



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN COAGULANTE
CATIONICO A PARTIR DEL FRÉJOL ARBUSTIVO (*Phaseolus
vulgaris l.*) PARA CLARIFICACIÓN DE AGUA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: JUAN FERNANDO OSORIO PORTILLA

DIRECTOR: Ing. LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS, MsC.

Riobamba-Ecuador

2022

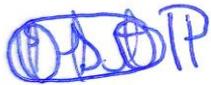
© 2022, **Juan Fernando Osorio Portilla**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, JUAN FERNANDO OSORIO PORTILLA, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor/autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 22 de marzo del 2022

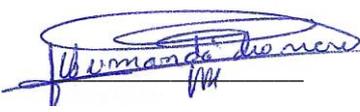


Juan Fernando Osorio Portilla

Cédula de Identidad: 020223585-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de integración curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN COAGULANTE CATIÓNICO A PARTIR DEL FRÉJOL ARBUSTIVO (*Phaseolus vulgaris L.*) PARA CLARIFICACIÓN DE AGUA**, realizado por el señor: **JUAN FERNANDO OSORIO PORTILLA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de integración curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-03-22
Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos, MsC. DIRECTOR(A) DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-03-22
Ing. Cristina Nataly Villegas Freire, MsC. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-03-22

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de integración curricular a las personas que a lo largo de mi vida han estado presentes con su apoyo mi Madre Isabel Portilla y mi Padre Juan Diego Osorio, mi Abuela Enma Reyes, mi hermana Gaby Osorio y su esposo Abdón Verdugo, mi sobrina Amaris Verdugo, los increíbles amigos del colegio y de esta etapa universitaria; pero en especial dedico esto a Dios que en los momentos de mayor dificultad sentí su presencia respaldándome solo resta decir que Jesús es el camino, la verdad y la vida.

Juan

AGRADECIMIENTO

Extiendo mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la oportunidad de obtener una profesión y ser de ayuda para la sociedad a la Ingeniera Linda Flores y la Bioquímica Cristina Villegas por haber formado parte integral y esencial de este trabajo de integración curricular y a los profesores que a lo largo de mi vida estudiantil universitaria me aportaron con sus conocimientos.

Juan

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Frejol arbustivo o poroto (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	4
1.1.1. <i>Definición</i>	4
1.1.2. <i>Clasificación taxonómica</i>	4
1.1.3. <i>Composición físico-química</i>	5
1.1.4. <i>Definición de potabilización de agua</i>	5
1.1.5. <i>Plantas de tratamiento de potabilización de agua</i>	5
1.1.6. <i>Operaciones unitarias empleadas en el proceso de tratamiento de potabilización de agua</i>	6
1.1.7. <i>Parámetros físico- químico y biológicos del agua</i>	6
1.1.7.1. <i>Parámetros físicos</i>	6
1.1.7.2. <i>Parámetros químicos</i>	7
1.1.7.3. <i>Indicadores químicos</i>	7
1.1.8. <i>Sustancias químicas</i>	8
1.1.9. <i>Coagulación en la clarificación de agua</i>	8
1.1.10. <i>Definición de coagulante</i>	9
1.1.11. <i>Tipos de coagulantes</i>	9
1.1.11.1. <i>Coagulantes inorgánicos</i>	9
1.1.11.2. <i>Coagulantes orgánicos</i>	9
1.1.11.3. <i>Coagulantes naturales</i>	9
1.1.12. <i>Prueba de jarras</i>	10
1.1.12.1. <i>Definición prueba de jarras</i>	10
1.1.12.2. <i>Equipos y materiales utilizados en las pruebas de jarras</i>	10
1.1.12.3. <i>Etapas de la prueba de jarras</i>	11

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	12
2.1.	Objetivos	12
2.1.1.	<i>General</i>	12
2.1.2.	<i>Específicos</i>	12
2.2.	Hipótesis y especificación de variables	12
2.2.1.	<i>Hipótesis General</i>	12
2.2.2.	<i>Hipótesis Específicas</i>	12
2.2.3.	<i>Identificación de variables</i>	13
2.2.4.	<i>Operacionalización de variables</i>	14
2.2.5.	<i>Matriz de consistencia</i>	15
2.3.	Tipo y diseño de investigación	17
2.3.1.	<i>Tipo de investigación</i>	17
2.3.1.1.	<i>Método hipotético deductivo</i>	17
2.3.2.	<i>Diseño de la investigación</i>	17
2.3.2.1.	<i>Descripción de las equipos, materiales, reactivos y materia prima</i>	17
2.3.2.2.	<i>Procedimiento experimental</i>	19
2.4.	Unidad de análisis	21
2.5.	Población de estudio	21
2.6.	Tamaño de la muestra	21
2.7.	Selección de la muestra	21
2.8.	Técnicas de recolección de datos	22
2.8.1.	<i>Obtención del coagulante o extracto crudo</i>	22
2.8.1.1.	<i>Método de deslipidificación mediante solvente (Etanol)</i>	22
2.8.2.	<i>Caracterización físico-química del coagulante</i>	23
2.8.2.1.	<i>Método de la evaluación de pH del coagulante obtenido.</i>	23
2.8.2.2.	<i>Método de Kjeldahl (Norma AOAC 984.13) para determinación de contenido de proteínas</i>	24
2.8.2.3.	<i>Método de la evaluación de solubilidad</i>	25
2.8.2.4.	<i>Método para determinar residuo por calcinación</i>	25
2.8.3.	<i>Evaluación de la capacidad de clarificación de agua</i>	26
2.8.3.1.	<i>Método de la evaluación de Turbidez del agua sintética cruda y sintética tratada.</i> ..	26
2.8.3.2.	<i>Método de la evaluación de la conductividad, temperatura y sólidos totales disueltos del agua sintética turbia y tratada</i>	27
2.8.3.3.	<i>Método de la evaluación de pH del agua sintética turbia y sintética tratada</i>	28
2.8.3.4.	<i>Método de evaluación de capacidad de clarificación o test de jarras</i>	29

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	30
3.1.	Datos experimentales	30
3.1.1.	<i>Parámetros físico -químicos del agua purificada TESALIA.</i>	<i>30</i>
3.1.2.	<i>Parámetros físico- químicos del Caolín</i>	<i>30</i>
3.1.3.	<i>Elaboración del extracto crudo coagulante</i>	<i>31</i>
3.1.4.	<i>Caracterización del extracto crudo coagulante del frejol.....</i>	<i>31</i>
3.1.4.1.	<i>pH del extracto crudo.....</i>	<i>31</i>
3.1.4.2.	<i>Humedad del extracto crudo.....</i>	<i>32</i>
3.1.4.3.	<i>Cenizas del extracto crudo</i>	<i>32</i>
3.1.5.	<i>Preparación y características físico químicas del Agua sintética turbia.</i>	<i>33</i>
3.1.6.	<i>Preparación de las soluciones coagulantes.....</i>	<i>33</i>
3.1.7.	<i>Datos del test de actividad primaria o test de jarras en la evaluación de la disolución de extracto cruda más agua destilada ultra pura (EC + ADU).....</i>	<i>33</i>
3.1.8.	<i>Datos del test de actividad primaria o test de jarras en la evaluación de la disolución de extracto cruda más solución NaCl 0,5 molar (EC + SNACL 1).....</i>	<i>35</i>
3.1.9.	<i>Datos del test de actividad primaria o test de jarras en la evaluación de la disolución de extracto cruda más solución NaCl 0,25 molar (EC + SNACL 2).....</i>	<i>36</i>
3.2.	Resultados y discusión	37
3.2.1.	<i>Resultados de la efectividad y perdida en porcentaje en el proceso de obtención del extracto crudo coagulante de poroto</i>	<i>37</i>
3.2.2.	<i>Análisis (ANOVA) de un solo factor de las pérdidas de peso por etapa de extracto crudo</i>	<i>37</i>
3.2.3.	<i>Análisis Post-Hoc prueba de Turkey de las pérdidas de peso por etapa</i>	<i>38</i>
3.2.4.	<i>Resultados de la caracterización físico-química del extracto crudo coagulante</i>	<i>41</i>
3.2.5.	<i>Resultados de la actividad de coagulación de las disoluciones evaluadas</i>	<i>42</i>
3.2.6.	<i>Resultados de pH y conductividad del agua sintética tratada con las disoluciones coagulantes con mayor capacidad de remoción de turbiedad</i>	<i>44</i>
3.3.	Prueba de hipótesis	47
3.3.1.	<i>Prueba hipótesis general.....</i>	<i>47</i>
3.3.2.	<i>Prueba hipótesis específica 1</i>	<i>47</i>
3.3.3.	<i>Prueba hipótesis específica 2</i>	<i>47</i>
3.3.4.	<i>Prueba hipótesis específica 3</i>	<i>48</i>

CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Clasificación taxonómica del frejol o poroto (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	4
Tabla 2-1:	Composición físico-química del frejol o poroto (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	5
Tabla 1-2:	Identificación de variables.....	13
Tabla 2-2:	Operacionalización de Variables.....	14
Tabla 3-2:	Matriz de consistencia.....	15
Tabla 4-2:	Método de deslipidificación mediante solvente (Etanol).....	22
Tabla 5-2:	Método de la evaluación de pH del coagulante obtenido.....	23
Tabla 6-2:	Método de Kjeldahl (Norma AOAC 984.13) para determinación de contenido de proteínas.....	24
Tabla 7-2:	Método de la evaluación de solubilidad.....	25
Tabla 8-2:	Método para determinar residuo por calcinación.....	25
Tabla 9-2:	Método de la evaluación de Turbidez del agua sintética cruda y sintética.....	26
Tabla 10-2:	Método de la evaluación de la conductividad, temperatura y sólidos totales disueltos del agua sintética cruda y tratada.....	27
Tabla 11-2:	Método de la evaluación de pH del agua sintética turbia y sintética tratada.....	28
Tabla 1-3:	Parámetros físico-químicos del agua purificada “TESALIA”.....	30
Tabla 2-3:	Parámetros físico- químicos del Caolín.....	31
Tabla 3-3:	Pesos obtenidos durante la elaboración del extracto crudo coagulante (EC).....	31
Tabla 4-3:	pH del extracto crudo.....	32
Tabla 5-3:	Humedad del extracto crudo.....	32
Tabla 6-3:	Cenizas del extracto crudo.....	32
Tabla 7-3:	Características físico químicas de los estándares E1, E2 y E3 Agua sintética....	33
Tabla 8-3:	pH, conductividad, turbiedad y color en la evaluación de la disolución (EC + ADU).....	34
Tabla 9-3:	pH, conductividad, turbiedad y color en la evaluación de la disolución (EC + SNAACL1).....	35
Tabla 10-3:	pH, conductividad, turbiedad y color en la evaluación de la disolución (EC + SNAACL2).....	36
Tabla 11-3:	Perdidas por replica en la elaboración del extracto crudo.....	37
Tabla 12-3:	Pérdidas totales de masa en el la elaboración del extracto.....	37
Tabla 13-3:	Descriptivos del análisis (ANOVA) de las pérdidas por etapa.....	38
Tabla 14-3:	ANOVA de un factor pérdidas por etapa.....	38
Tabla 15-3:	Comparaciones múltiples de las pérdidas de peso por etapa.....	39
Tabla 16-3:	Subconjuntos homogéneos de las pérdidas de peso por etapa.....	39

Tabla 17-3:	Características-físico químicas del extracto crudo coagulante de frejol.....	41
Tabla 18-3:	Dosis óptimas de las disoluciones coagulantes evaluadas.....	43
Tabla 19-3:	pH y conductividad del agua sintética tratada con las disoluciones óptimas.	45
Tabla 20-3:	Características químicas del coagulante de frejol.....	48

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Diagrama de flujo de la obtención y caracterización del coagulante.....	19
Gráfico 2-2:	Diagrama de flujo de la evaluación de capacidad de clarificación.....	20
Gráfico 1-3:	Porcentaje de pérdidas por etapa en la obtención del extracto curdo	40
Gráfico 2-3:	Porcentaje de efectividad y pérdidas en la obtención del extracto crudo.....	40
Gráfico 3-3:	Actividad de coagulación de las disoluciones evaluadas.....	43
Gráfico 4-3:	pH del agua sintética tratada con las disoluciones óptimas.....	45
Gráfico 5-3:	Conductividad del agua turbia sintética y el agua sintética tratada.....	46
Gráfico 6-3:	Disoluciones con mayor actividad de coagulación.....	48

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.
- ANEXO B:** MOLIENDA Y TAMIZADO DE LA MATERIA PRIMA.
- ANEXO C:** PROCESO DE DESLIPIDIFICACIÓN DEL FREJOL
- ANEXO D:** SEDIMENTACIÓN Y FILTRADO DE LA SOLUCIÓN DE ETANOL Y POLVO DE FREJOL.
- ANEXO E:** CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL EXTRACTO CRUDO COAGULANTE.
- ANEXO F:** PREPARACIÓN DE LAS DISOLUCIONES CON EL EXTRACTO CRUDO COAGULANTE.
- ANEXO G:** EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE.
- ANEXO H:** PORCENTAJE DE PROTEÍNAS Y FIBRA DEL EXTRACTO CRUDO COAGULANTE.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue la obtención y caracterización de un coagulante catiónico a partir del frejol (*Phaseolus vulgaris l.*) para clarificación de agua. La cual contemplo tres fases. La primera la obtención del extracto crudo coagulante por medio de la molienda y tamizado de la materia prima, posteriormente se realizó una deslipidificación en disolución al 10% (P/V) con etanol al 96% este proceso de mezclado se realizó con un agitador de aspas a 2000 rpm, después se sedimentó la mezcla por una hora y se filtró al vacío, los sólidos resultantes se secaron 24 horas al ambiente y se obtuvo el extracto. La segunda fase es la caracterización fisicoquímica del extracto en donde se midió las características más importantes para determinar las funciones coagulantes. En la tercera fase se evaluó la capacidad de coagulación mediante el test de jarras con agua turbia sintética (ATS) la cual se preparó con caolín en tres proporciones (P/V) al 25,50 y 75 % con agua pura, esto se trató con disoluciones al 10% (P/V) del extracto con tres disolventes agua destilada ultrapura y cloruro de sodio al 0.5 y 0.25 Molar, utilizando dosis de 1, 2, 3 y 5 mililitros de cada disolución. En los resultados de la materia prima inicial de 2kg se obtuvo un 76% de rendimiento de extracto coagulante, en la caracterización se obtuvo valores favorables pH 7.7, proteínas 17.85 % y carbohidratos 62.16 % y en la evaluación de la actividad coagulante se obtuvo valores superiores al 75% de remoción de turbiedad. Se concluyó que el frejol es una materia prima ideal para la obtención de un coagulante catiónico que puede remplazar los coagulantes inorgánicos tradicionales. Se recomienda usar este coagulante natural únicamente con el disolvente de agua destilada ultrapura y en aguas con turbiedades altas.

Palabras clave: <INGENIERÍA QUÍMICA>, <FREJOL (*Phaseolus vulgaris l.*)>, <COAGULANTE CATIÓNICO>, <CLARIFICACIÓN DE AGUA>, <REDUCCIÓN DE TURBIDEZ>.

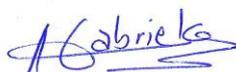


0889-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The aim of this research consisted of obtaining and characterizing a cationic coagulant from beans (*Phaseolus vulgaris* L.) for water clarification which considered three phases. The first phase involved obtaining the raw coagulant extract by grinding and sieving the raw material, followed by delipidification in a 10% dilution (W/V) with 96% ethanol. This mixing process was carried out with a blade agitator at 2000 rpm; then the mixture was sedimented for one hour and filtered under vacuum, the resulting solids were dried for 24 hours at room temperature and the extract was obtained. The second phase is the physicochemical characterization of the extract where the most important characteristics were measured to determine the coagulant functions. In the third phase, the coagulation capacity was evaluated by means of the jar test with synthetic turbid water (ATS), which was prepared with kaolin in three proportions (W/V) at 25, 50 and 75 % with pure water. This was treated with 10% dilutions (W/V) of the extract with three solvents, ultrapure distilled water and sodium chloride at 0.5 and 0.25 Molar, using doses of 1, 2, 3 and 5 milliliters of each solution. In the results of the initial raw material of 2kg, a 76% yield of coagulant extract was obtained; in the characterization, favorable values were obtained: pH 7.7, proteins 17.85% and carbohydrates 62.16%, and in the evaluation of the coagulant activity, values of more than 75% of turbidity removal were obtained. It was concluded that beans are an ideal raw material for obtaining a cationic coagulant that can replace traditional inorganic coagulants. It is recommended to use this natural coagulant only with the solvent of ultrapure distilled water and in waters with high turbidity.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING>, <BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.)>, <CATIONIC COAGULANT >, <WATER CLARIFICATION>, <TURBIDITY REDUCTION>.



Dra. Ana Gabriela Reinoso Espinosa

CI: 110369613-2

INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida, indispensable para la economía, fundamental para la salud de las personas, este líquido vital está presente en varios aspectos del desarrollo de la sociedad pero a más de esto es un eje principal en el equilibrio medioambiental de los diferentes ecosistemas; el acceso a agua potable es reconocido como un derecho humano primordial es por esto que el proceso de clarificación o potabilización de las fuentes y vertientes de agua es un objeto de estudio de suma importancia en todos los países del mundo, ya que estos tienen la obligación de dotar un agua potable con características óptimas de salubridad esta debe ser incolora, inodora, insípida y libre de contaminantes o sólidos en suspensión.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta en el tratamiento de clarificación de agua es el saneamiento y preservación ambiental para la conservación de este bien patrimonial de la humanidad, tratando de generar procesos de potabilización más amigables tanto en el cuidado de las vertientes naturales como también en la utilización de agentes químicos y procesos sostenibles.

Dentro del proceso de potabilización de agua un método muy utilizado para la eliminación de los sólidos en suspensión es la coagulación por medio de agentes químicos conocidos como coagulantes los más utilizados son los coagulantes de tipo inorgánico específicamente el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, otros de los coagulantes más utilizados son de tipo orgánicos sintéticos desarrollados a base de polielectrolitos y en países con un desarrollo tecnológico avanzado se han comenzado a utilizar en menor medida coagulantes de tipo natural de proveniencia vegetal y animal esta última alternativa de coagulantes tiene un alto grado de sostenibilidad ambiental y son de fácil producción.

Estos coagulantes naturales son una alternativa interesante desde el punto de vista funcional en la reducción de turbidez, pero también el ámbito económico al reducir costos de mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua y generar procesos amigables con el ambiente.

Antecedentes de la investigación

En el campo de la potabilización de agua los procesos físico químicos tienen más de 100 años de historia, la primera vez que fueron aplicados los métodos de coagulación y floculación fue en Europa a escala de laboratorio para posteriormente en el año de 1930 en Estados Unidos ser empleados a gran escala, en la actualidad estos procesos son los más usados en el mundo para la clarificación de agua es por esto que la comunidad científica tiene una constante búsqueda y estudio para encontrar alternativas ecológicas y sustentables que replacen a los coagulantes/floculantes de carácter inorgánico e orgánico no natural que tienen consecuencias ambientales graves. Dentro del estudio de los coagulantes naturales se detallan a continuación las investigaciones más importantes con materias primas vegetales de suma importancia y específicamente la utilización del frejol arbustivo o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*).

Los coagulantes naturales son sustancias químicas solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal sean estos hojas, tallos o semillas y también materia prima de origen animal que actúan de modo similar a los coagulantes inorgánicos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbiedad inicial de la misma. Algunos de estos coagulantes poseen además propiedades antimicrobianas, por lo que reducen o eliminan el contenido de microorganismos patógenos que pueden producir enfermedades.

Según García (2007) en su investigación “Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo” nos menciona que existen 21 semillas de sumo interés científico las cuales pueden ser seleccionadas para el desarrollo de coagulantes naturales en este caso se selecciona tres especies que fueron analizadas Alubia roja, Maíz dulce y Maíz rojo se concluyó que presentan una excelente capacidad coagulante, reduciendo la turbidez inicial del agua cruda en porcentajes comparables al coagulante natural más estudiado en la actualidad, la semilla de Moringa oleífera. Otra de las materias primas que tienen un importante estudio por su contenido de proteínas y actividad de coagulación es el frejol arbustivo o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) según Antov et al. (2007, p. 6) en su estudio “Investigación de condiciones de aislamiento e intercambio iónico en purificación de componentes de coagulación de las proteínas de semilla de frijol común” ,este trabajo nos muestra que el extracto del frejol común tienen cantidades de proteína que varían de 9.19 g/L a 9.84 g/L con unas condiciones de 0.5 mol/L en agua , una solución buffer de fosfato y un pH de 6 teniendo un resultado en su actividad de coagulación entre el 23 al 23.9 % este valor se calcula a partir del valor inicial de turbiedad y el valor final de turbiedad después del tratamiento con el coagulante.

Para la obtención del coagulante natural a partir del frejol común son tres autores que coinciden en el procedimiento que se debe seguir teniendo sus variaciones en los solventes que se utilizan

para la purificación de las proteínas, el procedimiento general consta de: extracción y lavado de las semillas o materia prima seleccionada, como segundo paso tenemos la molienda en ella las semillas se muelen con ayuda de un molinillo común, después se tamizan las semillas o materia prima previamente molida empleando un colador con una luz de malla de 0,5 mm, seguidamente se procede a la extracción del aceite de las semillas para ello se preparan suspensiones al 5 % (p/v) de materia prima pulverizada en etanol y finalmente se procede a la extracción del componente activo de las semillas para ello se preparan disoluciones al 5 % (p/v) compuestas por los sólidos secos y los siguientes disolventes: agua destilada, una disolución de NaCl (Antov et al., 2007, p. 6; García, 2007, p. 26; Murillo, Galvis y Pacheco, 2020, pp. 21-22).

Para García (2007, p. 26) es indispensable hacer el análisis de tres extractos variando la concentración del NaCl en 0.5M, en 0.25M y en 0.125M y también hacer el test de actividad coagulante o test de jarras al extracto crudo sin agregar la disolución de NaCl, una de las diferencias que presenta Antov et al. (2007, p. 7) es que se trabaja con una disolución de 0.5 M para posteriormente en la purificación de la proteína se agrega una solución buffer de fosfato el extracto crudo obtenido se le agrega $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ lo que ayuda a mejorar la eficiencia de remoción de la turbiedad del agua.

En el estudio realizado por Antov, Šćiban y Petrović (2010, pp. 2167-2172) después de una purificación más enfocada variando la concentración de solución buffer de fosfato y variando el pH con el que se trabaja el extracto crudo de frejol para coagulación se llegó a la conclusión que los parámetros de la primera disolución de NaCl óptimos deben variar entre 0.375M a 0.385M en un pH de 9 estas condiciones de trabajo nos dan una eficiencia de remoción de la turbidez de agua del 72.3% la mayor eficiencia alcanzada hasta el momento con un coagulante a partir de frejol común.

Finalmente podemos ver que según el autor Guzmán et al. (2013, p. 259) que recolecta la información de varios coagulantes de carácter natural nos dice que el tipo de coagulante que se va a obtener a partir del frejol común es uno de interacción catiónica y para obtener el valor más alto de remoción de turbiedad de 72.3% debemos aplicar dosis que oscilan entre los valores de 0,7-1,0 mg por cada litro de agua que se desee tratar cabe resaltar que las dosis las podemos variar teniendo en cuenta si tenemos al alto valor de turbiedad la cantidad de coagulante que debemos agregar es mínima y si se tiene un bajo valor de turbiedad deberemos agregar dosis altas de coagulante para que tenga un efecto de remoción bueno.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Frejol arbustivo o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*)

1.1.1. Definición

El frejol o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) común es la leguminosa más importante para consumo humano en el mundo es originaria de Mesoamérica (México, Guatemala, Honduras y El Salvador) su tallo es vellosa y sus flores dan un fruto en forma de vaina, es una fuente sustancial de proteínas, calorías, vitaminas y minerales. Así mismo, el poroto tiene la característica especial de tener componentes bioactivos como inhibidores de enzimas, lecitinas, entre otras, además dentro de sus actividades biológicas principales están la capacidad antioxidante, la reducción de colesterol y lipoproteínas, por lo que tiene un efecto protector contra enfermedades cardiovasculares, efectos favorables contra el cáncer y se utiliza en el tratamiento de la diabetes tipo 2 (Ochoa, 2013; Fernández y Chávez, 2017, p. 136).

1.1.2. Clasificación taxonómica

Tabla 1-1: Clasificación taxonómica del frejol o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*)

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Faboideae
Tribu	Phaseoleae
Subtribu	Phaseolinae
Genero	Phaseolus
Sección	P. sect. Phaseolus
Especie	P. vulgaris
Nombre binomial	Phaseolus vulgaris L.
Nombres comunes	Fréjol, fríjol, poroto, habichuela, judía, ejote, alubia, caraota

Fuente: Ochoa (2013, p. 4).

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

1.1.3. Composición físico-química

La composición físico-química son los parámetros más importantes tales como pH, contenido de cenizas, solubilidad, humedad, proteínas, carbohidratos y grasas el frejol o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) es una leguminosa rica en proteínas y carbohidratos según Ochoa (2013, p. 14) .

Tabla 1-1: Composición físico-química del frejol o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*)

Propiedad	Valor
pH	6.84
Solubilidad	No soluble
Cenizas (%)	3.64
Humedad (%)	9.51 ± 0.23
Proteínas (%)	23.43 ± 0.13
Fibra (%)	2.61 ± 0.11
Carbohidratos (%)	67.45 ± 0.24
Grasas (%)	1.48 ± 0.08

Fuente: Ochoa (2013); Avalos (2001).

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

1.1.4. Definición de potabilización de agua

El agua es un elemento necesario para el desarrollo de todas las actividades humanas contiene una variedad de impurezas, solubles e insolubles, pero consta de tres tipos principales de impurezas: físicas, químicas y biológicas es por esto que para su consumo necesita de una eliminación de todas impurezas a este proceso de purificación del agua se le conoce como potabilización o clarificación (Vargas y Romero, 2010, pp. 2-3; Idrovo, 2010, pp. 31-32).

1.1.5. Plantas de tratamiento de potabilización de agua

Se conoce como una planta de tratamiento de potabilización de agua al conjunto de instalaciones, destinadas a mejorar la calidad del agua, que se localizan en un espacio físico relativamente reducido existen varios tipos o clases de plantas de tratamiento entre los cuales tenemos:

- De acuerdo con el tipo de procesos que las conforman, en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta.

- De acuerdo con la tecnología usada en el proyecto, en plantas convencionales antiguas, plantas convencionales de tecnología apropiada y plantas de tecnología importada o de patente.

1.1.6. Operaciones unitarias empleadas en el proceso de tratamiento de potabilización de agua

Las plantas convencionales sean estas de filtración rápida o lenta son las que más se utilizan a nivel mundial teniendo una serie de operaciones unitarias importantes tales como:

- **Entrada o captación del agua cruda:** es aquí donde se captan las aguas superficiales esto se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos o diques.
- **Agregado y dosificación de productos químicos:** en este proceso existen dos tratamientos físico químicos indispensables que son la coagulación y floculación los cuales a través de componentes químicos varios generan una interacción con los sólidos suspendidos totales aglutinando a los mismo y precipitándolos por acción de la gravedad.
- **Proceso de filtración:** en el proceso de filtración tenemos la remoción de sólidos suspendidos y coloidales presentes en una suspensión acuosa a través de un medio poroso esta es la operación unitaria final, que se realiza en una planta de tratamiento de agua.
- **Proceso de desinfección:** este proceso nos sirve para la eliminación de microorganismos patógenos o perjudiciales para la salud presentes en el agua (bacterias, protozoarios, virus y parásitos) generalmente se logra esto al agregar cloro gaseoso (Idrovo, 2010, p. 35).

1.1.7. Parámetros físico- químico y biológicos del agua

Los parámetros con los cuales se mide la calidad del agua sea esta proveniente de una fuente natural o el agua tratada después del proceso de potabilización están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos por lo tanto nos sirve para conocer qué tan pura o qué tan contaminada está el agua (Sierra, 2011, p. 55).

1.1.7.1. Parámetros físicos

Se consideran o se clasifican como parámetros físicos aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua entre las más importantes tenemos a:

- **Turbiedad:** Se conoce como turbiedad a la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz, la turbidez del agua está producida básicamente por dos causas la erosión natural de las cuencas y la contaminación de la industria, las unidades de medida de este parámetro pueden ser JTU, NTU y SiO₂ mg/L (Sierra, 2011, p. 55).

- **Color:** Aunque el color está relacionado a la turbiedad, puede considerarse como una característica independiente debido a que la turbiedad es ocasionada por partículas de gran tamaño (diámetros $>10^{-3}$ mm), el color es generado por sustancias disueltas y por los coloides (Sierra, 2011, p. 55).
- **Olor y sabor:** El olor y sabor en el agua están relacionados con la presencia de sustancias no deseadas generando el rechazo del consumidor. Estas características se deben a la presencia de microorganismos o sustancias como el plancton, compuestos orgánicos generados por la actividad de las bacterias y algas, a los desechos industriales o a la descomposición de la materia orgánica (Sierra, 2011, p. 55).
- **Temperatura:** La temperatura es uno de los parámetros físico más importantes sino el más importante del agua debido a que puede afectar la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas, interviene en el diseño de la mayoría de los procesos de tratamiento del agua (coagulación, sedimentación, etc.) (Sierra, 2011, p. 55).
- **Sólidos:** los sólidos son las partículas presentes en el agua es una mezcla de materia orgánica e inorgánica, los sólidos totales están divididos en: los sólidos suspendidos sedimentables y no sedimentables y también en sólidos filtrables coloidales y disueltos (Gómez et al., 2016).

1.1.7.2. Parámetros químicos

Los parámetros químicos son los múltiples compuestos existentes disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración los mismos están divididos en dos grandes grupos: los indicadores (pH, acidez, dureza, conductividad y alcalinidad) y las sustancias químicas.

1.1.7.3. Indicadores químicos

- **pH:** El pH es el término utilizado para medir la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua indica la concentración de iones de hidrógeno presentes (Sierra, 2011, p. 55).
- **Acidez:** la acidez está determinada por el valor del pH en una escala de 0 a 8,5 unidades se considera que el agua es acida. La acidez en las aguas es ocasionada por la presencia de CO₂ o la presencia de un ácido fuerte (H₂SO₄, HNO₃, HCl) (Sierra, 2011, p. 55).
- **Conductividad:** La conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de los iones de calcio, magnesio, sodio, fósforo, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Se mide en micromhos/cm o Siemens/cm (Sierra, 2011, p. 56).

- **Alcalinidad:** Es conocida como la capacidad que tiene el agua para neutralizar los ácidos. La alcalinidad puede considerarse como la presencia de sustancias básicas en el agua, principalmente, sales de ácidos débiles o bases fuertes (Sierra, 2011, p. 56).
- **Dureza:** La dureza es la propiedad que tienen ciertas aguas de cortar el jabón, es decir, requieren grandes cantidades de jabón para producir espuma. Las aguas duras también tienen la particularidad de que a elevadas temperaturas forman incrustaciones en los equipos mecánicos y las tuberías están determinadas por los iones de carbonato de calcio y carbonato de magnesio o la dureza total es la suma de la dureza cálcica y la dureza magnésica (Sierra, 2011, p. 57).

1.1.8. Sustancias químicas

El agua, por ser considerada el solvente universal, tiene la posibilidad de que en ella estén disueltas una gran cantidad de elementos y compuestos químicos sean estos de carácter orgánico como detergentes, grasas entre otros y también iones inorgánicos tales como hierro, magnesio y todo tipo de metales y sales inorgánicas (Sierra, 2011, p. 69).

1.1.9. Coagulación en la clarificación de agua

La coagulación es un tratamiento físico-químico del agua sea esta proveniente de una vertiente natural o residual que consiste en añadir un producto químico (el coagulante) y esto causa la desestabilización de las cargas de la materia suspendida, coloidal dispersa y su formación de coágulos este procedimiento se usa tanto para la remoción de turbiedad orgánica o inorgánica, color verdadero y aparente, así como para la eliminación de bacterias patógenas y destrucción de plancton para lograr la desestabilización de estas partículas se tiene los siguientes mecanismos de coagulación:

- **Compresión doble capa:** los coloides cargados negativamente son rodeados por una doble capa, la cual se encuentra formada por las cargas de la partícula y las cargas contrarias del agua que se encuentran cercanas a la superficie del coloide (Medina, 2018, pp. 2-3).
- **Adsorción y neutralización de cargas:** los coloides tienen superficies cargadas negativamente, estas cargas atraen a los iones positivos provenientes del coagulante que se encuentra en solución dentro del agua formando la primera capa adherida al coloide. El potencial existente en el plano de deslizamiento entre la superficie cargada y la disolución, es la potencial electrocinética (potencial ZETA) (Medina, 2018, pp. 2-3).
- **Atrapamiento de partículas en un precipitado:** las partículas desestabilizadas son atrapadas mediante la adición de un coagulante que por lo general son sales de metales de

aluminio o de hierro, la unión de los aniones y las partículas coloidales forman precipitados disminuyendo la turbidez (Medina, 2018, pp. 2-3).

- **Adsorción y puente:** se utiliza un polímero aniónico con partículas cargadas negativamente, pues las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales en una de sus extremidades y en sus partes libres otra clase de partículas (Medina, 2018, p. 3).

1.1.10. Definición de coagulante

Los coagulantes son las sustancias químicas que intervienen en el proceso de coagulación en la potabilización del agua permiten reducir en el agua el crecimiento bacteriano, la presencia de algas, el color aparente y la turbidez por efecto de la desestabilización de los coloides que se encuentran suspendidos los coloides son suspensiones estables que son imposibles de separar sin la adición de un coagulante, el cual, permite que las partículas hidrofílicas e hidrofóbicas del coloide se separen debido a sus cargas eléctricas (Murillo, Galvis y Pacheco, 2020, pp. 11-12).

1.1.11. Tipos de coagulantes

1.1.11.1. Coagulantes inorgánicos

Los coagulantes de origen inorgánico en su mayoría son de tipo metálico han sido los más empleados para el tratamiento de aguas residuales, pero también son utilizados para la clarificación o potabilización de agua entre ellos encontramos el sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y aluminato de sodio (Murillo, Galvis y Pacheco, 2020, p. 14).

1.1.11.2. Coagulantes orgánicos

Este tipo de coagulantes son desarrollados a base de polielectrolitos y corresponden a sustancias orgánicas sintetizadas de la naturaleza una de sus principales características es su elevado peso molecular y carga eléctrica neta, los polímeros orgánicos pueden tener carga positiva, negativa o neutra y de acuerdo a estas cargas funcionan de manera diferente según el pH (Murillo, Galvis y Pacheco, 2020, p. 15).

1.1.11.3. Coagulantes naturales

Los coagulantes naturales son una alternativa ecológica para el remplazo de los coagulantes inorgánicos metálicos y orgánicos poliméricos son de gran importancia debido a su bajo o nulo

impacto ambiental y su bajo costo de producción , se pueden obtener coagulantes naturales de dos fuentes principales la primera de los animales estos son conocidos como coagulantes naturales de tipo animal y los provenientes de vegetales (semillas, hojas y tallos) que son conocidos como coagulantes naturales de tipo vegetal estos últimos han tenido en los últimos años un campo amplio de estudio con especies como: cactus o tuna (*Opuntia ficus-indica*), el piñón mexicano o jatrofa (*Jatropha curcas*), la moringa (*Moringa oleífera*), el frejol o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) entre otros (Murillo, Galvis y Pacheco, 2020, p. 15).

1.1.12. Prueba de jarras

1.1.12.1. Definición prueba de jarras

La prueba de jarras o test de actividad primaria tiene como principal objetivo dentro del tratamiento de aguas simular las condiciones de operación de la planta de tratamiento para determinar las dosis adecuadas de coagulante y floculante en el proceso de saneamiento o potabilización de aguas provenientes de la industria, agricultura o de afluentes naturales.

Dentro de las pruebas de tratamientos de aguas el test de jarras es quizá el paso más importante ya que aquí se da una remoción de los sólidos suspendidos y en suspensión del agua cruda a tratar, quedando a punto para continuar con los otros procesos de tratamiento establecidos en la Planta de tratamiento de aguas residuales (Fúquene y Yate, 2018, p. 1).

1.1.12.2. Equipos y materiales utilizados en las pruebas de jarras

Dentro del test de jarras o test de actividad primaria para su realización se debe contar con los siguientes equipos o instrumentos:

- **Probador de jarras o multi agitador:** este es el instrumento cuenta con unas aspas giratorias que pueden tener diferentes velocidades en revoluciones por minuto lo que nos ayuda a simular la velocidad de agitación de una planta de tratamiento de aguas existen probadores de jarras de 4 hasta de 6 muestras (Ortiz y Ángeles, 2019, p. 1).
- **Vasos de precipitación o contenedores:** Los vasos de precipitación o contenedores son aquellos que contiene la muestra de agua cruda que se desea tratar generalmente se utilizan vasos de precipitación de 1000 mililitros.
- **Pipetas volumétricas:** Las pipetas volumétricas nos sirven para agregar las diferentes dosis de coagulante o floculante a la muestra de agua cruda.
- **Turbidímetro y colorímetro:** Estos son equipos que nos ayudan a medir las condiciones iniciales de turbiedad y color en el agua cruda y posterior al tratamiento medir la reducción de estos parámetros en el agua tratada.

1.1.12.3. Etapas de la prueba de jarras

El test de actividad primaria o prueba de jarras se determina primero la dosis adecuada de coagulante, después se realiza la evaluación de la mejor dosis de coagulante con dosis variables de floculante de acuerdo a la norma nacional y los límites permisibles que se establezcan en el caso Ecuador la norma INEN 2655 “Implementación de plantas potabilizadoras prefabricadas en sistemas públicos de agua potable” las etapas en cada una de las evaluaciones de determinación de dosis óptimas son las siguientes:

- **Ciclo de agitación rápida:** En el ciclo de agitación rápida se da la adición de los agentes coagulantes o floculantes que se vayan a utilizar se da un agitado constante a 100 o 200 revoluciones por minuto en un tiempo de 1 a 3 minutos.
- **Ciclo de agitación lenta:** Después de agregado los coagulantes o floculantes a evaluar se da un agitado constante entre los 40 a 50 revoluciones por minuto en un tiempo de 10 a 20 minutos.
- **Ciclo de sedimentación:** En el ciclo de sedimentación se retira las muestras de agua cruda del probador de jarras y se deja sedimentar por acción de la gravedad de 10 a 30 minutos.
- **Medición de los parámetros de turbiedad y color:** Se toma una muestra del agua tratada después de la sedimentación y se mide la turbiedad y color de la misma para conocer la capacidad de remoción de sólidos totales.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Objetivos

2.1.1. *General*

- Obtener y caracterizar un coagulante catiónico a partir del frejol arbustivo o poroto (*Phaseolus vulgaris l.*) para clarificación de agua.

2.1.2. *Específicos*

- Elaborar un coagulante a partir del frejol (*Phaseolus vulgaris l.*) por el método deslipidificación.
- Caracterizar el coagulante obtenido por pruebas físico-químicas.
- Evaluar la capacidad de clarificación de agua turbia sintética del coagulante obtenido.

2.2. Hipótesis y especificación de variables

2.2.1. *Hipótesis General*

Será posible obtener un coagulante catiónico a partir del frejol o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) con capacidad de clarificación de agua turbia sintética.

2.2.2. *Hipótesis Específicas*

H1: Podrá el etanol al 96% ser un solvente ideal para la deslipidificación del frejol y así obtener el extracto crudo coagulante.

H2: Tendrá el extracto crudo coagulante las características físico-químicas ideales como un porcentaje de proteínas de 15-20 %, un porcentaje de carbohidratos de 55-65% y un pH con rango óptimo para un coagulante catiónico de 5.00-9.00 que le dará la capacidad de clarificación de agua.

H3: Poseerá el coagulante obtenido la capacidad de clarificación con una reducción de turbidez del agua sintética turbia del 75%.

2.2.3. Identificación de variables

Tabla 1-2: Identificación de variables.

Etapas del proceso	Variables independientes	Variables dependientes
Obtención del coagulante catiónico a partir del frejol o poroto.	<ul style="list-style-type: none">❖ Revoluciones por minuto.❖ Tiempo de secado.	<ul style="list-style-type: none">❖ Cantidad de extracto crudo coagulante.
Evaluación de la capacidad de clarificación de agua del coagulante.	<ul style="list-style-type: none">❖ Dosis de coagulante.	<ul style="list-style-type: none">❖ pH.❖ Conductividad.❖ Turbidez.

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

2.2.4. Operacionalización de variables

Tabla 2-2: Operacionalización de Variables.

Variable	Tipo de variable	Definición operacional	Categorización	Indicadores	Instrumentos de medición
Revoluciones por minuto.	Independiente	Numero de rotaciones completadas cada minuto por una sustancia.	-	rpm.	Agitador de aspas.
Tiempo de secado.	Independiente.	Tiempo requerido para la eliminación de humedad de una determinada sustancia.	-	Horas.	Cronómetro.
Extracto crudo coagulante.	Dependiente	Cantidad de extracto crudo coagulante obtenido después del tratamiento de deslipidificación.	-	Gramos.	Balanza analítica digital.
Dosis de coagulante.	Independiente	Es la cantidad de coagulante que se va a agregar al agua que se desea tratar esto se va variando por cada muestra o prueba de jarras para medir la cantidad con mayor efectividad de remoción de turbiedad.	-	Mililitros.	Pipetas volumétricas.
Turbidez	Dependiente	Se conoce como turbiedad a la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz.	-	NTU	Turbidímetro

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

2.2.5. Matriz de consistencia

Tabla 3-2: Matriz de consistencia.

ASPECTOS GENERALES				
Problema General		Objetivo General		Hipótesis General
Debido a los problemas que ocasionan los coagulantes de tipo inorgánico metálico y de tipo orgánico polimérico ya que en su actividad de coagulación generan una desestabilización del pH, partículas coloidales grandes y tienen afecciones en la salud de las personas si se los agrega en grandes dosis, se ha optado por la elaboración de coagulantes naturales a partir de materias primas renovables y amigables con el ambiente los mismos que producen partículas coloidales más pequeñas y tienen una actividad coagulante igual o superior que los otros tipos de coagulantes existentes. Los coagulantes obtenidos a partir de especies vegetales sean estas de sus hojas, semillas o tallos son una opción viable para el proceso de clarificación de agua.		Obtener y caracterizar un coagulante catiónico a partir del frejol arbustivo o poroto (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) para clarificación de agua.		Será posible obtener un coagulante catiónico a partir del frejol o poroto (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) con capacidad de clarificación de agua turbia sintética.
ASPECTOS ESPECIFICOS				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables	Técnicas
¿Sera el alcohol etílico al 96 % óptimo para la deslipidificación y obtención del componente activo coagulante del frejol arbustivo o poroto (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>)?	Elaborar un coagulante a partir del frejol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) por el método deslipidificación.	Podrá el etanol al 96% ser un solvente ideal para la deslipidificación del frejol y así obtener el extracto crudo coagulante.	❖ Peso del extracto crudo coagulante de frejol.	❖ Método de deslipidificación mediante solvente

<p>¿El coagulante extraído tiene las características físico-químicas necesarias para lograr la clarificación de agua cruda?</p>	<p>Caracterizar el coagulante obtenido por pruebas físico-químicas.</p>	<p>Tendrá el extracto crudo coagulante las características físico-químicas ideales tales como un porcentaje de proteínas de 15-20 %, un porcentaje de carbohidratos de 55-65% y un pH óptimo para un coagulante catiónico de 5.00-9.00 que le dará la capacidad de clarificación de agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Contenido de proteínas. ❖ Contenido de carbohidratos. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Método de Kjeldahl (Norma AOAC 984.13) para determinación de contenido de proteínas.
<p>¿Es el coagulante natural obtenido óptimo para tener una remoción de turbiedad hasta el 75% en el agua sintética turbia?</p>	<p>Evaluar la capacidad de clarificación de agua turbia sintética del coagulante obtenido.</p>	<p>Poseerá el coagulante obtenido la capacidad de clarificación con una reducción de turbidez del agua sintética turbia del 75%.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Dosis de coagulante. ❖ Turbidez. 	<p>Normativa NTE INEN 1108.</p>

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

2.3. Tipo y diseño de investigación

2.3.1. Tipo de investigación

La presente investigación se considera de tipo exploratoria, debido a que se basa en el estudio de la materia prima que en este caso es el frejol arbustivo o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*), mismo que permitirá la obtención de un coagulante de tipo natural vegetal y mediante la caracterización de dicho producto se podrá conocer datos que sean fiables para posteriores investigaciones que se realicen dentro del ámbito del tratamiento de clarificación de aguas de río.

2.3.1.1. Método hipotético deductivo

En este método de investigación se parte de una hipótesis o deducción inicial, para luego obtener conclusiones particulares de ella, que a su vez serán comprobadas experimentalmente. Es decir, comprende un paso inicial de inferencias empíricas que permiten deducir una hipótesis inicial que sea luego sometida a experimentación. En la obtención del extracto crudo coagulante de poroto se aplicará un Análisis (ANOVA) de un solo factor ya que las condiciones de tiempo de secado, velocidad de agitación se van a mantener constantes y el análisis de este estudio se enfoca en el rendimiento de extracto obtenido viendo la relación que tienen las pérdidas cuantificadas en gramos de las etapas de tamizado, deslipidificación y secado.

2.3.2. Diseño de la investigación

2.3.2.1. Descripción de los equipos, materiales, reactivos y materia prima

En el presente trabajo de investigación se utiliza equipos y materiales disponibles en los laboratorios de la facultad de ciencias laboratorio de química orgánica, análisis instrumental y laboratorio de calidad de aguas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo los reactivos se compraron en la empresa de productos químicos Freire Mejía Cia.Ltda de la ciudad de Cuenca-Ecuador, la materia prima se obtuvo de la comunidad de San Miguel de porotos de la ciudad de Azogues capital de la provincia del Cañar. A continuación, se detalla cada uno de ellos:

➤ **Equipos**

- Balanza analítica digital, marca OHAUS EXPLORER, modelo EX623. Serie: B704630506, Max 220 g, min 0,0001 mg.
- Agitador de espas marca WIGGENS, modelo WB6000-D rango de velocidad de 0-6000 rpm.
- Molino de rodillos artesanal.
- Mufla, marca THERMO SCIENTIFIC, modelo FB1415M, Máx. Temp. 1200 °C (2192 °F), Serie: 0146448301170117.
- Potenciómetro marca OAKION, modelo PC 2700 que mide el pH, conductividad desde 0.0 hasta 10% por °C/°F en microsiemens, TDS desde 0.4 hasta 1.0, y temperatura desde -5°C hasta 105°C.
- Termo balanza marca RADWAG, modelo PMC 50 tiene una máxima capacidad: 50g y una legibilidad [d]: 0,1mg.
- Prueba de jarras marca LOVIBOND, modelo ET 730 rango de velocidad 0-200 rpm y rango de tiempo 0-30 minutos.
- Turbidímetro marca HACH, modelo RATIO XR 43900 con un rango de 0 – 2,0 – 20,0 – 200,0 – 2000,0 NTU.

➤ **Materiales**

- Varilla de agitación.
- Crisoles.
- Vasos de precipitación de vidrio de 250 mL, 500 mL y 1000 mL.
- Papel filtro.
- Vidrio reloj.
- Corchos de caucho.
- Espátula.
- Jeringas de 5 mL.

➤ **Reactivos**

- Etanol al 96%.
- Agua destilada tipo 2.
- Agua ultra pura.
- Agua purificada Tesalia.

2.3.2.2. Procedimiento experimental

El tipo de diseño que se aplicara en esta investigación es de tipo experimental debido a que en el proceso de extracción del agente coagulante natural de poroto se controlará la variable del peso de extracto crudo coagulante obtenido midiendo el rendimiento a través del cálculo de pérdidas en las etapas de tamizado, deslipidificación y secado. Además, con lo que respecta a este coagulante natural se realizaran diferentes experimentaciones con lo que concierne a la capacidad o actividad coagulante mediante un test primario de actividad o test de jarras, se medirá también la cantidad de proteínas y carbohidratos que son las biomoléculas que le dan la capacidad de eliminar los sólidos suspendidos sedimentables y la capacidad de interacción catiónica.

A continuación, se presenta de manera general el procedimiento que se llevara a cabo para la obtención de este coagulante natural:

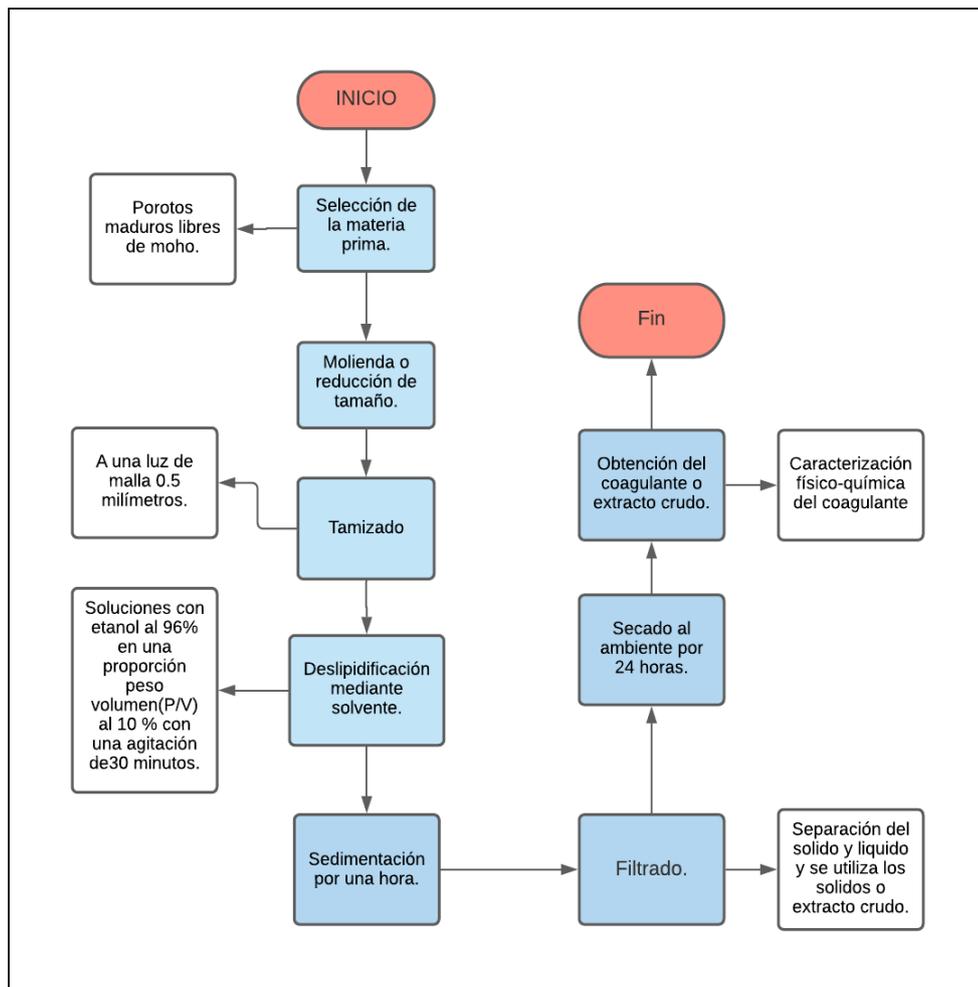


Gráfico 1-2. Diagrama de flujo de la obtención y caracterización del coagulante

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

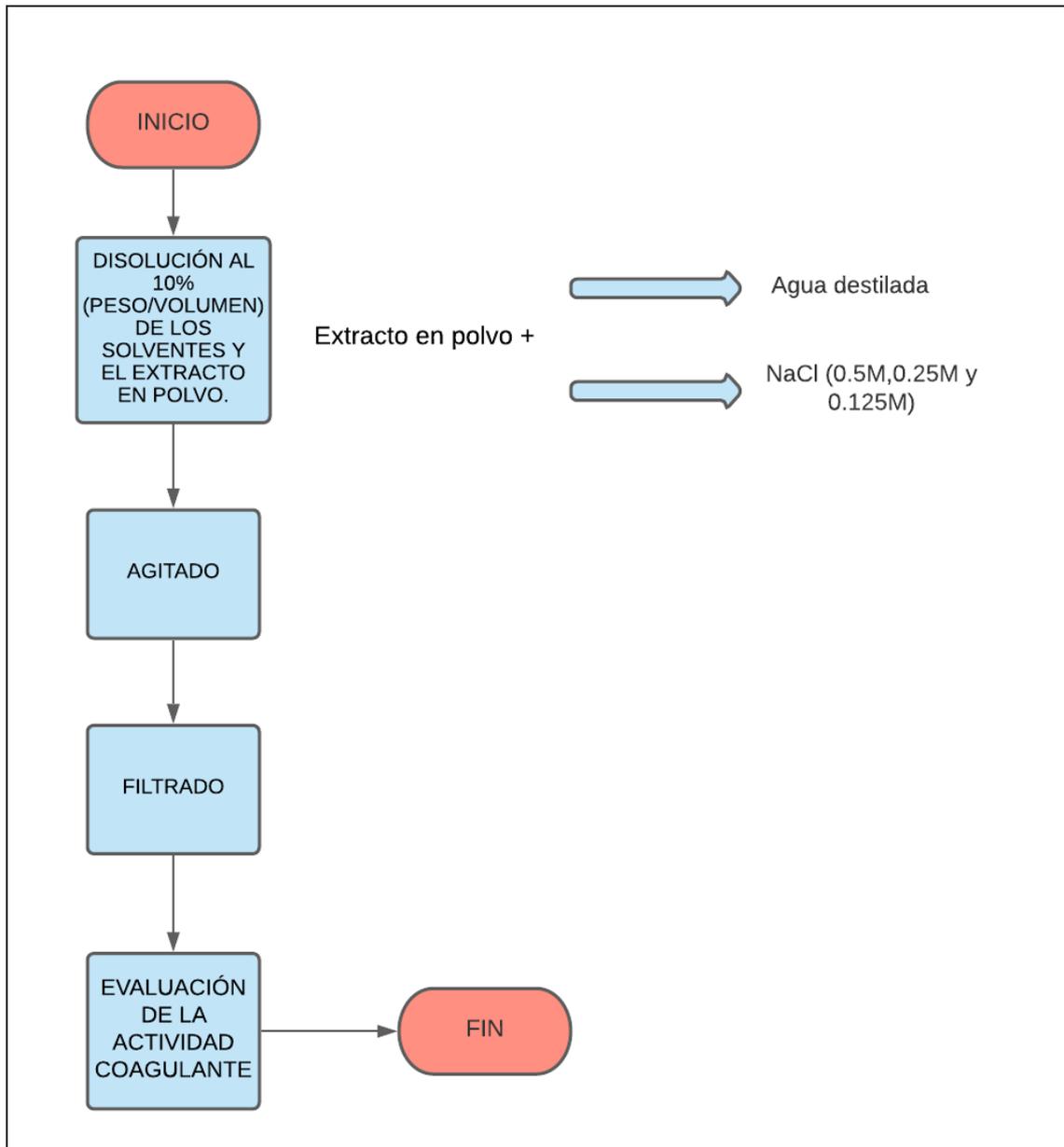


Gráfico 2-2. Diagrama de flujo de la evaluación de capacidad de clarificación del coagulante

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

2.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis de esta investigación es el coagulante natural del frejol arbustivo o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*), mismo que será analizado para conocer las características de acción coagulante y potabilización de aguas crudas que posea y de esta manera considerarlo de buena o mala calidad.

2.5. Población de estudio

La población del presente estudio es el de la materia prima en conjunto, el frejol arbustivo o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*), mismo que será provisto por los productores de la comunidad de San Miguel de Porotos del cantón Azogues. A demás, se seleccionará los de mejor calidad basándose en la maduración y color del mismo ya que esto nos indica que el producto está en condiciones óptimas y de buena calidad.

2.6. Tamaño de la muestra

Para la presente investigación se trabajará con una muestra de 2 Kg de poroto, según las fuentes bibliográficas revisadas el poroto cuenta con 0.50 gramos de proteína y 86 gramos de carbohidratos por cada 100 gramos de materia prima lo cual nos indica que es una materia prima favorable para su transformación en un coagulante de tipo natural, se espera obtener un rendimiento entre el 20 al 50% del extracto o polvo tratado con características coagulantes.

2.7. Selección de la muestra

Para la selección de nuestra muestra del poroto se tomará en cuenta algunos parámetros que determinen la calidad del mismo. A continuación, se detalla las características que serán importantes al momento de la selección de la muestra:

- Maduración del grano de poroto.
- Calidad del grano seco.
- Estado del grano identificar si no existen granos en descomposición.
- Identificar que no exista señales de moho.

2.8. Técnicas de recolección de datos

2.8.1. Obtención del coagulante o extracto crudo

2.8.1.1. Método de deslipidificación mediante solvente (Etanol)

Tabla 4-2: Método de deslipidificación mediante solvente (Etanol).

MÉTODO DE DESLIPIDIFICACIÓN MEDIANTE SOLVENTE (ETANOL).
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">• Preparar la disolución al 10% (Peso/Volumen) con el poroto seco molido y etanol al 96%.• Agitar con el equipo de agitación de aspas a 2000 rpm y temperatura ambiente.• Separar el sobrenadante resultante de la agitación y los sólidos sedimentados.• Secar por 24 horas a temperatura ambiente los sólidos obtenidos.
Resultado esperado
<ul style="list-style-type: none">• Se espera obtener un rendimiento del extracto de frejol del 20-50% del peso inicial después del tratamiento de deslipidificación.

Fuente: García (2007).

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

2.8.2. Caracterización físico-química del coagulante

2.8.2.1. Método de la evaluación de pH del coagulante obtenido.

Tabla 5-2: Método de la evaluación de pH del coagulante obtenido.

MÉTODO DE LA EVALUACIÓN DE PH DEL COAGULANTE OBTENIDO
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">• Normalizar el medidor de pH a 25°C sumergiendo los electrodos en solución tampón pH 7,0 y ajustar el control a esta temperatura.• Con el control de asimetría ajustar el instrumento al valor de pH correcto de la solución tampón.• Con el control correspondiente retornar el equipo a su posición de reposo.• Lavar los electrodos con agua destilada y secar con papel suave absorbente.• Sumergir los electrodos en la solución realizada para la prueba de solubilidad que debe estar a 25°C.• Accionar el control de lectura y leer el pH.
Resultado esperado
<ul style="list-style-type: none">• Se espera que el pH del coagulante natural oscile entre los rangos de 5-7.

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (2014).

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

2.8.2.2. Método de Kjeldahl (Norma AOAC 984.13) para determinación de contenido de proteínas

Tabla 6-2: Método de Kjeldahl (Norma AOAC 984.13) para determinación de contenido de proteínas.

MÉTODO DE KJELDAHL (NORMA AOAC 984.13) PARA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE PROTEÍNAS.	
Procedimiento	
<p>La determinación de proteínas es un indicador de la actividad coagulante en el extracto natural que se va a desarrollar para esto se utilizara el método Kjeldahl (Norma AOAC 984.13) el procedimiento se detalla a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pesar con precisión de miligramos 1g de muestra y colóquelo en el matraz Kjeldahl; agréguele 10g de sulfato de potasio, 0.7g de óxido de mercurio y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. • Colocar el matraz en el digestor en un ángulo inclinado y caliente a ebullición hasta que la solución se vea clara, continúe calentando por media hora más. Si se produce mucha espuma, adiciónale un poco de parafina. • Dejar enfriar; durante el enfriamiento adicione poco a poco alrededor de 90 ml de agua destilada y desionizada. Ya frío agregue 25 ml de solución de sulfato de sodio y mezcle. • Agregar una perla de ebullición y 80 ml de la solución de hidróxido de sodio al 40% manteniendo inclinado el matraz. Se formarán dos capas. • Conectar rápidamente el matraz a la unidad de destilación, caliente y colecte 50 ml del destilado conteniendo el amonio en 50 ml de solución indicadora. • Al terminar de destilar, remueva el matraz receptor, enjuague la punta del condensador y titule con la solución estándar de ácido clorhídrico. • Se realizan los cálculos con los siguientes datos: $\text{Nitrógeno en la muestra(\%)} = 100 \times \left(\frac{A \times B}{C} \times 0.014 \right) \quad \text{Ec. (1-2)}$ $\text{Proteína cruda(\%)} = \text{Nitrógeno en la muestra} \times 6.25$ <p>Donde: A = Ácido clorhídrico usado en la titulación (ml) B = Normalidad del ácido estándar C = Peso de la muestra (g)</p>	
Resultado esperado	
<ul style="list-style-type: none"> • Se espera que la proteína presente en nuestro coagulante natural sea del 10-20 % de contenido proteico bruto. 	

Fuente: Antov et al. (2007).

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

2.8.2.3. Método de la evaluación de solubilidad

Tabla 7-2: Método de la evaluación de solubilidad.

MÉTODO DE LA EVALUACIÓN DE SOLUBILIDAD	
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> • En un vaso de precipitación de 25 mililitros pesar 2g de muestra, añadir 5 mililitros de agua fría y agitar. • Transferir totalmente la suspensión sobre 100 mililitros de agua hirviendo contenida en un vaso de precipitación de 200 mililitros, continuar la ebullición por aproximadamente 2 min. 	
Resultado esperado	
<ul style="list-style-type: none"> • La muestra en examen debe cumplir con el requisito cuando se observa sólo ligera opalescencia que se mantiene sin intensificar después de enfriamiento de la solución. 	

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

2.8.2.4. Método para determinar residuo por calcinación

Tabla 8-2: Método para determinar residuo por calcinación.

MÉTODO PARA DETERMINAR RESIDUO POR CALCINACIÓN	
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> • En un crisol de porcelana o platino pesar 1 g de muestra. Calentar hasta ignición bajo campana de extracción. • Añadir al material carbonizado 1 mililitro de ácido sulfúrico R.A. El calentamiento debe ser suave, bajo al principio, y continuando en tal forma que requiera 1 a 2 horas para carbonizar totalmente la materia orgánica, • Calcinar a $800 \pm 25^{\circ}\text{C}$ por 15 min, enfriar en desecador y pesar. Repetir hasta obtener una masa constante. • El contenido de residuo por calcinación se determina mediante la ecuación siguiente: $R = \frac{m1}{m} \times 100 \quad \text{Ec. (2-2)}$ <p>Siendo: R = residuo por calcinación, en g/100 g m1 = masa del residuo, en g m = masa de la muestra, en g</p>	
Resultado esperado	
<ul style="list-style-type: none"> • El residuo obtenido no debe ser mayor que 0,4 g/100 g. 	

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

2.8.3. Evaluación de la capacidad de clarificación de agua

2.8.3.1. Método de la evaluación de Turbidez del agua sintética cruda y sintética tratada.

Tabla 9-2: Método de la evaluación de Turbidez del agua sintética cruda y sintética tratada.

MÉTODO DE LA EVALUACIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA SINTÉTICA TURBIA Y SINTÉTICA TRATADA.	
Procedimiento	<p>Los instrumentos actual y comúnmente utilizados son los turbidímetros o nefelómetros, que emplean un método cuantitativo y deben cumplir los siguientes criterios en el diseño óptico se utilizara en este caso el espectrofotómetro HACH DR/4000:</p> <ul style="list-style-type: none">• Preparar la muestra y la solución de blanco (si es necesario) para las mediciones de turbiedad en el Turbidímetro HACH DR/4000.• Llenar una celda de muestra limpia con la cantidad de muestra requerida para la prueba (la muestra). Agregar los reactivos apropiados y mezclar.• Llenar otra celda de muestra limpia con la cantidad de reactivo requerido para el blanco de reactivo (el blanco). Agregar los reactivos apropiados y mezclar.• Presionar la tecla programable debajo de PROGRAMA HACH. Seleccionar el número de programa almacenado correspondiente ingresando el número con el teclado numérico. Presionar ENTER.• Instalar el adaptador para celda de muestra apropiado en el módulo de celda de muestra.• Abrir la tapa del módulo del Espectrofotómetro DR/4000 y colocar el blanco en el compartimento de la celda.• Presionar la tecla programable debajo de CERO.• Extraer el blanco de la celda de muestra, reemplazarlo con la muestra y cerrar la tapa. Los resultados aparecerán en pantalla en unidades NTU.
Resultado esperado	<ul style="list-style-type: none">• Se espera que los diferentes estándares de agua sintética turbia tengan unos valores de turbiedad entre 400 y 1700 NTU.• El agua sintética tratada debe cumplir con una reducción de la turbidez con sus mejores dosis del 75 % de remoción.

Fuente: HACH (2000); INEN (2014).

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

2.8.3.2. *Método de la evaluación de la conductividad, temperatura y sólidos totales disueltos del agua sintética turbia y tratada*

Tabla 10-2: Método de la evaluación de la conductividad, temperatura y sólidos totales disueltos del agua sintética cruda y tratada.

MÉTODO DE LA EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD, TEMPERATURA Y SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS DEL AGUA TURBIA Y TRATADA.	
Procedimiento	
<p>Este procedimiento se lo realizara con el equipo HACH CDC40101 que nos mide la conductividad en unidades de mS/cm(microsiems) en un rango de 0,01 μS/cm a 200,0 mS/cm, la temperatura en unidades de °C (grados Celsius) y los sólidos totales disueltos en unidades de TDS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se conecta la sonda al medidor. Asegurándonos que la tuerca de bloqueo del cable está conectada firmemente al medidor. Posteriormente encender el medidor. • Enjuagar la sonda con agua desionizada después secarlo con un trapo que no tenga pelusa. • Poner el sensor en la muestra de forma que el sensor de temperatura quede completamente sumergido. No colocar la sonda en la parte inferior o los lados del contenedor. • Pulsar el botón Medición. En la pantalla aparecerá "Estabilizando" y se mostrará una barra de progreso que indica el ritmo de estabilización de la sonda en la muestra. Al estabilizarse se mostrarán los resultados de conductividad, temperatura y solidos totales. 	
Resultado esperado	
<ul style="list-style-type: none"> • En el agua sintética turbia y tratada se esperan valores variables de temperatura que oscilen entre los 5-25 °C este valor dependerá directamente de la temperatura del ambiente. • En el agua sintética cruda se esperan valores de conductividad de 500-800 mS y solidos totales de 250-400 TDS y en el agua tratada se espera valores de conductividad de 600-1000 mS y solidos totales de 300-500 TDS. 	

Fuente: HACH (2004).

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

2.8.3.3. Método de la evaluación de pH del agua sintética turbia y sintética tratada

Tabla 11-2: Método de la evaluación de pH del agua sintética turbia y sintética tratada.

MÉTODO DE LA EVALUACIÓN DE PH DEL AGUA SINTÉTICA TURBIA Y SINTÉTICA TRATADA.
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">• Normalizar el medidor de pH a 25°C sumergiendo los electrodos en solución tampón pH 7,0 y ajustar el control a esta temperatura.• Con el control de asimetría ajustar el instrumento al valor de pH correcto de la solución tampón.• Con el control correspondiente retornar el equipo a su posición de reposo.• Lavar los electrodos con agua destilada y secar con papel suave absorbente.• Sumergir los electrodos en la solución realizada para la prueba de solubilidad que debe estar a 25°C.• Accionar el control de lectura y leer el pH.
Resultado esperado
<ul style="list-style-type: none">• Se espera del agua sintética cruda valores que oscilen entre los 5,0 a 8,0.• El agua sintética tratada debe cumplir con el requisito en el que el pH obtenido se encuentra entre 6,0 y 8,5 según la norma NTE INEN 1108: 2014.

Fuente:(Instituto Ecuatoriano de Normalización 2014).

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

2.8.3.4. Método de evaluación de capacidad de clarificación o test de jarras

Tabla 12-2: Método de evaluación de capacidad de clarificación o test de jarras.

MÉTODO DE EVALUACIÓN DE CAPACIDAD DE CLARIFICACIÓN O TEST DE JARRAS.
Procedimiento
<p>El test de jarras o test de actividad primaria nos ayuda a conocer la capacidad de coagulación o floculación del coagulante o floculante que se dese utilizar para la potabilización de agua el equipo que se va a utilizar la prueba de jarras marca LOVIBOND de 4 muestras se seguirá el procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none">• En un 4 vaso de precipitación de 1000 ml agregar los estándares de agua turbia sintética hasta en límite de 800 mililitros en cada vaso.• Agitar 1 minuto con una velocidad de 200 rpm y agregar las dosis de solución coagulante se variará las dosis en los siguientes rangos 1ml, 2ml, 3ml y 5 ml.• Agitar 15 minutos a una velocidad de 50 rpm.• Sedimentar cada una de las muestras por 30 minutos.• Medir la turbiedad, color, pH y conductividad de cada una de las muestras tratadas después de los 30 minutos de sedimentación.
Resultado esperado
<ul style="list-style-type: none">• Se espera una clarificación cualitativa que pase de un agua de color marrón a un agua cristalina y la reducción de turbidez y color del 75% con las mejores dosis.

Fuente: Ortiz y Ángeles (2019).

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Datos experimentales

3.1.1. *Parámetros físico -químicos del agua purificada TESALIA*

Para medir la capacidad de clarificación de agua se preparó agua sintética turbia (ATS) a partir de agua envasada o agua purificada, se utilizó el agua de marca “TESALIA” para esto se midieron los parámetros físico químicos más importantes que influyen en el proceso de clarificación de agua como lo son pH, conductividad, temperatura, solidos disueltos y turbiedad.

Tabla 1-3: Parámetros físico-químicos del agua purificada “TESALIA”.

Parámetros	Valor
pH (Unidades de pH)	6.84
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	772.2
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	17.3
Solidos disueltos (ppm)	458.8
Turbiedad (NTU)	0.383

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

3.1.2. *Parámetros físico- químicos del Caolín*

Para la preparación del agua turbia sintética se utilizó caolín este mineral se obtuvo de la empresa PROCOMIN LTDA. El mismo que cuenta con las siguientes características que lo hacen ideal para la preparación de agua sintética turbia y ver la capacidad de clarificación de un coagulante o floculante que se desee probar:

Tabla 2-3: Parámetros físico- químicos del Caolín.

Parámetro	Valor
pH (unidades de pH)	4.8 - 5.2
Humedad (%)	2
SiO₂ (%)	58 - 63
MgO (%)	1.5
Al₂O₃ (%)	17 – 19.5
CaO (%)	3
Fe₂O₃ (%)	2.5
TiO₂ (%)	0.18

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

3.1.3. *Elaboración del extracto crudo coagulante*

En la elaboración del extracto crudo coagulante del frejol (EC) se realizó las siguientes operaciones unitarias molienda, tamizado, deslipidificación, sedimentación y filtrado en este proceso se midió el peso de la materia prima, el peso después del tamizado y el peso final del extracto crudo.

Tabla 3-3: Pesos obtenidos durante la elaboración del extracto crudo coagulante (EC).

Pesos	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4
Peso del frejol (g)	500	500	500	500
Peso del frejol después del tamizado (g)	498.445	496.124	495.806	495.725
Peso del frejol después del secado (g)	373.506	378.158	382.908	384.117

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

3.1.4. *Caracterización del extracto crudo coagulante del frejol*

3.1.4.1. *pH del extracto crudo*

La medición del pH del extracto crudo coagulante de frejol se realizó en base a la Norma (NTE INEN 2014) los datos recolectados se presentan a continuación:

Tabla 4-3: pH del extracto crudo.

Replica	pH (unidades de pH)
Réplica 1	7.52
Réplica 2	7.57
Réplica 3	7.62

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

3.1.4.2. Humedad del extracto crudo

La humedad del extracto crudo se midió pesando 2 gramos del (EC) se realizó tres replicas en la termo balanza obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5-3: Humedad del extracto crudo.

Replica	Humedad (%)
Réplica 1	13.912
Réplica 2	14.652
Réplica 3	14.969

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

3.1.4.3. Cenizas del extracto crudo

Las cenizas del extracto crudo se realizaron midiendo 1 gramo de muestra en tres crisoles en donde se hizo un promedio de los tres porcentajes los cuales se obtuvieron del cálculo con la formula expresada en la Tabla 8-2 los cuales se presentan a continuación:

Tabla 6-3: Cenizas del extracto crudo.

Crisol	Peso del crisol vacío (g)	Peso del crisol + muestra final (g)	Porcentaje de cenizas (%)
Crisol 1	22.990	23.0163	2.63
Crisol 2	25.590	25.6174	2.74
Crisol 3	27.950	27.9764	2.64

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

3.1.5. Preparación y características físico químicas del Agua sintética turbia

Para el análisis de clarificación del coagulante de poroto obtenido se prepararon 3 estándares de agua turbia sintética el primer estándar (E1) se preparó con 5 gramos de Caolín impalpable en 1000 ml de agua purificada “TESALIA” este es un estándar de turbiedad alta, el segundo estándar de turbiedad media (E2) se preparó a partir del primero en una solución (V/V) al 50% con la mitad de agua sintética de alta turbiedad y la mitad de agua purificada; el tercer estándar de turbiedad baja (E3) se preparó en una solución (V/V) al 25% con una cuarta parte de agua sintética de alta turbiedad y 3 cuartas partes de agua purificada. En todos los estándares se dio una agitación constante de una hora 2000 rpm y una hidratación del caolín de 24 horas.

Tabla 7-3: Características físico químicas de los estándares E1, E2 y E3 Agua sintética turbia.

Características físico químicas de los estándares E1, E2 y E3			
Estándar	pH (Unidades de pH)	Conductividad (μS/cm)	Turbiedad (NTU)
E1	7,64	795,0	1690
E2	7,92	799,0	846
E3	7,94	777,2	403

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

3.1.6. Preparación de las soluciones coagulantes

Para la preparación de las disoluciones coagulantes se utilizó el extracto crudo (EC) o coagulante crudo de poroto y tres distintos solventes como lo son agua destilada ultra pura (ADU), solución de NaCl 0,5 molar (SNACL 1) y una solución de NaCl al 0,25 molar (SNACL 2). Se mezcló en las tres soluciones las proporciones de (P/V) al 10% 100 gramos de extracto crudo en 1000 ml de cada una de las soluciones mencionadas.

3.1.7. Datos del test de actividad primaria o test de jarras en la evaluación de la disolución de extracto cruda más agua destilada ultra pura (EC + ADU)

En el test de actividad primaria se evaluó cada una de las disoluciones con los estándares de agua turbia sintética (E1), (E2) y (E3) con dosis de 1 ml, 2 ml, 3 ml y 5 ml de las disoluciones preparadas; se tomó en cuenta tanto los valores iniciales y finales de pH, conductividad y turbiedad del (ATS) Tabla 7-3.

Tabla 8-3: pH, conductividad, turbiedad y color en la evaluación de la disolución (EC + ADU).

pH (Unidades de pH)					
Estándar	Inicio	1ml solución	2ml solución	3ml solución	5ml solución
E1	7,64	8,03	8,05	7,95	7,93
E2	7,92	8,02	7,86	7,89	8,02
E3	7,94	8,10	8,11	8,14	8,11
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)					
Estándar	Inicio	1ml solución	2ml solución	3ml solución	5ml solución
E1	795,0	798,6	801,3	799,9	802,1
E2	799,0	802,8	809,6	811,4	816,1
E3	777,2	778,4	779,3	781,4	791,5
Turbiedad (NTU)					
Estándar	Inicio	1ml solución	2ml solución	3ml solución	5ml solución
E1	1690	9,2	8,1	15,3	29,2
E2	846	47,3	54,8	48,6	136,4
E3	403	92,7	146,2	187,9	192,9

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

3.1.8. *Datos del test de actividad primaria o test de jarras en la evaluación de la disolución de extracto cruda más solución NaCl 0,5 molar (EC + SNACL 1)*

Tabla 9-3: pH, conductividad, turbiedad y color en la evaluación de la disolución (EC + SNACL1).

pH (Unidades de pH)					
Estándar	Inicio	1ml solución	2ml solución	3ml solución	5ml solución
E1	7,64	8,09	8,10	8,05	7,93
E2	7,92	7,87	8,00	7,93	7,94
E3	7,94	8,21	8,18	8,13	8,01
Conductividad (µS/cm)					
Estándar	Inicio	1ml solución	2ml solución	3ml solución	5ml solución
E1	795,0	882,9	945,7	981,8	1187
E2	799,0	880,1	963,1	1007	1198
E3	777,2	850,5	945,9	1016	1160
Turbiedad (NTU)					
Estándar	Inicio	1ml solución	2ml solución	3ml solución	5ml solución
E1	1690	7,5	11,60	12,3	29,0
E2	846	62,8	103,8	109,2	283,0
E3	403	164,8	235,0	238,0	293,0

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

3.1.9. Datos del test de actividad primaria o test de jarras en la evaluación de la disolución de extracto cruda más solución NaCl 0,25 molar (EC + SNACL 2)

Tabla 10-3: pH, conductividad, turbiedad y color en la evaluación de la disolución (EC + SNACL2).

pH (Unidades de pH)					
Estándar	Inicio	1ml solución	2ml solución	3ml solución	5ml solución
E1	7,64	7,83	7,92	7,98	7,91
E2	7,92	8,13	8,32	8,31	8,16
E3	7,94	8,15	8,17	8,14	8,15
Conductividad (µS/cm)					
Estándar	Inicio	1ml solución	2ml solución	3ml solución	5ml solución
E1	795,0	850,4	873,6	908,4	991,0
E2	799,0	870,4	922,1	957,3	1059
E3	777,2	860,2	926,3	960,4	1060
Turbiedad (NTU)					
Estándar	Inicio	1ml solución	2ml solución	3ml solución	5ml solución
E1	1690	17,7	28,0	24,2	43,1
E2	846	69,6	64,8	118,9	310,0
E3	403	153,7	239,3	256,7	299,8

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

3.2. Resultados y discusión

3.2.1. Resultados de la efectividad y pérdida en porcentaje en el proceso de obtención del extracto crudo coagulante de poroto

Tomando en cuenta las diferentes etapas del proceso las pérdidas se dieron en el tamizado, en la deslipidificación en donde los residuos se llevaron a una extracción Soxhlet en donde se vio el porcentaje de pérdida de grasas y por ultimo las pérdidas después del secado y se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 11-3: Pérdidas por replica en la elaboración del extracto crudo.

Etapas	Replica 1 (g)	Replica 2 (g)	Replica 3 (g)	Replica 4 (g)
Tamizado	1.555	3.876	4.194	4.275
Deslipidificación	7.031	7.029	7.033	6.957
Secado	117.908	110.937	105.865	104.651

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

Tabla 12-3: Pérdidas totales de masa en el la elaboración del extracto.

Etapas	Gramos de pérdida	% pérdida del total de la muestra.
Tamizado	13,9	0.695
Deslipidificación	28,05	1.403
Secado	439,361	21,968

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

3.2.2. Análisis (ANOVA) de un solo factor de las pérdidas de peso por etapa de extracto crudo

Se realizó un análisis (ANOVA) o análisis de varianza a cada una de las etapas de proceso donde se tuvo pérdida de peso de la materia prima tamizado (1), deslipidificación (2) y secado (3) en la elaboración del extracto crudo se aplicaron 4 réplicas por lo cual aplicamos los siguientes conceptos:

Hipótesis nula (H_0) = todas las medidas son iguales

Hipótesis alterna o del investigador (H_a)= no todas las medidas son iguales

Nivel de significancia (p)= 0.05 si el valor de (p) es menor se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 13-3: Descriptivos del análisis (ANOVA) de las pérdidas por etapa.

Etap a	N	Media	Desv. Desviació n	Desv. Error	95% del intervalo de confianz a		Mínim o	Máxim o
					Límite inferior	Límite superior		
1	4	3,47500	1,291532	0,645766	1,41988	5,53012	1,555	4,275
2	4	7,01250	0,037036	0,018518	6,95357	7,07143	6,957	7,033
3	4	109,8402 5	6,028333	3,014166	100,2478 3	119,4326 7	104,65 1	117,908
Total	1 2	40,10925	51,622346	14,90208 8	7,30998	72,90852	1,555	117,908

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

Tabla 14-3: ANOVA de un factor pérdidas por etapa.

Etap	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	29199,502	2	14599,751	1152,302	0,000
Dentro de grupos	114,031	9	12,670		
Total	29313,533	11			

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

Como vemos en la Tabla 14-3 de resumen ANOVA el valor de p (Prob>F) es de 0,000 puede tomarse como evidencia de que las pérdidas de peso en cada etapa no son iguales lo que quiere decir que se rechaza la hipótesis nula y se toma la hipótesis alterna o del investigador.

El valor alto de F nos indica que la variable independiente que es el peso de la materia prima está altamente relacionada con el peso del extracto crudo coagulante obtenido o variable independiente.

3.2.3. *Análisis Post-Hoc prueba de Turkey de las pérdidas de peso por etapa*

Después de que en el análisis ANOVA se vio que hay una diferencia significativa en las perdidas por etapa, pero no se sabe que etapas están relacionadas entre sí y cuál es la etapa que difiere estadísticamente con las demás es por esto que a estos datos se le aplicaron una prueba de Turkey para conocer a detalle estas diferencias.

Tabla 15-3: Comparaciones múltiples de las pérdidas de peso por etapa.

(I) Etapa		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-3,537500	2,516950	0,378	-10,56484	3,48984
	3	-106,365250*	2,516950	0,000	-113,39259	-99,33791
2	1	3,537500	2,516950	0,378	-3,48984	10,56484
	3	-102,827750*	2,516950	0,000	-109,85509	-95,80041
3	1	106,365250*	2,516950	0,000	99,33791	113,39259
	2	102,827750*	2,516950	0,000	95,80041	109,85509

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

Tabla 16-3: Subconjuntos homogéneos de las pérdidas de peso por etapa.

Etapa	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
1	4	3,47500	
2	4	7,01250	
3	4		109,84025
Sig.		0,378	1,000

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

Analizando la Tabla 16-3 podemos concluir que las etapas 1 y 2 forman un subconjunto lo que prueba que no hay diferencias significativas entre estos procesos y la etapa tres que es el secado tiene una diferencia significativa con respecto al tamizado y deslipidificación comprobando estadísticamente que es la etapa que genera mayor pérdida de peso en la elaboración del extracto crudo coagulante de poroto con 439,361 gramos de los 2000 gramos iniciales de materia prima.

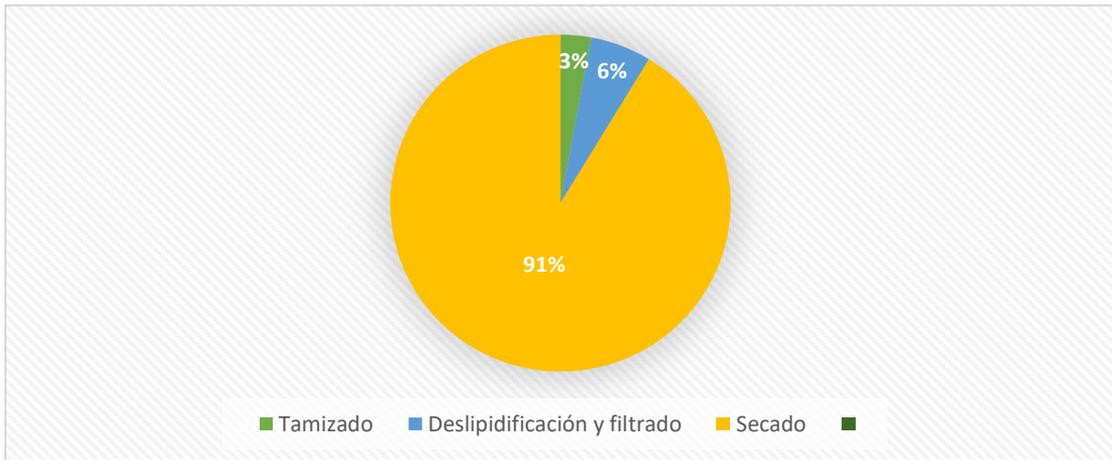


Gráfico 1-3. Porcentaje de pérdidas por etapa en la obtención del extracto curdo coagulante de poroto.

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

El porcentaje de pérdidas en la muestra total de 2000 gramos de materia prima de poroto es de 481.311 gramos o el 24,07%, el secado es en donde más pérdidas de peso tenemos con un 91%, en la deslipidificación y filtrado tenemos 6% y finalmente en donde menos pérdidas tenemos es el proceso de tamizado con 3% en donde se van quedando las partes de cascara que no se pudieron desintegrar en el proceso de molienda.

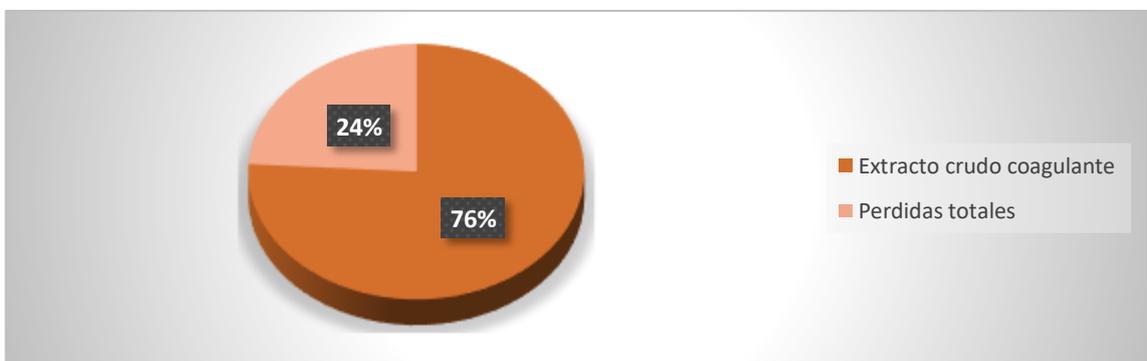


Gráfico 2-3. Porcentaje de efectividad y pérdidas en la obtención del extracto crudo coagulante.

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

Como podemos observar en el gráfico 2-3. Tenemos una efectividad de obtención del extracto crudo coagulante del 76% de los 2000 gramos de materia prima de poroto se obtuvo 1518,689 gramos de coagulante natural a base de frejol arbustivo o poroto teniendo un porcentaje favorable para la posterior utilización en las distintas disoluciones preparadas para la evaluación de clarificación.

En la obtención del componente activo del frejol se utilizó una deslipidificación mediante etanol al 96% con una disolución en (P/V) al 10 % que se llevó a un mezclado constante de 2000 rpm a diferencia de lo que propone la autora García (2007, p. 42) en su investigación “Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial aplicación en países en vías de desarrollo” que propone utilizar para el proceso de deslipidificación una disolución al 5 % (P/V) de los sólidos secos de la materia prima que se desee transformar en coagulante con etanol al 65 % ; al realizar el proceso de deslipidificación con la disolución de Etanol al 96% y solidos secos al 10% se tuvo que la cantidad de grasa que se extrajo del total de la masa de la materia prima está en el 1,403 % (Tabla 2-1) según la bibliografía revisada el porcentaje de grasas del frejol (*Phaseolus vulgaris L.*) es de 1.48 ± 0.08 % lo que quiere decir que se extrajo las grasas de la materia prima en su totalidad.

3.2.4. Resultados de la caracterización físico-química del extracto crudo coagulante

En el análisis de las características físico químicas de extracto crudo coagulante del frejol arbustivo se tomaron en cuenta las características más importantes que influyen en la capacidad de clarificación o actividad coagulante del componente se obtuvo un polvo de color blanquecino al cual se le evaluó el pH, solubilidad, cenizas, proteínas y carbohidratos estas últimas estructuras químicas son las que dan la capacidad de reducción de turbidez.

Tabla 17-3: Características-físico químicas del extracto crudo coagulante de frejol.

Característica	Valor
pH (Unidades de pH)	7.37
Solubilidad	Soluble
Color	Blanco
Estado físico	Solido
Proteínas (%)	17.85
Carbohidratos (%)	62.16
Fibra (%)	2.81
Cenizas (%)	2.67
Humedad (%)	14.51

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

Para la caracterización según el autor Guzmán et al. (2013) en su revisión de las alternativas de coagulantes expresa que para que una materia prima sea esta de tipo animal o vegetal pueda ser óptima para realizar un coagulante debe contener un alto porcentaje de carbohidratos y proteínas son estas biomoléculas las que dan la capacidad de remoción de turbidez, la caracterización del extracto crudo coagulante (EC) el cual no contiene grasas tiene un porcentaje de proteínas del 17.85% y de carbohidratos del 62.16% el contenido de estas biomoléculas es óptimo teniendo el 80.01 % de contenido del total de la masa de este extracto. El pH dentro de los coagulantes polimerizados(catiónicos/aniónicos) oscila entre los rangos óptimos de funcionamiento de 5.00-9.00 según el autor Cogollo (2011, p. 22) el pH obtenido del extracto crudo es de 7.37 dentro del rango estimado.

3.2.5. Resultados de la actividad de coagulación de las disoluciones evaluadas

La actividad de coagulación está directamente relacionada con la remoción de la turbidez para realizar este cálculo se tiene la siguiente formula.

$$AC(\%) = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100$$

Ec. (1-3)

En donde:

T_i= Turbiedad inicial

T_f = Turbiedad final

AC = Actividad de coagulación.

Las dosis optimas de coagulante son las que tienen un mayor porcentaje de actividad de coagulación, esto quiere decir que la dosis que tengas los valores finales más bajos de turbiedad después del test de jarras tendrá una mayor capacidad de remoción y coagulación.

En el grafico 3-3. veremos las dosis optimas de las tres disoluciones coagulantes utilizadas de extracto crudo y los disolventes (ADU), (SNACL 1) y (SNACL 2) con respecto a los estándares de agua sintética turbia (E1), (E2) y (E3).

Tabla 18-3: Dosis óptimas de las disoluciones coagulantes evaluadas.

Dosis óptimas en los estándares de agua turbia sintética						
Disoluciones	Dosis optima E1 (ml)	Actividad de coagulación (%)	Dosis optima E2 (ml)	Actividad de coagulación (%)	Dosis optima E3 (ml)	Actividad de coagulación (%)
EC + ADU	2 ml	99,52	1 ml	94,41	1 ml	77,00
EC + SNACL 1	1 ml	99,56	1 ml	92,53	1 ml	59,11
EC + SNACL 2	1 ml	98,95	1 ml	91,77	1 ml	61,86

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

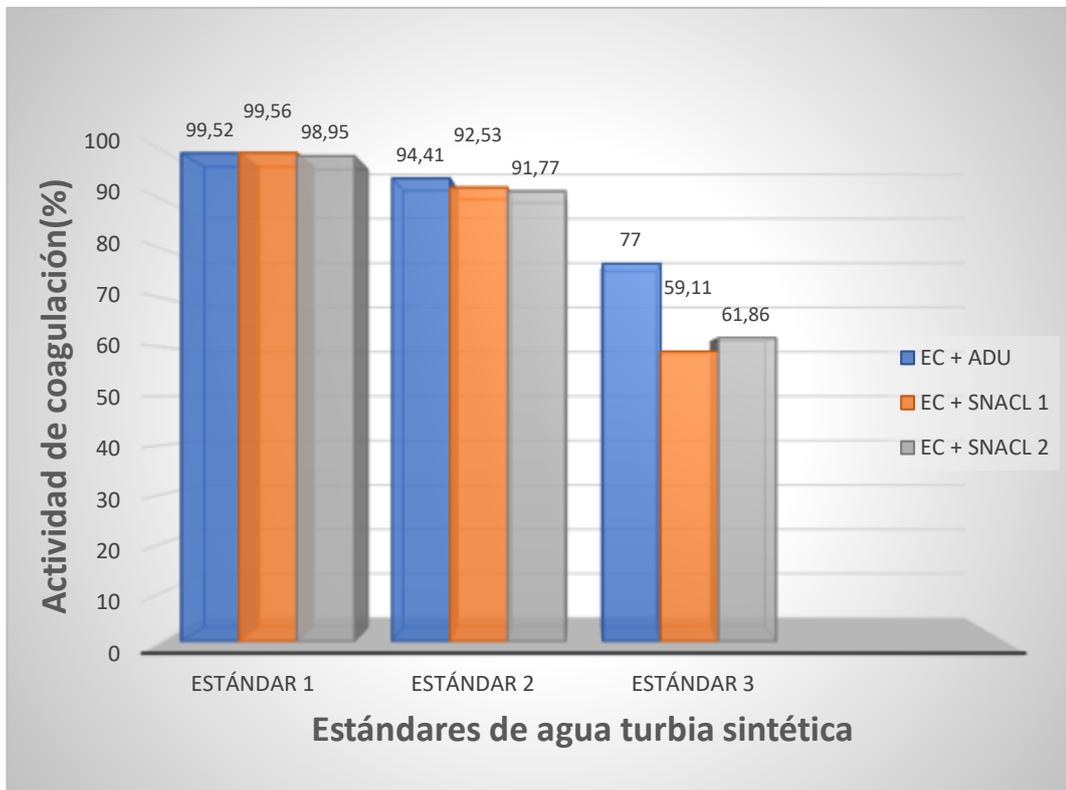


Gráfico 3-3. Actividad de coagulación de las disoluciones evaluadas.

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

En el gráfico 3-3. podemos observar que para el (E1) de agua sintética de turbiedad alta 1690 NTU la disolución que tuvo una mayor actividad coagulante o capacidad de remoción de turbiedad es la disolución (EC + SNACL 1) del extracto crudo coagulante y la solución de NaCl al 0,5 molar con un 99,56% de remoción y una dosis optima de 1ml ; en el (E2) de turbiedad media 846 NTU la disolución que tuvo mayor actividad coagulante es (EC + ADU) compuesta

de extracto crudo coagulante y agua destilada ultra pura con un 94,41% de remoción y una dosis optima de 1ml ; finalmente el (E3) de turbiedad baja 403 NTU la disolución que tuvo mejor capacidad coagulante es (EC + ADU) con un 77% de remoción y una dosis optima de 1ml.

Como vemos en dos de las tres disoluciones con mayor capacidad de remoción se utiliza como disolvente el agua destilada ultra pura a diferencia del autor Antov et al. (2007) que utiliza como único solvente para evaluación de actividad coagulante el cloruro de sodio NaCl en concentraciones 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75 y 2 mol/l otra diferencia es las concentraciones de NaCl en donde en esta investigación se tomó en cuenta solo dos concentraciones de 0,25 y 0,5 molar Antov et al. (2007) con una disolución de extracto crudo y NaCl 0.5 molar obtuvo una reducción de la turbidez máxima del 40 % con un agua turbia sintética de 35-100 NTU turbiedad baja vemos que no tiene una alta capacidad de reducción de turbiedad esto se debe principalmente a que Antov en el tratamiento de la materia prima el frejol o poroto arbustivo no realiza una deslipidificación simplemente se evalúa como extracto crudo a el polvo obtenido de una molienda y evaluación en solución de NaCl, las grasas impiden que se dé una correcta actividad de coagulación y aunque tenemos una gran cantidad de proteínas y carbohidratos no existe una interacción por esta interferente antes mencionado en una posterior investigación Antov, Šćiban y Petrović (2010, p. 2170) realizan una purificación de la proteína mediante el método de cromatografía de extracto dializado obteniendo para las mismas características de agua turbia sintética de 35-100 NTU una reducción de la turbidez del 72,3% si lo comparamos con la reducción de turbidez de la disolución y dosis optima de nuestro (E3) de turbiedad baja que es de 77% vemos que la deslipidificación es un factor indispensable para el tratamiento del extracto crudo que se evaluara posteriormente con las soluciones que se desee probar.

3.2.6. Resultados de pH y conductividad del agua sintética tratada con las disoluciones coagulantes con mayor capacidad de remoción de turbiedad

Después de obtener las dosis optimas y mejores disoluciones en el tratamiento o clarificación de los estándares de agua sintética turbia se vio las características que también están relacionadas en la adición de coagulante a una muestra de agua turbia, en el pH se tomó como valores de referencia los establecidos en la norma NTE INEN 1108 “Requisitos del agua potable” en donde el límite permisible para uso y consumo humano es de 7 – 8,5 y en la conductividad se tomó como referencia el valor de conductividad del agua purificada “TESALIA” que se utilizó para la preparación de los estándares de agua turbia sintética con un valor 772.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabla 19-3: pH y conductividad del agua sintética tratada con las disoluciones óptimas.

Disolución y estándar.	Dosis óptima (ml)	pH (unidades de pH)	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)
(EC+ SNACL 1) en (E1)	1	8.09	882,9
(EC+ADU) en (E2)	1	8,02	802,8
(EC+ ADU) en (E3)	1	8,10	778,4

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

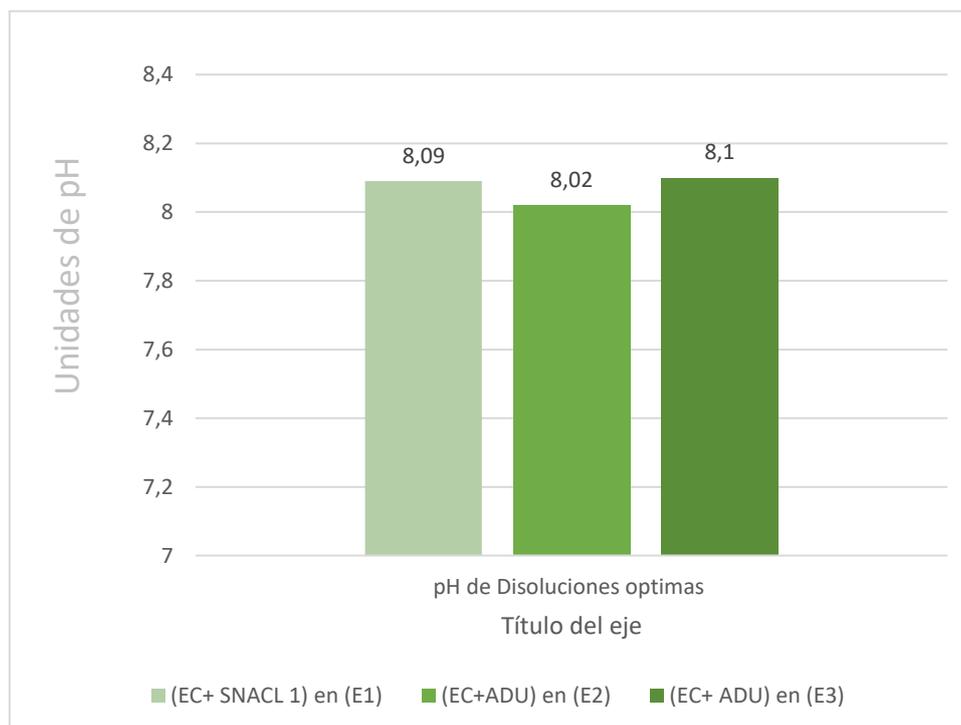


Gráfico 4-3. Valores de pH del agua sintética tratada con las disoluciones óptimas.

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

Como vemos en el gráfico 4-3 el pH de las disoluciones con mayor capacidad de remoción cumple con los límites permisibles de la norma INEN 1108 notamos con respecto a los pH iniciales de los estándares de agua turbia sintética existe un aumento del mismo en los tres casos esto se debe a la característica catiónica del extracto crudo coagulante la disolución que provocó un mayor aumento de pH es la de (EC + ADU) en el estándar 3 (E3) de agua turbia sintética pasando de un pH inicial de 7,94 a un pH de 8,10.

El pH en el agua es un factor de suma importancia tanto en las condiciones iniciales de agua cruda que se desea tratar, así como también del agua después del tratamiento de dosificación de los agentes químicos de clarificación como lo son los coagulantes y floculantes en este caso podemos ver que no fue necesario tener un ajuste inicial de pH del agua cruda debido a que estaba en los límites permisibles de 7,5 – 8,5 en el estudio del frejol como agente coagulante a

diferencia de García (2007) que a lo largo de su investigación solo tomo en cuenta como factor indispensable la actividad de coagulación y la capacidad de sedimentación de cada una de las semillas, hojas y granos analizados vemos que el extracto crudo coagulante (EC) de frejol arbustivo o poroto (*Phaseolus vulgaris l.*) en todas sus dosis y disoluciones optimas tiende a aumentar el valor de pH.

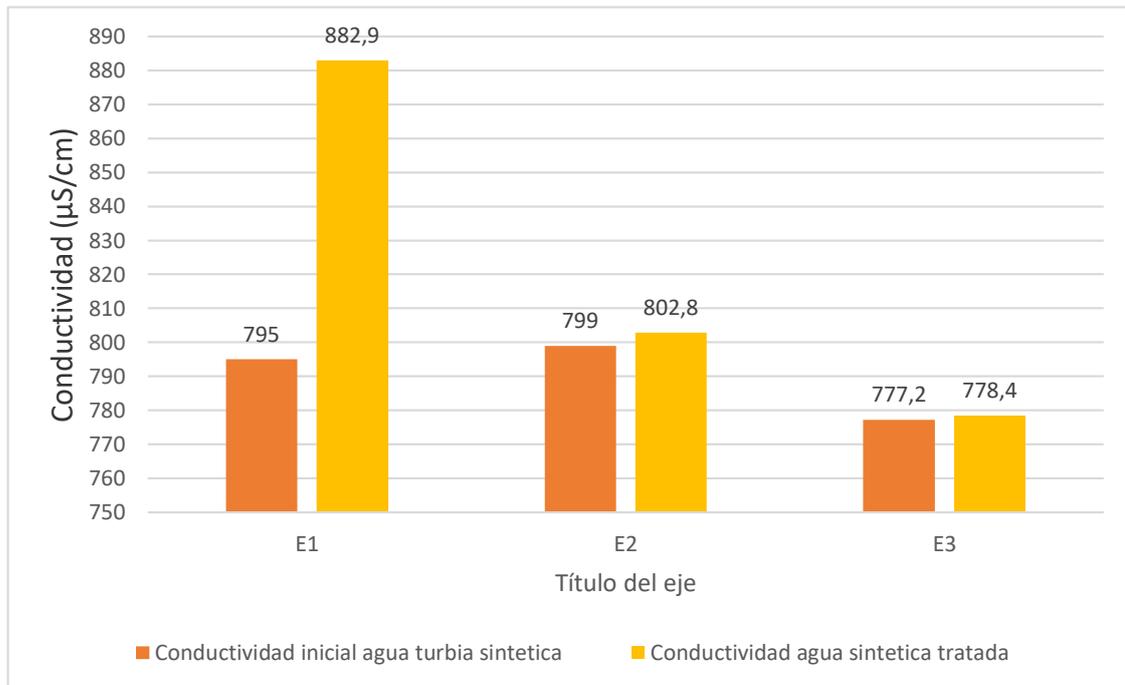


Gráfico 5-3. Conductividad del agua turbia sintética y el agua sintética tratada.

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

La disolución de (EC + SNACL 1) que tuvo el mejor porcentaje de actividad coagulante en (E1) produjo una mayor variación de la conductividad pasando de una conductividad de 795 µS/cm a una conductividad de 882,9 µS/cm, en los otros estándares la disolución de (EC + ADU) tuvieron una variación en (E2) de 799 µS/cm a 802,8 µS/cm y en (E3) de 777,2 µS/cm a 778,4 µS/cm.

Como expresa Guzmán et al. (2013, p. 259) en su revisión de los agentes naturales que se han usado para la reducción de turbidez o clarificación el coagulante de Fríjol común (*Phaseolus vulgaris l.*) es coagulante de características iónicas específicamente se lo clasifica como un coagulante de tipo catiónico esto se comprueba por el comportamiento expresado en cada uno de los estándares de agua sintética turbia que en sus disoluciones optimas presentan un aumento de la conductividad esto se debe al tipo de interacción catiónica con la que cuenta nuestro extracto crudo natural; vemos que la disolución de (EC + SNACL 1) disolución óptima para el tratamiento del (E1) tiene el mayor aumento de la conductividad debido a que se está usando como solución el cloruro de sodio que aporta cationes sodio Na. Teniendo en cuenta que se

desea que la variación de conductividad sea mínima con respecto al del agua pura utilizada 772.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 1-3) es por esto que se puede utilizar la disolución (EC + ADU) que tuvo una eficiencia de remoción o actividad coagulante de 99,52 % con una dosis optima de 2ml de disolución preparada (Tabla 15-3) para el tratamiento del (E1) de turbiedad alta.

3.3. Prueba de hipótesis

3.3.1. Prueba hipótesis general

Se ha comprobado que es posible obtener un coagulante catiónico a partir de frejol arbustivo o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) con características similares a las de un coagulante de tipo catiónico inorgánico haciendo uso del etanol como solvente para la deslipidificación que mediante la ejecución del test de jarras se probó la funcionalidad en la capacidad de clarificación o reducción de turbidez.

3.3.2. Prueba hipótesis específica 1

En esta investigación se obtuvo un 76% de extracto crudo coagulante (EC) con respecto a la materia prima inicial procesada (Gráfico 2-3) mediante la deslipidificación utilizando como solvente el etanol al 96% el mismo que ayudo a mantener los componentes activos como lo son las proteínas y carbohidratos mismos que dieron la capacidad de clarificación o reducción de turbiedad al extracto obtenido a partir del frejol arbustivo.

3.3.3. Prueba hipótesis específica 2

De acuerdo a la Tabla 8-3. Los resultados cuantitativos obtenidos en el análisis físico- químico tales como los porcentajes de carbohidratos y proteínas cumplen los rangos establecidos óptimos teniendo un porcentaje total de la masa de extracto crudo (EC) del 80.01%, también un pH de 7.37 que cumple el rango establecido siendo estas las condiciones favorables para que el extracto de poroto cumpla con la capacidad de reducción de turbidez o actividad de coagulación.

Tabla 20-3: Características químicas del coagulante de frejol.

Resultados	Características		
	pH (Unidades de pH)	Proteína (%)	Carbohidratos (%)
Resultado esperado	5,00-9,00	15,00-20-00 %	55,00-65,00%
Resultado obtenido	7,37	17.85%	62,16%

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

3.3.4. Prueba hipótesis específica 3

Dentro de la evaluación de clarificación de agua o test de jarras tuvimos resultados favorables en cada uno de los estándares de agua turbia sintética con turbiedades alta, media y baja con las disoluciones y dosis óptimas para cada uno de estos estándares con una actividad de coagulación o remoción de turbidez de 99.56%, 94.41% y 77.00% (Gráfico 6-3) como mejores resultados respectivamente cumpliendo con los resultados esperados de remoción de turbidez del 75 %.

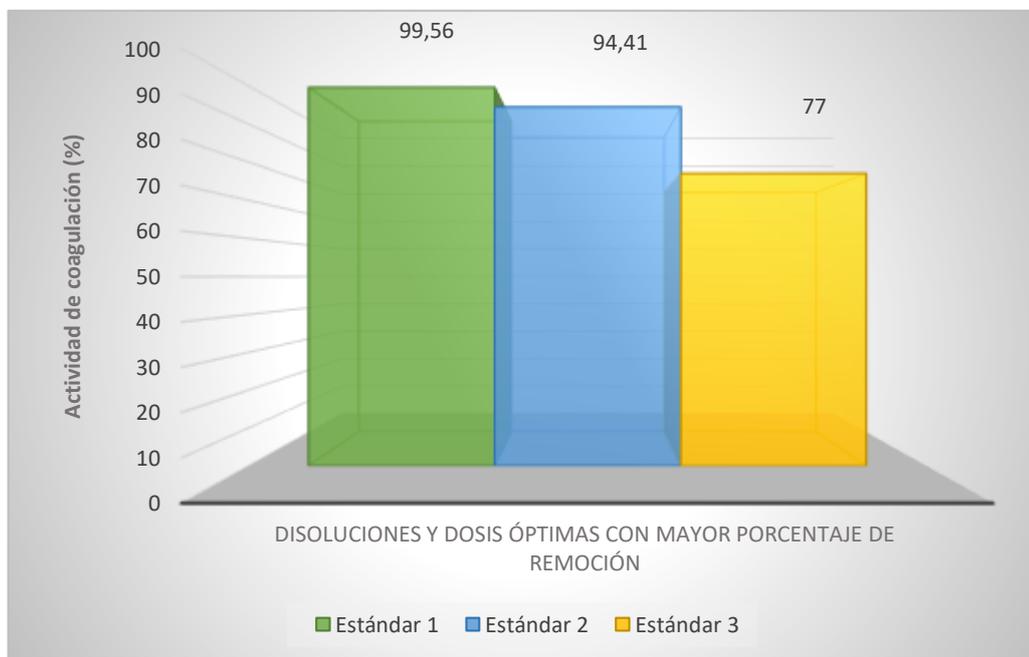


Gráfico 6-3. Disoluciones con mayor actividad de coagulación.

Realizado por: Osorio, Juan, 2021.

CONCLUSIONES

- Se obtuvo un coagulante catiónico a partir del frejol arbustivo o poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) como materia prima de partida el mismo que cuenta con las características físico-químicas ideales para que tenga un efecto de clarificación o remoción de turbidez en el agua.
- Se obtuvo un coagulante catiónico del frejol por medio del proceso de deslipidificación en donde se aplicó como solvente el etanol al 96 % con un mezclado o agitación constante de 2000 rpm en una disolución del 10% (P/V), este proceso nos permitió tener un porcentaje de eliminación de las grasas presentes en el poroto de 1,403 %, a través de este tratamiento de deslipidificación se logró un rendimiento con respecto a la materia prima del 76% de los de los 2kg de poroto que se utilizó se obtuvo 1518,69 gramos de extracto crudo coagulante (EC) que posteriormente se preparó en distintas disoluciones para su evaluación de capacidad clarificación.
- Se determinó que las características físico-químicas son las ideales para considerar al extracto crudo coagulante de frejol (EC) como un coagulante catiónico para el tratamiento de clarificación de agua teniendo como resultado un compuesto sólido de color blanquecino soluble, dentro de las características químicas más importantes tenemos que el pH del extracto fue de 7,32 cumpliendo con el valor estimado para los coagulantes poliméricos de interacción iónica, el porcentaje de proteínas de el extracto crudo dio un 17.85% y el porcentaje de carbohidratos dio un 62.16% estas características nos permiten decir que el extracto crudo coagulante de frejol es funcional para el tratamiento de clarificación de agua.
- Se evaluó la capacidad de clarificación de agua de este coagulante con respecto a tres estándares de agua turbia sintética preparada con caolín de turbiedad alta (E1), media (E2) y baja (E3) por medio del test de actividad primario o test de jarras, para este proceso se prepararon tres disoluciones a evaluar con el extracto crudo (EC) con los disolventes agua destilada ultra pura (ADU) y soluciones de cloruro de sodio NaCl al 0,5 y 0,25 Molar (SNACL 1) y (SNACL 2) cada una de estas disoluciones fue evaluada en los estándares preparados con dosis de 1,2,3 y 5 mililitros. Aquí se determinó que para él (E1) la disolución óptima fue (EC + SNACL 1) con una dosis óptima de 1ml teniendo una remoción de turbidez del 99.56%; un pH de 8.09 y una conductividad de 882,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ del agua tratada. Para el (E2) la disolución óptima fue (EC + ADU) con una dosis óptima de 1ml teniendo una remoción de turbidez del 94.41%; un pH de 8.02 y una conductividad de 802,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ del agua tratada. Finalmente, para el (E3) la disolución óptima fue (EC + ADU) con una dosis óptima de 1ml teniendo una remoción de turbidez del 77.00%; un pH de 8.10 y una conductividad de 778,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ del agua tratada. Los porcentajes de actividad de coagulación fueron superiores al 75% en los tres estándares con sus dosis y disoluciones

óptimas determinando que el extracto crudo coagulante tiene un mejor funcionamiento en disolución con agua destilada ultra pura (ADU) que es la disolución con una menor variación de pH y conductividad, en los tres estándares se observó que después del tratamiento se mantuvo los rangos establecidos en la norma INEN: 1108.

RECOMENDACIONES

- En el proceso de deslipidificación se recomienda guardar la mezcla de etanol y grasas después del proceso de mezclado para aplicar una recuperación del etanol mediante una extracción Soxhlet lo cual nos permitirá reducir costos al momento de obtener el extracto crudo coagulante.
- En la evaluación de la actividad primaria o test de jarras utilizar como disolvente agua destilada ultra pura únicamente ya que tiene un fácil acceso y su costo es menor que las soluciones de NaCl para el tratamiento de agua con cualquier valor de turbiedad, también en posteriores investigaciones se debería probar las disoluciones en distintas dosis inferiores a 1ml que fue la de mayor efectividad de remoción de turbiedad y comprobar si con dosis menores su efectividad puede aumentar.
- En futuras investigaciones se recomienda probar la funcionalidad de este coagulante catiónico de poroto con agua proveniente de fuentes naturales, también mezclar distintos tipos de semillas y granos para medir si tiene una mayor eficiencia en el proceso de reducción de turbidez de agua.

BIBLIOGRAFÍA

ANTOV, M.G., ŠĆIBAN, M.B., ADAMOVIĆ, S.R. y KLAŠNJA, M.T. "Investigation of isolation conditions and ion-exchange purification of protein coagulation components from common bean seed". *Acta Periódica Tecnológica* [en línea], 2007, 38, pp. 3-10. [Consulta: 2021-08-24]. ISSN 14507188. Disponible en: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1450-7188/2007/1450-71880738003A.pdf>

ANTOV, M.G., ŠĆIBAN, M.B. y PETROVIĆ, N.J. "Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for potential application in water turbidity removal". *Bioresource Technology* [en línea], 2010, 101(7), pp. 2167-2172. [Consulta: 2021-08-24]. ISSN 09608524. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852409015247>

AVALOS, E. Utilización del frijol *Phaseolus vulgaris* como fuente proteica en dietas para el camarón *Litopenaeus vannamei* [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, 2001. [Consulta: 2021-08-24] Disponible en: <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080124342.PDF>

COGOLLO, J. "Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del hidroxiclورو de aluminio". *DYNA* [en línea], 2011, (Colombia) 78(165), pp. 18-27. [Consulta: 2021-08-24]. ISSN 0012-7353. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8736/juanmiguelcogollo.2011.pdf?sequence=1>

FERNÁNDEZ, A. y CHÁVEZ, E. "Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México" *Revista Electrónica Nova Scientia* [en línea], 2017, 9(1), pp. 133-148. [Consulta: 2021-08-24]. ISSN 2007-0705. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v9n18/2007-0705-ns-9-18-00133.pdf>

FÚQUENE, D. y YATE, A. "Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales". *Working papers ECAPMA* [en línea], 2018, 1(1), pp. 1-7. [Consulta: 2021-08-24]. Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771/2857>

GARCÍA, B. Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Valencia, 2007, pp. 1-121. [Consulta: 2021-08-24]. Disponible en:

https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12458/Tesis%20de%20Master_BEATRIZ%20GARCIA%20FAYOS.pdf?sequence=1.

GÓMEZ, Anna; et al. “La calidad sanitaria del agua de consumo”. *Gac Sanit* [en línea], 2016, 30(S1), pp. 63-68. [Consulta: 2021-08-24]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309876919_La_calidad_sanitaria_del_agua_de_consumo

GUZMÁN, L., VILLABONA, Á., TEJADA, C. y GARCÍA, R., “Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión”. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* [en línea], 2013, 16(1), pp. 253-262. [Consulta: 2021-08-24]. ISSN 01234226. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100029

HACH. “Manual de análisis de agua: Procedimientos Fotométricos, de titulación y microbiológicos de HACH Company” [en línea], 2000, 3(970), pp. 220. [Consulta: 2021-08-24]. Disponible en: <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984469>.

HACH. “Manual del Usuario rio Manual del Usuario Sonda de conductividad: Modelos CDC40101, CDC40103, CDC40105, CDC40110, CDC40115 o CDC40130” [en línea], 2004, 477, pp. 1-43. [Consulta: 2021-08-24]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/276174061/Manual-Sonda-Conductividad-HACH-CDC>

IDROVO, C. Optimización de la planta de tratamiento de Uchupucun [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Cuenca, Ecuador, 2010. [Consulta: 2021-08-24]. Disponible en: https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UCUENCA_db2b03e69fb6cfde9198aaf472dfe34a

INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). *Agua potable requisitos NTE INEN 1108:2014.* [Consulta: 2021-08-24]. Disponible en: <https://sut.trabajo.gob.ec/publico/Normativa%20T%C3%A9cnica%20INEN/NTE%20INEN%201108%20-%20AGUA%20POTABLE.%20REQUISITOS.pdf>

OCHOA, E. Evaluación agronómica de 120 cultivares de fréjol arbustivo *Phaseolus vulgaris* L. en la zona de Taura, provincia del Guayas [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Guayaquil, 2013. [Consulta: 2021-08-24] Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/3501>

ORTIZ, L. y ÁNGELES, M. Prueba de jarras (jar test) [en línea]. Universidad Autónoma de Zacatecas, 2019. [Consulta: 2021-08-24]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/335826360_Prueba_de_jarras_jar_test

MURILLO, S., GALVIS, G. y PACHECO, I. *Manual técnico para la elaboración de coagulantes/floculantes a partir de productos naturales* [en línea]. Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, 2020. [Consulta: 2021-08-24]. ISBN: 978-958-15-0561-6. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/344166357_MANUAL_TECNICO_PARA_LA_ELABORACION_DE_COAGULANTES_FLOCULANTES_A_PARTIR_DE_PRODUCTOS_NATURALES

SIERRA, C. *Calidad de agua: Evaluación y diagnóstico* [en línea]. Colombia: Universidad de Medellín, 2011. [Consulta: 2021-08-24]. ISBN 978-958-8692-06-7. Disponible en: <https://truetiger.info/ingenieria-ambiental/calidad-del-agua-evaluacion-y-diagnostico-carlos-alberto-sierra-ramirez>

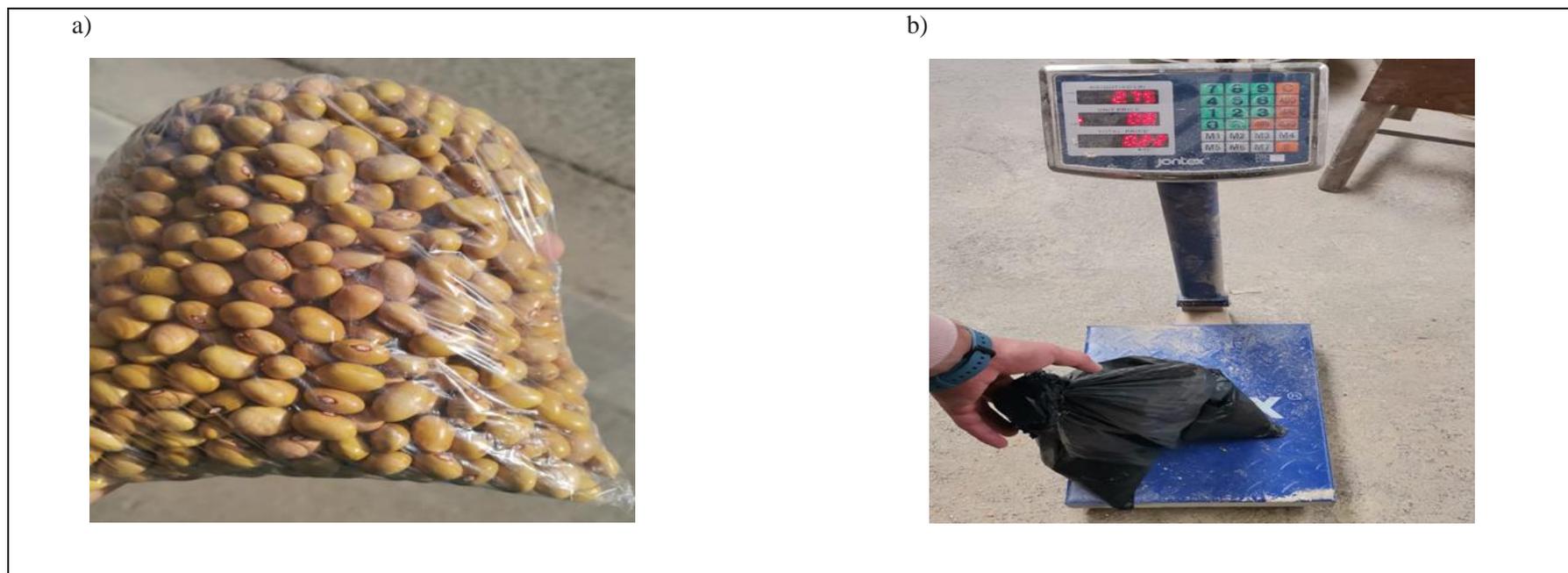
MEDINA, C. Aplicación de polímeros naturales en el tratamiento de aguas residuales domésticas [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Central del Ecuador, 2018, pp. 1-73. [Consulta: 2021-08-24]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15053/1/T-UCE-0012-066-2018.pdf>

PERALTA, F., MALDONADO, E. y CENTENO, M. *Manual de prácticas de los laboratorios de alimentos. Microbiología* [en línea]. México: Universidad Juárez Autónoma De Tabasco, 2019, pp. 1-45. [Consulta: 2021-08-24]. Disponible en: https://archivos.ujat.mx/2015/div_rios/MP-DAMR-LMI-R01.pdf

VARGAS, M. y ROMERO, L. Desarrollo de Coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en países en desarrollo [en línea] (Informe de proyecto de investigación). Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2010, pp. 1-162. [Consulta: 2021-08-24]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5784>

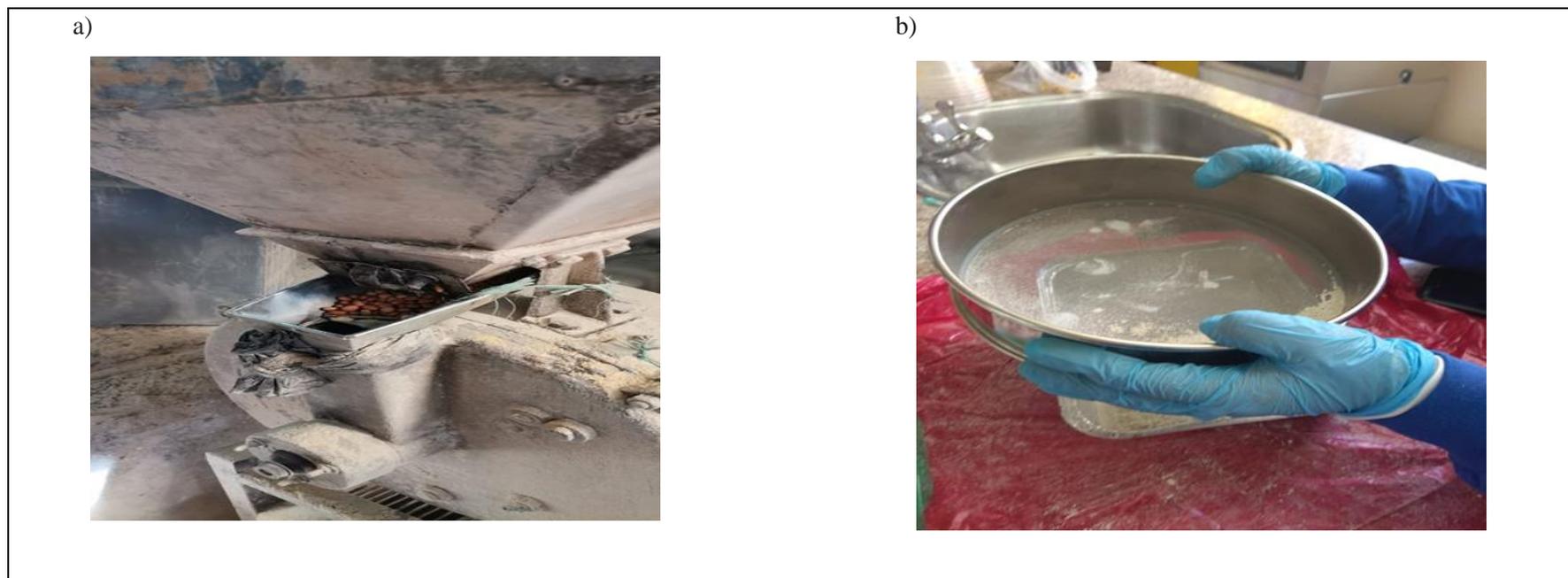
ANEXOS

ANEXO A: SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.



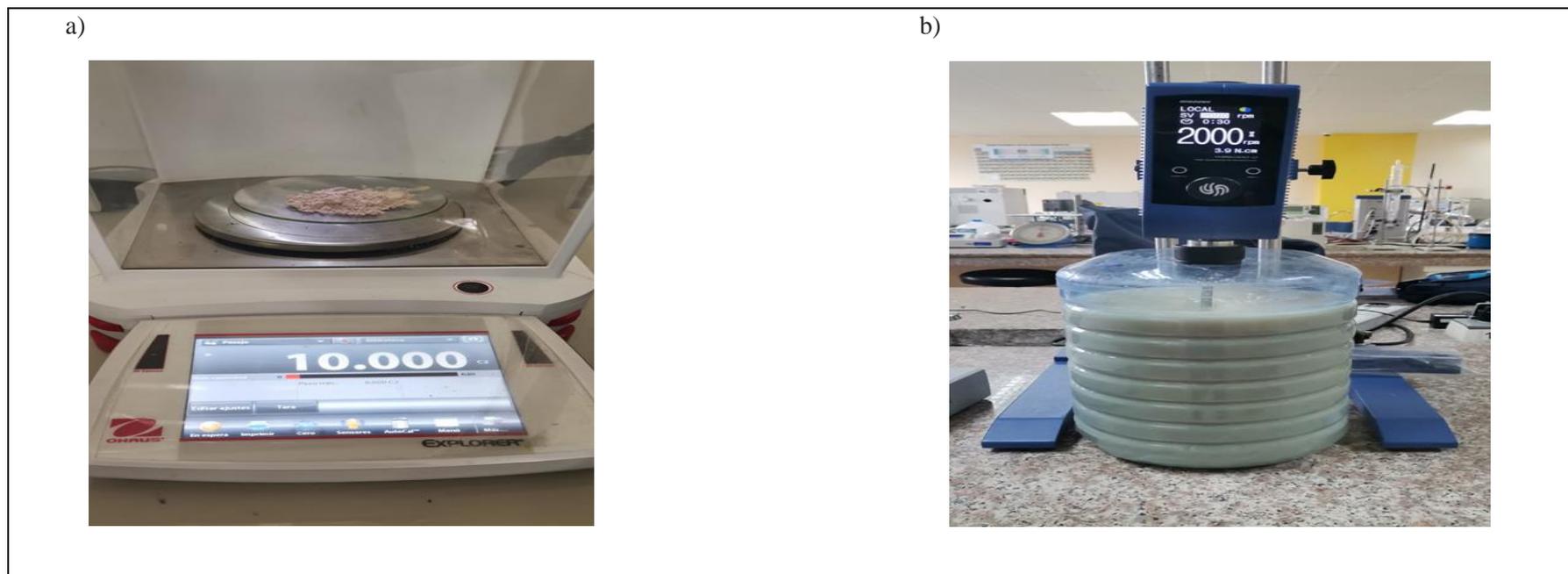
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Juan Fernando Osorio Portilla </p>	SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA		
a) Selección del frejol seco. b) Pesaje de la materia prima	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2022/4/1

ANEXO B: MOLIENDA Y TAMIZADO DE LA MATERIA PRIMA.



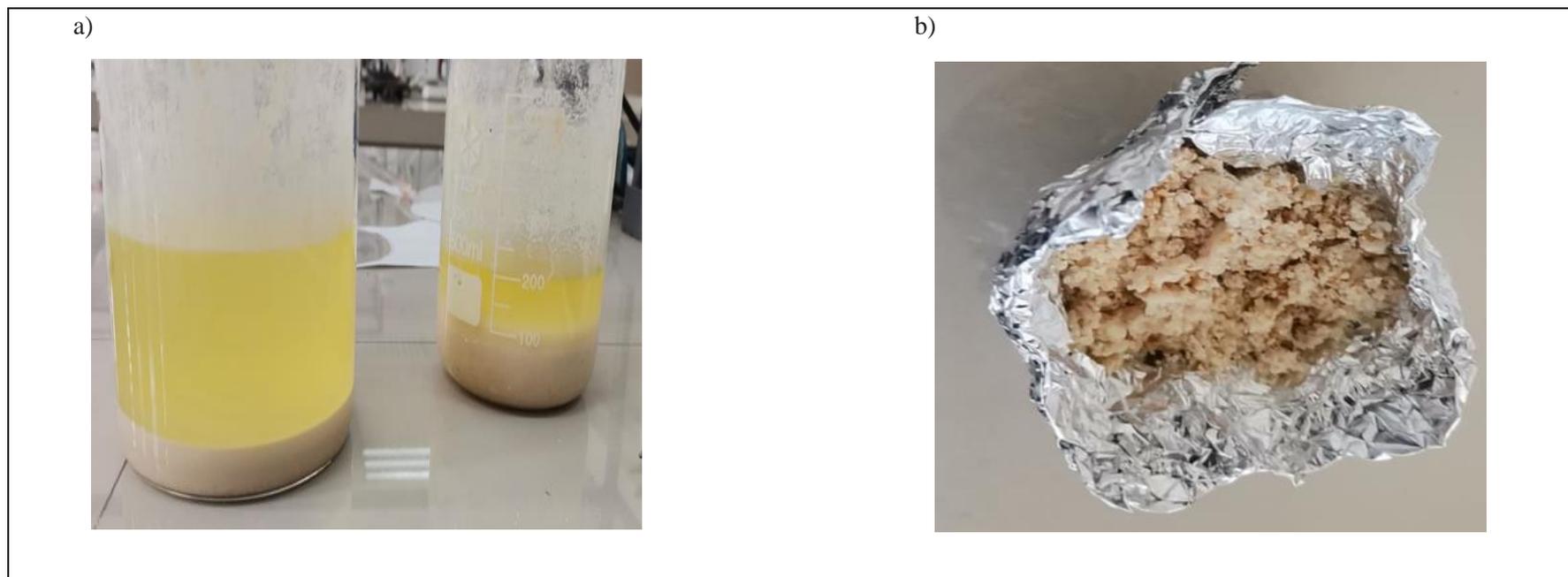
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Juan Fernando Osorio Portilla	MOLIENDA Y TAMIZADO DE LA MATERIA PRIMA		
a) Molienda de la materia prima en un molino de aspas industrial.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
b) Tamizado con un colador luz de malla 0,05 mm.	<input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		2	1:1	2022/4/1

ANEXO C: PROCESO DE DESLIPIDIFICACIÓN DEL FREJOL.



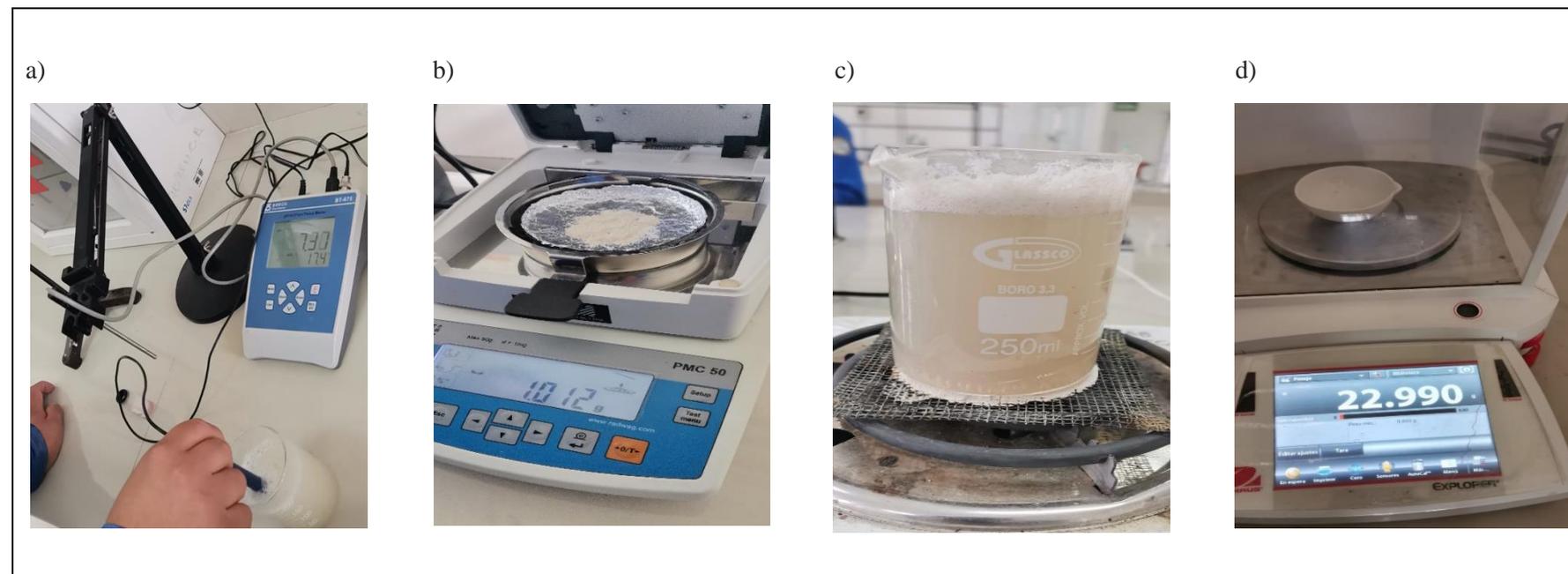
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Juan Fernando Osorio Portilla </p>	<p align="center"> PROCESO DE DESLIPIDIFICACIÓN DEL FREJOL </p>		
<p>a) Pesaje de la materia prima molida y tamizada.</p> <p>b) Mezclado a 2000 rpm de la solución de etanol y frejol.</p>	<p> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar </p>		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			3	1:1	2022/4/1

ANEXO D: SEDIMENTACIÓN Y FILTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE ETANOL Y POLVO DE FREJOL.



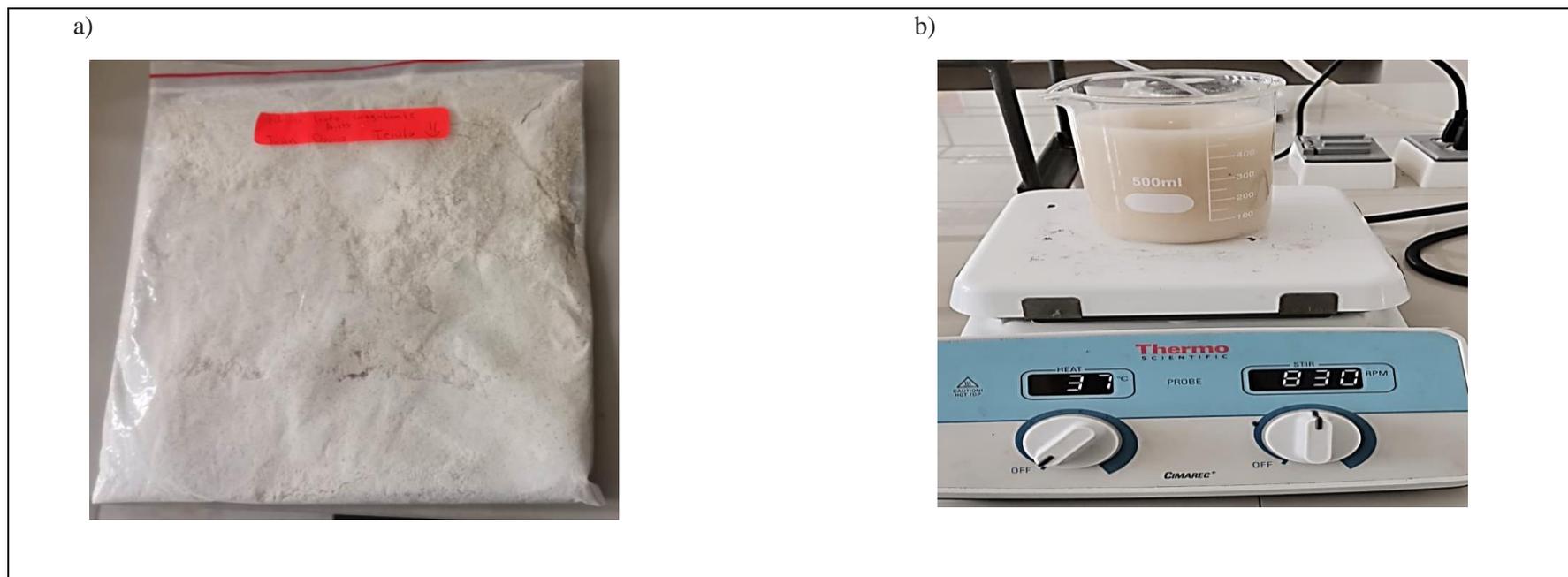
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Juan Fernando Osorio Portilla	SEDIMENTACIÓN Y FILTRACIÓN DE SOLUCIONES		
a) Sedimentación del extracto crudo coagulante.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
b) Extracto crudo coagulante después del filtrado.			4	1:1	2022/4/1

ANEXO E: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL EXTRACTO CRUDO COAGULANTE.



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Juan Fernando Osorio Portilla	CARACTERIZACIÓN FÍSICO- QUÍMICA DEL EXTRACTO CRUDO COAGULANTE		
a) pH del extracto crudo coagulante	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
b) Prueba de humedad.			5	1:1	2022/4/1
c) Prueba solubilidad del extracto crudo coagulante.					
d) Peso Crisol 1.					

ANEXO F: PREPARACIÓN DE LAS DISOLUCIONES CON EL EXTRACTO CRUDO COAGULANTE.



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Juan Fernando Osorio Portilla	PREPARACIÓN DE LAS DISOLUCIONES		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Extracto crudo coagulante almacenado.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar				
b) Preparación de la disolución (EC + ADU).			6	1:1	2022/4/1

ANEXO G: EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE.

<p>a)</p> 	<p>b)</p> 				
<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Juan Fernando Osorio Portilla</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE</p>		
<p>a) Test de jarras estándar (E1) con la disolución (EC + ADU).</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</p>		<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
<p>b) Resultado test de jarras del estándar (E1) con la disolución (EC + ADU).</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar</p>		<p>7</p>	<p>1:1</p>	<p>2022/4/1</p>



c)



d)

NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Juan Fernando Osorio Portilla	EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE		
c) pH disolución y dosis optima (EC +ADU) en (E2	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
d) pH disolución y dosis optima (EC +ADU) en (E3).	<input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		8	1:1	2022/4/1

e)



f)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Juan Fernando Osorio Portilla	EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE.		
e) Turbiedad del estándar (E3). f) Turbiedad de la disolución y dosis optima (EC +ADU) en (E3).	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			9	1:1	2022/4/1

ANEXO H: PORCENTAJE DE PROTEÍNAS Y FIBRA DEL EXTRACTO CRUDO COAGULANTE.



INFORME DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Fecha: 12 de Agosto del 2021

Análisis solicitado por: Sr. Juan Fernando Osorio Portilla

Tipo de muestras: Coagulante de frejol arbustivo o poroto (*Phaseolus vulgaris L.*)

Localidad: Riobamba

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Resultados
Proteína Bruta	%	17.85
Fibra	%	2.81

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta sólo a la muestra analizada.

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contáctanos: 0998580374 032 942 322
Saqmic Laboratorio
Riobamba - Ecuador





epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

*UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL*

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 26 / 05 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Juan Fernando Osorio Portilla
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.




0889-DBRA-UTP-2022