal y San Pedro) por liofilización presento capacidad floculante, además los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los LMP Y ECA de agua para consumo humano según la normativa peruana.
2. El rendimiento de extracción en las cactáceas utilizadas presentaron diferencia significativa, la variedad San Pedro reporto menor rendimiento ($3.29 \pm 0.25 \%$) comparada con la variedad Nopal ($7.13 \pm 0.32 \%$), estas diferenciaciones se deben a diferentes situaciones climáticas ya que estos polisacáridos tienen la capacidad de atraer el agua como defensa, estrés y edad de la planta. responsable de la variación del rendimiento.
3. El efecto de la velocidad de agitación, dosis y variedad de coagulante de cactáceas en la capacidad clarificante fue estimada en función a la actividad floculante y el Porcentaje de Remoción, respecto a la actividad floculante se encontró que existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos, mientras que el efecto de la variedad Nopal, mayor dosis de coagulante y menor velocidad de agitación presento mejor actividad floculante. Del mismo modo el Porcentaje de Remoción presento diferencia significativa entre los tratamientos, además el efecto de la variedad Nopal, mayor dosis de coagulante y menor velocidad de agitación presentaron alto Porcentaje de Remoción de sólidos.
4. El efecto de la velocidad de agitación, dosis y variedad de coagulante de cactáceas en los parámetros fisicoquímicos del agua tratada fue evaluado atravez del pH, Turbiedad, Dureza y Conductividad; el pH disminuyo considerablemente respecto a su valor inicial, sin embargo empleando una menor dosis de coagulante, mayor velocidad de agitación y variedad San Pedro el pH se mantiene casi neutro, en cambio la Turbiedad reporto valores altos comparados con el valor inicial sin embargo a mayor dosis, mayor velocidad y variedad Nopal se obtiene valores cercanos a este, por otra parte la Dureza y la Conductividad disminuyeron considerablemente respecto al valor inicial. No obstante todos los valores de las medidas fisicoquímicos se encuentran dentro de los LMP.



RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los gobiernos municipales y distritales establecer programas de implementación de áreas degradadas con Nopal y San Pedro ya que son plantas que se adaptan muy fácilmente a diversos tipos de terreno y se pueden utilizar como coagulantes naturales.
2. Se recomienda a la Escuela de Posgrado de la UAC, poner a disponibilidad los resultados encontrado en el presente estudio, a fin de sustituir el uso de coagulantes sintéticos.
3. Se recomienda a las municipalidades distritales implementar proyectos en el que se consideren a los coagulantes naturales de cactáceas durante todos los tratamientos del agua para consumo.
4. A las personas vinculadas en todos los tratamientos de agua se recomienda investigar sobre el efecto de los coagulantes naturales en otros parámetros fisicoquímicos como la DBO y carga microbiana
5. Se recomienda utilizar en otras investigaciones diferentes variedades de Cactáceas que manifiesten particularidades coagulantes para poder valorar la eliminación de metales pesados como Hg, Cr, Pb, y Zn y en aguas residuales



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almendárez, N. (2004). Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua "Piedras Azules". *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 5(1): 46-54.
- Andía, Y. (2000). *Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. Tratamiento de Agua: Coagulación Floculación*. SEDAPAL. Lima, Perú.
- Apaza, H. (2013). Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa. Tesis de posgrado, Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20. ed. Washington: APHA, 1998.
- Arboleda, (2000) *Teoría y práctica de la purificación del agua*. 3era edición. Editorial McGraw Hill.
- Beltrán, J., Sánchez, J. (2009) Improvement of water treatment pilot plant with Moringa oleifera extract as flocculant agent. *Environmental Technology* 30(6):525-534.
- Bolaños, V.; Fernández, A. (2002). *Economía y Política Medioambiental*. Ed. Pirámide, 2002.
- Bratskaya, S.; Schwarz, S.; Chervonetsky, D. (2004). Comparative study of humic acids flocculation with chitosan hydrochloride and chitosan glutamate, *Water Research*, 38, 2955 – 2961.
- CEPIS/OPS/OMS (1991). *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Lima Peru.
- Chávez, J.E., Cunaique, I.J., Pinco, J.E. (2019). Proceso de obtención y evaluación de la eficiencia del almidón del plátano de seda (*Musa acuminata* AAA) para la coagulación – floculación de las aguas superficiales del río Puchca – Ancash, Perú, a nivel de laboratorio. Tesis de pregrado, Universidad del Callao, Lima, Perú. 125p.
- Choque, Y. (2018). Evaluación de la extracción de floculantes de tres variedades de cactáceas en la remoción de sólidos en suspensión, UNSAAC, Cusco, Perú. p120.
- Choque-Quispe, D., Choque-Quispe, Y., Solano-Reynoso, A.M., & Ramos-Pacheco, Betsy S. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309.



- Contreras, K., Aguas, Y., Verbel, R., Ortega, G., Salcedo, J. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Revista producción más Limpia*, 10(1):40-50. DOI: 10.22507/pml.v10n1a3
- Cornejo, L., Alcalde, L. (2010). *Evaluación del proceso de sedimentación de almidón crudo de la papa china (Colocasia esculenta, L. Schott), utilizando floculantes naturales*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Degrémont (1996). *Water Treatment Handbook*. 6ta edición, vol.1, Francia.
- DIGESA (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*, DS N° 031-2010-SA.
- Dujardin, E., Laszio, P., Sacks, D. (1975). The chlorophylls. An experiment in bio-inorganic chemistry. *Journal of chemical education*, 52:742-748. DOI: 10.1021/ed052p742
- García, S. A. (2005). *Estudio de la eficiencia de eliminación de radionúclidos naturales en procesos compatibles con el de potabilización de aguas*. Cáceres, España: Universidad de Extremadura.
- Gomella, C.; Guerree, H. (1977). *Tratamiento de aguas para abastecimiento público*. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados.
- González, M.; Hernández, C.; Kaehler, J. (1991). *Determinación de aluminio en el agua potable de Valencia y localidades cercanas*. Departamento de Química, Universidad de Carabobo.
- Granadas, S.; Castañeda, P. (1991). *El Nopal: Historia, Genética e importancia frutícola*. Ed. Trillas. México.
- Guerrero, L.; Ortega, J.M.; Sanz, J. (2003). *Tratamientos de regeneración de aguas residuales Depuradas para la recarga de acuíferos. Filtración granular y sistemas integrados de membranas*". *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos*.
- Gutiérrez, H.; de la Vara, R. (2004). *Análisis y Diseño de Experimentos*. Edit. McGrawHill. México.
- Guzmán, L.; Velásquez, L.; Restrepo, B. (2005). *Proyecto Agua Universidad de Antioquia*. Accesado junio 2014, en: <http://proyectoagua.galeon.com/productos268677.html>.
- Hanson, T.; Jhon, L. (2000). *The effects of temperature on turbulent flocculation: Fluid dynamics and chemistry*. Jour AWWA.
- Herbstreith, X., Fox, H. (2003). *Degree of Estereficación and Gelling Properties*. Disponible en: www.Herbstreith-fox.de



- Hernández, A. (2005). *Depuración de aguas residuales*. 4ta edición, España.
- Herrera, M. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Rev. LIMENTECH Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(2): 123-135.
- Huaroma, H.W. (2018), Determinación de los parámetros hidráulicos en la floculación ortocinética utilizando la *Vicia faba*, para la remoción de Turbiedad del río Monterrey. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Ancash, Perú. 155p.
- Inchausti, I.; Sasia, P.; Katime, I. (2000). *Floculantes poliméricos no iónicos obtenidos en emulsión inversa: Síntesis y caracterización*. Accesado junio 2014, en <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/publicados/inchausti.pdf>.
- Jiménez, J.; Vargas, M.; Quirós, N. (2010). *Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el Río Humo, Reserva Forestal Río Macho*. Informe Final de Proyecto de Investigación. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Kelderman, P.; Kruis, G.F. (2001) *Laboratory Course Aquatic Chemistry and its applications in environmental Engineering*. International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, Holanda
- López, M. (2018), realizo la investigación titulada evaluación del uso de la cactácea opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas. Tesis de pregrado, Universidad Nacional La Molina, Lima, Perú. 144p.
- Lopez-Vidal, R., Laines-Canepa, J.R., Hernandez-Barajas, J.R., Aparicio-Trapala, M.A. (2014). Evaluation of taro starches (*Colocasia esculenta*) as flocculant aids in turbidity removal for water treatment process. *Revista mexicana de Ingeniería Química*, 13(3):855-863.
- Martínez, D., Chávez, M., Díaz, A., Chacín, E., Fernández N. (2003). *Eficiencia del cactus lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de aguas*. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 26(1):27-33.
- Mendez, F.; Feliciano, O. (2010). *Propuesta de un modelo socio económico de decisión de Uso de aguas residuales tratadas en sustitución de agua Limpia para areas verdes*. Tesis de maestria. Universidad Nacional de Ingeniería – UNI, Perú.
- Miranda, R., Ttito, S., Palacios, R., Alvarez, A. (2012). Tratamiento de aguas residuales minero metalúrgico por floculación y sedimentación con uso de floculantes naturales mejorados. Facultad de Ingeniería Química Universidad Nacional del Altiplano-Puno, Perú.



- Morejón, B.J. (2017). Utilización del mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir grande, provincia del Carchi. Tesis de maestría, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. p146.
- Moscozo, L.R. (2015). Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización. Tesis de posgrado, Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulico, Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 90p.
- Okuda, T.; Baes, A.; Nishijima, W.; Okada, M. (2001). Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. *Wat Res* 35 (3):830-834.
- Olivero, R.; Mercado, I.; Montes, L. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del Nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia*, 8(1):19 -27.
- Orrego A. C. E. (2008). Congelación y Liofilización de Alimentos. Manizales, Caldas, Colombia
- Ortiz, V., López, G., Torres, C.A., Pampillón L., (2018). Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. *CIBA Revista iberoamericana de las ciencias biológicas y agropecuarias*, 7(13):1-29. DOI: 10.23913/ciba.v7i13.73
- Ostolaza, C. (2010). 101 Cactus del Perú. Ministerio del Ambiente – MINAM – Perú.
- Picado L (1984). Aplicación de polímeros naturales al tratamiento de potabilización del agua. Informe del Proyecto Final de Graduación, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Qudsieh, I.Y.; Fakhru, L.; Razi, A.; Kabbashi, N.A.; Mirghani, M.E.S.; Fandi, K.G.; Alam, M.Z.; Muyibi, S.A.; Nasef, M.M.; (2008). Preparation and characterization of a new coagulant based on the sago starch biopolymer and its application in water turbidity removal. *J. Appl. Polymer Sci.* 109:3140-3147.
- Quiros, N., Vargas, M., Jiménez, J. (2010). Extracción y análisis de polímeros obtenidos a partir de varios productos naturales, para ser usados como potenciales floculantes en el tratamiento de agua para consumo humano. Centro de Investigación en Protección Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Ramírez, A., Restrepo, R., Viña, G. (1998). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales, *Formulación y Aplicación. Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3):135-153.



- Ramírez, J.S. (2006). Liofilización de Alimentos. Reciteia, 6ta edic. Cali, Colombia.
- Rámirez, L.; Suárez, J.; Ramírez, J. (2011). Evaluación de las propiedades floculantes de *Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus popayanensis* e *Hylocereus undatus* para clarificación de aguas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2(2):33-42. DOI: 10.22490/21456453.924
- Ramírez, R; Velásquez, T. (2006). Proceso de coagulación-floculación para el Tratamiento de aguas residuales: desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos. Tesis de grado, Facultad de Química, UNAM, México.
- Restrepo, H.A. (2009). Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. p109.
- Rivas, G. (1983). *Tratamiento de potabilización de aguas*. Ed. Nuevas Gráficas S.A. de C.V.
- Rodríguez, A.; Letón, P.; Rosal, R.; Dorado, M.; Villar, S.; Sanz J. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Universidad de Alcála del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME). España.
- Rodríguez, C. (2005). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Santafé de Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Rodríguez, Y.C. (2017). Evaluación del mucílago de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como agente estabilizante en néctar de maracuyá (*Passiflora edulis*). Tesis de pregrado, Universidad de la Salle, Bogotá Colombia. p84.
- Romero L.; Vargas M. (2006) *Aprovechamiento de algunos materiales como floculantes y coagulantes*. *Tecnología en marcha*, 19(4):37-41
- Roos, R.H. (1987). Effect of moisture on thermal behavior of strawberries stided using differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science*, 52:146-149.
- Salas, J. (1998). *Distribución geográfica y ecológica de las especies amenazadas de extinción del estado de San Luis Potosí*, México. Tesis de Maestría, Facultad de Agronomía, U.A.S.L.P. San Luis Potosí, S.L.P. 1998
- Samboni, N., Carvajal, Y., Escobar, L. (2007). Parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua, estado del arte. *Ingeniería e Investigación*, 27(3):172-181.
- Sánchez, S., Untiveros, G. (2004). Determinación de la actividad floculante de la pectina en soluciones de hierro (III) y cromo (III). *Rev. Soc. Quím. Perú*, 70(4):201-208.



- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of arid environments*, 68, 534-547.
- Sceni, P. (2007). *Transiciones de Fase*. Universidad Nacional de Quilmes. Area de Química de los Alimentos.
- Schulz, R.C., Okum, A. (1991). *Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo*. Ed. LIMUSA S.A. México
- Sciban, M.; Klasnja, M.; Antov, M.; Skrbic, B. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn, *Bioresource Technology*, 100: 6639 – 6643.
- Sing R. P.; Heldman D. R. (2009). *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. 2a ed. España, Acribia S.A.
- SIQYPN. (1992). *XIX Simposium Internacional de Química y Productos Naturales*. Monterrey N.L. México.
- Silva, MN, (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias*. Facultad de Ingeniería Química Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Solís, R., Laines, J.R., Hernández, J.R. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28(3):229-236.
- Soto, J. (2010). La Dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 11(2):167 - 177.
- Spinneli V (2001). *Quitosana, polieletrólito natural para o tratamento de água potável*, Tesis de Maestría, Universidad de Santa Catarina, Brasil.
- StatSoft, Inc. (2007). *STATISTICA (data analysis software system)*, version 8.0. www.statsoft.com.
- Torres, L.G., Belloc, C., Vaca, M. Iturbe, R., Bandala, E.R. (2009) Coagulation flocculation process applied to wastewaters generated in hydrocarbon contaminated soil washing: Interactions among coagulant and flocculant concentrations and pH value. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.*, 44(13):1449-56. DOI: 10.1080/10934520903217716
- Trujillo, D., Duque, L.F., Arcila, J.S., Rincón, A., Pacheco, S., Herrera, O.F. (2014). Remoción de Turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista ION*, 27(1):17-34.



- Vaca-Mier, M., López-Callejas, R., Flores-Rodríguez, J., Terres, H., Lizardi, A., Ramos, A. Rojas –Valencia, A. (2014). Aplicación del Nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario de aguas residuales. revista AIDIS, 7(3):210-216.
- Valdez, E.; Vázquez, A. (2003). Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales. Fundación ICA, A.C. México.
- Vargas-Rodríguez, L., Arroyo, G., Herrera, C.H., Pérez, A., García, M.I., Rodríguez, J. R. (2016). Propiedades físicas del mucílago de Nopal. Acta Universitaria, 26(NE-1):8-11. DOI: 10.15174/ au.2016.839
- Vásquez, B.T., Zapata, T.S. (2019). Influencia del tipo y dosificación de almidones naturales obtenidos de yuca blanca, plátano verde y papa amarilla, sobre el grado de turbidez en agua de riego de la empresa Agualima, mediante el proceso de coagulación – floculación. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. 60p.
- Vázquez, O. (1994). Extracción de coagulantes naturales del Nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales. Tesis de posgrado. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.
- Vicentius, O.A. (2008). Review, Recent Progress on Biosorption of Heavy Metals from Liquids Using Low Cost Biosorbents: Characterization, Biosorption parameters and Mechanism Studies. CLEAN – Soil, Air, Water. 36: 937-962.
- Valeriano, J. Matos, R.A, (2013). Polielectrolitos Orgánicos Naturales en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano, revista de Investigación Universitaria, 2013, Vol. 2 (2): 69-74 -Universidad Peruana Unión.
- Villabona, A., Paz, I.C. Martinez, J. (2013). Characterization of *Opuntia ficus-indica* for using as a natural coagulant. Rev. Colomb. Biotecnol, 15(1):137-144.
- Yagual, M.G., Torres, F. (2012). Análisis comparativo del proceso de floculación-coagulación en la potabilización de agua de río, usando como fuente de captación el Río Daule y el Río Babahoyo en la Provincia del Guayas. Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales, ESPOL. Guayaquil, Ecuador.



ANEXOS

Anexo 1. Análisis de normalidad de datos

NOPAL

Datos promedio de los indicadores de las variables de estudio para el experimento con la variedad del coagulante de Nopal

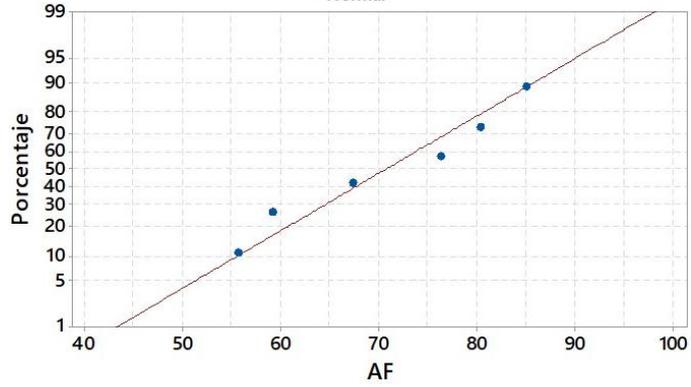
AF	%R	pH	Turbiedad	Dureza	Conductividad
55.82	99.03	6.55	0.31	171.00	412.00
76.41	99.30	6.50	0.23	167.67	398.67
85.04	99.35	6.35	0.21	165.67	396.00
59.23	99.06	6.55	0.30	170.67	409.67
67.43	99.25	6.54	0.24	167.33	399.00
80.37	99.32	6.38	0.22	165.00	396.33

Análisis de normalidad Valores del parámetro W y p-value del test Shapiro-Wilks

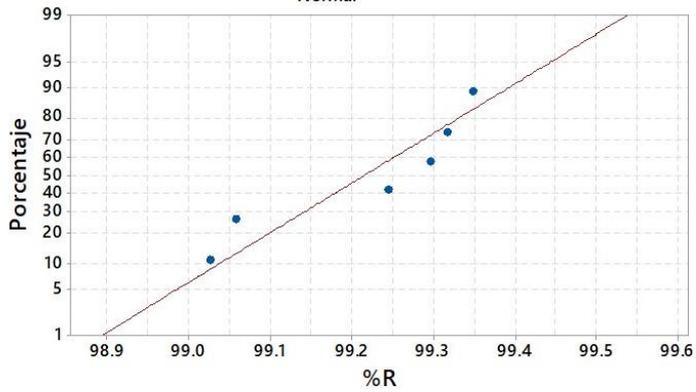
Indicador de la Variable	W	p-value
Actividad Floculante - AF	0.94	0.63
Porcentaje de Remoción - %R	0.84	0.14
pH	0.81	0.07
Turbiedad	0.84	0.14
Dureza	0.90	0.39
Conductividad	0.80	0.06



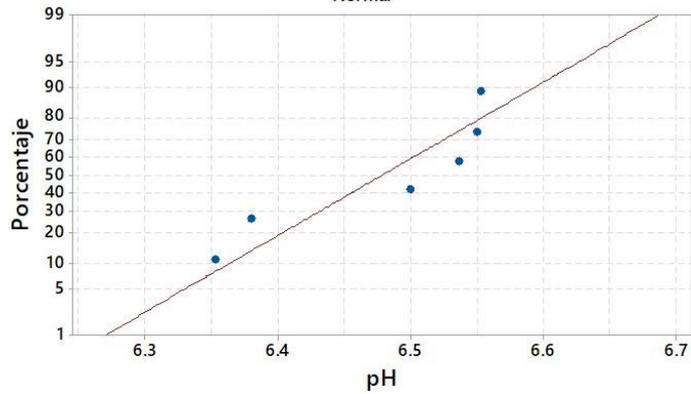
Gráfica de probabilidad de la Actividad Floculante - AF
Normal



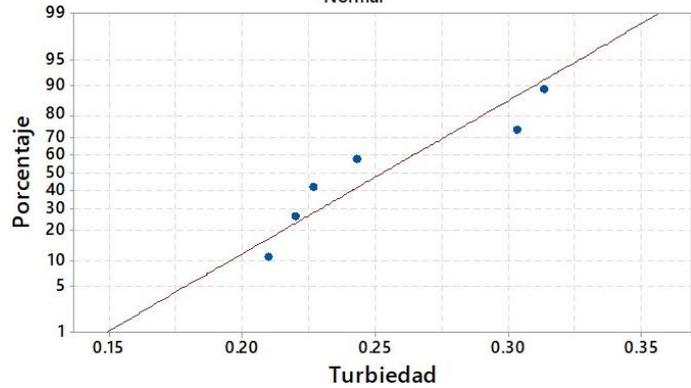
Gráfica de probabilidad del porcentaje de remoción - %R
Normal

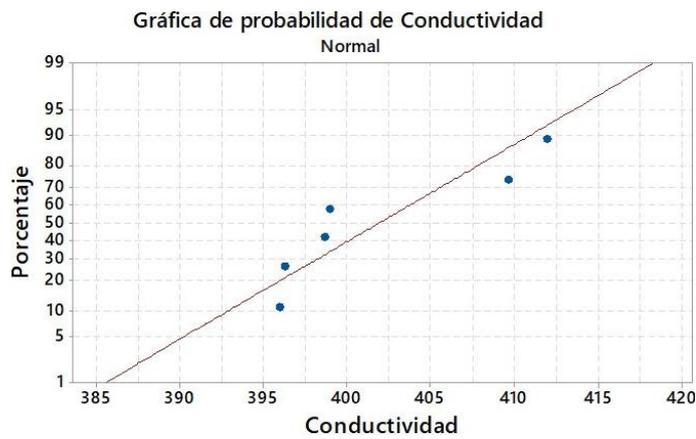
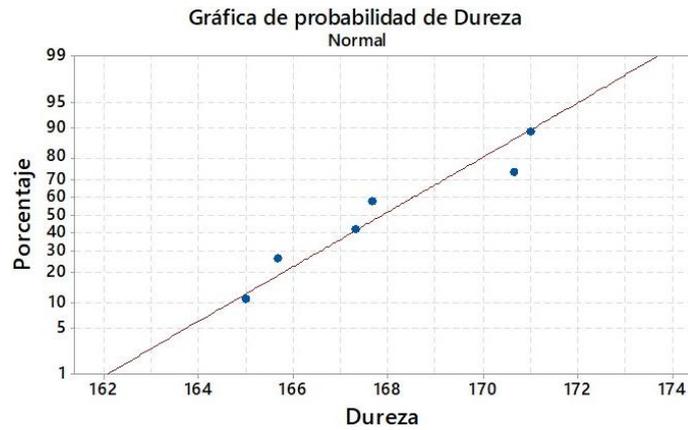


Gráfica de probabilidad de pH
Normal



Gráfica de probabilidad de Turbiedad
Normal





SAN PEDRO

Datos promedio de los indicadores de las variables de estudio para el experimento con la variedad del coagulante San Pedro

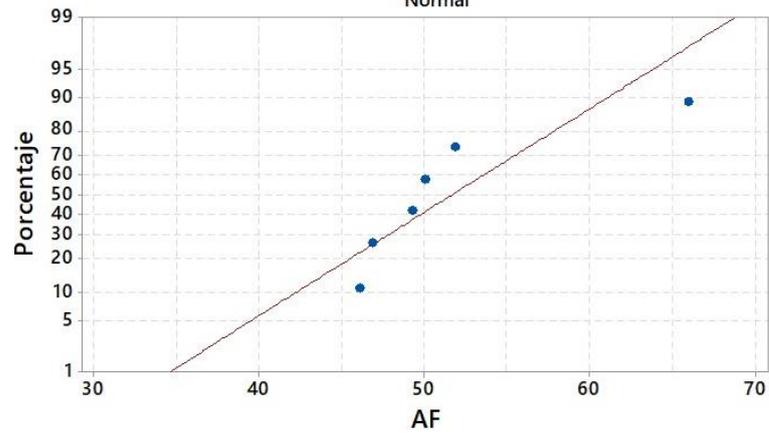
AF	%R	pH	Turbiedad	Dureza	Conductividad
46.08	98.50	6.90	0.48	193.67	459.33
49.26	98.72	6.74	0.41	191.33	455.67
66.04	99.03	6.71	0.31	188.00	453.00
46.87	98.59	6.80	0.45	192.00	460.00
50.05	98.90	6.79	0.35	191.00	458.33
51.91	99.03	6.69	0.31	187.67	453.67

Análisis de normalidad Valores del parámetro W y p-value del test Shapiro-Wilks

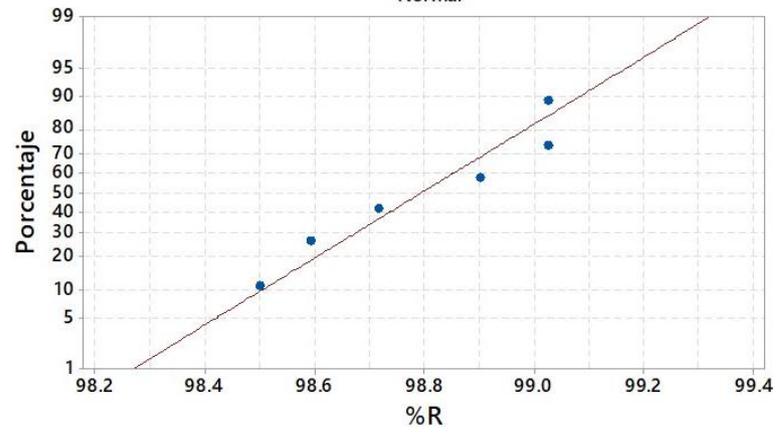
Indicador de la Variable	W	p-value
Actividad Floculante - AF	0.81	0.06
Porcentaje de Remoción - %R	0.90	0.37
pH	0.93	0.57
Turbiedad	0.90	0.37
Dureza	0.92	0.47
Conductividad	0.90	0.38



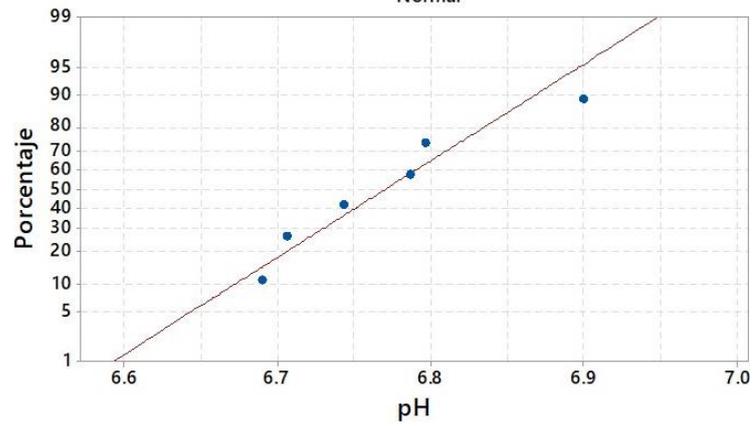
Gráfica de probabilidad de la actividad floculante - AF
Normal



Gráfica de probabilidad del porcentaje de remoción - %R
Normal

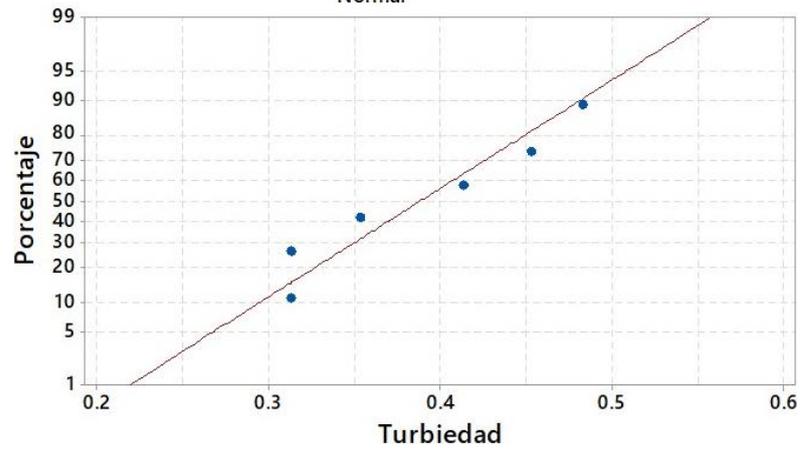


Gráfica de probabilidad de pH
Normal

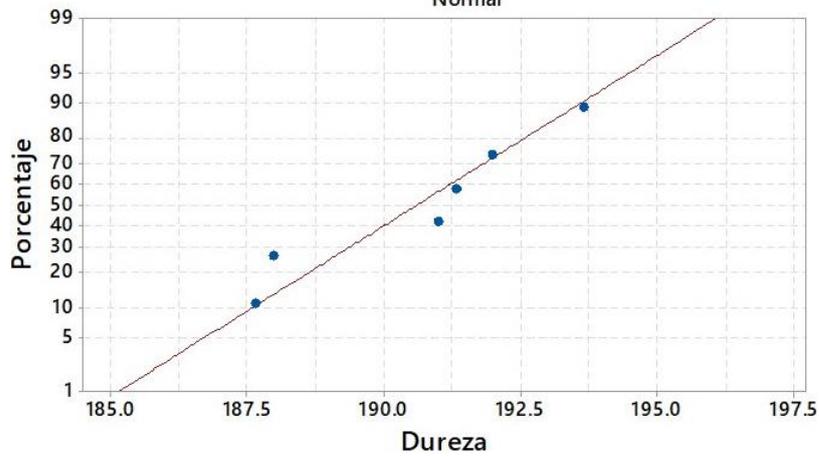




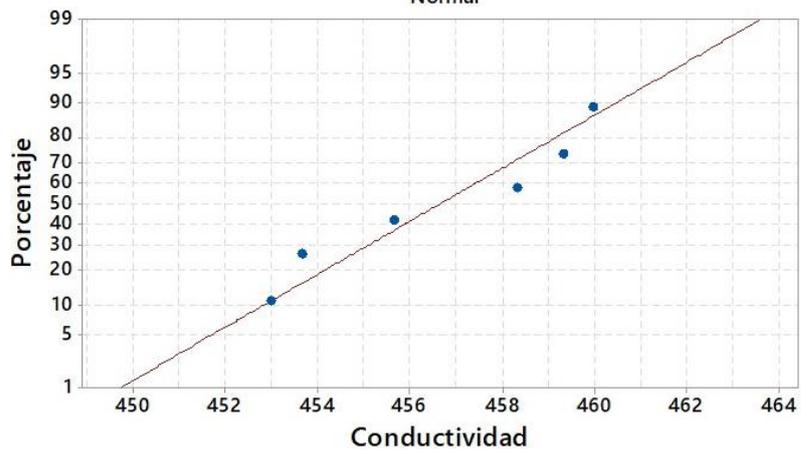
Gráfica de probabilidad de Turbiedad
Normal



Gráfica de probabilidad de Dureza
Normal



Gráfica de probabilidad de Conductividad
Normal





Anexo 2. Datos y análisis estadístico para el rendimiento

Deshidratado por liofilización				
Variedad	Penca (g)	Cascara y espinas (g)	Peso cristalizado (g)	Rendimiento (%)
San Pedro 1	100	21.8	3.4562	3.4562
San Pedro 2	105	20.6	3.1456	2.99581
San Pedro 3	112	22.3	3.8234	3.41375
Nopal 1	106	10.4	7.4532	7.03132
Nopal 2	102	11.2	7.6423	7.49245
Nopal 3	115	10.7	7.9107	6.87887

ANOVA para el rendimiento para las variedades

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Fcal	p-value
Variedad	1	22.1833	22.1833	265.99	0.000
Error	4	0.3336	0.0834		
Total	5	22.5169			

Comparaciones en parejas de Tukey para el rendimiento

Variedad	N	Media	Agrupación
Nopal	3	7.134	A
San Pedro	3	3.289	B



Anexo 3. Datos y análisis estadístico para la Actividad Floculante

Análisis de Varianza para Actividad Floculante

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Dosis coagulante	1909.95	1	1909.95	91.56	0.0000
B:Velocidad agitación	88.2034	1	88.2034	4.23	0.0492
C:Variedad	3029.22	1	3029.22	145.22	0.0000
AB	273.375	1	273.375	13.11	0.0012
AC	323.254	1	323.254	15.50	0.0005
BC	0.708403	1	0.708403	0.03	0.8551
ABC	44.2274	1	44.2274	2.12	0.1565
Error total	584.078	28	20.8599		
Total (corr.)	6253.01	35			

R-cuadrada = 90.6593 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 88.3241 por ciento

Error estándar del est. = 4.56727

Error absoluto medio = 3.25762

Estadístico Durbin-Watson = 2.66324 (P=0.9285)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.339857

FUENTE	Valor-P
A:Dosis coagulante	0.0000
B:Velocidad agitación	0.0492
C:Variedad	0.0000
ABC	0.1565

Tabla ANOVA para Actividad Floculante por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	6147.73	11	558.884	52.81	0.0000
Intra grupos	253.987	24	10.5828		
Total (Corr.)	6401.71	35			

Resumen Estadístico para Actividad Floculante

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
1	3	55.82	1.88794	3.38218%	54.73	58.0
2	3	76.4067	5.95592	7.79503%	70.61	82.51
3	3	85.0367	4.37632	5.14639%	82.51	90.09
4	3	59.2267	2.12465	3.58732%	58.0	61.68
5	3	67.43	2.75396	4.08418%	65.84	70.61
6	3	80.3733	3.70082	4.60453%	76.1	82.51
7	3	46.0767	1.25285	2.71906%	44.63	46.8



8	3	49.2633	2.50604	5.08703%	46.8	51.81
9	3	66.0433	4.46847	6.76597%	61.68	70.61
10	3	46.87	2.27581	4.85557%	44.63	49.18
11	3	50.0567	1.51843	3.03342%	49.18	51.81
12	3	51.9067	2.77626	5.34857%	49.18	54.73
Total	36	61.2092	13.5243	22.0952%	44.63	90.09

Pruebas de Múltiple Rangos para Actividad Floculante por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
7	3	46.0767	X
10	3	46.87	XX
8	3	49.2633	XX
11	3	50.0567	XXX
12	3	51.9067	XXX
1	3	55.82	XX
4	3	59.2267	XX
9	3	66.0433	X
5	3	67.43	XX
2	3	76.4067	XX
6	3	80.3733	X
3	3	85.0367	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-20.5867	9.57898
1 - 3	*	-29.2167	9.57898
1 - 4		-3.40667	9.57898
1 - 5	*	-11.61	9.57898
1 - 6	*	-24.5533	9.57898
1 - 7	*	9.74333	9.57898
1 - 8		6.55667	9.57898
1 - 9	*	-10.2233	9.57898
1 - 10		8.95	9.57898
1 - 11		5.76333	9.57898
1 - 12		3.91333	9.57898
2 - 3		-8.63	9.57898
2 - 4	*	17.18	9.57898
2 - 5		8.97667	9.57898
2 - 6		-3.96667	9.57898
2 - 7	*	30.33	9.57898
2 - 8	*	27.1433	9.57898
2 - 9	*	10.3633	9.57898
2 - 10	*	29.5367	9.57898
2 - 11	*	26.35	9.57898
2 - 12	*	24.5	9.57898
3 - 4	*	25.81	9.57898
3 - 5	*	17.6067	9.57898



3 - 6		4.66333	9.57898
3 - 7	*	38.96	9.57898
3 - 8	*	35.7733	9.57898
3 - 9	*	18.9933	9.57898
3 - 10	*	38.1667	9.57898
3 - 11	*	34.98	9.57898
3 - 12	*	33.13	9.57898
4 - 5		-8.20333	9.57898
4 - 6	*	-21.1467	9.57898
4 - 7	*	13.15	9.57898
4 - 8	*	9.96333	9.57898
4 - 9		-6.81667	9.57898
4 - 10	*	12.3567	9.57898
4 - 11		9.17	9.57898
4 - 12		7.32	9.57898
5 - 6	*	-12.9433	9.57898
5 - 7	*	21.3533	9.57898
5 - 8	*	18.1667	9.57898
5 - 9		1.38667	9.57898
5 - 10	*	20.56	9.57898
5 - 11	*	17.3733	9.57898
5 - 12	*	15.5233	9.57898
6 - 7	*	34.2967	9.57898
6 - 8	*	31.11	9.57898
6 - 9	*	14.33	9.57898
6 - 10	*	33.5033	9.57898
6 - 11	*	30.3167	9.57898
6 - 12	*	28.4667	9.57898
7 - 8		-3.18667	9.57898
7 - 9	*	-19.9667	9.57898
7 - 10		-0.793333	9.57898
7 - 11		-3.98	9.57898
7 - 12		-5.83	9.57898
8 - 9	*	-16.78	9.57898
8 - 10		2.39333	9.57898
8 - 11		-0.793333	9.57898
8 - 12		-2.64333	9.57898
9 - 10	*	19.1733	9.57898
9 - 11	*	15.9867	9.57898
9 - 12	*	14.1367	9.57898
10 - 11		-3.18667	9.57898
10 - 12		-5.03667	9.57898
11 - 12		-1.85	9.57898

* indica una diferencia significativa.



Anexo 4. Datos y análisis estadístico para el Porcentaje de Remoción

Análisis de Varianza para Porcentaje de Remoción

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Dosis coagulante	1.3301	1	1.3301	49.93	0.0000
B:Velocidad agitación	0.00321111	1	0.00321111	0.12	0.7310
C:Variedad	1.21	1	1.21	45.42	0.0000
AB	0.0876042	1	0.0876042	3.29	0.0805
AC	0.196204	1	0.196204	7.37	0.0112
BC	0.0000111111	1	0.0000111111	0.00	0.9839
ABC	0.0495042	1	0.0495042	1.86	0.1837
Error total	0.74585	28	0.0266375		
Total (corr.)	3.62249	35			

R-cuadrada = 79.4106 por ciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 74.2632 por ciento
Error estándar del est. = 0.16321
Error absoluto medio = 0.082963
Estadístico Durbin-Watson = 2.15339 (P=0.5124)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.0820267

FUENTE	Valor-P
A:Dosis coagulante	0.0000
B:Velocidad agitación	0.7310
C:Variedad	0.0000
ABC	0.1837

Tabla ANOVA para Porcentaje de Remoción por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.66207	11	0.242006	139.84	0.0000
Intra grupos	0.0415333	24	0.00173056		
Total (Corr.)	2.7036	35			

Resumen Estadístico para Porcentaje de Remoción

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
1	3	99.03	0.06245	0.0630617	98.98	99.1
2	3	99.3	0.0458258	0.0461488	99.26	99.35
3	3	99.35	0.03	0.0301963	99.32	99.38
4	3	99.06	0.034641	0.0349697	99.04	99.1



5	3	99.2467	0.023094	0.0232693	99.22	99.26
6	3	99.32	0.03	0.0302054	99.29	99.35
7	3	98.5	0.0458258	0.0465236	98.45	98.54
8	3	98.72	0.0458258	0.0464199	98.67	98.76
9	3	99.03	0.0458258	0.0462746	98.98	99.07
10	3	98.59	0.0458258	0.0464811	98.54	98.63
11	3	98.9033	0.0503322	0.0508903	98.85	98.95
12	3	99.03	0.0173205	0.0174902	99.01	99.04
Total	36	99.0067	0.277931	0.28072	98.45	99.38

Pruebas de Múltiple Rangos para Porcentaje de Remoción por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
7	3	98.5	X
10	3	98.59	X
8	3	98.72	X
11	3	98.9033	X
1	3	99.03	X
12	3	99.03	X
9	3	99.03	X
4	3	99.06	X
5	3	99.2467	X
2	3	99.3	X
6	3	99.32	X
3	3	99.35	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-0.27	0.122493
1 - 3	*	-0.32	0.122493
1 - 4		-0.03	0.122493
1 - 5	*	-0.216667	0.122493
1 - 6	*	-0.29	0.122493
1 - 7	*	0.53	0.122493
1 - 8	*	0.31	0.122493
1 - 9		0	0.122493
1 - 10	*	0.44	0.122493
1 - 11	*	0.126667	0.122493
1 - 12		0	0.122493
2 - 3		-0.05	0.122493
2 - 4	*	0.24	0.122493
2 - 5		0.0533333	0.122493
2 - 6		-0.02	0.122493
2 - 7	*	0.8	0.122493
2 - 8	*	0.58	0.122493
2 - 9	*	0.27	0.122493
2 - 10	*	0.71	0.122493
2 - 11	*	0.396667	0.122493
2 - 12	*	0.27	0.122493



3 - 4	*	0.29	0.122493
3 - 5		0.103333	0.122493
3 - 6		0.03	0.122493
3 - 7	*	0.85	0.122493
3 - 8	*	0.63	0.122493
3 - 9	*	0.32	0.122493
3 - 10	*	0.76	0.122493
3 - 11	*	0.446667	0.122493
3 - 12	*	0.32	0.122493
4 - 5	*	-0.186667	0.122493
4 - 6	*	-0.26	0.122493
4 - 7	*	0.56	0.122493
4 - 8	*	0.34	0.122493
4 - 9		0.03	0.122493
4 - 10	*	0.47	0.122493
4 - 11	*	0.156667	0.122493
4 - 12		0.03	0.122493
5 - 6		- 0.0733333	0.122493
5 - 7	*	0.746667	0.122493
5 - 8	*	0.526667	0.122493
5 - 9	*	0.216667	0.122493
5 - 10	*	0.656667	0.122493
5 - 11	*	0.343333	0.122493
5 - 12	*	0.216667	0.122493
6 - 7	*	0.82	0.122493
6 - 8	*	0.6	0.122493
6 - 9	*	0.29	0.122493
6 - 10	*	0.73	0.122493
6 - 11	*	0.416667	0.122493
6 - 12	*	0.29	0.122493
7 - 8	*	-0.22	0.122493
7 - 9	*	-0.53	0.122493
7 - 10		-0.09	0.122493
7 - 11	*	-0.403333	0.122493
7 - 12	*	-0.53	0.122493
8 - 9	*	-0.31	0.122493
8 - 10	*	0.13	0.122493
8 - 11	*	-0.183333	0.122493
8 - 12	*	-0.31	0.122493
9 - 10	*	0.44	0.122493
9 - 11	*	0.126667	0.122493
9 - 12		0	0.122493
10 - 11	*	-0.313333	0.122493
10 - 12	*	-0.44	0.122493
11 - 12	*	-0.126667	0.122493

* indica una diferencia significativa.



Anexo 5. Datos y análisis estadístico para el pH del agua tratada

Análisis de Varianza para pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Dosis coagulante	0.703838	1	0.703838	6.74	0.0149
B:Velocidad agitación	0.0971361	1	0.0971361	0.93	0.3431
C:Variedad	1.42007	1	1.42007	13.60	0.0010
AB	0.102704	1	0.102704	0.98	0.3298
AC	0.119004	1	0.119004	1.14	0.2949
BC	0.0774694	1	0.0774694	0.74	0.3964
ABC	0.152004	1	0.152004	1.46	0.2377
Error total	2.92414	28	0.104434		
Total (corr.)	5.59636	35			

R-cuadrada = 47.7493 por ciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 34.6866 por ciento
Error estándar del est. = 0.323162
Error absoluto medio = 0.119568
Estadístico Durbin-Watson = 2.05841 (P=0.4101)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.0320683

FUENTE	Valor-P
A:Dosis coagulante	0.0149
B:Velocidad agitación	0.3431
C:Variedad	0.0010
ABC	0.2377

Tabla ANOVA para pH por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.972431	11	0.0884028	206.66	0.0000
Intra grupos	0.0102667	24	0.000427778		
Total (Corr.)	0.982697	35			

Resumen Estadístico para pH

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
1	3	6.55	0.02	0.305344%	6.53	6.57
2	3	6.5	0.02	0.307692%	6.48	6.52
3	3	6.35333	0.0251661	0.396109%	6.33	6.38
4	3	6.55333	0.0152753	0.233091%	6.54	6.57
5	3	6.53667	0.0152753	0.233686%	6.52	6.55
6	3	6.38	0.03	0.470219%	6.35	6.41
7	3	6.9	0.0264575	0.383442%	6.87	6.92



8	3	6.74333	0.0152753	0.226524%	6.73	6.76
9	3	6.70667	0.0251661	0.37524%	6.68	6.73
10	3	6.79667	0.0152753	0.224746%	6.78	6.81
11	3	6.78667	0.011547	0.170143%	6.78	6.8
12	3	6.69	0.02	0.298954%	6.67	6.71
Total	36	6.62472	0.167562	2.52935%	6.33	6.92

Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	6.35333	X
6	3	6.38	X
2	3	6.5	X
5	3	6.53667	X
1	3	6.55	X
4	3	6.55333	X
12	3	6.69	X
9	3	6.70667	X
8	3	6.74333	XX
11	3	6.78667	X
10	3	6.79667	X
7	3	6.9	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		0.05	0.0609015
1 - 3	*	0.196667	0.0609015
1 - 4		-0.00333333	0.0609015
1 - 5		0.0133333	0.0609015
1 - 6	*	0.17	0.0609015
1 - 7	*	-0.35	0.0609015
1 - 8	*	-0.193333	0.0609015
1 - 9	*	-0.156667	0.0609015
1 - 10	*	-0.246667	0.0609015
1 - 11	*	-0.236667	0.0609015
1 - 12	*	-0.14	0.0609015
2 - 3	*	0.146667	0.0609015
2 - 4		-0.0533333	0.0609015
2 - 5		-0.0366667	0.0609015
2 - 6	*	0.12	0.0609015
2 - 7	*	-0.4	0.0609015
2 - 8	*	-0.243333	0.0609015
2 - 9	*	-0.206667	0.0609015
2 - 10	*	-0.296667	0.0609015
2 - 11	*	-0.286667	0.0609015
2 - 12	*	-0.19	0.0609015
3 - 4	*	-0.2	0.0609015
3 - 5	*	-0.183333	0.0609015
3 - 6		-0.0266667	0.0609015



3 - 7	*	-0.546667	0.0609015
3 - 8	*	-0.39	0.0609015
3 - 9	*	-0.353333	0.0609015
3 - 10	*	-0.443333	0.0609015
3 - 11	*	-0.433333	0.0609015
3 - 12	*	-0.336667	0.0609015
4 - 5		0.0166667	0.0609015
4 - 6	*	0.173333	0.0609015
4 - 7	*	-0.346667	0.0609015
4 - 8	*	-0.19	0.0609015
4 - 9	*	-0.153333	0.0609015
4 - 10	*	-0.243333	0.0609015
4 - 11	*	-0.233333	0.0609015
4 - 12	*	-0.136667	0.0609015
5 - 6	*	0.156667	0.0609015
5 - 7	*	-0.363333	0.0609015
5 - 8	*	-0.206667	0.0609015
5 - 9	*	-0.17	0.0609015
5 - 10	*	-0.26	0.0609015
5 - 11	*	-0.25	0.0609015
5 - 12	*	-0.153333	0.0609015
6 - 7	*	-0.52	0.0609015
6 - 8	*	-0.363333	0.0609015
6 - 9	*	-0.326667	0.0609015
6 - 10	*	-0.416667	0.0609015
6 - 11	*	-0.406667	0.0609015
6 - 12	*	-0.31	0.0609015
7 - 8	*	0.156667	0.0609015
7 - 9	*	0.193333	0.0609015
7 - 10	*	0.103333	0.0609015
7 - 11	*	0.113333	0.0609015
7 - 12	*	0.21	0.0609015
8 - 9		0.0366667	0.0609015
8 - 10		-0.0533333	0.0609015
8 - 11		-0.0433333	0.0609015
8 - 12		0.0533333	0.0609015
9 - 10	*	-0.09	0.0609015
9 - 11	*	-0.08	0.0609015
9 - 12		0.0166667	0.0609015
10 - 11		0.01	0.0609015
10 - 12	*	0.106667	0.0609015
11 - 12	*	0.0966667	0.0609015

* indica una diferencia significativa.



Anexo 6. Datos y análisis estadístico para la Turbiedad del agua tratada

Análisis de Varianza para Turbiedad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Dosis coagulante	0.0925042	1	0.0925042	263.25	0.0000
B:Velocidad agitación	0.00134444	1	0.00134444	3.83	0.0605
C:Variedad	0.165378	1	0.165378	470.64	0.0000
AB	0.0009375	1	0.0009375	2.67	0.1136
AC	0.00570417	1	0.00570417	16.23	0.0004
BC	0.00284444	1	0.00284444	8.09	0.0082
ABC	0.0000375	1	0.0000375	0.11	0.7463
Error total	0.00983889	28	0.000351389		
Total (corr.)	0.278589	35			

R-cuadrada = 96.4683 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 95.5854 por ciento

Error estándar del est. = 0.0187454

Error absoluto medio = 0.013858

Estadístico Durbin-Watson = 2.8994 (P=0.9857)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.492754

FUENTE	Valor-P
A:Dosis coagulante	0.0000
B:Velocidad agitación	0.0605
C:Variedad	0.0000
ABC	0.7463

Tabla ANOVA para Turbiedad por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.274122	11	0.0249202	133.90	0.0000
Intra grupos	0.00446667	24	0.000186111		
Total (Corr.)	0.278589	35			

Resumen Estadístico para Turbiedad

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Mínimo	Máximo
1	3	0.313333	0.0208167	6.64361%	0.29	0.33
2	3	0.226667	0.0152753	6.73908%	0.21	0.24
3	3	0.21	0.01	4.7619%	0.2	0.22
4	3	0.303333	0.011547	3.80671%	0.29	0.31



5	3	0.243333	0.0057735	2.37267%	0.24	0.25
6	3	0.22	0.01	4.54545%	0.21	0.23
7	3	0.483333	0.0152753	3.1604%	0.47	0.5
8	3	0.413333	0.0152753	3.69563%	0.4	0.43
9	3	0.313333	0.0152753	4.87508%	0.3	0.33
10	3	0.453333	0.0152753	3.36954%	0.44	0.47
11	3	0.353333	0.0152753	4.32318%	0.34	0.37
12	3	0.313333	0.0057735	1.84261%	0.31	0.32
Total	36	0.320556	0.0892171	27.832%	0.2	0.5

Pruebas de Múltiple Rangos para Turbiedad por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	0.21	X
6	3	0.22	X
2	3	0.226667	X
5	3	0.243333	X
4	3	0.303333	X
12	3	0.313333	XX
1	3	0.313333	XX
9	3	0.313333	XX
11	3	0.353333	X
8	3	0.413333	X
10	3	0.453333	XX
7	3	0.483333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	0.0866667	0.0401703
1 - 3	*	0.103333	0.0401703
1 - 4		0.01	0.0401703
1 - 5	*	0.07	0.0401703
1 - 6	*	0.0933333	0.0401703
1 - 7	*	-0.17	0.0401703
1 - 8	*	-0.1	0.0401703
1 - 9		0	0.0401703
1 - 10	*	-0.14	0.0401703
1 - 11		-0.04	0.0401703
1 - 12		0	0.0401703
2 - 3		0.0166667	0.0401703
2 - 4	*	-0.0766667	0.0401703
2 - 5		-0.0166667	0.0401703
2 - 6		0.00666667	0.0401703
2 - 7	*	-0.256667	0.0401703
2 - 8	*	-0.186667	0.0401703
2 - 9	*	-0.0866667	0.0401703
2 - 10	*	-0.226667	0.0401703
2 - 11	*	-0.126667	0.0401703
2 - 12	*	-0.0866667	0.0401703



3 - 4	*	-0.0933333	0.0401703
3 - 5		-0.0333333	0.0401703
3 - 6		-0.01	0.0401703
3 - 7	*	-0.273333	0.0401703
3 - 8	*	-0.203333	0.0401703
3 - 9	*	-0.103333	0.0401703
3 - 10	*	-0.243333	0.0401703
3 - 11	*	-0.143333	0.0401703
3 - 12	*	-0.103333	0.0401703
4 - 5	*	0.06	0.0401703
4 - 6	*	0.0833333	0.0401703
4 - 7	*	-0.18	0.0401703
4 - 8	*	-0.11	0.0401703
4 - 9		-0.01	0.0401703
4 - 10	*	-0.15	0.0401703
4 - 11	*	-0.05	0.0401703
4 - 12		-0.01	0.0401703
5 - 6		0.0233333	0.0401703
5 - 7	*	-0.24	0.0401703
5 - 8	*	-0.17	0.0401703
5 - 9	*	-0.07	0.0401703
5 - 10	*	-0.21	0.0401703
5 - 11	*	-0.11	0.0401703
5 - 12	*	-0.07	0.0401703
6 - 7	*	-0.263333	0.0401703
6 - 8	*	-0.193333	0.0401703
6 - 9	*	-0.0933333	0.0401703
6 - 10	*	-0.233333	0.0401703
6 - 11	*	-0.133333	0.0401703
6 - 12	*	-0.0933333	0.0401703
7 - 8	*	0.07	0.0401703
7 - 9	*	0.17	0.0401703
7 - 10		0.03	0.0401703
7 - 11	*	0.13	0.0401703
7 - 12	*	0.17	0.0401703
8 - 9	*	0.1	0.0401703
8 - 10		-0.04	0.0401703
8 - 11	*	0.06	0.0401703
8 - 12	*	0.1	0.0401703
9 - 10	*	-0.14	0.0401703
9 - 11		-0.04	0.0401703
9 - 12		0	0.0401703
10 - 11	*	0.1	0.0401703
10 - 12	*	0.14	0.0401703
11 - 12		0.04	0.0401703

* indica una diferencia significativa.



Anexo 7. Datos y análisis estadístico para la Dureza del agua tratada

Análisis de Varianza para Dureza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Dosis coagulante	165.375	1	165.375	63.19	0.0000
B:Velocidad agitación	3.36111	1	3.36111	1.28	0.2667
C:Variedad	4646.69	1	4646.69	1775.54	0.0000
AB	0.375	1	0.375	0.14	0.7079
AC	0.375	1	0.375	0.14	0.7079
BC	0.25	1	0.25	0.10	0.7596
ABC	1.04167	1	1.04167	0.40	0.5332
Error total	73.2778	28	2.61706		
Total (corr.)	4890.75	35			

R-cuadrada = 98.5017 por ciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.1271 por ciento
Error estándar del est. = 1.61773
Error absoluto medio = 1.20679
Estadístico Durbin-Watson = 1.5198 (P=0.0435)
Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.210176

FUENTE	Valor-P
A:Dosis coagulante	0.0000
B:Velocidad agitación	0.2667
C:Variedad	0.0000
ABC	0.5332

Tabla ANOVA para Dureza por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4822.08	11	438.371	153.22	0.0000
Intra grupos	68.6667	24	2.86111		
Total (Corr.)	4890.75	35			

Resumen Estadístico para Dureza

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
1	3	171.0	1.0	0.584795%	170.0	172.0
2	3	167.667	1.52753	0.911049%	166.0	169.0
3	3	165.667	1.52753	0.922047%	164.0	167.0
4	3	170.667	1.52753	0.895034%	169.0	172.0
5	3	167.333	2.08167	1.24402%	165.0	169.0
6	3	165.0	1.0	0.606061%	164.0	166.0
7	3	193.667	2.51661	1.29946%	191.0	196.0



8	3	191.333	2.08167	1.08798%	189.0	193.0
9	3	188.0	2.0	1.06383%	186.0	190.0
10	3	192.0	1.0	0.520833%	191.0	193.0
11	3	191.0	1.0	0.52356%	190.0	192.0
12	3	187.667	2.08167	1.10924%	186.0	190.0
Total	36	179.25	11.821	6.59469%	164.0	196.0

Pruebas de Múltiple Rangos para Dureza por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
6	3	165.0	X
3	3	165.667	X
5	3	167.333	XX
2	3	167.667	XX
4	3	170.667	X
1	3	171.0	X
12	3	187.667	X
9	3	188.0	X
11	3	191.0	XX
8	3	191.333	XX
10	3	192.0	XX
7	3	193.667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		3.33333	4.98065
1 - 3	*	5.33333	4.98065
1 - 4		0.333333	4.98065
1 - 5		3.66667	4.98065
1 - 6	*	6.0	4.98065
1 - 7	*	-22.6667	4.98065
1 - 8	*	-20.3333	4.98065
1 - 9	*	-17.0	4.98065
1 - 10	*	-21.0	4.98065
1 - 11	*	-20.0	4.98065
1 - 12	*	-16.6667	4.98065
2 - 3		2.0	4.98065
2 - 4		-3.0	4.98065
2 - 5		0.333333	4.98065
2 - 6		2.66667	4.98065
2 - 7	*	-26.0	4.98065
2 - 8	*	-23.6667	4.98065
2 - 9	*	-20.3333	4.98065
2 - 10	*	-24.3333	4.98065
2 - 11	*	-23.3333	4.98065
2 - 12	*	-20.0	4.98065
3 - 4	*	-5.0	4.98065
3 - 5		-1.66667	4.98065
3 - 6		0.666667	4.98065



3 - 7	*	-28.0	4.98065
3 - 8	*	-25.6667	4.98065
3 - 9	*	-22.3333	4.98065
3 - 10	*	-26.3333	4.98065
3 - 11	*	-25.3333	4.98065
3 - 12	*	-22.0	4.98065
4 - 5		3.33333	4.98065
4 - 6	*	5.66667	4.98065
4 - 7	*	-23.0	4.98065
4 - 8	*	-20.6667	4.98065
4 - 9	*	-17.3333	4.98065
4 - 10	*	-21.3333	4.98065
4 - 11	*	-20.3333	4.98065
4 - 12	*	-17.0	4.98065
5 - 6		2.33333	4.98065
5 - 7	*	-26.3333	4.98065
5 - 8	*	-24.0	4.98065
5 - 9	*	-20.6667	4.98065
5 - 10	*	-24.6667	4.98065
5 - 11	*	-23.6667	4.98065
5 - 12	*	-20.3333	4.98065
6 - 7	*	-28.6667	4.98065
6 - 8	*	-26.3333	4.98065
6 - 9	*	-23.0	4.98065
6 - 10	*	-27.0	4.98065
6 - 11	*	-26.0	4.98065
6 - 12	*	-22.6667	4.98065
7 - 8		2.33333	4.98065
7 - 9	*	5.66667	4.98065
7 - 10		1.66667	4.98065
7 - 11		2.66667	4.98065
7 - 12	*	6.0	4.98065
8 - 9		3.33333	4.98065
8 - 10		-0.666667	4.98065
8 - 11		0.333333	4.98065
8 - 12		3.66667	4.98065
9 - 10		-4.0	4.98065
9 - 11		-3.0	4.98065
9 - 12		0.333333	4.98065
10 - 11		1.0	4.98065
10 - 12		4.33333	4.98065
11 - 12		3.33333	4.98065

* indica una diferencia significativa.



Anexo 8. Datos y análisis estadístico para la Conductividad del agua tratada

Análisis de Varianza para Conductividad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Dosis coagulante	661.5	1	661.5	124.68	0.0000
B:Velocidad agitación	1.36111	1	1.36111	0.26	0.6165
C:Variedad	26950.7	1	26950.7	5079.71	0.0000
AB	2.66667	1	2.66667	0.50	0.4842
AC	104.167	1	104.167	19.63	0.0001
BC	8.02778	1	8.02778	1.51	0.2289
ABC	2.66667	1	2.66667	0.50	0.4842
Error total	148.556	28	5.30556		
Total (corr.)	27879.6	35			

R-cuadrada = 99.4672 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.3339 por ciento

Error estándar del est. = 2.30338

Error absoluto medio = 1.55864

Estadístico Durbin-Watson = 2.96121 (P=0.9916)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.484979

FUENTE	Valor-P
A:Dosis coagulante	0.0000
B:Velocidad agitación	0.6165
C:Variedad	0.0000
ABC	0.4842

Tabla ANOVA para Conductividad por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	27825.0	11	2529.54	1110.53	0.0000
Intra grupos	54.6667	24	2.27778		
Total (Corr.)	27879.6	35			

Resumen Estadístico para Conductividad

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
1	3	412.0	2.64575	0.642173%	410.0	415.0
2	3	398.667	2.08167	0.522157%	397.0	401.0
3	3	396.0	1.0	0.252525%	395.0	397.0
4	3	409.667	1.52753	0.37287%	408.0	411.0
5	3	399.0	1.0	0.250627%	398.0	400.0
6	3	396.333	1.52753	0.385414%	395.0	398.0



7	3	459.333	1.52753	0.332553%	458.0	461.0
8	3	455.667	1.1547	0.253409%	455.0	457.0
9	3	453.0	1.0	0.220751%	452.0	454.0
10	3	460.0	1.0	0.217391%	459.0	461.0
11	3	458.333	1.52753	0.333278%	457.0	460.0
12	3	453.667	1.1547	0.254526%	453.0	455.0
Total	36	429.306	28.2234	6.5742%	395.0	461.0

Pruebas de Múltiple Rangos para Conductividad por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	396.0	X
6	3	396.333	X
2	3	398.667	X
5	3	399.0	X
4	3	409.667	X
1	3	412.0	X
9	3	453.0	X
12	3	453.667	X
8	3	455.667	XX
11	3	458.333	X
7	3	459.333	X
10	3	460.0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	13.3333	4.44401
1 - 3	*	16.0	4.44401
1 - 4		2.33333	4.44401
1 - 5	*	13.0	4.44401
1 - 6	*	15.6667	4.44401
1 - 7	*	-47.3333	4.44401
1 - 8	*	-43.6667	4.44401
1 - 9	*	-41.0	4.44401
1 - 10	*	-48.0	4.44401
1 - 11	*	-46.3333	4.44401
1 - 12	*	-41.6667	4.44401
2 - 3		2.66667	4.44401
2 - 4	*	-11.0	4.44401
2 - 5		-0.333333	4.44401
2 - 6		2.33333	4.44401
2 - 7	*	-60.6667	4.44401
2 - 8	*	-57.0	4.44401
2 - 9	*	-54.3333	4.44401
2 - 10	*	-61.3333	4.44401
2 - 11	*	-59.6667	4.44401
2 - 12	*	-55.0	4.44401
3 - 4	*	-13.6667	4.44401
3 - 5		-3.0	4.44401



3 - 6		-0.333333	4.44401
3 - 7	*	-63.3333	4.44401
3 - 8	*	-59.6667	4.44401
3 - 9	*	-57.0	4.44401
3 - 10	*	-64.0	4.44401
3 - 11	*	-62.3333	4.44401
3 - 12	*	-57.6667	4.44401
4 - 5	*	10.6667	4.44401
4 - 6	*	13.3333	4.44401
4 - 7	*	-49.6667	4.44401
4 - 8	*	-46.0	4.44401
4 - 9	*	-43.3333	4.44401
4 - 10	*	-50.3333	4.44401
4 - 11	*	-48.6667	4.44401
4 - 12	*	-44.0	4.44401
5 - 6		2.66667	4.44401
5 - 7	*	-60.3333	4.44401
5 - 8	*	-56.6667	4.44401
5 - 9	*	-54.0	4.44401
5 - 10	*	-61.0	4.44401
5 - 11	*	-59.3333	4.44401
5 - 12	*	-54.6667	4.44401
6 - 7	*	-63.0	4.44401
6 - 8	*	-59.3333	4.44401
6 - 9	*	-56.6667	4.44401
6 - 10	*	-63.6667	4.44401
6 - 11	*	-62.0	4.44401
6 - 12	*	-57.3333	4.44401
7 - 8		3.66667	4.44401
7 - 9	*	6.33333	4.44401
7 - 10		-0.666667	4.44401
7 - 11		1.0	4.44401
7 - 12	*	5.66667	4.44401
8 - 9		2.66667	4.44401
8 - 10		-4.33333	4.44401
8 - 11		-2.66667	4.44401
8 - 12		2.0	4.44401
9 - 10	*	-7.0	4.44401
9 - 11	*	-5.33333	4.44401
9 - 12		-0.666667	4.44401
10 - 11		1.66667	4.44401
10 - 12	*	6.33333	4.44401
11 - 12	*	4.66667	4.44401

* indica una diferencia significativa.



PANEL FOTOGRÁFICO



Preparación del Nopal



Liofilizado de cactaceas



Picado del Nopal



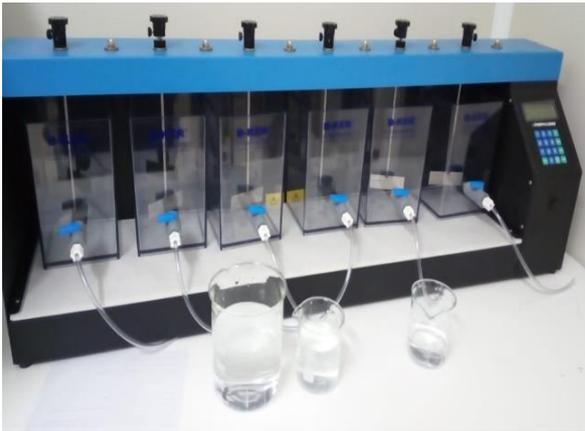
Tamizaje del coagulante



Cactáceas picadas – San Pedro



Coagulantes en polvo



Prueba de jarras



Determinación de Dureza



Determinación de Dureza



Medición de pH y Conductividad