

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD FLOCULANTE DE DOS ESPECIES DE
CACTÁCEAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por: Br. Yudith Choque Quispe

2016

ÍNDICE

	Pag
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción de la Realidad Problemática	04
1.1.1. Caracterización del Problema	04
1.1.2. Definición del Problema	05
1.2. Formulación del Problema	06
1.2.1. Problema General	06
1.2.2. Problemas Específicos	06
1.3. Objetivos de la Investigación	07
1.3.1. Objetivo General	07
1.3.2. Objetivos Específicos	07
1.4. Justificación de la Investigación	07
1.4.1. Justificación Teórica	07
1.4.2. Justificación metodológica	08
1.4.3. Justificación Práctica	08
1.5. Importancia	09
1.6. Limitaciones	09
CAPÍTULO II	
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	
2.1. Marco Referencial	12
2.1.1. Antecedentes de la Investigación	12
2.1.2. Referencias Históricas	13
2.2. Marco Legal	15
2.3. Marco Teórico	16
2.3.1. Agua Residual	16
2.3.2. Tratamientos para la Eliminación de Materia en Suspensión	18
2.3.3. Coagulación	21
2.3.4. Floculación	24
2.3.5. Fundamento Teórico de la Coagulación-Floculación	25
2.3.6. Propiedades Físicas y Químicas del Agua	27

2.3.7. Las Cactáceas	30
2.4. Marco Conceptual	34
CAPÍTULO III	
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	
3.1. Tipo y Nivel de Investigación	38
3.1.1. Tipo de la Investigación	38
3.1.2. Nivel de la Investigación	38
3.2. Método de Investigación	38
3.3. Diseño de la Investigación	38
3.4. Hipótesis de la Investigación	39
3.4.1. Hipótesis General	39
3.4.2. Hipótesis Específicas	39
3.5. Variables	39
3.5.1. Variable Independiente	39
3.5.2. Variable Dependiente	40
3.5.3. Operacionalización de Variables	40
3.6. Cobertura del Estudio de Investigación	41
3.6.1. Universo	41
3.6.2. Población	41
3.6.3. Muestra	41
3.6.4. Muestreo	41
3.7. Técnicas, Instrumentos y Fuentes de Recolección de Datos	41
3.7.1. Métodos y Técnicas para el Desarrollo del Proceso	41
3.7.2. Métodos e Instrumentos de la Evaluación	42
3.8. Procesamiento Estadístico de la Información	51
3.8.1. Métodos Estadísticos de Análisis	51
3.8.2. Representación	53

CAPITULO IV

ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Rendimiento de Extracción de Coagulante	55
4.2. Características Fisicoquímicas del Coagulante Natural	57
4.2.1. pH	57
4.2.2. Temperatura de Gelatinización	58
4.2.3. Proteínas en los Coagulantes	60
4.2.4. Polisacáridos en los Coagulantes	62
4.2.5. Densidad Aparente	64
4.3. Capacidad Clarificante del Coagulante Natural	66
4.3.1. Evaluación de la Actividad Floculante	66
4.3.2. Evaluación del Porcentaje de Remoción	69
4.4. Parámetros Fisicoquímicos del Agua Tratada	73
4.5. Optimización de la Capacidad Floculante	82
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 2.1: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR	16
Tabla 2.2: Contaminantes Importantes de las Aguas Residuales	17
Tabla 2.3: Volumen de Muestra Según la Concentración de DBO	28
Tabla 3.1: Matriz de Diseño Experimental	38
Tabla 4.1: Rendimiento de Extracción de Coagulante	56
Tabla 4.2: pH del Coagulante Natural	57
Tabla 4.3: Temperatura de Gelatinización del Coagulante Natural	59
Tabla 4.4: ANOVA* para la Temperatura de Gelatinización	59
Tabla 4.5: Proteínas en el Coagulante Natural	61
Tabla 4.6: ANOVA* para el Contenido de Proteínas	61
Tabla 4.7: Sacarosa en el Coagulante Natural	63
Tabla 4.8: ANOVA* para el Contenido de Sacarosa	63
Tabla 4.9: Densidad Aparente del Coagulante Natural	64
Tabla 4.10: ANOVA* para Densidad Aparente	65
Tabla 4.11: Actividad Floculante del Coagulante Neoraimondia	66
Tabla 4.12: ANOVA para la Actividad Floculante del Coagulante	67
Tabla 4.13: Actividad Floculante del Coagulante Opuntia	67
Tabla 4.14 ANOVA para la Actividad Floculante del Coagulante	68
Tabla 4.15: Porcentaje de Remoción del Coagulante	69
Tabla 4.16: Porcentaje de Remoción del Coagulante	70
Tabla 4.17: Porcentaje de Remoción del Coagulante	70
Tabla 4.18: Porcentaje de Remoción del Coagulante	71
Tabla 4.19: pH del Agua Tratada con Coagulantes	73
Tabla 4.20: Dureza del Agua Tratada	76
Tabla 4.21: Alcalinidad del Agua Tratada	78
Tabla 4.22: DBO del Agua Tratada	80
Tabla 4.23: Modelos Matemáticos Neoraimondia	82
Tabla 4.24: Modelos Matemáticos Opuntia	82
Tabla 4.25: Valores Óptimos y Restricciones de Neoraimondia	83
Tabla 4.26: Valores Óptimos y Restricciones de Neoraimondia	83

RESUMEN

La investigación se desarrolló en los laboratorios de química de la Universidad Nacional José María Arguedas de Andahuaylas, Apurímac, y tuvo como objetivo evaluar y optimizar la capacidad floculante de dos especies de Cactáceas *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus indica* (Tuna) en el tratamiento de agua residual artificial. Se aplicaron dosis del 1%, 2% y 3% de coagulante de las dos especies de Cactáceas extraídas con tres solventes al agua residual artificial, observándose un incremento significativo ($p\text{-value} < 0.05$) para la capacidad clarificante y el % de remoción, con el aumento de dosis de coagulante. La extracción de los coagulantes se realizó con Etanol, NaCl 0.25M y agua, logrando mayor rendimiento de extracción la variedad Tuna 0.6546 ± 0.0246 %, el pH de los coagulantes tiene tendencia ácida al extraer con etanol, la temperatura de gelatinización se encuentra por encima de 70°C , el contenido de proteínas es menor a 0.8986 ± 0.007 mg de Albúmina/ml de coagulante al 1%, el contenido de azúcares son menores a 0.3160 ± 0.0167 mg de sacarosa/l de coagulante al 1%, y la densidad aparente fue menor para la variedad Ulluquite. Los parámetros fisicoquímicos del agua tratada como el pH se incrementó ligeramente de 6.61 del agua sin tratar a 7.58, mientras que la dureza y la alcalinidad no muestran diferencia significativa ($p\text{-value} > 0.05$), la DBO del agua con coagulante se incrementó con el porcentaje de aplicación. Finalmente se optimizó la capacidad floculante de los coagulantes naturales en el agua residual artificial, a través del % de remoción lográndose 92.419% para la variedad Ulluquite y 98.988% para la variedad Tuna, para dosis de 0.246% y 0.754% de coagulante respectivamente.

Palabras clave: Cactáceas, Coagulante natural, agua residual artificial, capacidad floculante, optimización.

INTRODUCCIÓN

El proceso de floculación logra desestabilizar partículas coloidales, precipitar y agrupar sólidos suspendidos, facilitando la extracción por medio de la formación de flocs (Inchausti, *et al.*, 2000). El método de coagulación remueve partículas coloidales y suspendidas del agua, reduce la turbidez, el color y en menor medida, las bacterias (García, 2005). Este método puede utilizarse en el tratamiento de aguas crudas y residuales. Para la separación de contaminantes es común utilizar el tratamiento químico con coagulantes y floculantes (Gomella y Guerree, 1977), especialmente el sulfato de aluminio y polímeros industriales de alto costo (Cornejo y Alcalde, 2010).

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).

Los floculantes comúnmente son poli electrolitos (polímeros con unidades monoméricas con grupos ionizables). La floculación por medio de un polímero de alto peso molecular puede interpretarse mediante el mecanismo de formación de puente-partículas, en la cual las moléculas del polímero pueden ser suficientemente largas y flexibles para ser adsorbidas sobre diversas partículas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

1.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

El proceso de tratamiento de aguas tanto potables como residuales se basa en un tratamiento químico inicial a base de coagulantes y floculantes para remover la mayoría de contaminantes. La coagulación - floculación es el método más importante para la remoción de partículas coloidales y suspendidas, además de reducir la turbidez del agua. Cuando el agua contiene sólidos en suspensión, la coagulación y la floculación se utilizan para eliminar gran parte del material

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.

La floculación 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). 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).

1.1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

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 consiste en la evaluación y optimización de la capacidad floculante de 02 especies de cactáceas en el tratamiento de aguas residuales.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cómo es posible optimizar la capacidad coagulante de dos especies de cactáceas en el tratamiento de aguas residuales?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos del agua tratada con el coagulante extraído *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus indica* (Tuna), en tres medios solventes?
- ¿Cuáles son las características físicas y químicas del coagulante de la cactácea *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus* (Tuna), extraída con diferentes medios solventes?
- ¿Cuál es la capacidad clarificante del coagulante *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus* (Tuna), extraídas con diferentes medios solventes, en el tratamiento de aguas residuales.
- ¿En qué medida es posible optimizar la capacidad coagulante en el tratamiento de aguas residuales?
- ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos del agua tratada con el coagulante extraído *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus* (Tuna), en tres medios solventes?
- ¿En qué medida es posible optimizar la capacidad coagulante en el tratamiento de aguas residuales?

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.3. OBJETIVO GENERAL

- Optimizar la capacidad coagulante de la Cactáceas *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus* (Tuna), en el tratamiento de aguas residuales.

1.2.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la capacidad clarificante del coagulante *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus opuntia* (Tuna), extraídas con diferentes medios solventes, en el tratamiento de aguas residuales.
- Determinar física y químicamente el coagulante de la Cactáceas *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus indica* (Tuna), extraídas con diferentes medios solventes.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos como pH, DBO, DQO, Conductividad, Alcalinidad y Dureza total del agua tratada con el coagulante extraído de las Cactáceas *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus indica* (Tuna), con diferentes medios solventes.
- Optimizar la capacidad coagulante en el tratamiento de aguas residuales del floculante extraído de la Cactácea *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus* (Tuna), con diferentes medios solventes.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La investigación permitirá la búsqueda de información concerniente a aguas residuales, tratamiento de aguas, aprovechamiento de materias primas naturales, las cuales son amigables con el medio ambiente, aplicación de herramientas matemáticas y estadística permitirán la optimización de la floculación, ya que esta es el objetivo primordial de la investigación.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Para lograr los objetivos propuestos en la presente investigación, se aplicara métodos y técnicas validadas de acuerdo a los antecedentes o normas, es así que a través de estas se medirán los comportamientos fenómeno lógicos.

Para la extracción de los floculantes se utilizara una técnica de extracción líquido-líquido, mientras que para la determinación dela actividad floculante se aplicar la técnica espectrométrica, y para las características fisicoquímicas se utiliza técnicas volumétricas y gravimétrica.

Por otra parte para la optimización se aplicara un análisis de regresión no lineal – RNL, apoyado en software estadísticos como el Excel, MINITAB y Statistica.

1.3.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

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, con el fin de dar un diagnóstico de las propuestas que se pretenden plantear.

Es un reto el tratamiento de las aguas de servicio ya sea doméstica o industrial, porque se tiene un 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 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).

1.4. IMPORTANCIA

La importancia del presente proyecto de investigación logra su importancia en el hecho que permitirá conocer el comportamiento de dos coagulantes *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus indica* (Tuna), así como la dosis adecuada. El logro de la investigación permitirá sustituir total o parcialmente a los coagulante de origen químico o sintético, pues estos a pesar de lograr resultados alentadores en el tratamiento de aguas residuales, genera residuos tóxicos o relaves, que contamina el medio ambiente, mientras que los coagulantes naturales son completamente biodegradables los cuales como residuos podría ser utilizado como abono orgánico.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. LIMITACIÓN SOCIAL

No presenta puesto que la investigación es experimental, y se desarrollara en laboratorios, aunque la recolección de la materia prima la Cactácea se encuentra de manera silvestre.

1.5.2. LIMITACIÓN ECONÓMICA

Para la realización de los análisis fisicoquímicos, porque se requirieren sustancias químicas, cuyos costos son relativamente altos.

1.5.3. LIMITACIÓN TECNOLÓGICA

No presenta.

1.5.4. LIMITACIÓN CIENTÍFICA

No presenta.

1.5.5. LIMITACIONES POLÍTICAS

No hay un involucramiento de parte de las entidades del Gobierno regional como la dirección Salud Apurímac II y del Gobierno Regional de Apurímac, por falta de conocimiento de técnicas por desarrollar como la que se propone en la presente investigación.

1.5.6. LIMITACIONES BIBLIOGRÁFICAS

No existen.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO REFERENCIAL

2.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La amplitud 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), los extractos de semillas, hojas y corteza de algunas plantas como por ejemplo al utilizar el cotiledón de las semillas de Moringa oleífera Lam, polímero extraído de las pencas de la tuna (Martínez et al., 2003) y en productos de origen animal como el quitosano (Spinelli, 2001).

Olivero *et al.*, (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. Consideran que, el sulfato de aluminio es uno de los coagulantes químicos más utilizados para la clarificación del agua. Sin embargo, se considera una amenaza para la salud humana. Lo anterior ha motivado el estudio de coagulantes naturales obtenidos de variedades vegetales, como el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*, como alternativa para sustituir o minimizar el uso del sulfato de aluminio. Es así que la investigación tuvo por objetivo, Remover la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. Se empleó un diseño experimental factorial 2^k aleatorizado; siendo que los factores evaluados: tipo de coagulante (*Opuntia* y alumbre), su velocidad de agitación (100 y 200 rpm) y la concentración del mismo (35 y 40 g/L). El proceso de clarificación se realizó mediante la prueba de jarras usando muestras de agua tomadas del río Magdalena en Gambote, Departamento de Bolívar, Colombia. Fue empleado un turbidímetro para determinar la turbidez (UNT), un pH-metro para medir el pH y un conductímetro para establecer los valores de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y sólidos disueltos totales (mg/L) presentes en el agua analizada. El análisis estadístico (ANOVA) mostró que el tipo de coagulante influyó en el proceso de clarificación del agua. Sin embargo, su velocidad de agitación y concentración no lo hicieron. La mayor remoción de la turbidez del agua del río Magdalena se logró con alumbre (99,80%); siendo la remoción con *Opuntia* menor (93,25%).

Arroyave *et al.*, (2007). En su trabajo, Proceso de coagulación y floculación de agua, indica que el proceso de coagulación con almidón genera una alta cohesión de sólidos muy pequeños presentes en aguas contaminadas con la carga contaminante medida como DQO (Demanda Química de Oxígeno) y carácter ácido; SST (Sólidos Suspendidos Totales).

Metcalf (2007). En el proceso de la floculación del mucilago llega a la siguiente conclusión, el proceso de floculación que sigue a la coagulación, consiste de ordinario en una agitación suave y lenta. Durante la floculación, las partículas entran más en contacto recíproco, se unen unas a otras para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o filtración. El polímero natural (almidón) es un coagulante que se utiliza tanto al nivel de familia como en las plantas de tratamiento de las aguas residuales en nivel primario.

REFERENCIAS HISTÓRICAS

Las aguas residuales deben ser tratadas tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente y más aún si se quiere reutilizar. Antes de tratar cualquier agua servida debemos conocer su composición. Esto es lo que se llama caracterización del agua. Permite conocer qué elementos químicos y biológicos están presentes y da la información necesaria para que los expertos en tratamiento de aguas puedan diseñar una planta apropiada al agua servida que se está produciendo (Méndez y Feliciano, 2010)

En nuestro país, a través de la Resolución N° 0291-2009-ANA de fecha 01 de Junio del 2009 donde se dan disposiciones para respecto al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reúsos de aguas residuales tratadas, en su Artº. 4 clasifica los cuerpos de agua de acuerdo a su calidad ya sean terrestres o marítimas respecto a sus usos, de la siguiente manera:

- a. Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección.
- b. Aguas de abastecimientos domésticos con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación sedimentación, filtración y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud.
- c. Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.
- d. Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares)
- e. Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos.
- f. Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativo o comercial.

En su Artº 5, los valores límite para los diferentes cuerpos de agua, los mismos que están referidos a:

- a. Límites bacteriológicos (Coliformes fecales)
- b. Límites de DBO y de oxígeno disuelto (OD).
- c. Límites de sustancias potencialmente peligrosas (metales).
- d. Límites de sustancias o parámetros potencialmente perjudiciales (grasas, detergentes y carbonos activos)

El mayor detalle se puede observar en el referido dispositivo, donde se precisa además que dichos valores rigieron hasta el 31 de Marzo del 2010. Al respecto, si bien la encargada de autorizar el uso de dichas aguas residuales tratadas será la Autoridad Autónoma del Agua, se menciona en la Cuarta Disposición Complementaria que en tanto no exista normatividad de calidad se aplican las Directrices Sanitarias de la Organización Mundial de la Salud u otras normas internacionales que el Ministerio de Salud establezca.

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).

2.2. MARCO LEGAL: NORMATIVA DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

En el Perú, el sector saneamiento, pertenece al sector público. La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, SUNASS, es la encargada de regular, supervisar y fiscalizar el mercado de servicios de agua potable. El Estado promueve la participación del sector privado mediante procesos de concesión a nivel nacional, enmarcado en la Ley General de Servicios de Saneamiento, Ley N° 26338 y su Reglamento, el cual indica los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, el cual se muestra en la tabla (2.1).

Tabla 2.1: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP de Efluentes para Vertidos a Cuerpos de Agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10 000
DBO	mg/L	100
DQO	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	ml/L	150
Temperatura	°C	< 35

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

2.3. MARCO TEÓRICO

2.3.1. AGUA RESIDUAL

Las aguas residuales se clasifican en dos tipos: industriales y municipales, en muchos casos las aguas residuales industriales requieren tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal; como las características de estas aguas residuales cambian de una a otra industria, los procesos de tratamiento son también muy variables. No obstante, muchos de los procesos empleados para tratar aguas residuales municipales se emplean también con las industriales. Existen aguas

residuales industriales que tienen características compatibles con las municipales, por lo que se descargan directamente en los sistemas públicos de alcantarillado (Valdez y Vázquez, 2003)

El agua residual tiene un olor característico es a sulfhídrico, similar al de los huevos podridos. El agua residual séptica es de color negro. El agua colectada en los sistemas de alcantarillado municipal corresponde a una amplia variedad de usos. La tabla (2.3) presenta una lista de contaminantes que es común encontrar en las aguas residuales municipales, así como la fuente que los genera y sus consecuencias ambientales. La Figura 2.1 muestra las fluctuaciones diarias del gasto, sólidos suspendidos y DBO₅. En general, los sistemas de localidades pequeñas con uso homogéneo del agua, experimentan mayores fluctuaciones en la composición de las aguas residuales.

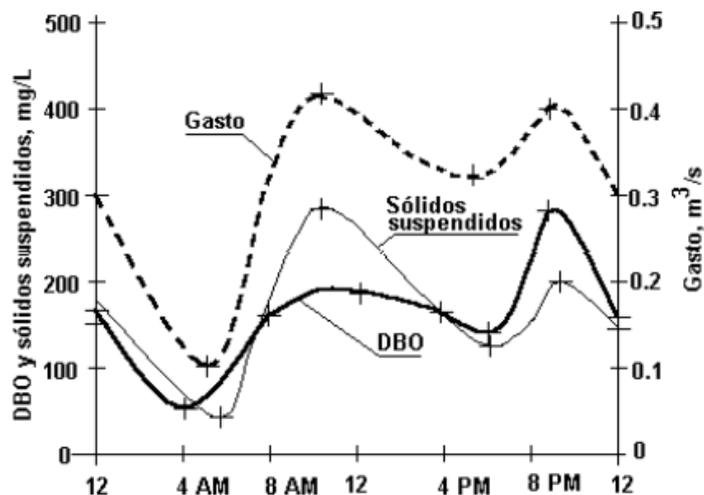
Tabla 2.2: Contaminantes importantes de las aguas residuales

Contaminante	Fuente	Importancia ambiental
Sólidos suspendidos.	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada a la red.	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables.	Desechos domésticos e industriales.	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos patógenos.	Desechos domésticos.	Causan enfermedades transmisibles.
Nutrientes.	Desechos domésticos industriales.	Pueden causar eutroficación.
Compuestos orgánicos refractarios*.	Desechos industriales.	Pueden causar problemas de sabor y olor; pueden ser tóxicos o carcinogénicos.
Metales pesados	Desechos industriales, minería, etc.	Son tóxicos, pueden interferir con tratamiento y reúso del efluente.
Sólidos inorgánicos disueltos.	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua.	Pueden interferir con el reúso del efluente.

*Refractario: se aplica al cuerpo que resiste la acción de agentes químicos o físicos, especialmente altas temperaturas, sin descomponerse.

Fuente: Valdez y Vázquez (2003).

Figura 2.1: Variación típica del gasto, sólidos suspendidos y DBO en aguas residuales municipales



Fuente: Valdez y Vázquez (2003).

2.3.2. TRATAMIENTOS PARA LA ELIMINACIÓN DE MATERIA EN SUSPENSIÓN EN AGUAS RESIDUALES

Las operaciones para eliminar este tipo de contaminación de aguas suelen ser las primeras en efectuarse, dado que la presencia de partículas en suspensión suele no ser indeseable en muchos otros procesos de tratamiento. La eliminación de esta materia en suspensión se suele hacer mediante operaciones mecánicas. Sin embargo, en muchos casos, y para favorecer esa separación, se utilizan aditivos químicos, denominándose en este caso tratamientos químico-físicos.

A continuación se describen las operaciones unitarias más habituales. 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).

A. DESBASTE

Es una operación en la que se trata de eliminar sólidos de mayor tamaño que el que habitualmente tienen las partículas que arrastran las aguas para eliminarlos y evitar que dañen equipos posteriores del resto de tratamientos.

El equipo que se suele utilizar son rejillas por las que se hace circular el agua, construidas por barras metálicas de 6 o más mm, dispuestas paralelamente y espaciadas entre 10 y 100 mm. Se limpian con rastrillos que se accionan normalmente de forma mecánica.

En otros casos, si el tipo de sólidos lo permite, se utilizan trituradoras, reduciendo el tamaño de sólidos y separándose posteriormente por sedimentación u otras operaciones.

B. SEDIMENTACIÓN

Operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación se le suele denominar también decantación.

Realmente, este tipo de partículas (grandes y densas, como las arenas) se tienen en pocas ocasiones en aguas industriales. Lo más habitual es encontrar sólidos poco densos, por lo que es necesario, para hacer más eficaz la operación, llevar a cabo una coagulación-floculación previa, que como se explicará más adelante, consiste en la adición de ciertos reactivos químicos para favorecer el aumento del tamaño y densidad de las partículas.

C. FILTRACIÓN

Es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña y de entre 0.15 y 0.3 mm.

Es una operación muy utilizada en el tratamiento de aguas potables, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). En aguas industriales hay más variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de Tierra de Diatomeas. También es habitual, para mejorar la eficacia, realizar una coagulación-floculación previa.

Hay muchas maneras de clasificar los sistemas de filtración: Por gravedad o a presión, lenta o rápida, de torta o en profundidad.

D. FLOTACIÓN

En esta operación hay un parámetro importante a la hora del diseño: La relación aire/sólidos, ml/l de aire liberados en el sistema por cada mg/l de concentración de sólidos en suspensión contenidos en el agua a tratar. Es un dato a determinar experimentalmente y suele tener un valor óptimo comprendido entre 0.005 y 0.06.

Operación física que consiste en generar pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, de donde son arrastradas y sacadas del sistema. Obviamente, esta forma de eliminar materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, así como en el caso de emulsiones, es decir, una dispersión de gotas de un líquido inmiscible, como en el caso de aceites y grasas. En este caso las burbujas de aire ayudan a “flotar” más rápidamente estas gotas, dado que generalmente la densidad de estos líquidos es menor que la del agua.

En esta operación hay un parámetro importante a la hora del diseño: La relación aire/sólidos, ml/l de aire liberados en el sistema por cada mg/l de concentración de sólidos en suspensión contenidos en el agua a tratar. Es un dato a determinar experimentalmente y suele tener un valor óptimo comprendido entre 0.005 y 0.06.

En el tratamiento de aguas se utiliza aire como agente de flotación, y en función de cómo se introduzca en el líquido, se tienen dos sistemas de flotación: Flotación por aire disuelto (DAF) y Flotación por aire inducido

2.3.3. COAGULACIÓN

La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancia química que son los coagulantes. Esta operación se efectúa 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).

Este proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos. 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). Para la evaluación de este proceso es tener en cuenta las características físicas y químicas del agua, la dosis del coagulante, la concentración del coagulante, el punto de aplicación del coagulante, la intensidad y el tiempo de mezcla y el tipo de dispositivo de mezcla.

A. TEORÍA DE LA COAGULACIÓN

Las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas naturales, poseen cargas eléctricas que normalmente son negativas, pero como también existen cargas eléctricas positivas, se puede afirmar que el agua y las soluciones son eléctricamente neutras. Las cargas eléctricas de las partículas generan fuerzas de repulsión entre ellas, por lo cual se mantienen suspendidas y separadas en el agua. Es por esto que dichas partículas no se sedimentan. El conjunto formado por estas partículas constituye un sistema coloidal, formado por una doble capa de iones, el cual es sometido a un potencial en la superficie inferior del doble lecho, denominado *potencial Z*. Este potencial tiene un valor crítico, por encima del cual los coloides son estables, y por debajo de él, la repulsión en las partículas se reduce a un grado tal que chocando con cierta velocidad pueden unirse y flocular. El problema en la coagulación consiste en disminuir el potencial Z por uno de los siguientes métodos:

- Coagulación por disminución del espesor de la doble capa (distancia d). Al incrementarse la concentración de iones en el agua la "distancia d " disminuye, hasta hacer el valor del potencial Z inferior al punto crítico.
- Coagulación por neutralización de la carga: Esta se realiza cuando coloides de diferente signo se mezclan en el agua. Esto es lo que sucede cuando se agrega alumbre o sales de hierro al agua.

El fenómeno de la desestabilización se efectúa mediante una serie de reacciones químicas bastante complejas, de las cuales algunas no se han podido entender lo suficiente. Dentro de esas reacciones se encuentran las que se efectúan con las diversas formas de alcalinidad, por lo cual su contenido disminuye. (Rodríguez, 2005).

B. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN

- Capacidad de cambio

Es una medida de la tendencia a reemplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas.

- Valencia

Entre mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante.

- Concentración de iones H^+ o pH

Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.

- Relación cantidad-tiempo

La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.

- Tamaño de las partículas:

Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc.

- Alcalinidad

La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación.

C. CLASES DE COAGULANTES

Los coagulantes que se utilizan en la práctica para agua potable son los siguientes:

- **Sales de Hierro:** Se utiliza el Cloruro Férrico, FeCl_3 , y los Sulfatos de Hierro Férrico y Ferroso, $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ y FeSO_4 . Forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio.
- **Polímeros o polielectrolitos:** Son compuestos complejos de alto peso molecular que se utilizan no propiamente como coagulantes sino como ayudantes de coagulación. La dosificación de estas sustancias se lleva a cabo en concentraciones muy bajas, lo cual es una gran ventaja y compensa el costo del polímero. Están siendo ampliamente empleados en el tratamiento de aguas potables ya que se produce una menor cantidad de lodos, adicionalmente el lodo producido es más fácilmente tratable.
- **Sales de Aluminio:** Forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas son: El Sulfato de Aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, que en la práctica se le denomina como Alumbre; el de Aluminio Amoniacal y el Aluminato Sódico. El primero es el que se usa con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo.

2.3.4. 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 – flóculos-(Rodríguez, 2005). Los objetivos básicos de la floculación son reunir microflóculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el flóculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica.

A. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN

- *Tiempo de detención*

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras, esto se puede lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades.

Concentración y naturaleza de las partículas

La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas.

- *Tiempo de detención*

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras, esto se puede lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades.

2.3.5. FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

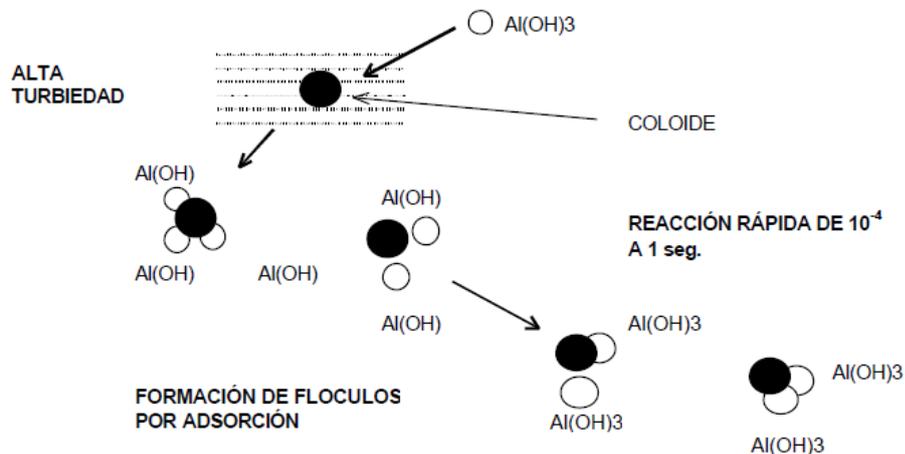
La pequeña dimensión de las partículas coloidales presentes en un agua, así como la existencia de cargas negativas repartidas en su superficie dan lugar a una gran estabilidad de las suspensiones coloidales porque es

necesario desestabilizarlos para poder eliminarlos y ahí es donde entran en juego los coagulantes.

En el campo del tratamiento de aguas, la es, por definición, el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales, que puede conseguirse especialmente por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas. Se llama coagulante al producto utilizado para esta neutralización. La agrupación de las partículas descargadas, al ponerse en contacto unas con otras, constituye la floculación, que da lugar a la formación de flóculos capaces de ser retenidos en una fase posterior del tratamiento del agua. Algunos productos pueden favorecer a formación del flóculo; a éstos se les llama floculantes. La separación sólido-líquido, del flóculo formado y del agua, puede hacerse por filtración, por decantación o flotación, seguidas o no de filtración (Guerrero *et al.*, 2003).

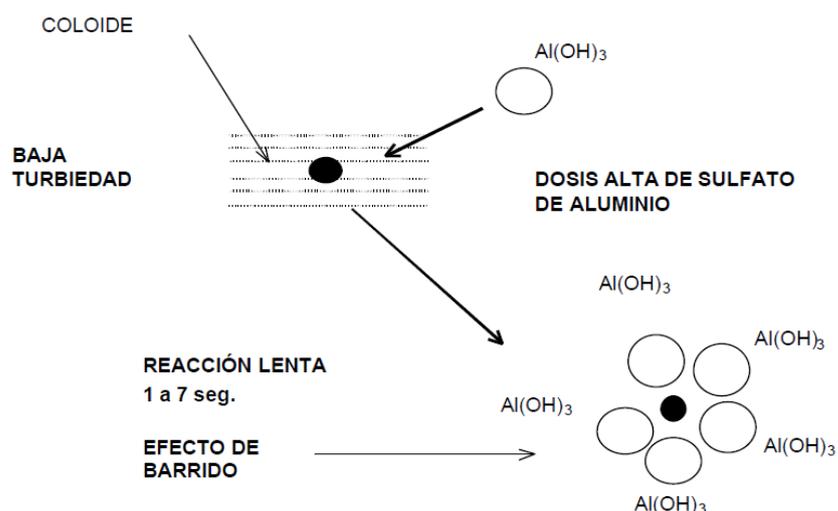
En el proceso de coagulación, los coagulantes más utilizados son sales de aluminio o de hierro. El fenómeno de coagulación se manifiesta de las formas que se muestran en la figura (2.2) y (2.3).

Figura 2.2: Coagulación por adsorción



Fuente: Andía, 2000.

Figura 2.3: Coagulación por barrido



Fuente: Andía, 2000.

2.3.6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA

A. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

La DBO_5 o demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días es el parámetro más usado para estimar el grado de contaminación orgánica en el agua. Su determinación implica medir la variación del oxígeno disuelto en el agua a través del tiempo debido a las reacciones bioquímicas involucradas en el metabolismo microbiano de la materia orgánica. La DBO del agua residual da una idea de la biodegradabilidad de la materia orgánica, además sirve para calcular la cantidad de oxígeno necesario para la estabilización de la materia orgánica mediante un tratamiento biológico, los datos de DBO_5 se emplean para medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento de aguas, y en general, la DBO_5 es un índice importante de la calidad de los cuerpos de agua (Ramos, 2006).

El procedimiento para determinar la DBO parte de la selección adecuada del volumen de muestra que se adiciona a las botellas de prueba de 300 ml de capacidad, el volumen se completa con agua de dilución que contiene oxígeno,

nutrientes, sales de calcio, magnesio y fierro que mantienen en condiciones adecuadas para la degradación de la materia orgánica, si es necesario, el agua de dilución se "inocula" con un cultivo de bacterias que hayan sido aclimatadas a la materia orgánica del desecho. Cuando la muestra contiene una población grande de microorganismos, como en las aguas residuales domésticas, no es necesario el inóculo. Las botellas se incuban por cinco días a 20°C (Ramos, 2006).

En la tabla (2.3) se presenta una guía para seleccionar el volumen de muestra en función de la cantidad esperada de DBO.

Tabla 2.3: Volumen de muestra según la concentración de DBO

Volumen en 300 ml de envase (ml)	Concentraciones de DBO (mg/l)
0.02	30000-105000
0.05	12000-42000
0.10	6000-21000
0.20	2000-10500
0.50	1200-4200
1.00	600-2100
2.00	300-1050
5.00	120-420
10.00	60-210
20.00	30-105
50.00	12-42
100.00	6-21

Fuente: Fair (2013)

La DBO se calcula con los datos de oxígeno disuelto en la muestra al inicio y al final del período de incubación. Cuando el análisis se hace únicamente con agua de dilución sin emplear inóculo. La DBO se calcula con la siguiente ecuación:

$$DBO\left(\frac{mg}{l}\right) = (OD_1 - OD_2)/P$$

Siendo:

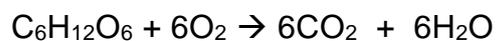
OD_1 = Oxígeno Disuelto de la muestra diluida, medido inmediatamente después de su preparación, en mg/l.

OD_2 = Oxígeno Disuelto de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C, en mg/l

P = Fracción volumétrica decimal de la muestra empleada. Por ejemplo, para una dilución del 10% $P=0.1$, del 50% $P'=0.5$ y del 100% $P = 1.0$.

Las proteínas son principalmente aminoácidos, mientras que los carbohidratos son azúcares, almidones y celulosa. Los lípidos incluyen grasas y aceites. Todos estos materiales contienen carbono, que puede ser convertido biológicamente a bióxido de carbono, ejerciendo así una demanda de oxígeno. Las proteínas contienen nitrógeno, de manera que también ejercen una demanda de oxígeno nitrogenada.

La prueba de la DBO se basa en la premisa de que toda la materia orgánica biodegradable contenida en una muestra de agua será oxidada a CO_2 y H_2O por microorganismos que usan el oxígeno molecular. Por ejemplo, la reacción general global para la adición de glucosa es



B. pH

Este significa potencial de hidrogeno y se define arbitrariamente y por comodidad como el logaritmo de base diez del inverso de la concentración del ion hidrogeno (H^+) y se emplea para expresar el comportamiento del ion Hidrogeno. La mayoría de las aguas naturales tiene un valor de pH 5.5-8.6 grados, en una escala de 14 grados, para la cual un pH de 7 en el agua refleja neutralidad. Y para un pH de 7 para arriba

representa alcalinidad y lo contrario indica acidez. La alteración excesiva fuera de estos límites puede indicar contaminación del abastecimiento de agua por algún desecho de tipo industrial. Los límites máximos permisibles aceptables son 6.5 – 8.5 grados y límites máximos permisibles son 6.5- 9.2 grados (Ramos, 2006).

C. ALCALINIDAD

La alcalinidad significa la capacidad tapón del agua; la capacidad del agua de neutralizar. Evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básico o ácido. Es también añadir carbón al agua. La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7. Sin embargo, cuando la acidez es alta en el agua la alcalinidad disminuye, puede causar condiciones dañinas para la vida acuática. En química del agua la alcalinidad se expresa en ppm o en mg/L de carbonato equivalente del calcio. La alcalinidad total del agua es la suma de las tres clases de alcalinidad; alcalinidad del carbonato, del bicarbonato y del hidróxido. La determinación de la alcalinidad no tiene importancia directa desde el punto de vista sanitario, pero es importante considerarla (Ramos, 2006).

2.3.7. LAS CACTACEAS

La migración de los cactus, oriundos del continente americano, primero hacia Europa, luego al resto del mundo, y este tránsito no sólo no ha terminado, sino que aumenta cada día. Por eso, hoy es posible encontrar cactus cultivados en lugares tan remotos para nosotros como Australia, Japón, Nueva Zelanda o Rusia (Ostolaza, 2010). En algunos casos, el cultivo de cactus con criterio comercial fuera de América está tan extendido que un viajero desinformado que visite las Islas Canarias o Sicilia, al sur de Italia, podría pensar que estas plantas son propias de estos lugares donde el clima benigno favorece su cultivo masivo que trata de satisfacer la creciente demanda del mercado europeo y asiático.

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). Cuatro de cada cinco cactus, son endémicas, es decir sólo se encuentran en el Perú, formando parte de nuestra rica flora silvestre (Ostolaza, 2010).

A. LAS CACTACEAS COMO COAGULANTES

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

Actualmente se utilizan muchas y muy diversas sustancias como agentes de precipitación, el grado de clarificación obtenido en el proceso depende de la cantidad de productos químicos utilizados y del cuidado con que se controle el proceso por medio de precipitación química es posible obtener un efluente limpio, substancialmente exento de materia en suspensión o en estado coloidal, éste, como cualquier otro fenómeno natural está regido por diversos factores de los cuales los principales son: mezclado, estabilidad de los coloides, tiempo de retención y velocidad de sedimentación.

Con respecto al mezclado, tenemos que está encaminado a la distribución uniforme y rápida de los coagulantes en el agua que se está 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)

En los procesos de tratamiento comunes, la turbulencia es inducida por el uso de impulsores giratorios, tales como paleta, las cuales se utilizan como dispositivos de floculación cuando se añade al agua residual productos químicos.

La adición de coagulantes puede hacerse de dos maneras:

- Al pasar la masa de agua por un punto determinado en el cual se produce una fuerte turbulencia inducida por un dispositivo hidráulico, orificio, vertedero, etc.
- Reteniendo el agua en un estanque especial por un tiempo de retención nominal, en donde se aplican coagulantes, mientras se agita con una turbina o paleta rotatoria o cualquier otro sistema para crear turbulencia. En ambos casos la turbulencia puede crearse hidráulica o mecánicamente.

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 flóculos (SIQYPN, 1992), ya que si la agitación fuese demasiado fuerte los esfuerzos cortantes que se producen romperán el flóculo (CEPIS, 1981). Stequist y Kauffman (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. Con poca alcalinidad, la mezcla puede ser más lenta, con alta alcalinidad la dispersión puede ser instantánea.

B. ESPECIES DE CACTACEAS

- *Neoraimondia arequipensis*

Su nombre común es Ulluquite se encuentran en zonas de la región Arequipa en parte de la costa peruana, no se sabe realmente si tiene o no relación con las conocidas Puyas de Raimondi, que crecen en diversas partes del Perú incluido el altiplano. Planta arbustiva de hasta 8 m. de alto y 40 cm. de diámetro, ramificación basal, ramas curvas en la base y luego ascendentes y paralelas, verde-gris de 20 cm. de diámetro, 7 a 8 costillas, areolas afelpadas marrón, grandes y con el tiempo cilíndricas, hasta 7 espinas muy flexibles y largas de hasta 25 cm. de largo. Flores blanco-verdosas. Frutos de 7 cm. de diámetro, púrpura, por fuera y por dentro, con areolas y pequeñas espinas que pierde al madurar.

Figura 2.4: Cactácea Neoraimondia arequipensis (Ulluquite)



Fuente: 101 Cactus del Perú Ministerio del ambiente, 2013

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Reino: *Plantae*

Sub reino: *Tracheobionta*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Subclase: *Caryophyllidae*

Orden: *Caryophyllales*

Familia: *Cactaceae*

Subfamilia: *Cactoideae*

Tribu: *Browningieae*

Género: *Neoraimondia*

Nombre Científico: *Neoraimondia arequipensis*

- *Opuntia ficus indica*.

Las plantas de tuna son arborescentes, arbustivas o rastreras, con forma simple o de Matorrales. Poseen un tronco leñoso muy definido, con ramificaciones esparcidas o en forma de copa, con tallos y ramas articuladas. Pueden llegar a medir hasta 5 m de alto. Sus partes oblongas llamadas pencas alcanzan los 30 a 50 cm de ancho y 2 cm de espesor, son de color verde opaco, poseen flores y frutos, ovalados de color rojo, naranja o amarillo. La tuna que no requiere tierras de gran calidad, puede crecer en terrenos poco fértiles y de escasa humedad, en el Perú se encuentra tanto en forma cultivada como silvestre, requiere mínimos cuidados y pueden vivir hasta 80 años. La tuna en

base seca, contiene alrededor del 15.48% de proteínas, además de carbohidratos, cenizas y una gran humedad. Tiene baja acidez. En la pulpa hay alto contenido de azúcares. Por lo general, los azúcares presentes son considerados reductores, predomina la glucosa (60%) y la fructosa (40%).(Ostolaza, 2010).

Figura 2.5: Cactácea *Opuntia ficus indica*.



Fuente: Ministerio del ambiente, 2013

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*

2.4. MARCO CONCEPTUAL

Aguas residuales industriales: Son aguas vertidas desde locales utilizados para efectuar actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

Acidez: Es una solución en la cual la concentración de hidrógeno excede a la del agua pura a la misma temperatura, y el pH es menor que siete; además es la tendencia a liberar un protón o aceptar un par de electrones de un donante.

Coagulación: Es un fenómeno de desestabilización de coloides, que se efectúa generalmente por la adición de reactivos químicos que anulan las fuerzas electrostáticas de repulsión, o actúan sobre la hidrofilia de las partículas coloidales mediante mecanismos de agregación.

Aguas residuales domésticas: Proceden de vivienda y servicios generados por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

Calidad de agua: Vinculado con las características físicas, químicas y biológicas, mediante las cuales puede determinarse si el agua es adecuada para el uso al que se destina.

Dureza total: Característica del agua que presenta su concentración total de los iones de calcio y magnesio, expresados como carbonato de calcio.

Alcalinidad: Es una solución en la cual la concentración de hidrógeno es menor que la del agua pura a la misma temperatura, y el pH es mayor que siete, se libera un par de electrones o acepta un protón de un donante.

Floculación: Se origina mediante la agitación moderada del agua, donde las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, forman otras de mayor tamaño y peso específico.

Dureza: Característica que presenta la concentración total de iones de calcio en el agua.

Coagulantes: Suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe^{3+} , Al^{3+}) junto con polielectrólitos orgánicos.

Floculantes: Son polielectrólitos (polímeros en que las unidades monoméricas tienen grupos ionizables), y que pueden generar agregados de partículas finas.

Sólidos totales disueltos: Son sustancias orgánicas disueltas que se puedan encontrar en el agua, producidas por actividades económicas, donde existen partículas en suspensión, flóculos y sedimentos.

Sedimentación: Operación física donde se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador

CAPITULO III

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION

3.1.1. TIPO DE LA INVESTIGACION

Es aplicativo pues aplicará conocimiento y teorías válidas para el tema para evidenciar y solucionar problemas específicos.

3.1.2. NIVEL DE LA INVESTIGACION

Es experimental, porque se manipulan variables como el tipo de solvente de extracción del coagulante, así como la dosis de coagulante a aplicar con el fin de optimizar la cantidad.

3.2. METODO DE INVESTIGACION

El método de la investigación es el descriptivo explicativo, porque se detalla cada una de las variables teóricas tal y como aparecen en la realidad observada

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACION

El diseño de la investigación es experimental y descriptivo de corte transversal y correlacional. Se considera un diseño completo al azar – DCA, debido a que se manipuló 01 variable de entrada de la especie de Cactácea y el tipo de solvente de extracción, la matriz de diseño se muestra en la tabla (3.1).

Tabla 3.1: Matriz de diseño experimental

Especie	Variable de entrada		Variable de salida
	Tratamiento	Tipos de solvente	
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)	T1	Etanol	R4
	T2	NaCl 0.25M	R5
	T3	Agua	R6
<i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna)	T1	Etanol	R7
	T2	NaCl 0.25M	R8
	T3	Agua	R9

Fuente: Elaboración propia

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

3.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

- La optimización de la capacidad floculante de la *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus indica*, que permiten conocer la cantidad adecuada de coagulante en el tratamiento de aguas residuales

3.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La identificación fisicoquímica de los coagulantes extraídos de las Cactáceas *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus indica* permiten conocer sus características de identificación.
- El coagulante extraído de las Cactáceas *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus indica*, presentan alta capacidad clarificante evaluadas como turbidez y porcentaje de sedimentación de flóculos.
- Los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua tratada con el coagulante extraído de las Cactáceas *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus indica*, se encuentran dentro de los establecido por las NTP para el agua de consumo.
- La dosis optima de coagulante natural extraído de las Cactáceas *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus indica*, permiten obtener alto porcentaje de remoción de solidos suspendidos en el agua residual artificial.

3.5. VARIABLES E INDICADORES

3.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES O DE ENTRADA (VI)

- El coagulante extraído con diferentes solventes: se refiere al coagulante extraído con los solventes como el etanol, solución de NaCl y agua.
- Dosis de coagulante: se refiere a la cantidad del coagulante agregado al agua residual artificial, a fin de conocer el efecto que

tiene está sobre la floculación y coagulación de material suspendido en el agua

3.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES O DE SALIDA (VD)

- Características fisicoquímicas de los coagulantes de la Cactáceas *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus indica* extraídas con diferentes medios solventes.
- Capacidad clarificante de los coagulante en aguas residuales.
- Características fisicoquímicas como pH, DBO, DQO, Conductividad, Alcalinidad y Dureza total del agua tratada con el coagulante extraído de las Cactáceas *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus indica* con diferentes medios solventes.

3.5.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	INDICADOR	VALOR ESCALAR	MÉTODO
DE ENTRADA			
Tipo de solvente	Solvente	Solvente	Comparativo y descriptivo
Dosis de coagulante	Dosis	%	Comparativo y descriptivo
DE SALIDA			
Extracción de coagulantes naturales	Rendimiento de extracción	%	Experimental
Características fisicoquímicas del coagulante natural	Ph Temperatura de gelatinización % de proteínas % de polisacáridos Densidad aparente	Log [H ⁺] °C % % g/mL	Experimental
Capacidad floculante	Actividad floculante % de remoción	Adimensional %	Experimental
Características fisicoquímicas del agua tratada	Ph Alcalinidad total Dureza total DBO	Log [H ⁺] ppm CaCO ₃ ppm CaCO ₃ mg de O ₂	Experimental

3.6. COBERTURA DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

3.6.1. UNIVERSO

Se refiere al material vegetativo de las cactáceas de las especies *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus indica*, que crece de forma silvestre durante todo el año en la localidad de Talavera Andahuaylas, Apurímac.

3.6.2. POBLACION

Es la totalidad de coagulante extraído con los solventes.

3.6.3. MUESTRA

Se refiere a 20 gramos de coagulante extraído con los diferentes medios solventes.

3.6.4. MUESTREO

El muestreo de la cantidad (coagulante extraído), fue por conveniencia al azar, a fin de obtener del total de coagulante una muestra significativa acorde a lo requerido para cada técnica de análisis.

3.7. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. MÉTODOS Y TECNICAS PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN

A. EXTRACCIÓN DEL COAGULANTE NATURAL

Se trabajó de acuerdo al método de Dujardin *et al.* (1985), que consistió en:

Se colecto muestras de cada cactácea, las cuales deberán previamente estar completamente libre de sus espinos, posteriormente se cortaron en pequeños trozos y se licuaron a alta velocidad con agua destilada

en una relación 1:1, luego de la molienda fina, se procedió a tamizarlo en una malla de 1000 micras, a fin de eliminar la fibra y obtener únicamente el mucilago (zumo filtrado). Posteriormente se realizó una extracción líquido - líquido del zumo filtrado, con un medio solvente en relación 1 de zumo: 2 de solvente. Luego se realizaron tantos cambios de solvente como sea necesario hasta eliminar el color, en seguida el precipitado se seca a temperatura ambiente. Seca la muestra se molió finamente y en seguida se tamizó en una malla de 300 micras, obteniéndose un polvo fino y cristalizado de coagulante. Los solventes utilizados fueron etanol al 96%, Solución de cloruro de sodio 0.25 molar y agua destilada.

B. PREPARACIÓN DE DISOLUCIONES ACUOSAS DE CAOLÍN

La disolución se preparó disolviendo 25 g del sólido en 500 ml de agua destilada con posterior agitación por 30 minutos, dejando reposar por 24 horas para la obtención de disolución madre de caolín.

C. PREPARACIÓN DEL AGUA ARTIFICIAL

Para la preparación se tomaron 6 litros de agua de caño y se le adiciono 30 ml de disolución madre de caolín.

3.7.2. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN Y ANÁLISIS

A. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE COAGULANTE

Extraído el coagulante natural en cristales, se determinó el rendimiento de extracción de acuerdo a la ecuación (01) (Romero y Vargas, 2006).

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{\text{g de cristales de coagulante}}{\text{g de material utilizado}} * 100 \quad \text{ec. (01)}$$

B. EVALUACIONES FISICOQUÍMICAS DE LOS COAGULANTES NATURALES.

Se efectuaron las siguientes evaluaciones: pH, temperatura de gelatinización, proteínas, polisacáridos y densidad aparente.

pH

Se realizó una solución de los coagulantes naturales al 1% en agua destilada, y a continuación se midió el pH, con la ayuda de un potenciómetro (Vásquez, 1994).

TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN

Se obtuvieron gránulos de los coagulantes son insolubles en agua fría; cuando se calientan en solución a temperaturas altas alcanzan una temperatura específica en la cual se inicia el hinchamiento de los gránulos. Esta temperatura es llamada temperatura de gelatinización (Grace, 1977).

Se preparó 100 ml de una solución al 1% de coagulante natural en agua destilada, enseguida se calentó agua en un vaso de precipitado de 250 ml a 85 °C, y se tomó 50 ml de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 ml, se introdujo el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C, y se agitó con el termómetro constantemente la suspensión de coagulante hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos, se realizó la lectura de la temperatura de gelatinización (Fernández, 2008).

PROTEINAS

Se determinó a través del método de Lowry (Granadas y Castañeda, 1991).

Se prepararon inicialmente las siguientes soluciones:

- Solución A: Carbonato de sodio al 2%
- Solución B: Tartrato de sodio y potasio al 2%
- Solución C: Sulfato de cobre pentahidratado al 1%

Tales soluciones se mezclarán de la siguiente manera: 49.0 ml de A, 0.5 ml de B y 0.5 ml de C.

Posterior a ello se agregó 1 ml de la muestra al 1% que contenía proteína a 5 ml de la mezcla A, B, C, se agitó y se dejó reposar por 10

minutos, posteriormente se agregó 0.5 ml de Caolín y 0.5 ml de agua (estos se mezclan antes de agregar); se dejó reposar por 30 minutos y se dio lectura en un espectrofotómetro a 625 nm.

Asimismo se elaboró una curva patrón con albumina SB (1 mg/ml) (anexo 01)

POLISACARIDOS

Es un método para la estimación cuantitativa de azúcares simples, oligosacáridos, polisacáridos y sus derivados con grupos reductores libres o potencialmente libres

Procedimiento: Se colocó una muestra en un tubo de ensaye con un volumen de 0.1, 0.8 y 1.0 ml, se le añade 0.8 ml de fenol (5%) posteriormente se agregó 4 ml de ácido sulfúrico se deja en reposo por 10 minutos, enseguida se coloca en baño isotérmico por 20 min. A 30 °C, habiendo pasado este tiempo se lee el espectrofotómetro a 490 nm (De la Torre *et al.*, 2008)

Nota: Las muestras se preparan al 1% tanto para la curva patrón como para el problema.

DENSIDAD APARENTE (DA)

La densidad aparente fue determinada utilizando la relación entre el peso del coagulante que ocupa un volumen conocido, se puede determinar en dos formas: como suelto y como empacado (Smith, 1997).

Se pesó la probeta graduada vacía, y adiciono cuidadosamente con una espátula la muestra de coagulante deshidratado a una probeta por medio de un embudo hasta que el volumen total sea libremente completado, el cálculo se realizó de acuerdo a la ecuación (02).

$$DA \text{ suelto} \left(\frac{g}{mL} \right) = \frac{[(\text{peso probeta} + \text{coagulante suelto}) - \text{peso probeta vacía}]}{\text{volumen de probeta}} \text{ ec. (02)}$$

C. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FLOCULANTE

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FLOCULANTE

Se adaptó la metodología utilizada por Sánchez y Untiveros (2004), se vierte 0.25 ml de solución de coagulante natural al 1%, 4.50 ml de suspensión de caolín y 0.25 ml de solución de hierro (III) al 1% en un tubo de ensayo y con ayuda de un Vortex se homogeniza por 15 segundos y se reposa por 5 min. Dos y medio ml del sobrenadante se retiran cuidadosamente de la parte superior del tubo de ensayo con una pipeta y se mide la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 550 nm (A). Un experimento control sin utilizar coagulante natural se lleva a cabo de manera similar y se mide la absorbancia a una longitud de onda de 550 nm (B). La actividad floculante se calcula utilizando la ecuación (03).

$$\text{Actividad floculante (1/OD)} = 1/A - 1/B, \quad \text{ec. (03)}$$

La prueba se repitió con coagulante natural al 2% y 3%.

EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN

La eficiencia del proceso fue determinada mediante el porcentaje de remoción de turbidez de acuerdo a la ecuación (4) (Yagual y Torres, 2012).

$$\% \text{ de remoción} = \frac{\text{turbidez inicial} - \text{turbidez final}}{\text{turbidez inicial}} * 10 \quad \text{ec. (4)}$$

D. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA TRATADA

Se realizó la caracterización de los parámetros de calidad de calidad del agua tratada, tales como: pH, Alcalinidad total (método de titulación), Dureza total (método complexométrico), DBO (método oximétrico)

pH

El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones

de hidrógeno. Según este concepto y atendiendo a los valores de pH, el agua se clasifica de la siguiente forma (UNE 77040:1983, tomado de Trejo, 2008).

- pH = 7 medio neutro.
- pH > medio alcalino.
- pH < 7 medio ácido.

Equipo y Soluciones:

- pHmetro, marca Ohaus.
- Solución tampón pH= 4.0
- Solución tampón de pH= 7.0
- Solución Buffer.
- Agua destilada.

ALCALINIDAD TOTAL

La alcalinidad es debida a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos de metales alcalinos y alcalinotérreos en el agua. Para su determinación se utilizó el método estándar.

Transferir 100 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Adicionar 2 gotas de disolución indicadora de fenolftaleína.

Titular con la disolución valorada de ácido (0,02 N) hasta el vire de la fenolftaleína (de rosa a incoloro), registrar los mililitros gastados (alcalinidad a la fenolftaleína).

Adicionar 2 gotas de la disolución indicadora de naranja de metilo.

Continuar con la titulación hasta alcanzar el vire del naranja de metilo. (de canela a amarillo), alcalinidad total.

Registrar los volúmenes para ambos puntos finales.

Calcular la alcalinidad, tomando en cuenta el vire de los indicadores.

La alcalinidad total como CaCO₃ en mg/l, se determinó mediante la siguiente ecuación (05):

$$\text{Alcalinidad total (mg CaCO}_3) = \frac{A \cdot N \cdot 50 \cdot 1000}{100} \quad \text{ec. (05)}$$

Donde:

- A es el volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del anaranjado de metilo en ml;
- N es la normalidad de la disolución de ácido;
- 100 es el volumen de la muestra en ml;
- 50 es el factor para convertir eq/l a mg CaCO₃/l, y
- 1 000 es el factor para convertir ml a L.

DUREZA TOTAL

Se efectuó por el método complexométrico, se utilizó como reactivo titulante una sal sódica como el ácido Etilén Diamino Tetracético (EDTA).

La dureza total se basa en la formación de complejos solubles entre el EDTA o sus sales con el ión magnesio. Este ión es capaz de formar complejos coloreados con el Negro de Ericromo T. En la dureza total se determina calcio y magnesio (UNE 77040:1983, tomado de Trejo, 2008).

Materiales:

- Erlenmeyer de 250 ml.
- Pipetas aforadas.
- Bureta aforada.
- Matraces aforados de 100 ml.

Reactivos:

- Solución de EDTA 0,01 M.
- Solución tampón pH 10
- Indicador de negro de eriocromo T.

- Solución de complexón magnésico.
- Hidróxido de sodio 1 M.
- Indicador murexida sódico en polvo.

DETERMINACIÓN DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)

Este método es aplicable para la determinación de demanda bioquímica de oxígeno en aguas residuales y residuales tratadas expresado en mg/l (Marín y Osés, 2013).

El método consistió en llenar con una disolución adecuada de la muestra un frasco hermético de tamaño específico e incubarlo a 20°C durante 5 días (Marín y Osés, 2013).

Se midió el oxígeno disuelto (OD) antes y después de la incubación y la demanda bioquímica de oxígeno se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final.

Preparación de tampón Fosfato

Se disolvió 8.5 g de KH_2PO_4 , 21.75 g de $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 1.7 g de NH_4Cl en 500 ml de agua destilada y se aforo a 1 litro. El pH fue 7.2 sin ajustes adicionales.

Preparación de Cloruro Férrico

Se disolvió 0.25 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada se aforo a 1 litro.

Preparación de Sulfato de Magnesio

Se disolvió 22.5 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y se aforo a 1 litro.

Preparación de Cloruro de Calcio

Se disolvió 27.5 g de CaCl_2 en agua destilada y se aforo a 1 litro.

Preparación del agua de disolución

Se colocó 200 ml de agua en un frasco Winkler de 300 ml y se añadió por cada litro de agua, 10 ml de cada una de las siguientes disoluciones

disolución de sulfato de magnesio, disolución de cloruro de calcio, disolución de cloruro férrico y disolución amortiguadora de fosfatos y se saturo con oxígeno agitando el frasco durante 10 minutos como mínimo.

Se determinó el OD inicial por el método de electrodo de membrana con el oxímetro Handylab OX12 marca Schott, en todas las disoluciones de la muestra y dos muestra en blanco.

Luego se llevó a incubar a 20°C durante 5 días manteniendo el sello hidráulico colocando un globo N° 07 en la parte superior de la botella.

Se determinó el DBO a través de la siguiente ecuación (06):

$$DBO \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{(OD_{inicial} - OD_{final})}{fracción\ volumétrica\ decimal\ de\ la\ muestra\ utilizada} \quad ec. (06)$$

E. OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD FLOCULANTE DE LOS COAGULANTES NATURALES

La determinación de los valores adecuados u óptimos del porcentaje de coagulante natural, se realizó a través de la generación de modelos matemáticos a fin de conocer el efecto de las variables sobre la respuesta, los modelos matemáticos se probaran utilizando estadígrafos de ajuste, para lo cual se utilizara el software estadístico Statistica V5 y el utilitario Solver de Excel (2010).

GENERACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS

Se generaron modelos algebraicos de primer orden (ecuación 07) y segundo orden (ecuación 08) (Gutiérrez y de la Vara, 2004).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon \quad ec. (07)$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_1^2 + \varepsilon \quad ec. (08)$$

Donde:

Y, es el pronóstico de la variable de respuesta o dependiente

X_i , variable de entrada o independiente, como el porcentaje de coagulante.

β_i , son los coeficientes de las variables independientes.

AJUSTE DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS

El ajuste de los modelos, fue desarrollado de acuerdo al método de estimación de los mínimos cuadrados, que consiste en encontrar la diferencia mínima (*Dif min*) entre los valores experimentales y los valores reportados por el modelo matemático (Tarifa, 2000), tal como se indica en la ecuación (09).

$$\text{Dif min} = (Me_{i,exp} - Me_{i,pre})^2 \rightarrow 0, \Rightarrow Me_{i,exp} \cong Me_{i,pre} \quad \text{ec. (09)}$$

Donde:

$Me_{i,exp}$ = Dato experimental de la variable dependiente correspondiente para el tratamiento "i".

$Me_{i,pre}$ = Dato reportado por el modelo matemático de la variable dependiente correspondiente para el tratamiento "i".

Mientras que la calidad de ajuste de los modelos, se evaluó a través del *error medio absoluto mea* de acuerdo a la ecuación (10), presentando mejor ajuste aquella que presente una *mea* menor al 10% (Gutiérrez y de la Vara, 2004). Así mismo se evaluó el *error estándar esperado SEE* aplicando la ecuación (11), presentando un mejor ajuste aquel modelo que presente menor valor de *SEE*. (Sing y Heldman, 2009).

$$\%mea = \frac{100}{N} * \sum_{i=1}^n \left| \frac{Me_{i,exp} - Me_{i,pre}}{Me_{i,exp}} \right| \quad \text{ec. (10)}$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Me_{i,exp} - Me_{i,pre})^2}{N - n}} \quad \text{ec. (11)}$$

Donde:

$Me_{i,exp}$ = Dato experimental de la variable dependiente correspondiente para la formulación "i".

$Me_{i,pre}$ = Dato reportado por el modelo matemático de la variable dependiente correspondiente para la formulación “ I ”.

N = número de observaciones experimentales

n = Número de constantes en el modelo

3.8. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

3.8.1. MÉTODOS DE ANALISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de las variables de salida para los distintos tratamientos se evaluaron a través de:

ANÁLISIS DE VARIANZA

El análisis de varianza o ANOVA fue de un solo factor.

El planteamiento de hipótesis estadística para el ANOVA unidireccional fue:

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

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

Nivel de significancia (α)

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

Criterio de significancia

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

COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE TRATAMIENTOS

Se desarrollará a través del Test Tukey (análisis paramétrico), se aplicara en la comparación múltiple entre tratamientos, referidos a las variables de respuesta medibles o paramétricas.

El planteamiento de hipótesis estadística para el test Tukey, será:

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 emplea $\alpha = 0.05$ (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” versus “j” (diferentes estadísticamente)

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

$$T_\alpha = q_\alpha(k, N - k) \sqrt{\frac{CM_E}{n}} \quad \text{Donde } T_\alpha, \text{ es el estadístico Tukey, ecuación (12).}$$

ec. (12)

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, Tukey y prueba Friedman, se utilizara 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.

3.8.2. REPRESENTACIÓN

Se realizó una representación gráfica y tablas elaboradas a través del software Excel y MINITAB V5.

Asimismo los resultados se representaron a través de ecuaciones de segundo orden los cuales fueron evaluados con regresión no lineal – RNL.

CAPITULO IV

PRESENTACION DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE COAGULANTE

Los resultados del rendimiento de extracción de coagulante cristalizado, se muestra en la tabla (4.1), en ella se aprecia que el rendimiento es diferente para cada variedad cuando se extrae con diferentes solventes. Por otra parte el rendimiento también es diferente entre variedades cuando son sometidos a la extracción con el mismo solvente, es así que en todos los casos el rendimiento es mayor para la variedad *Opuntia ficus* (Tuna), siendo $0.6546 \pm 0.0246\%$ extraído con el etanol, $0.5244 \pm 0.0175\%$ con el NaCl 0.25M y $0.4021 \pm 0.0069\%$ con el agua, lográndose mejores rendimientos de extracción con el etanol. Vázquez (1994) extrae coagulante natural deshidratando la penca de Tuna, luego moliéndola y tamizándola en malla N° 325 y logra rendimientos de 2.5% para la variedad *Opuntia lindheimeri* y 6.3% para la variedad *Opuntia microdasys*; Villabona *et al.*, (2012) aplicando el mismo proceso logra rendimientos de 6.5% para la *Opuntia ficus*, aunque este tipo de coagulantes extraídos presenta además de gomas floculantes, otros componentes como pectinas, carbohidratos, fibras solubles polímeros fenólicos, lípidos y otros (Vázquez, 1994), no obstante la extracción por solventes permite eliminar en gran medida algunos componentes de las pencas de las cactáceas, de allí que el rendimiento logrado en la investigación es menor.

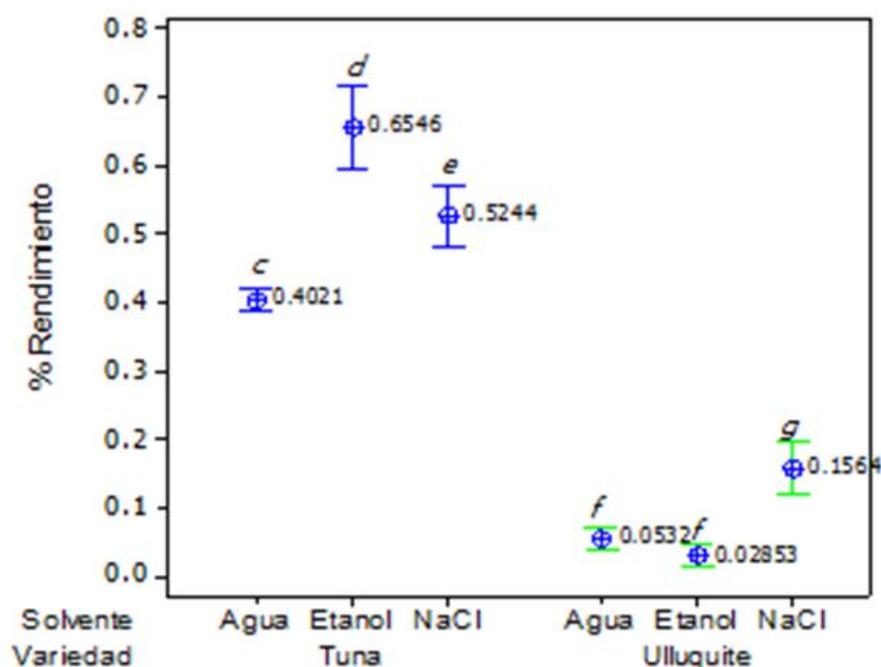
Asimismo se observa el cuadro de rendimiento en ella se aprecia que hay diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) en la extracción por solventes y por variedades de Cactáceas, esto quiere decir que la utilización de un solvente distinto genera rendimientos diferentes, asimismo las especies de Cactáceas presentan diferentes contenidos de coagulante.

Tabla 4. 1: Rendimiento de extracción de las Cactáceas

Variedad	Penca (g)	Zumo filtrado (ml)	Solvente (Etanol)	Solución filtrada (g)	Coagulante cristalizado (g)			% Rendimiento (g de coagulante/g de Cactácea)*		
					R1	R2	R3	\bar{x}	\pm	s
Solvente	Etanol									
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)	300	300	600	360	0.0630	0.1012	0.0926	0.0285	\pm	0.0067
<i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna)	300	300	600	300	1.9724	1.8863	2.0330	0.6546	\pm	0.0246
Solvente	NaCl 0.25 M									
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)	300	300	600	320	0.4511	0.5230	0.4333	0.1564	\pm	0.0158
<i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna)	300	300	600	300	1.5166	1.6203	1.5827	0.5244	\pm	0.0175
Solvente	Agua									
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)	300	300	600	350	0.1566	0.1822	0.1402	0.0532	\pm	0.0071
<i>Opuntia ficus</i> (Tuna)	300	300	600	300	1.1833	1.2233	1.2121	0.4021	\pm	0.0069

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar- *Los datos se muestran en el ANEXO (01

Figura 4.1: Diagrama de comparación de medias para el rendimiento de extracción*



*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$

4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL COAGULANTE NATURAL

4.2.1. PH

Los valores del pH de los coagulantes naturales de las variedades que se estudiaron se muestran en la tabla (4.2), en ella se aprecia que el pH de los coagulantes extraídos con el solvente etanol, son los que presentan menores valores, mientras que los extraídos con solución *NaCl* 0.25M son los que presentan mayores valores.

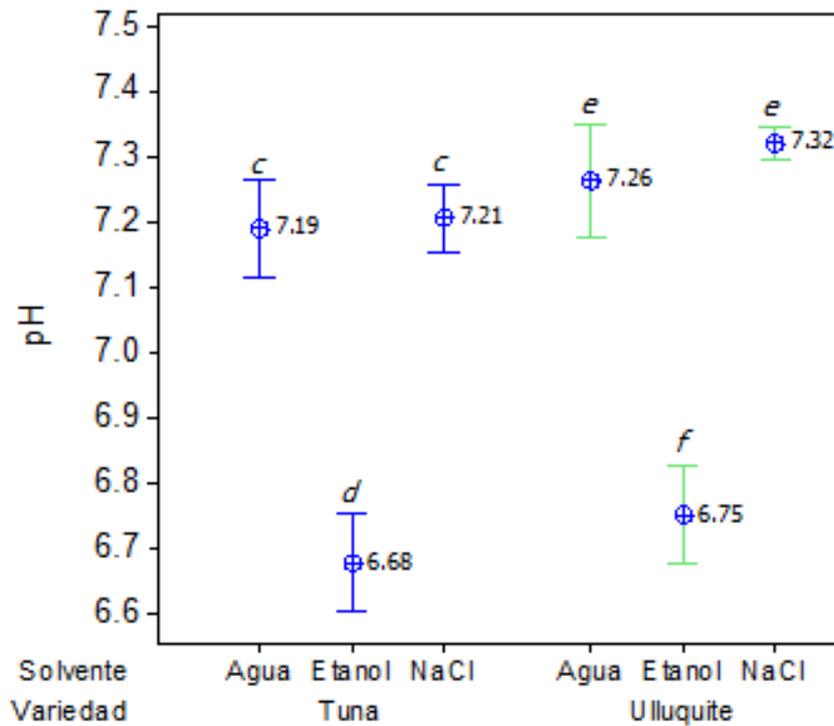
Tabla 4.2: pH del coagulante natural de las variedades

Solvente	pH del coagulante					
	<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)			<i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna)		
	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s
Etanol	6.75	\pm	0.03	6.68	\pm	0.03
<i>NaCl</i> 0.25M	7.32	\pm	0.01	7.21	\pm	0.02
Agua	7.26	\pm	0.04	7.19	\pm	0.03

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar

Para Arboleda (2000), los pH altos posibilitan una mejor remoción de color en las aguas residuales, y que influye de manera importante en los procesos de coagulación-floculación (Hernández, 2003), Sciban *et al.* (2009) coincidieron en la aplicación de valores de pH altos durante la evaluación de los agentes coagulantes, los valores utilizados fueron 9 y 8.5 respectivamente. En contraste, Martínez *et al.* (2003) hicieron un ajuste del pH, en forma tal que se encontraran dentro del rango establecido en las normas de calidad del agua (pH entre 6.5 y 8.5). Por otro lado, Nkurunziza *et al.* (2009) llevaron a cabo las pruebas de coagulación-floculación bajo valores de pH neutros (pH=7), utilizando como agente coagulante *Moringa oleifera*. Quirós *et al.* (2010), encontró un valor de pH de 6.43 para el coagulante natural de Mozote *Triumfetta semitriloba*, asimismo Vázquez (1994) encontró valores del pH que oscilan entre 6.5 a 6.7 para el coagulante natural obtenido a partir de la *Opuntia imbricata*, y Villabona *et al.* (2012), encontró un pH de 6.19 para coagulante extraído de la tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Figura 4.2: Diagrama de comparación de medias para el pH del coagulante*



*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$

4.2.2. TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN

Los resultados se muestran en la tabla (4.3), y en ella se observa que la temperatura de gelatinización en la variedad *Opuntia ficus* (Tuna) es la que presenta mayores valores, según Zhang *et al.* (2005) La gelatinización se debe al contenido del almidón en el coagulante natural, y esta se refiere al colapso del orden en el interior de los gránulos cuando estos son sometidos a calor en presencia de agua, ocasionando cambios irreversibles, entre los que se encuentra según De la Torre *et al.*, (2008); pérdida de su orden cristalino, aumento en el tamaño de los gránulos, birrefringencia y la solubilización del almidón.

Tabla 4.3: Temperatura de gelatinización del coagulante natural de las especies

Solvente	Temperatura de gelatinización					
	Neoraimondia arequipensis (Ulluquite)			Opuntia ficus indica (Tuna)		
	\bar{x}	\pm	S	\bar{x}	\pm	S
Etanol	77.33	\pm	0.58	78.67	\pm	0.58
NaCl 0.25M	78.00	\pm	1.00	79.67	\pm	0.58
Agua	77.17	\pm	0.76	77.33	\pm	0.58

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar

En la tabla (4.4) se presenta el ANOVA, en ella se muestra que no existe diferencia significativa ($p\text{-value} > 0.05$) en la temperatura de gelatinización en los coagulantes de la misma especie de Cactáceas, es decir la extracción por cualquier medio solvente permite obtener coagulantes que presentan la misma temperatura de gelatinización en cada variedad estudiada, aunque la temperatura de gelatinización entre variedades muestra diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$)

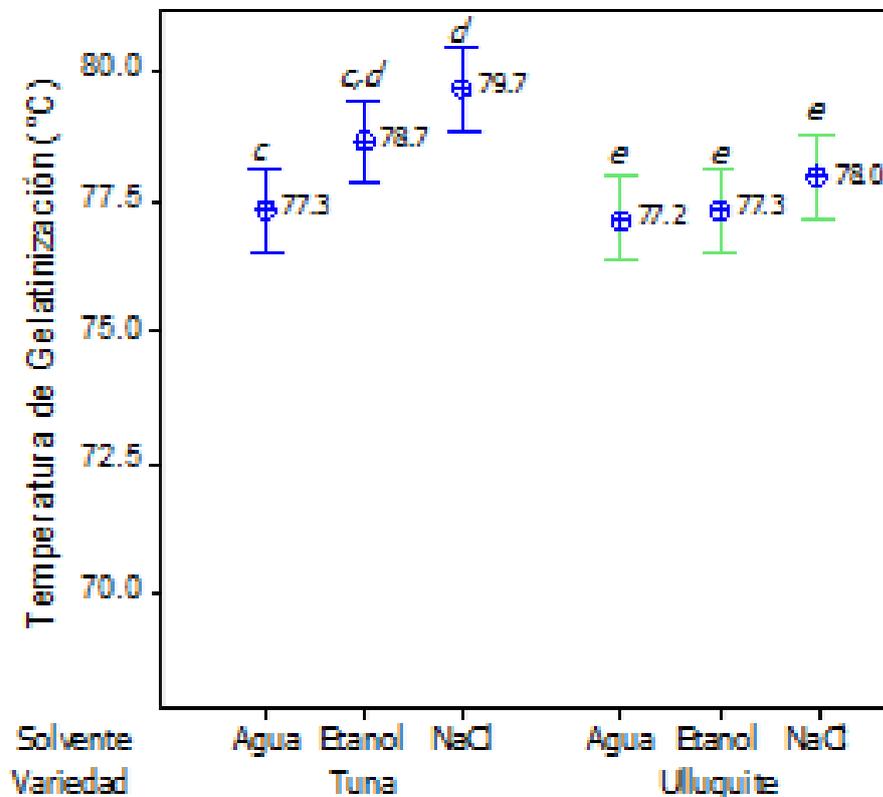
Tabla 4.4: ANOVA* para temperatura de gelatinización del coagulante

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F_{cal}	$p\text{-value}^*$	F_{crit}
Solvente	2	1.056	0.528	0.50	0.611	3.55
Variedad	2	381.056	190.528	181.8	0.000	3.55
Error	22	23.056	1.048			
Total	26	405.167				

*Evaluada a un nivel de significancia $\alpha = 5\%$

En la figura (4.3), se presenta la comparación múltiple de la temperatura de gelatinización del coagulante natural extraído por distintos solventes, para el caso de la variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) no difiere para en ninguno de los casos.

Figura 4.3: Diagrama de comparación de medias para la temperatura de gelatinización del coagulante



*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$

4.2.3. PROTEÍNAS EN LOS COAGULANTES

En la tabla (4.5) se aprecia el contenido de proteínas de los coagulantes de las variedades de Cactáceas extraídas por diferentes medios solventes, la variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) es la que presenta mayor contenido de proteínas como Albúmina, mientras que la variedad *Opuntia ficus indica* (Tuna) presenta valores que oscilan entre 0.37 a 0.89 mg/ml, Vázquez (1994) encontró valores que oscilan entre 0.21 a 0.32 mg/ml de proteínas como albumina en coagulantes de la variedad *Opuntia*, aunque en su estado natural la *Opuntia* en sus distintas variedades presenta contenidos de proteínas que oscilan entre 5.25 a 23.00% (en base húmeda) (Vázquez, 1994 y Quíros *et al.*, 2010). Los polímeros naturales son complejos en su composición química, ya que están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos y proteínas como caseína,

gelatina, olieratina, albumina y otros (Ndabigengesere *et al.*, 1995), 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 (Vázquez, 1994). Una fracción del contenido proteico de las floculantes naturales, cercana al 1 %, está constituida por proteínas catiónicas activas que neutralizan y precipitan los coloides del agua igual que como lo hacen los coagulantes industriales, como el sulfato de aluminio (Diamadopoulos *et al.*, 2001), ya que algunas son proteínas solubles en agua (Ndabigengesere *et al.*, 1995), por otro lado, el bajo contenido de proteínas sugiere que estas variedades bioquímicas no son las principales responsables del poder coagulante del material (Almendárez, 2004)

Tabla 4.5: Proteínas en el coagulante natural de las variedades

Solvente	Proteínas (mg de Albúmina/ml al 1%)					
	<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)			<i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna)		
	\bar{x}	\pm	S	\bar{x}	\pm	s
Etanol	0.8589	\pm	0.0013	0.8986	\pm	0.0007
NaCl 0.25M	0.7481	\pm	0.0046	0.3773	\pm	0.0058
Agua	0.8703	\pm	0.0006	0.4672	\pm	0.0069

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar

El ANOVA (tabla 4.6) muestra que existe diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) el contenido de proteínas en las diferentes variedades de Cactáceas así como cuando son extraídos por diferentes medios solventes

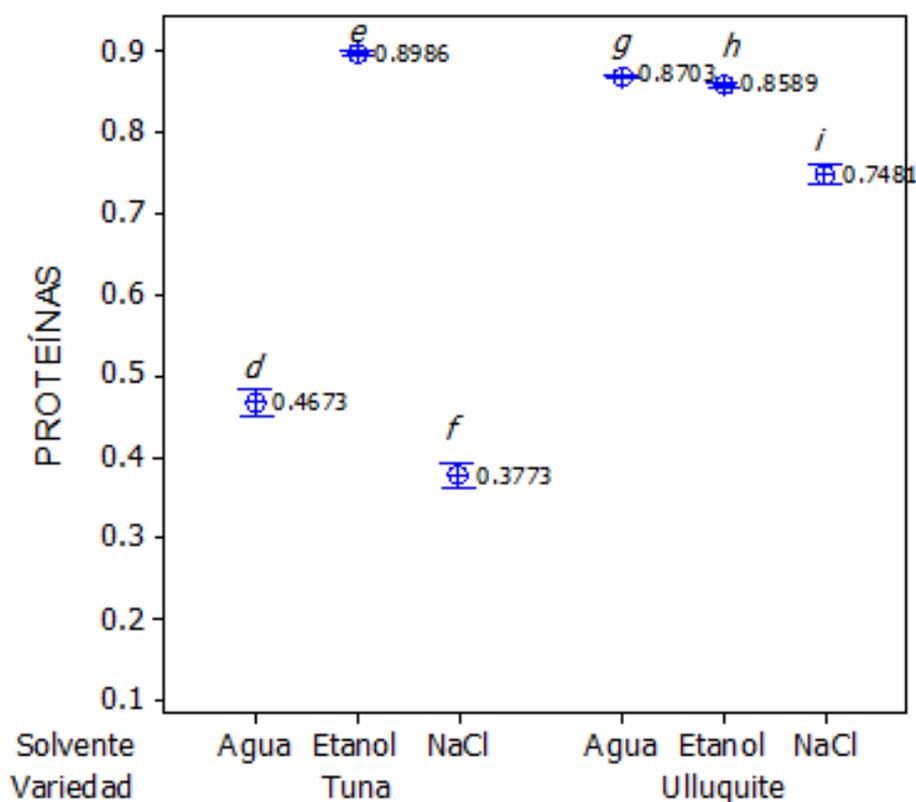
Tabla 4.6: ANOVA* para el contenido de proteínas en el coagulante

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F_{cal}	$p\text{-value}^*$	F_{crit}
Solvente	2	0.356	0.178	18.94	0.000	3.55
Variedad	2	1.308	0.654	69.60	0.000	3.55
Error	22	0.207	0.009			
Total	26	1.870				

*Evaluada a un nivel de significancia $\alpha = 5\%$

La comparación múltiple del contenido de proteínas como Albúminas se muestra en la figura (4.4), la cual fue evaluada a través de un test de Tukey, en ella se aprecia que en todos los casos existe diferencia significativa (letras diferentes en cada barra) en el contenido de proteínas

Figura 4.4: Diagrama de comparación de medias para el contenido de proteínas en el coagulante*



*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$.

4.2.4. POLISACÁRIDOS EN LOS COAGULANTES

En la tabla (4.7) se muestra los resultados del contenido de sacarosa de los coagulantes extraídos con diferentes solventes, en ella se aprecia que los extractos tratados con etanol, reportan mayores contenidos de sacarosa en los coagulantes naturales, mientras que los coagulantes extraídos con la solución $NaCl$ 0.25M son los que presentan menor contenido de sacarosa.

Tabla 4.7: Sacarosa en el coagulante natural

	<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)			<i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna)		
	\bar{x}	\pm	S	\bar{x}	\pm	s
Etanol	0.8589	\pm	0.0013	0.8986	\pm	0.0007
NaCl 0.25M	0.7481	\pm	0.0046	0.3773	\pm	0.0058
Agua	0.8703	\pm	0.0006	0.4672	\pm	0.0069

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar

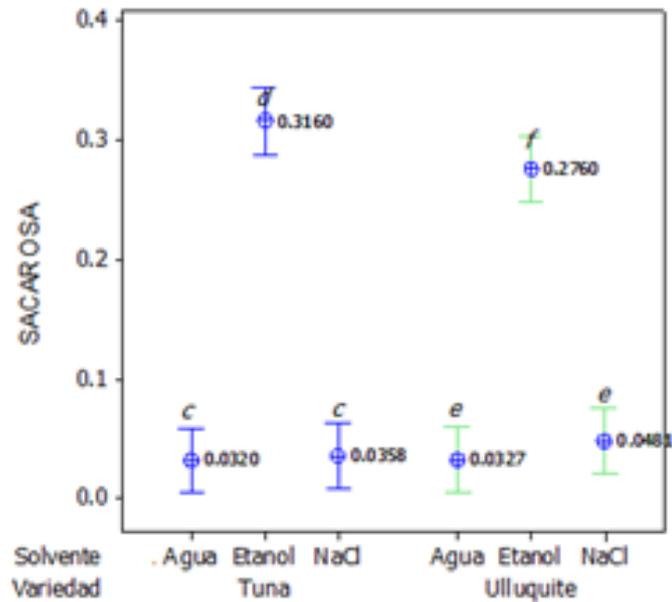
El ANOVA mostrada en la tabla (4.8), indica que el contenido de sacarosa en los coagulantes naturales muestra diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) cuando son extraídas con diferentes solventes, lo cual es observable también en la figura (4.5).

Tabla 4.8: ANOVA* para el contenido de sacarosa

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F_{cal}	$p\text{-value}^*$	F_{crit}
Solvente	2	0.4686	0.2343	290.83	0.000	3.55
Variedad	2	0.0022	0.0011	1.39	0.271	3.55
Error	22	0.0177	8E-04			
Total	26	0.4886				

*Evaluada a un nivel de significancia $\alpha = 5\%$

Figura 4.5: Diagrama de comparación de medias para el contenido de sacarosa en el coagulante*



*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$.

4.2.5. DENSIDAD APARENTE

En la tabla (4.9), se presenta los valores de la densidad aparente de los coagulantes naturales de las variedades de Cactáceas, en ella se aprecia que el coagulante natural extraído de la *Opuntia ficus indica* (tuna), es la que presenta mayores valores de densidad, y para esta variedad el coagulante extraído con el solvente etanol presenta un valor de 0.6546 ± 0.0246 g/ml, por otra parte la densidad aparente de los coagulantes extraídos con agua para todas las variedades muestran el menor valor. El ANOVA indica que existe diferencia significativa entre especies y solventes.

Tabla 4.9: Densidad Aparente del coagulante natural

Solvente	Densidad aparente (g/ml)					
	<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)			<i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna)		
	\bar{x}	\pm	S	\bar{x}	\pm	s
Etanol	0.4779	\pm	0.1002	0.6546	\pm	0.0246
NaCl 0.25M	0.3128	\pm	0.0317	0.4916	\pm	0.0164
Agua	0.2281	\pm	0.0302	0.4159	\pm	0.0071

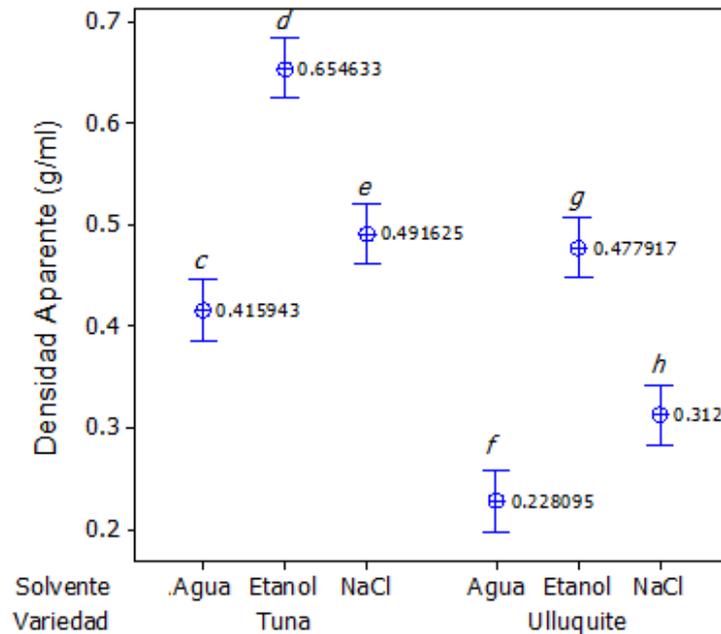
Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar

Tabla 4.10: ANOVA* para densidad aparente

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F_{cal}	$p\text{-value}^*$	F_{crit}
Solvente	2	0.2006	0.1003	91.3	0.000	3.55
Variedad	2	0.1496	0.0748	68.11	0.000	3.55
Error	22	0.0242	0.0011			
Total	26	0.3744				

*Evaluada a un nivel de significancia $\alpha = 5\%$

Figura 4.6: Diagrama de comparación de medias para la densidad aparente del coagulante*



*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$.

4.3. CAPACIDAD CLARIFICANTE DEL COAGULANTE NATURAL

4.3.1. EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FLOCULANTE

En la tabla (4.11) se observa la actividad floculante del coagulante de la variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite), presenta valores mayores los extraídos con el etanol y valores menores los extraídos con el agua. Este hecho es también apreciable en la figura (4.7), aunque la actividad floculante de coagulante extraído con *NaCl* y agua presenta similar

comportamiento, este hecho se puede contrastar a través de la evaluación de comparación múltiple donde los resultados son similares para *NaCl* y agua (letras iguales) tal como se muestra en la tabla (4.11)

Tabla 4.11: Actividad Floculante del coagulante *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Solución coagulante (%)	Actividad floculante (%)								
	Etanol			NaCl			Agua		
	\bar{x}	\pm	S	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	S
1	28.407 ^a	\pm	0.944	27.624 ^c	\pm	1.121	27.093 ^d	\pm	0.460
2	30.355 ^b	\pm	0.114	27.666 ^c	\pm	0.251	27.620 ^d	\pm	0.245
3	30.382 ^b	\pm	0.114	27.733 ^c	\pm	0.070	27.640 ^d	\pm	0.107

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar- *Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$

Figura 4.7: Efecto de la concentración del coagulante de la especie *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) en la actividad floculante.

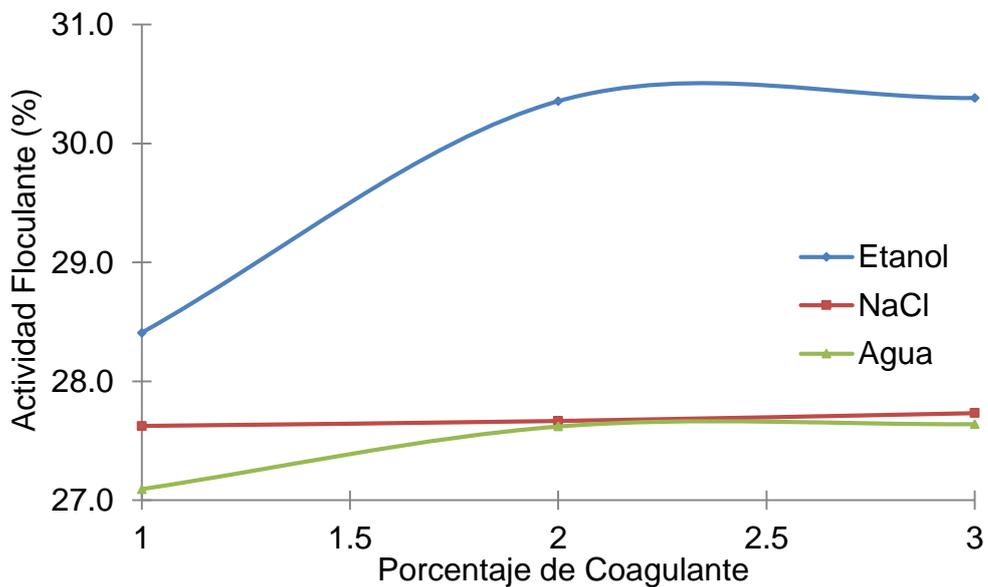


Tabla 4.12: ANOVA para la Actividad Floculante del coagulante *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F_{cal}	p -value*	F_{crit}
Solvente	2	28.017	14.008	34.55	0.000	3.55
%Coagulante	2	4.4233	2.2117	5.45	0.012	3.55
Error	22	8.9207	0.4055			
Total	26	41.361				

*Evaluada a un nivel de significancia $\alpha = 5\%$

Por otra parte se aprecia que los coagulantes de la variedad *Opuntia ficus* (Tuna) extraídos con los solventes en estudio presentan diferente actividad floculante (tabla 4.13) a diferentes concentraciones, siendo mayor el reportado el extraído con etanol y menor con el agua, este comportamiento se aprecia en la figura (4.8). La aplicación del ANOVA indica la actividad floculante es diferente para los coagulantes ya sea por especie y solventes, ya que p -value < 0.05 (tabla 4.14). En el caso del coagulante de la variedad *Opuntia ficus* (Tuna) extraído con etanol, se aprecia que la actividad floculante no varía significativamente para las diferentes contracciones aunque los extraídos con *NaCl* y agua muestran diferencias significativas.

Tabla 4.13: Actividad Floculante del coagulante *Opuntia ficus*

Solución coagulante (%)	Actividad floculante (%)								
	Etanol			<i>NaCl</i>			Agua		
	\bar{x}	\pm	S	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	S
1	46.128 ^a	\pm	0.390	44.279 ^b	\pm	0.544	42.653 ^d	\pm	0.337
2	46.408 ^a	\pm	0.114	45.066 ^{b,c}	\pm	0.156	43.694 ^e	\pm	0.245
3	46.475 ^a	\pm	0.219	45.197 ^c	\pm	0.213	44.051 ^e	\pm	0.265

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar

*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$

Figura 4.8: Efecto de la concentración del coagulante de la especie *Opuntia ficus* (Tuna) en la actividad floculante.

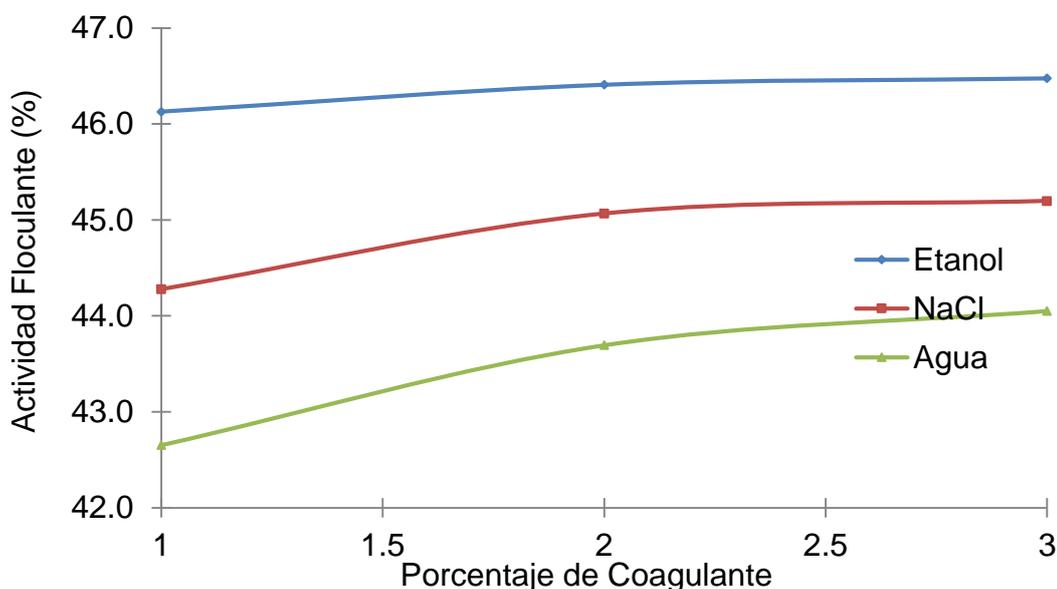


Tabla 4.14: ANOVA para la Actividad Floculante del coagulante *Opuntia ficus indica* (Tuna)

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F_{cal}	p -value*	F_{crit}
Solvente	2	37.106	18.553	128.08	0.000	3.55
%Coagulante	2	3.951	1.975	13.64	0.000	3.55
Error	22	3.187	0.145			
Total	26	44.244				

*Evaluada a un nivel de significancia $\alpha = 5\%$

En todos los casos se aprecia que los coagulantes extraídos con etanol presentan mayor valor de actividad floculante, la variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) es menor en todos los casos, este hecho se puede deber a que forman agregados de partículas finas los cuales son usualmente más grandes en tamaño y se asientan relativamente rápido en una cama de sedimentos (Sánchez y Untiveros, 2004), en el caso de la pectina en solución acuosa se presentan como largas cadenas polianiónicas, con propiedades coloidales, las que pueden flocular por acción de iones de carga positiva (Herbstreith y Fox, 2003)-

4.3.2. PORCENTAJE DE REMOCIÓN

Los resultados se muestran en la tabla (4.15), se muestran los resultados para el porcentaje de remoción del coagulante extraído de la *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite), se aprecia que el coagulante extraído con el solvente etanol muestra el mejor porcentaje de remoción. El ANOVA (tabla 4.16) indica que existe diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) del porcentaje de remoción para los diferentes porcentajes de coagulante y los extraídos con los solventes.

Tabla.4.15: Porcentaje de remoción del coagulante de la especie *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Solución coagulante (%)	Porcentaje de remoción (%)								
	Etanol			NaCl			Agua		
	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	S	\bar{x}	\pm	s
1	92.636 ^a	\pm	0.326	92.098 ^b	\pm	0.222	91.435 ^c	\pm	0.182
2	92.785 ^a	\pm	0.180	92.230 ^b	\pm	0.106	92.012 ^d	\pm	0.124
3	92.777 ^a	\pm	0.091	92.301 ^b	\pm	0.087	92.143 ^d	\pm	0.143

*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$

Figura 4.9: Efecto de la concentración del coagulante de la especie *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) en el porcentaje de remoción

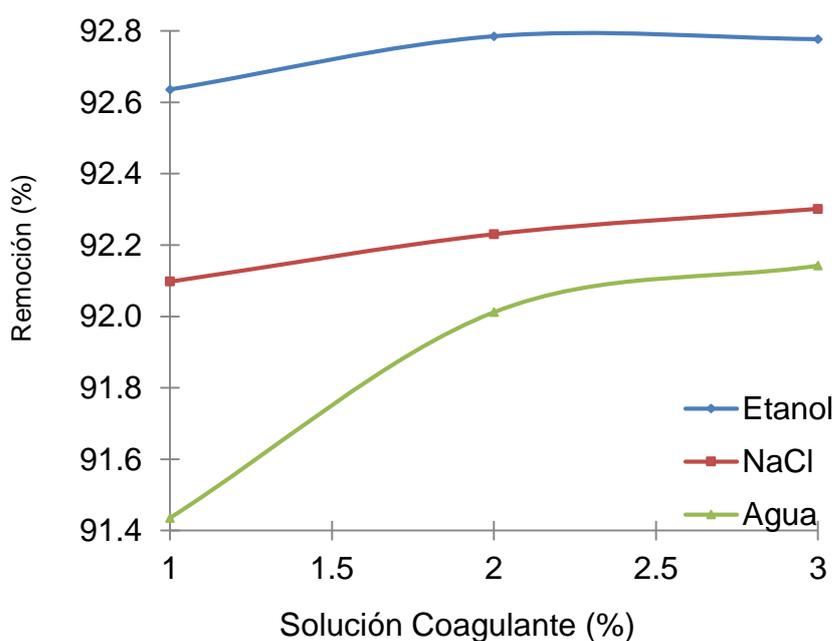


Tabla 4.16: ANOVA para el porcentaje de remoción del coagulante especie *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F_{cal}	p -value*	F_{crit}
Solvente	2	3.4471	1.7236	42.29	0.000	3.55
%Coagulante	2	0.6276	0.3138	7.7	0.003	3.55
Error	22	0.8967	0.0408			
Total	26	4.9714				

*Evaluada a un nivel de significancia $\alpha = 5\%$

En la tabla (4.17), se aprecia los resultados del porcentaje de remoción del coagulante extraído de la *Opuntia ficus indica* (Tuna) con diferentes solventes, donde existe diferencia significativa entre coagulantes obtenidos con diferentes solventes (p -value < 0.05, tabla 4.18), presentando mejor porcentaje de remoción en coagulante extraído con etanol, seguido del extraído con el agua tal como se muestra en la figura (4.10), por otra parte el incremento del porcentaje de coagulante en el agua artificial no muestra diferencia significativa, p -value > 0.05 (tabla 5.24).

Tabla 4.17: Porcentaje de remoción del coagulante de la especie *Opuntia ficus indica* (Tuna)

Solución coagulante (%)	Porcentaje de remoción (%)								
	Etanol			NaCl			Agua		
	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	S
1	99.020 ^a	\pm	0.152	98.573 ^b	\pm	0.062	98.695 ^c	\pm	0.202
2	99.114 ^a	\pm	0.180	98.661 ^b	\pm	0.054	98.872 ^c	\pm	0.124
3	99.147 ^a	\pm	0.058	98.685 ^b	\pm	0.200	98.934 ^c	\pm	0.056

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar

*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$.

Figura 4.10: Efecto de la concentración del coagulante de la especie *Opuntia ficus indica* (Tuna) en el porcentaje de remoción

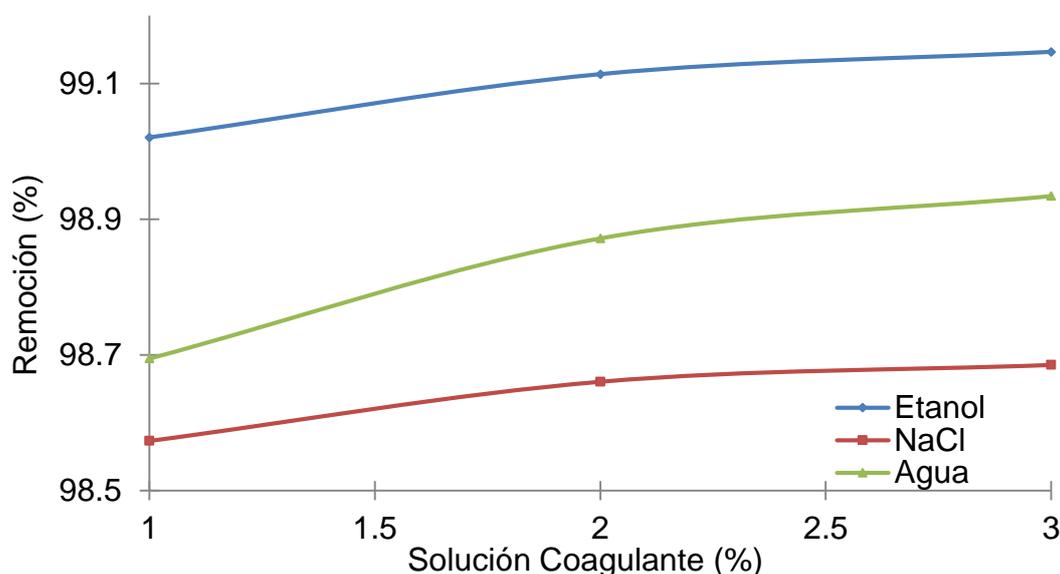


Tabla 4.18: ANOVA para el porcentaje de remoción del coagulante especie *Opuntia ficus indica* (Tuna)

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F_{cal}	p -value*	F_{crit}
Solvente	2	0.8910	0.4455	23.35	0.000	3.55
%Coagulante	2	0.1301	0.0651	3.41	0.051	3.55
Error	22	0.4197	0.0191			
Total	26	1.4408				

*Evaluada a un nivel de significancia $\alpha = 5\%$

En general los coagulantes de las Cactáceas en estudio extraídos con etanol presentan mejor porcentaje de remoción de sólidos, la tuna *Cactus lefaria* el porcentaje de remoción estuvo entre 94% a 100% para dosis de mínimas de 45 ppm y máximas de 180 ppm en todos los casos agregando CaO, mientras al agregar Sulfato de Aluminio a 12 ppm logró remociones de sólidos hasta del 92% cuando se aplicó 22.5 ppm de coagulante de tuna *Cactus lefaria*.

Se reportaron dosis óptimas de tuna en el rango de 10 a 20 mg/l que remueven entre 80 a 90% de sólidos (Martínez *et al.*, 2003), mientras que

Quirós *et al.* (2010) encontraron dosis de 45 mg/l. Sin embargo, este autor únicamente reporta clarificación de turbidez que, por su mayor tamaño de partícula, necesita menores dosis de coagulante, recomienda aplicar la tuna en aguas con turbidez mayor, dado que encontró que la eficiencia de la tuna para remover la turbidez se incrementó conforme la turbidez inicial era mayor, en el presente estudio se logró utilizar concentraciones de los coagulantes naturales que van de 1% a 3% de solución o su equivalente de 50 a 150 ppm de los coagulantes de las cactáceas en estudio. 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, asimismo Bratskaya *et al.*, (2004) encontró porcentajes del 68% a 90% de remoción cuando aplico coagulante natural de mucilago de *Plantago psyllium*. Qudsieh *et al.* (2008) sintetizaron un copolímero coagulante de poliacrilamida combinado con almidón de *Metroxylum sagu*, un material extraído de una palma asiática, el estudio demostró una alta remoción de turbiedad del 97 % en soluciones estándar de caolinita. 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 con solamente sulfato de aluminio grado comercial.

Según Schulz y Okun (1998), una gran variedad de materiales tanto sintéticos como naturales están disponibles para ayudar la clarificación del agua. La aplicación correcta de estos coadyuvantes coagulantes pueden mejorar las características de sedimentación y la firmeza del flóculo, 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.

4.4. PARAMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA TRATADA

4.4.1. pH

Los valores se muestran en la tabla (4.19), en ella se aprecia que el pH inicial de 6.61, se incrementa en todas las aguas tratadas con los diferentes coagulantes naturales, siendo mayor en las aguas tratadas con el coagulante extraído con solución NaCl 0.25 M, tal como se muestra en las figuras (4.11 al 4.12). Asimismo se puede apreciar que a medida que se aumenta el porcentaje de aplicación de coagulante natural el pH se incrementa significativamente (p-value < 0.05).

Tabla 4.19: pH del agua tratada con los coagulantes naturales

Variedad	Solución coagulante (%)	pH						p-value*			
		Etanol			NaCl				Agua		
		\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s		\bar{x}	\pm	s
Neoraimondia arequipensis (Ulluquite)	1	6.75	\pm	0.03	7.32	\pm	0.01	7.26	\pm	0.04	0.000
	2	6.93	\pm	0.04	7.48	\pm	0.02	7.32	\pm	0.01	0.000
	3	7.02	\pm	0.01	7.51	\pm	0.01	7.33	\pm	0.02	0.000
	p-value*	0.0001			0.0000			0.0206			
Opuntia ficus indica (Tuna)	1	6.68	\pm	0.03	7.21	\pm	0.02	7.19	\pm	0.03	0.000
	2	6.90	\pm	0.02	7.32	\pm	0.02	7.25	\pm	0.01	0.000
	3	6.96	\pm	0.02	7.33	\pm	0.01	7.26	\pm	0.01	0.000
	p-value*	0.0000			0.0001			0.0100			
pH inicial = 6.61											

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar

*Evaluado a un nivel de significancia del 5%

Figura 4.11: Variación del pH del agua tratada con el coagulante de la especie *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

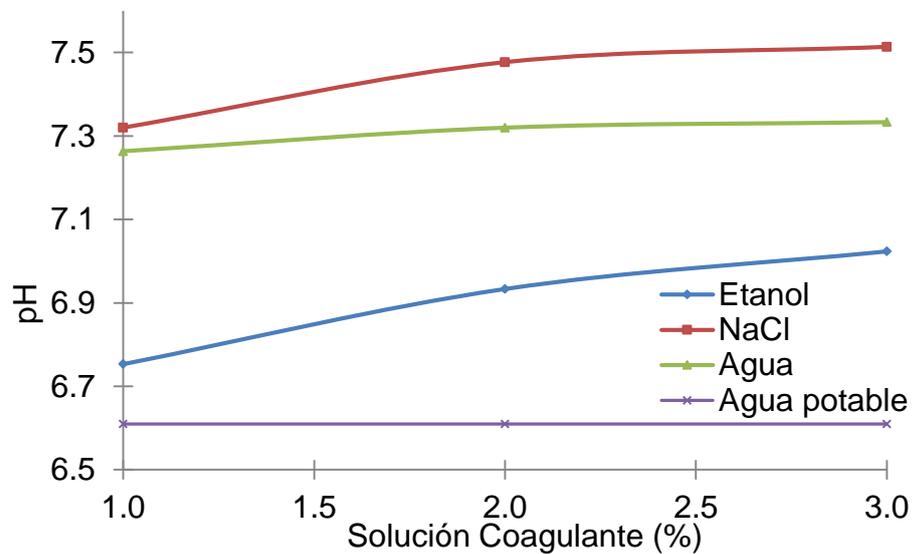
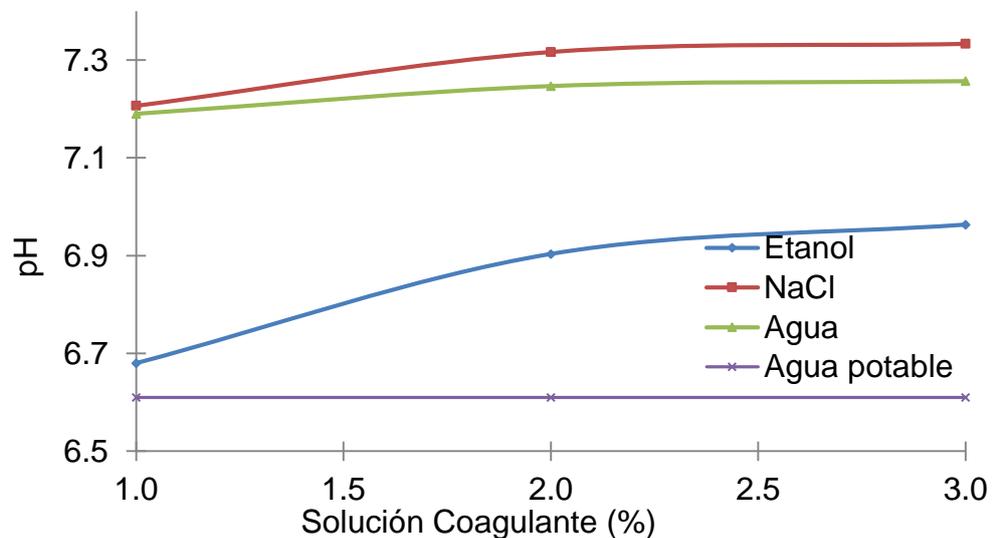


Figura 4.20: Variación del pH del agua tratada con el coagulante de la especie *Opuntia ficus indica* (Tuna)



Vázquez (1994), muestra una ligera disminución del pH de 7.46 del agua residual inicial a pH 7.43 del agua tratada con variedades de *Opuntia*, Yagual y Torres (2012), muestra una disminución considerable del pH del agua del río de 6.7 hasta 5.2 al aplicar coagulante floculante químico artesanal, por otra parte Solís *et al.*, (2012) evidenciaron que el pH del agua tratada con mezclas de coagulantes de almidón de yuca y Sulfato de Aluminio no vario significativamente presentando tendencias menos acidas

hasta 6.7 desde un valor inicial de la agua sin tratar de 6.9, Miranda *et al.* (2012) al tratar aguas residuales mineras con una mezcla de coagulantes Cal – Kollpa (alumbre del Altiplano) mostro un incremento del pH de 5.83 a 7.87

Restrepo (2009), realizó el proceso de coagulación-floculación para agua potable con un pH inicial de 7.37, observó que el pH descendía a niveles ácidos de 6.20 en promedio al tratar con Sulfato de Aluminio, mientras que con el coagulante Policloruro de Aluminio aumento a pH 7.31 en promedio, en la presente investigación se observó que el pH del agua tratada aumenta en todos los casos hasta un valor máximo de pH 7.58, no obstante la OMS no establece un valor guía pero recomienda su control para una adecuada clarificación y desinfección del agua para lo cual el pH no debe ser mayor de 8.

4.4.2. DUREZA

En la tabla (4.20), se aprecia que la dureza del agua residual artificial fue de 260 ppm, y al someterlas a los diferentes tratamientos de coagulación con los coagulantes naturales se aprecia un aumento no significativo ($p\text{-value} > 0.05$) con el incremento del porcentaje coagulante natural extraído con un tipo de solvente para las especies de cactáceas, este hecho es apreciable en las figuras (4.13) a (4.14).

Tabla 4.20: Dureza del agua tratada con los coagulantes naturales

Variedad	Solución coagulante (%)	Dureza (ppm CaCO ₃)									p-value*
		Etanol			NaCl			Agua			
		\bar{x}	\pm	S	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s	
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)	1	262.0	\pm	1.0	269.3	\pm	1.5	261.7	\pm	1.5	0.0008
	2	263.7	\pm	0.6	272.3	\pm	1.5	262.7	\pm	1.2	0.0001
	3	263.7	\pm	1.5	272.3	\pm	0.6	264.3	\pm	0.6	0.0001
	p-value*	0.2282			0.0456			0.0760			
<i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna)	1	269.3	\pm	1.2	266.3	\pm	1.5	272.0	\pm	1.7	0.0102
	2	270.7	\pm	0.6	267.3	\pm	0.6	273.7	\pm	0.6	0.0000
	3	271.0	\pm	1.0	268.3	\pm	0.6	273.7	\pm	0.6	0.0004
	p-value*	0.1517			0.1250			0.1842			
		Dureza inicial = 260 ppm									

*Evaluado a un nivel de significancia del 5%

Figura 4.13: Variación de la Dureza del agua tratada con el coagulante *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

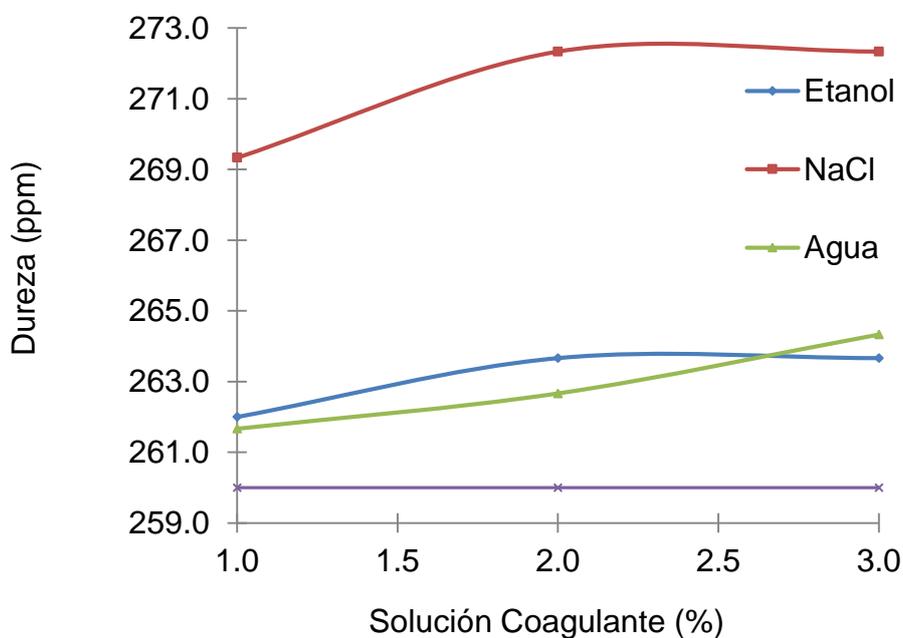
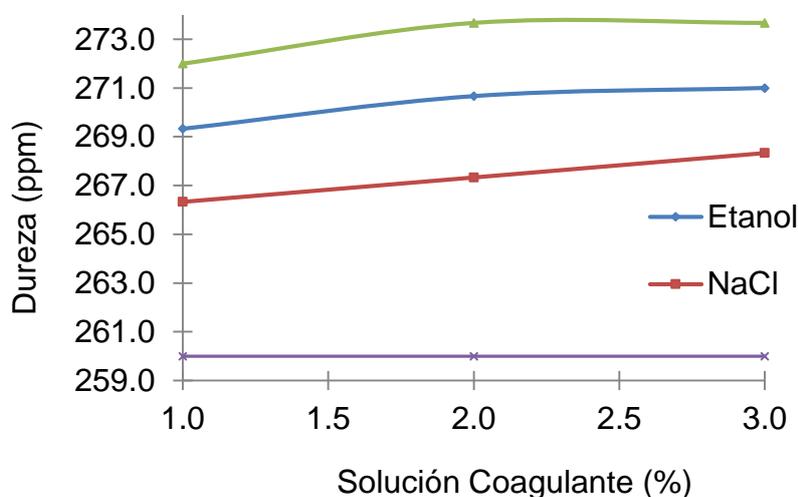


Figura 4.14: Variación de la Dureza del agua tratada con el coagulante de la especie *Opuntia ficus indica* (Tuna)



Vázquez (1994), reporta que la dureza del agua artificial tratada con una mezcla de coagulantes de Sulfato de Aluminio y *Opuntia L.* disminuye ligeramente la dureza de 200 ppm de CaCO_3 a 196 ppm de CaCO_3 , Miranda *et al.* (2012), muestra un incremento de 692.0 a 942.0 ppm de CaCO_3 al tratar aguas residuales mineras con una mezcla de coagulantes de Cal y Kollpa (Alumbre del Altiplano), mientras que el mismo autor para el coagulante Sulfato ferroso y Cal disminuye la dureza de 1122.0 a 293.0 ppm de CaCO_3 ; en general la gente tolera hasta 300 ppm de dureza, que sea el valor guía establecido por la OMS con fines estéticos, en la presente investigación se puede concluir que los coagulantes naturales incrementa ligeramente la dureza del agua aunque esta no es considerable.

4.4.3. ALCALINIDAD

La alcalinidad del agua tratada con los diferentes coagulantes de Cactáceas a diferentes porcentajes para cada tipo de solvente, se muestra en la tabla (4.21), en ella se aprecia que existe ligero incremento aunque este no es significativo ($p\text{-value} > 0.05$), para la especie *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) ($p\text{-value} = 0.0045$) y con el solvente agua para la especie *Opuntia ficus indica* (Tuna) ($p\text{-value} = 0.0156$), estos sucesos también son observables en las figuras (4.15) al (4.16).

Por otra parte la alcalinidad del agua artificial tratada reportada por los coagulantes extraídos por los diferentes solventes muestra que existe diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$), es decir los coagulantes extraídos con diferentes solventes presentan efectos diferentes en la alcalinidad del agua, a excepción del coagulante de la especie *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) al 1% cuyo $p\text{-value}$ es 0.8638.

Tabla 4.21: Alcalinidad del agua tratada con los coagulantes naturales

Variedad	Solución coagulante (%)	Alcalinidad (ppm CaCO ₃)						
		Etanol		NaCl		Agua		$p\text{-value}^*$
		\bar{x}	$\pm s$	\bar{x}	$\pm s$	\bar{x}	$\pm s$	
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)	1	31.7	± 1.5	32.3	± 0.6	32.0	± 2.0	0.8638
	2	33.0	± 1.0	34.7	± 0.6	32.7	± 0.6	0.0151
	3	33.3	± 0.6	35.3	± 0.6	33.3	± 0.6	0.0080
	$p\text{-value}^*$	0.2282		0.0045		0.4705		
<i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna)	1	36.3	± 1.5	33.7	± 1.5	31.7	± 0.6	0.0127
	2	38.3	± 0.6	34.7	± 0.6	32.7	± 0.6	0.0001
	3	38.7	± 0.6	35.7	± 1.5	33.7	± 0.6	0.0025
	$p\text{-value}^*$	0.0574		0.2441		0.0156		

Alcalinidad inicial = 28.0 ppm

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar

*Evaluado a un nivel de significancia del 5%

Figura 4.15: Variación de la Alcalinidad del agua tratada con el coagulante *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

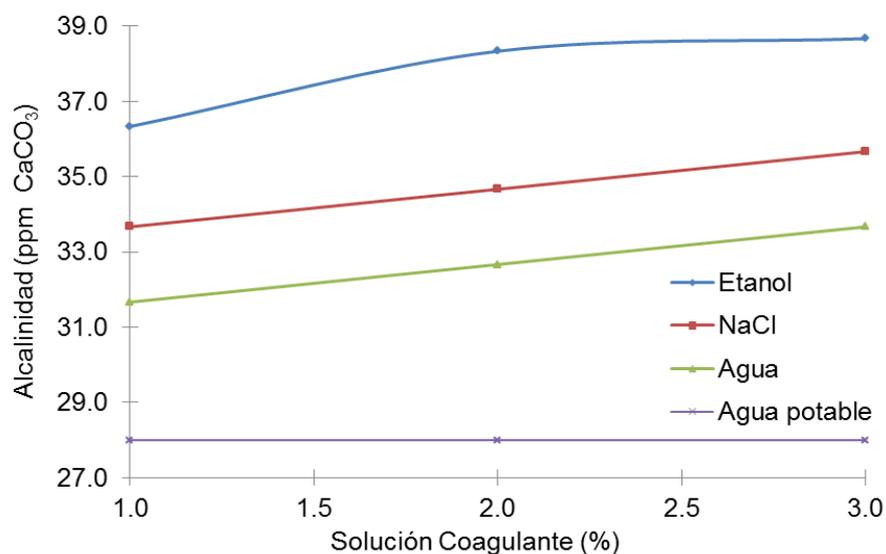
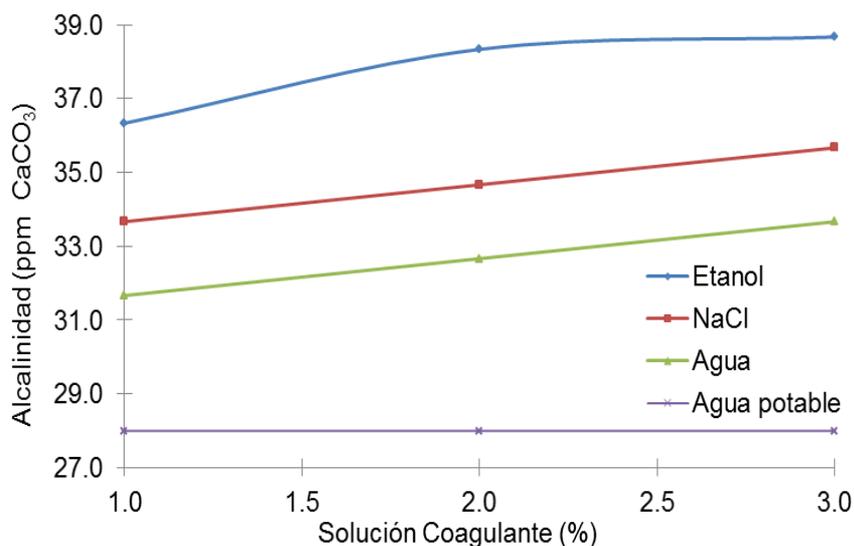


Figura 4.16: Variación de la Alcalinidad del agua tratada con el coagulante de la especie *Opuntia ficus indica* (Tuna)



Según Restrepo (2009), al tratar agua potable con coagulante Polisulfato de Aluminio no encontró cambio alguno en la alcalinidad del agua, por el contrario Vázquez (1994) encontró que la alcalinidad del agua artificial disminuye ligeramente de 154 ppm a 118 ppm cuando es tratada con una mezcla de coagulante de Sulfato de Aluminio y *Opuntia L.*, el mismo hecho ocurrió para Miranda (2012), quien observó la disminución de la alcalinidad del agua tratada con una mezcla de coagulante de Cal y Kollpa de 207.50 a 92.90 ppm de CaCO₃, aunque al tratar con Tierra diatomea y Zeolita existe un fuerte incremento de 207.50 a 746.0 ppm de CaCO₃. De acuerdo Restrepo (2009), valores altos de alcalinidad y dureza promueven la remoción de color de aguas residuales.

4.4.4. DBO

En la tabla (4.22) se presenta la DBO que origina los coagulantes naturales extraídas con diferentes solventes y aplicados en diferentes porcentajes al agua artificial, en ella se aprecia que los coagulantes de las tres variedades extraídos con etanol proporcionan mayor DBO en el agua artificial, este hecho se debe a que estos coagulantes presentan mayor contenido de Proteínas y Sacarosa, este hecho es considerado por Ramos (2006) que indica que las proteínas contienen nitrógeno, de manera que también

ejercen una demanda de oxígeno nitrogenada, y que toda la materia orgánica biodegradable contenida en una muestra de agua será oxidada a CO₂ y H₂O por microorganismos que usan el oxígeno molecular.

Sáenz (1995), manifiesta que si la DBO es alta indica contaminación y mala calidad del agua, y que un valor de 2 ppm es un indicativo de agua no contaminada, aunque CALTUR (2008) menciona que de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 1° del Decreto Supremo N° 003-2003-SA, en caso de que el agua tratada sea usada para riego de vegetales de consumo crudo deberán cumplir con la característica mínima de 15 mg/l de DBO, aunque los valores por encima de 30 mg/l de oxígeno disuelto pueden ser indicativos de contaminación en aguas interiores, mientras que las aguas residuales pueden tener un DBO de miles de mg O₂/l

Tabla 4. 22: DBO del agua tratada con los coagulantes naturales

Variedad	Solución coagulante (%)	DBO (mg/l)						p-value*
		Etanol		NaCl		Agua		
		\bar{x}	$\pm S$	\bar{x}	$\pm s$	\bar{x}	$\pm s$	
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)	1	3.08	± 0.02	2.27	± 0.06	1.54	± 0.03	0.0000
	2	3.32	± 0.02	2.56	± 0.09	1.70	± 0.05	0.0000
	3	3.34	± 0.03	2.69	± 0.04	1.79	± 0.02	0.0000
	p-value*	0.0000		0.0007		0.0004		
<i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna)	1	3.35	± 0.11	1.29	± 0.02	1.45	± 0.06	0.0000
	2	3.64	± 0.11	1.47	± 0.05	1.54	± 0.05	0.0000
	3	3.66	± 0.05	1.58	± 0.05	1.67	± 0.06	0.0000
	p-value*	0.0116		0.0006		0.0067		

DBO agua artificial= 0.57 mg/l

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar

*Evaluado a un nivel de significancia del 5%

Figura 4.17: Variación de la DBO del agua tratada con el coagulante *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

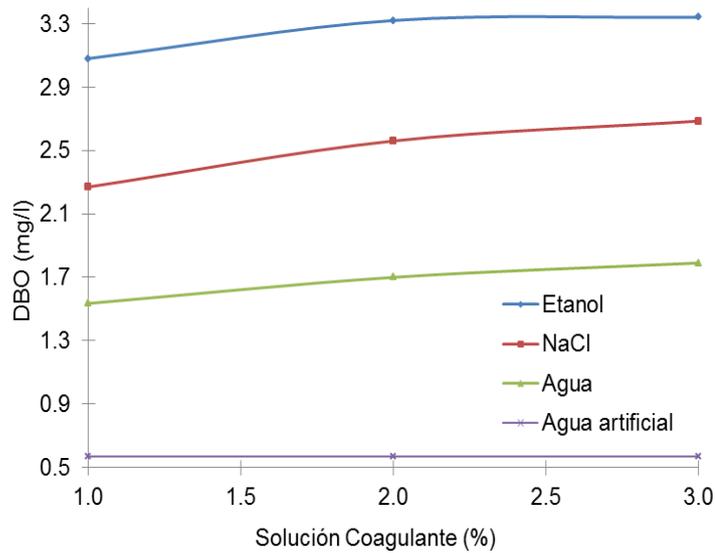
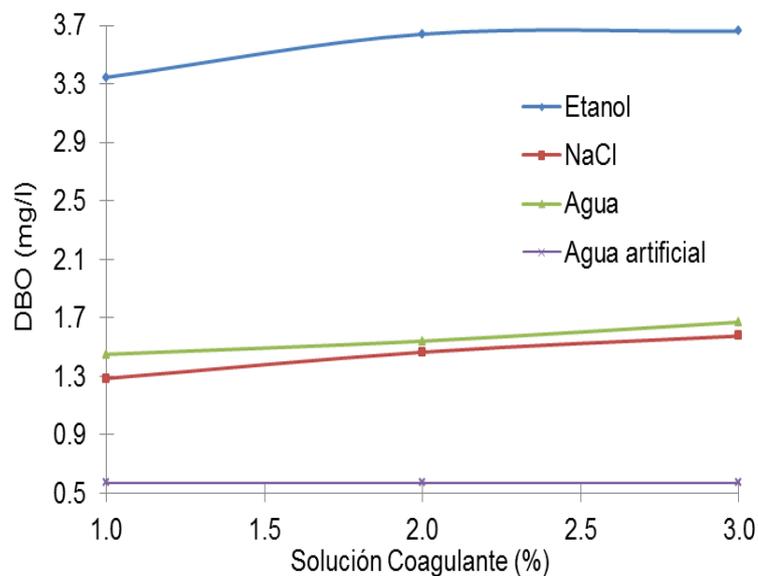


Figura 4.18: Variación de la DBO del agua tratada con el coagulante de la especie *Opuntia ficus indica* (Tuna)



No obstante la DBO es baja en todos los caso, y los resultados ya sea por variedades o por porcentajes de aplicación muestran diferencias significativas, es decir $p\text{-value} < 0.05$, este hecho también es apreciable en las figuras (4.17) y (4.18). Sáenz (1995), manifiesta que si la DBO es alta indica contaminación y mala calidad del agua, y que un valor de 2 ppm es un indicativo de agua no contaminada, aunque Caltur (2008) menciona que de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 1° del Decreto Supremo N° 003-2003-SA, en caso de que el agua tratada sea usada para riego de vegetales de consumo crudo deberán cumplir

con la característica mínima de 15 mg/l de DBO, aunque los valores por encima de 30 mg/l de oxígeno disuelto pueden ser indicativos de contaminación.

4.5. OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD FLOCULANTE

Para la optimización de la capacidad floculante se consideró el porcentaje de remoción de sólidos de las aguas residuales artificiales, para el coagulantes de las dos especies de Cactáceas extraídas con el solvente etanol, debido a que estas muestran mejores resultados en el porcentaje de remoción de sólidos.

Para conocer el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas del agua tratada así como la capacidad floculante (% de remoción y actividad floculante), se determinó modelos o ecuaciones matemáticas, las cuales se muestran en las tablas (4.23) y (4.24), en ella se aprecia que los modelos obedecen a una ecuación de segundo grado, con R^2 del 100%.

Tabla 4.23: Modelos matemáticos, especie *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) extraído con etanol

Propiedad	Modelo cuadrático	R^2
% de Remoción (%R)	$\%R = 92.3285 + 0.3861C - 0.0789C^2$	1.00
Actividad Floculante (AF)	$\%AF = 24.5365 + 4.8316C - 0.9611C^2$	1.00
pH	$pH = 6.4833 + 0.315C - 0.045C^2$	1.00
Dureza (D)	$D = 258.66 + 4.16C - 0.83C^2$	1.00
Alcalinidad (A)	$A = 29.33 + 2.83C - 0.5C^2$	1.00
DBO	$DBO = 2.62 + 0.57C - 0.11C^2$	1.00

Dónde: C, es el porcentaje de aplicación del coagulante; R^2 , coeficiente de correlación.

Tabla. 4.24: Modelos matemáticos, especie *Opuntia ficus indica* (Tuna) extraído con etanol

Propiedad	Modelo cuadrático	R^2
% de Remoción (%R)	$\%R = 98.8665 + 0.1840C - 0.0302C^2$	1.00
Actividad Floculante (AF)	$\%AF = 45.6330 + 40.6017C - 0.1070C^2$	1.00
pH	$pH = 6.2933 + 0.4683C - 0.0816C^2$	1.00
Dureza (D)	$D = 267 + 2.83C - 0.50C^2$	1.00
Alcalinidad (A)	$A = 32.66 + 4.5C - 0.83C^2$	1.00
DBO	$DBO = 2.78 + 0.71C - 0.14C^2$	1.00

Dónde: C, es el porcentaje de aplicación del coagulante; R^2 , coeficiente de correlación.

En la tabla (4.25), se muestra el porcentaje óptimo de remoción para el coagulante *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) el cual es 92.419%, para lo que se debe aplicar 0.246% de coagulante de esta variedad al 1% en solución, siendo bajo esta condición la Actividad Floculante de 25.667%, el pH de 6.558, Dureza de 259.641 ppm CaCO₃, Alcalinidad 30.0 ppm de CaCO₃ y DBO de 2.754 mg de O₂/l.

Tabla 4.25: Valores óptimos y sus restricciones para el comportamiento del coagulante de la especie *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) extraído con etanol

	Propiedades	Mínimo	Máximo	Óptimo
Función objetivo	%Remoción	---	100	92.419
Restricciones	Actividad floculante (%)	---	50	25.667
	pH	6.6	7.2	6.558
	Dureza (ppm CaCO ₃)	200	300	259.641
	Alcalinidad (ppm CaCO ₃)	20	30	30.000
	DBO (mg O ₂ /l)	---	15	2.754
	%Dosis coagulante (al 1% en sol)	0.1	3.0	0.246

En la tabla (4.26), se observa que el porcentaje óptimo de remoción fue de 98.988, para una aplicación de 0.754% de coagulante de la variedad *Opuntia ficus indica* (Tuna) al 1% en solución, para el cual el pH fue de 7.2, dureza de 268.852 ppm CaCO₃, Alcalinidad de 25.586 ppm CaCO₃ y DBO 3.230 mgO₂/l

Tabla 4.26: Valores óptimos y sus restricciones para el comportamiento del coagulante de la especie *Opuntia ficus indica* (Tuna) extraído con etanol

	Propiedades	Mínimo	Máximo	Óptimo
Función objetivo	%Remoción	---	100	98.988
Restricciones	Actividad floculante (%)	---	50	46.026
	pH	6.6	7.2	6.600
	Dureza (ppm CaCO ₃)	200	300	268.852
	Alcalinidad (ppm CaCO ₃)	20	30	25.586
	DBO (mg O ₂ /l)	---	15	3.230
	%Dosis coagulante (al 1% en sol)	0.1	3.0	0.754

CONCLUSIONES

- El rendimiento de extracción de coagulantes de las dos especies de Cactáceas con los tres solventes muestra diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$), el mayor rendimiento lo presento la variedad *Opuntia ficus indica* (tuna) con 0.6546 ± 0.0246 % cuando se extrajo con etanol, mientras que la variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) presente menores rendimientos para los tres solventes utilizados
- Se evaluaron las características fisicoquímicas de los coagulantes cristalizados de las dos especies de cactáceas extraídos con los tres solventes, mostrando diferencia significativas ($p\text{-value} < 0.05$), el pH de las coagulantes tiene tendencia ácida cuando se extrajo con etanol, mientras que con los solventes agua y *NaCl* 0.25 M tienen tendencia básica, la temperatura de gelatinización se encuentra por encima de 70.0°C , mientras que el contenido de proteínas es menor a 0.8986 ± 0.007 mg de Albúmina/ml de coagulante al 1%, el contenido de azúcares son menores a 0.3160 ± 0.0167 mg de sacarosa/litro de coagulante al 1%, asimismo la densidad aparente es menor para la variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) encontrándose presentado valores entre 0.2281 a 0.4779 g/ml, y fue mayor para la variedad *Opuntia ficus indica* (tuna) con valores de 0.4159 a 0.6546 g/ml..
- La capacidad clarificante de los tres coagulantes muestran un incremento significativo ($p\text{-value} < 0.05$) con el aumento de la dosis de coagulante del 1% al 3%.
- Los parámetros fisicoquímicos del agua residual artificial tratada con el coagulante naturales extraídos con los diferentes solventes, como el pH muestran diferencia significativa, incrementándose ligeramente de 6.61 del agua sin tratar a 7.58, mientras que la dureza y la alcalinidad no muestran diferencia significativa ($p\text{-value} > 0.05$), por otra parte la DBO del agua residual artificial tratada muestra diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) incrementándose con el porcentaje de aplicación del coagulante de 0.57 mg O_2 /l inicial hasta valores de 2.72 ± 0.04 mg O_2 /l.

- La optimización de la capacidad floculante de los dos coagulantes naturales en el agua residual artificial, se evaluó a través del % de Remoción lográndose valores de 92.419% para la variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y 98.988% para la variedad *Opuntia ficus indica* (Tuna), para dosificaciones de 0.246% y 0.754% respectivamente en solución de coagulante al 1%.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar el porcentaje de remoción de metales pesados como Pb, Cr, Zn y Hg, con los coagulantes naturales procedentes de Cactáceas.
- Hacer el estudio y la modelación de la cinética de floculación de aguas residuales con los coagulantes naturales extraídos.

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.

Arboleda, (2000) Teoría y práctica de la purificación del agua. 3era edición. Editorial McGraw Hill.

Arroyave, G; Rojas, O.; Torres, P. (2007). Depuración anaerobia de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en sistema de fases separadas. XI SINAFERM. Simposio Nacional de Fermentaciones. Universidad Federal de Sao Carlos. Brasil. BARRIOS, Roberto. Manual de operación de la planta de tratamiento de aguas industriales. Guatemala, agosto de 2007.

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.

Britton, R; H, Fiedrich

Caltur (2008). Manual Técnico de Difusión. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales para Albergues en Zonas Rurales. Plan Nacional de Calidad Turística del Perú – Caltur. Lima – Perú.

CEPIS/OPS/OMS (1991). Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua. Lima Peru.

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.

De La Torre, L.; Chel, L.; Betancur, D. (2008). Propiedades funcionales de la harina de platano (*Musa balbisiana*). Food Chemistry.

Degrémont (1996). Water Treatment Handbook. 6ta edición, vol.1, Francia.

Diamadopoulos, E.; Anastasaki S.; Kalderis, D. (2009). Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater, Desalination, 249: 786-791.

Donato, N.; Navarro, R.; Ávila, M.; Mendizábal (2006). Obtención de sulfato de quitosano y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de suspensiones coloidales aniónicas de caolinita. Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 7.

Dujardin, E.; Laszio, P.; Sacks, D. (1985). Journal of chemical education.

Fair, G. (2013). Purificación de Aguas, Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales, Ingeniería Sanitaria y De Aguas Residuales, Ed. Limusa Editores.

Fernández C. (2008). Caracterización reológica y optimización de la textura de purés de patata frescos y congelados. Efectos del proceso y adición de crioprotectores. Memoria para optar al grado de doctor. Facultad de veterinaria, Departamento de Nutrición, Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Universidad Complutense de Madrid.

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.

Gómez, M. (2002). Evaluación del proceso coagulación-floculación en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una empresa manufacturera de jabones, detergentes, dentífricos y desinfectantes. Universidad de san Carlos de Guatemala facultad de ingeniería. Guatemala.

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.

Grace, M.R. (1977). Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. 116 pp.

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. Disponible en: <http://proyectoagua.galeon.com/productos268677.html>. (Junio 2014,

Hanson, T.; Jhon, L. (2000). The effects of temperature on turbulent flocculation: Fluid dynamics and chemistry. Jour AWWA.

Henao, S. (2004). Estudio tecnológico de la utilización de harina de yuca en panificación. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Administración.

Herbstreith, X.; Fox, H. (2003). Degree of Estereficación and Gelling Properties. En www.Herbstreith-fox.de

Herman, E.; Hilleboe, M. (2008). Manual de Tratamiento de Aguas Negras, Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Editorial Limusa Noriega Editores.

Hernández A. (2003). Depuración y desinfección de aguas residuales. Colección señor No. 9. pp. 319439.

- Hernández, A. (2005). Depuración de aguas residuales. 4ta edición, España.
- ICONTEC. (2002). Alimentos para animales. Yuca integral seca para consumo animal. NTC 3528. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá.
- Inchausti, I.; Sasia, P.; Katime, I. (2000). Floculantes poliméricos no iónicos obtenidos en emulsión inversa: Síntesis y caracterización. Disponible en: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/publicados/inchausti.pdf>. (Junio 2014)
- 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
- Marín, A.; Osés, M. (2013). Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados. Tomo I, Manual de Procedimientos. Dirección de Operaciones de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (DOP), CEA Jalisco, México.
- 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
- 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
- Méndez, A.E. (2010). Evaluación de la extracción de almidón del Banano verde (*Musa Sapientum*, variedad gran enano) Producto de Desecho de las Industrias Bananeras y Evaluación de su función como excipiente en la formulación de comprimidos, Proyecto Fodecyt 059-2009 Informe Final. Guatemala.
- 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 áreas verdes. Tesis de maestría. 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.

Mirna A. (2002). Evaluación del proceso coagulación en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una Empresa Manufacturera de Jabones, Detergentes, Dentífrico y Desinfectantes. 3era Edición; Guatemala: Editorial McGraw-Hill 2002.

Ndabigengesere A, Narasiah K y Talbot B (1995) Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera, Wat. Res. 29, 2, 703-710

Nkurunziza, T.; Nduwayezu, J.B.; Banadda, E.N.; Nhapi, I. (2009). The effect of turbidity levels and Moringa oleífera concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment, Water Science & Technology, 59(8): 1551-1558.

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. Vol. 8. N° 1, pag. 19 -27.

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.

Quirós, N.; Vargas, M.; Jiménez, J. (2010a). Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el río Humo, reserva forestal río Macho. Centro de Investigación en protección ambiental. Instituto tecnológico de Costa Rica.

Quirós, N.; Vargas, M.; Jiménez, J. (2010b). 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.

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. Pag 33-42.

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. Facultad de Química, UNAM Programa de Ingeniería Química y Química Ambiental, Ciudad Universitaria 04510 México D. F.

Ramos, F.J. (2006). Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del puerto de San José, departamento de Escuintla. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Química

Ratnayake, W., Hoover, R., Shahidi, F., Perera, C., Jane, J., (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. Food Chem. Págs. 189-202.

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 Alcalá 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.

Rodriguez, E.; Lascano, A.; Sandoval, G. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica.

Romero L.; Vargas M. (2006) Aprovechamiento de algunos materiales como floculantes y coagulantes. Tecnología en marcha, Vol. 19

Saenz, F. R. (1995). Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales. Manual Driapa, N° 64, Lima Perú, CEPIS.

Salas, J. (1998). Distribución geográfica y ecológica de las variedades 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

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. N° 4, pag. 201-208.

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.

Shomer, I.; Rao, M.A.; Bourne, M.C. y Levy, D. (1993). Impact of temperature and cellulose treatments on rheological behavior of potato-tuber cell-suspensions. Journal of the Science of Food and Agriculture, 63 (2): 245-250.

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.

Smith, R.J. (1997). Characterization and analysis of starches. In Whistler, R.L. & Paschall, E. Starch: Chemistry and Technology. Vol II. Industrial Aspects. New York, Academia Press. p 593.

Solís, R; Laines, J; Hernández J. (2012) Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco México.

Spinneli V (2001). Quitosana, polielectrolito natural para o tratamiento de água potable, Tesis de Maestría, Universidad de Santa Catarina, Brasil.

Tarifa, E. (2000). Optimización y Simulación de Procesos - Métodos Numéricos - Universidad Nacional de Jujuy. Argentina

Trejo, R. (2008). Investigación sobre eliminación de sales meatlicas por procedemiento avanzados. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puerto. Universidad Politécnica de Madrid

Valdez, E.; Vázquez, A. (2003). Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales. Fundación ICA, A.C. México.

Vazquez, 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.

Villabona, A.; Paz, I.C.; Martínez, J. (2012). Caracterización de la Opundia ficus indica para su uso como coagulante natural. Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Colombia.

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.

Zhang, P; Wistler, L; Bemiller, J; Hamaker, B. (2005). Harina de platano: producción, propiedades fisicoquímicas y digestibilidad. Rev. Carbohydrate Polymers.

ANEXOS

ANEXO 01: Datos del rendimiento de extracción

Replica	Solvente	Neoraimondia arequipensis (Ulluquite)	Opuntia ficus (Tuna)
R1	ETANOL	0.0210	0.6575
R2	ETANOL	0.0337	0.6288
R3	ETANOL	0.0309	0.6777
R1	NaCl	0.1504	0.5055
R2	NaCl	0.1743	0.5401
R3	NaCl	0.1444	0.5276
R1	Agua	0.0522	0.3944
R2	Agua	0.0607	0.4078
R3	Agua	0.0467	0.4040

ANEXO 02: Pruebas de Múltiple Rangos para el rendimiento de extracción por solventes.

Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
<i>Etanol</i>	3	0.0285333	X
<i>Agua</i>	3	0.0532	X
<i>NaCl</i>	3	0.156367	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
<i>Agua - Etanol</i>		0.0246667	0.0268455
<i>Agua - NaCl</i>	*	-0.103167	0.0268455
<i>Etanol - NaCl</i>	*	-0.127833	0.0268455

* indica una diferencia significativa.

Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
<i>Agua</i>	3	0.402067	X
<i>NaCl</i>	3	0.5244	X
<i>Etanol</i>	3	0.654667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
<i>Agua - Etanol</i>	*	-0.2526	0.04478
<i>Agua - NaCl</i>	*	-0.122333	0.04478
<i>Etanol - NaCl</i>	*	0.130267	0.04478

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 03: Datos del pH del coagulante natural

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	Ulluquite	6.78	7.33	7.23
R2	Ulluquite	6.72	7.32	7.30
R3	Ulluquite	6.76	7.31	7.26
R1	Tuna	6.71	7.20	7.16
R2	Tuna	6.68	7.23	7.22
R3	Tuna	6.65	7.19	7.19

ANEXO 04: Pruebas de Múltiple Rangos para el pH del coagulante por solventes.

Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Etanol	3	6.68	X
Agua	3	7.19	X
NaCl	3	7.20667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	0.51	0.0683546
Agua - NaCl		-0.0166667	0.0683546
Etanol - NaCl	*	-0.526667	0.068s3546

* indica una diferencia significativa.

Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Etanol	3	6.75333	X
Agua	3	7.26333	X
NaCl	3	7.32	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	0.51	0.0688629
Agua - NaCl		-0.0566667	0.0688629
Etanol - NaCl	*	-0.566667	0.0688629

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 05: Datos de la temperatura de gelatinización coagulante natural

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	Ulluquite	77.00	77.00	76.50
R2	Ulluquite	78.00	78.00	78.00
R3	Ulluquite	77.00	79.00	77.00
R1	Tuna	79.00	79.00	77.00
R2	Tuna	78.00	80.00	77.00
R3	Tuna	79.00	80.00	78.00

ANEXO 06: Pruebas de Múltiple Rangos para la temperatura de gelatinización del coagulante por solventes

Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	77.3333	X
Etanol	3	78.6667	X X
NaCl	3	79.6667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol		-1.33333	1.44641
Agua - NaCl	*	-2.33333	1.44641
Etanol - NaCl		-1.0	1.44641

* indica una diferencia significativa.

Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	77.1667	X
Etanol	3	77.3333	X
NaCl	3	78.0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol		-0.166667	2.00246
Agua - NaCl		-0.833333	2.00246
Etanol - NaCl		-0.666667	2.00246

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 07: Datos de la absorbancia para la determinación de proteína en el coagulante natural

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	Ulluquite	0.5910	0.4200	0.6310
R2	Ulluquite	0.5930	0.4150	0.6310
R3	Ulluquite	0.5980	0.4100	0.6270
R1	Tuna	0.8710	0.1680	0.2160
R2	Tuna	0.8660	0.1670	0.2140
R3	Tuna	0.8440	0.1720	0.2090

ANEXO 08: Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de proteínas en el coagulante por solventes.

Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
NaCl	3	0.377267	X
Agua	3	0.467267	X
Etanol	3	0.898633	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.431367	0.0130442
Agua - NaCl	*	0.09	0.0130442
Etanol - NaCl	*	0.521367	0.0130442

* indica una diferencia significativa.

Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
NaCl	3	0.748133	X
Etanol	3	0.8589	X
Agua	3	0.870233	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	0.0113333	0.00696633
Agua - NaCl	*	0.1221	0.00696633
Etanol - NaCl	*	0.110767	0.00696633

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 09: Datos de la absorbancia para la determinación de sacarosa en el coagulante natural

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	Ulluquite	0.2829	0.0498	0.0313
R2	Ulluquite	0.2745	0.0483	0.0342
R3	Ulluquite	0.2705	0.0462	0.0327
R1	Tuna	0.3142	0.0353	0.0332
R2	Tuna	0.3336	0.0369	0.0322
R3	Tuna	0.3004	0.0353	0.0308

ANEXO 10: Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de sacarosa en el coagulante por solventes

Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	0.0320667	X
NaCl	3	0.0358333	X
Etanol	3	0.316067	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua – Etanol	*	-0.284	0.0242238
Agua – NaCl		-0.00376667	0.0242238
Etanol - NaCl	*	0.280233	0.0242238

* indica una diferencia significativa.

Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	0.0327333	X
NaCl	3	0.0481	X
Etanol	3	0.275967	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.243233	0.0097487
Agua - NaCl	*	-0.0153667	0.0097487
Etanol - NaCl	*	0.227867	0.0097487

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 11: Datos de la densidad aparente del coagulante natural

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	Ulluquite	0.4650	0.3007	0.2237
R2	Ulluquite	0.5060	0.3487	0.2603
R3	Ulluquite	0.4628	0.2889	0.2003
R1	Tuna	0.6575	0.4739	0.4080
R2	Tuna	0.6288	0.5063	0.4218
R3	Tuna	0.6777	0.4946	0.4180

ANEXO 12: Pruebas de Múltiple Rangos para la densidad aparente del coagulante por solventes

Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	0.415933	X
NaCl	3	0.4916	X
Etanol	3	0.654667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.238733	0.0439629
Agua - NaCl	*	-0.0756667	0.0439629
Etanol - NaCl	*	0.163067	0.0439629

* indica una diferencia significativa.

Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	0.2281	X
NaCl	3	0.312767	X
Etanol	3	0.477933	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.249833	0.0724613
Agua - NaCl	*	-0.0846667	0.0724613
Etanol - NaCl	*	0.165167	0.0724613

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 13: Datos para determinar la actividad floculante

TURBIDEZ al 1%				
Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	Ulluquite	1.211	1.221	1.222
R2	Ulluquite	1.188	1.210	1.212
R3	Ulluquite	1.187	1.189	1.209
R1	Tuna	0.982	1.002	1.021
R2	Tuna	0.988	1.001	1.025
R3	Tuna	0.989	1.011	1.018
CONTROL		1.823	1.788	1.818
		1.810		
ACTIVIDAD CON COAGULANTE				
Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	Ulluquite	27.32	26.64	26.57
R2	Ulluquite	28.92	27.39	27.25
R3	Ulluquite	28.99	28.85	27.45
R1	Tuna	46.57	44.54	42.68
R2	Tuna	45.96	44.64	42.30
R3	Tuna	45.85	43.65	42.97

TURBIDEZ al 2%				
Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	Ulluquite	1.158	1.201	1.201
R2	Ulluquite	1.160	1.194	1.198
R3	Ulluquite	1.161	1.196	1.194
R1	Tuna	0.975	0.992	1.001
R2	Tuna	0.980	0.991	1.001
R3	Tuna	0.978	0.989	1.011
CONTROL		1.798	1.782	1.789
		1.790		
ACTIVIDAD CON COAGULANTE				
Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	Ulluquite	30.48	27.39	27.39
R2	Ulluquite	30.33	27.88	27.60
R3	Ulluquite	30.26	27.74	27.88
R1	Tuna	46.69	44.93	44.02
R2	Tuna	46.16	45.03	44.02
R3	Tuna	46.37	45.24	43.04

TURBIDEZ al 3%

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	Ulluquite	1.157	1.196	1.198
R2	Ulluquite	1.160	1.195	1.196
R3	Ulluquite	1.158	1.194	1.195
R1	Tuna	0.978	0.988	1.002
R2	Tuna	0.977	0.987	0.997
R3	Tuna	0.974	0.991	1.001
CONTROL		1.794	1.781	1.787
		1.787		
ACTIVIDAD CON COAGULANTE				
Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	Ulluquite	30.48	27.66	27.52
R2	Ulluquite	30.26	27.73	27.66
R3	Ulluquite	30.41	27.80	27.73
R1	Tuna	46.30	45.27	43.85
R2	Tuna	46.40	45.37	44.35
R3	Tuna	46.72	44.96	43.95

ANEXO 14: Pruebas de Múltiple Rangos para la actividad floculante

Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Con Etanol

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A	3	28.41	X
B	3	30.3567	X
C	3	30.3833	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	-1.94667	1.38551
A - C	*	-1.97333	1.38551
B - C		-0.0266667	1.38551

* indica una diferencia significativa.

Con NaCl

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A	3	27.6267	X
B	3	27.67	X
C	3	27.73	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B		-0.0433333	1.6691
A - C		-0.103333	1.6691
B - C		-0.06	1.6691

* indica una diferencia significativa.

Con agua

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A	3	27.09	X
B	3	27.6233	X
C	3	27.6367	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B		-0.533333	0.77172
A - C		-0.546667	0.77172
B - C		-0.0133333	0.77172

* indica una diferencia significativa.

Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)

Con Etanol

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A	3	46.1267	X
B	3	46.4067	X
C	3	46.4733	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B		-0.28	0.751298
A - C		-0.346667	0.751298
B - C		-0.0666667	0.751298

* indica una diferencia significativa.

Con NaCl

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A	3	44.2767	X
B	3	45.0667	X X
C	3	45.2	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B		-0.79	0.877157
A - C	*	-0.923333	0.877157
B - C		-0.133333	0.877157

* indica una diferencia significativa.

Con agua

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A	3	42.65	X
B	3	43.6933	X
C	3	44.05	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	-1.04333	1.02586
A - C	*	-1.4	1.02586
B - C		-0.356667	1.02586

* indica una diferencia significativa.

ANEXO FOTOGRAFICO

FOTO N° 1: Cactáceas Utilizadas



FOTO N° 2: Cactáceas picadas



FOTO N°3: Filtrado del sumo de las cactáceas

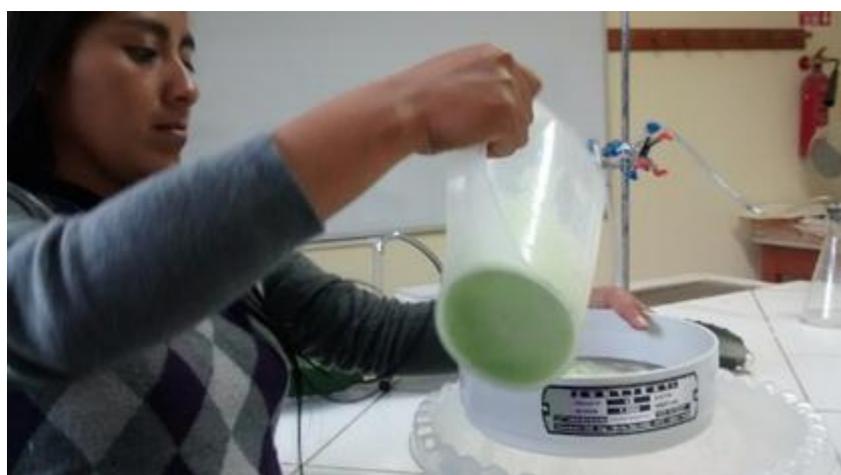


FOTO N° 4: Coagulantes extraído con diferentes solventes



FOTO N° 5: Coagulante cristalizado

