

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



TESIS

**“Obtención de Policloruro de Aluminio a Partir de Bentonita, del
Distrito de Soccos (Ampuqasa) Ayacucho -2021”**

PRESENTADO POR:

Bach. Luis Angel QUIJANO RAMIREZ

Para optar el título profesional de:

INGENIERO QUÍMICO

ASESOR:

Mg. Aníbal Pablo GARCÍA BENDEZÚ

AYACUCHO - PERÚ

2023

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y la oportunidad de crecer profesionalmente.

A mis padres y mis hermanos gracias a sus consejos supieron guiarme por el camino correcto y ser perseverante con mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Dios por darme salud y seguir mi sendero.

A mi alma mater y cuna de la enseñanza, la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga por haberme brindado la oportunidad de estudiar en sus aulas y poder convertirme en un agente de cambio.

A la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Química y a los ingenieros que lo conforman por sus grandes enseñanzas y gracias a ellos puedo transmitir y hacer posible mi formación profesional y personal.

A la planta cerámica y laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la UNSCH por darme la oportunidad de desenvolverme como profesional y brindarme las facilidades para desarrollar este proyecto de investigación.

A mis padres Víctor y Marina por apoyarme en mi educación y por todos los sacrificios que realizaron para alcanzar el éxito en mi vida personal y profesional.

A mis hermanos Rubén, Jessica, Elizabeth por motivarme a seguir con mis proyectos en mi vida profesional.

Al Mtro. Ing. Aníbal Pablo García Bendezú por su guía y orientación para la ejecución de la tesis de investigación.

A mis compañeros de la universidad y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera me brindaron sugerencias y consejos para realizar el presente informe.

INDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE GENERAL	iv
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
GLOSARIO	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2.DELIMITACION DEL PROBLEMA	4
1.3.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4.JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4.1.JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4.2.IMPORTANCIA	6
1.5.LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.6.OBJETIVOS.....	6
1.6.1.OBJETIVO GENERAL	6
1.6.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.7.HIPÓTESIS	7
1.7.1.HIPÓTESIS GENERAL.....	7
1.7.2.HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	7
CAPÍTULO II : MARCO TEORICO.....	8

2.1.ANTECEDENTES.....	8
2.1.1.INTERNACIONAL	8
2.1.2.NACIONAL	9
2.1.3.LOCAL.....	10
2.2.BENTONITA	11
2.2.1.ESTRUCTURA.....	13
2.2.2.TIPOS DE BENTONITA.....	13
2.2.3.PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LA BENTONITA.....	16
2.2.4.APLICACIÓN DE LA BENTONITA	18
2.3.POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC´s)	21
2.3.1.ESTRUCTURA DEL PAC	22
2.3.2.CARACTERÍSTICAS DEL PAC COMERCIAL	22
2.3.3.PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL PAC.....	22
2.3.4.APLICACIONES DEL POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC).....	24
2.3.5.MÉTODOS PARA LA PREPARACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO ...	24
2.3.6.MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE ALUMINIO EN COAGULANTES.....	26
2.4.NORMAS AMBIENTALES	27
CAPÍTULO III : METODOLOGIA.....	29
3.1.LUGAR DEL ESTUDIO	29
3.2.TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.3.NIVEL DE INVESTIGACIÓN	29
3.4.DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	30
3.5.POBLACIÓN Y MUESTRA	30
3.5.1.POBLACIÓN	30
3.5.2.MUESTRA.....	31
3.6.OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	32

3.7.TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	34
3.8.PROCEDIMIENTOS	34
3.8.1.MUESTREO DE LA BENTONITA	34
3.8.2.COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA BENTONITA	35
3.8.3.PROCESO DE OBTENCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE BENTONITA.....	35
3.8.4.BALANCE DE MATERIA.....	45
3.8.5.DETERMINACIÓN DE % DE RENDIMIENTO DEL PAC	48
3.8.6.DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ALUMINIO EXPRESADO COMO % DE Al_2O_3 EN EL POLICLORURO DE ALUMINIO.....	48
3.8.7.DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO.....	48
3.8.8.DISEÑO EXPERIMENTAL.....	50
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	51
4.1.VERIFICACIÓN DE LOS SUPUESTOS.....	51
4.2.PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS	52
4.3.AL MENOS UNA CONCENTRACIÓN DE ACIDO CLORHÍDRICO ES DIFERENTE DE LOS DEMÁS	53
4.4.CONCENTRACIÓN DE HCl MÁS EFECTIVO.....	54
4.5.CONCENTRACIÓN DE NaOH.....	56
4.6.COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA BENTONITA	56
4.7.DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ALUMINIO EXPRESADO COMO % DE Al_2O_3 EN EL POLICLORURO DE ALUMINIO	57
4.8.PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DEL PAC	58
4.9.CARACTERIZACIÓN DE LA BENTONITA SÓLIDA.....	58
CAPÍTULO V : DISCUSIÓN DE RESULTADOS	62
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES.....	65

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS	70

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Propiedades Fisicoquímicos del policloruro de Aluminio (PAC)	23
Tabla 2 Coordenadas de las menas, donde se tomarán la muestra de bentonita.....	30
Tabla 3 Operacionalización de las variables.....	33
Tabla 4 Pruebas preliminares para determinar la molaridad de la solución de HCl.....	40
Tabla 5 Análisis de varianza	54
Tabla 6 Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%	55
Tabla 7 Análisis químico de la bentonita por fluorescencia de rayos X.....	56
Tabla 8 Análisis del porcentaje de Al ₂ O ₃ en las muestras de policloruro de aluminio.....	57
Tabla 9 Resultados del CIC	60

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Yacimiento Ampuqasa, ubicada en el distrito de Soccos – Ayacucho	3
Figura 2 Morfología de la bentonita	12
Figura 3 Estructura de los minerales de arcilla.....	13
Figura 4 Bentonita sódica	14
Figura 5 Bentonita cálcica	15
Figura 6 Bentonita potásica	16
Figura 7 Yacimiento Ampuqasa de bentonita.....	31
Figura 8 Bentonita materia prima para la obtención de policloruro de aluminio	35
Figura 9 Obtención de una suspensión de color naranja	41
Figura 10 Suspensión filtrada	42
Figura 11 Formación de precipitado de $Al(OH)_3$	43
Figura 12 Obtención de policloruro de aluminio.....	43
Figura 13 Diagrama de flujo cualitativo para la obtención de policloruro de aluminio	45
Figura 14 Probabilidad de RESID Normal	52
Figura 15 Prueba de igualdad de varianzas: RESID vs. Molaridad HCl.....	53
Figura 16 Disolución total de la muestra de bentonita.	55
Figura 17 Determinación de la densidad de bentonita.....	59
Figura 18 pH de la bentonita.....	59
Figura 19 Preparación de azul de metileno.....	60
Figura 20 Preparación pirofosfato de sodio al 2%	61
Figura 21 Preparación ácido nítrico.....	61
Figura 22 Tablero de control del horno de fundición	76
Figura 23 Calcinación de la bentonita en la mufla del laboratorio de química orgánica	77

Figura 24 Registro del pesaje de muestras.....	78
Figura 25 Secado de los crisoles.....	79
Figura 26 Formación de hidróxido de aluminio	80
Figura 27 Control de pH.....	81
Figura 28 Preparación de las muestras para la determinación de la pureza del policloruro de aluminio	82
Figura 29 Formación de policloruro de aluminio a una temperatura de 80°C y 300 rpm	82
Figura 30 Muestras listas para su análisis de porcentaje de Al_2O_3	83
Figura 31 Policloruro de aluminio obtenido	84

INDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1 Matriz de consistencia.....	70
Anexo 2 Análisis químico de la bentonita por un laboratorio certificado.....	71
Anexo 3 Análisis químico del policloruro de aluminio por un laboratorio certificado.....	75
Anexo 4 Panel fotográfico.....	76

GLOSARIO

Alúmina

La alúmina es el óxido de aluminio (Al_2O_3).

Bentonita

Las bentonitas son arcillas de gran importancia industrial; sus propiedades características están determinadas por su estructura a distintos niveles.

Coagulación-Floculación

Este es un método de tratamiento químico del agua, que se utiliza, generalmente antes de la separación del cuerpo, que se hace por sedimentación o filtrado para mejorar su capacidad de eliminar los desechos.

Densidad

Viene a ser la relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o la relación entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen equivalente de otra sustancia empleada como estándar.

Dosificación

Es la acción en la cual se suministra una sustancia química para el tratamiento de agua.

Hidroxiclорuro de aluminio

Se describe como un "coagulante inorgánico" en sistemas líquidos con una base de aluminio polimerizado.

pH

Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa. Indica la concentración de iones hidrógeno presentes en determinadas soluciones.

Sólidos suspendidos

Pequeñas partículas sólidas dispersas en el agua, no disueltas y tienen la capacidad de sedimentar.

Turbiedad

Propiedad óptica del agua basada en la medida de la luz reflejada dispersada por las partículas en suspensión.

Tixotropía

Propiedad que presentan determinados fluidos, como la gelatina o la miel, que tienden a licuarse cuando se agitan y a solidificarse en estado de reposo.

Viscosidad

La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción en un fluido.

Yacimiento

Lugar en el que se encuentran de forma natural minerales, rocas o fósiles, especialmente cuando puede ser objeto de explotación.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es obtener policloruro de aluminio a partir de la bentonita proveniente del distrito de Soccos-Ayacucho. La presente investigación se llevó a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. El tipo de investigación es experimental, con un nivel explicativo. El método de investigación es experimental. Se empleó un diseño experimental completamente al azar. En este estudio de investigación se efectuó una prospección a la zona indicada y se realizó la toma de muestras mediante el método aleatorio simple. La muestra fue secada, chancada, cuarteada por incremento, presecada, pulverizada a tamiz de malla 200 finalmente almacenada con un peso de 200 a 250 gramos para su envío para el análisis químico por fluorescencia de rayos X (FRX) de la muestra ya pulverizada, obteniéndose un % de Al_2O_3 igual a 14,76; en el análisis se realizó la determinación semicuantitativa de los elementos desde el sodio ($Z=11$) al uranio ($Z=92$) los resultados fueron expresados estequiométricamente en óxidos, el método que se aplicó a la muestra fue de pastilla prensada. Así mismo se realizaron varios ensayos a nivel de laboratorio con la finalidad de obtener la concentración adecuada de HCl, siendo esta igual a 6,2 M, la cual nos permitió obtener el AlCl_3 , posteriormente el $\text{Al}(\text{OH})_3$ y finalmente el policloruro de aluminio. Para determinar el % de Al_2O_3 en el policloruro de aluminio obtenido, se han trabajado con muestras de bentonita de 5, 15 y 25 gramos, las cuales, al ser enviadas a un laboratorio certificado, nos precisó el porcentaje de óxido de aluminio aprovechable, que fue del 10,40 %.

Palabra clave: Policloruro de aluminio. Bentonita. Soccos

ABSTRACT

The objective of this work is to obtain aluminum polychloride from bentonite from the Soccos-Ayacucho district.. The present investigation was carried out in the laboratories of the Faculty of Chemical Engineering and Metallurgy of the National University San Cristóbal de Huamanga. The type of research is experimental, with an explanatory level. The research method is experimental. A completely randomized experimental design was used. In this research study, a prospection was carried out in the indicated area and sampling was carried out using the simple random method. The sample was dried, crushed, quartered by increment, pre-dried, pulverized to a 200 mesh sieve, finally stored with a weight of 200 to 250 grams. for shipment for chemical analysis by X-ray fluorescence (XRF) of the already pulverized sample, obtaining a % Al_2O_3 equal to 14.76; In the analysis, the semiquantitative determination of the elements from sodium ($Z=11$) to uranium ($Z=92$) was carried out. The results were expressed stoichiometrically in oxides, the method applied to the sample was the pressed tablet. Likewise, several tests were carried out at the laboratory level in order to obtain the appropriate concentration of HCl, being this equal to 6.2 M, which allowed us to obtain AlCl_3 , later $\text{Al}(\text{OH})_3$ and finally polychloride. aluminum. In order to determine the % of Al_2O_3 in the aluminum polychloride obtained, we have worked with samples of bentonite of 5, 15 and 25 grams, which, when sent to a certified laboratory, specified the percentage of usable aluminum oxide, which was 10.40%.

Key word: Aluminum polychloride. Bentonite. Soccos

INTRODUCCIÓN

La valorización de las rocas y minerales industriales a nivel mundial van en crecimiento. “Esta tendencia viene motivando el desarrollo de las actividades de prospección, exploración y desarrollo industrial que destacan, el abastecimiento de las industrias de construcción, cerámica, vidrio, fertilizantes, químicos, metalúrgicos, entre otros”. Perú es un país rico en rocas y minerales industriales de diferentes orígenes como fosfatos, bentonita, cuarzo, feldespatos, micas, yeso, entre otros; siendo la región de Ayacucho, la que presenta una riqueza variada de depósitos. (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 2017)

El presente estudio trata sobre la obtención de policloruro de aluminio a partir de bentonita en el distrito de Soccus (Ampuqasa) para agregar valor a la mencionada materia prima.

La investigación sobre esta temática, se realizó por el interés de obtener policloruro de aluminio, el cual tiene una amplia aplicación a nivel industrial.

La investigación se realizó en la planta cerámica y laboratorio de química orgánica de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, luego de trasladar las muestras del

yacimiento de Ampuqasa a los ambientes mencionados, éstas muestras fueron obtenidas mediante un muestreo aleatorio simple.

Con el desarrollo de este trabajo de investigación se pretende obtener policloruro de aluminio a partir de la bentonita proveniente del distrito de Soccos-Ayacucho, determinar la composición de la bentonita mediante análisis por fluorescencia de rayos X, generar un procedimiento para obtener policloruro de aluminio partiendo de la bentonita originaria del distrito de Soccos para su uso en la industria y determinar el % de Al_2O_3 en el policloruro de aluminio obtenido a partir de la bentonita para su aplicación. El presente estudio consta de:

Capítulo I . Se realiza el planteamiento del problema, la justificación e importancia de la investigación, limitación de la investigación, los objetivos y las hipótesis.

Capítulo II. Se desarrolla el marco teórico, se presentan los antecedentes a nivel internacional, nacional y local; se describe a la bentonita su estructura y las propiedades fisicoquímicas, aplicaciones, métodos de preparación de policloruro de aluminio, su estructura del PAC , características del polímero comercial, sus propiedades, aplicaciones del PAC así como los métodos de determinación de aluminio en coagulantes y las normas ambientales.

Capítulo III. Se presenta la metodología del trabajo de investigación, se indica la población y la muestra, se efectúa la operacionalización de variables, se presentan las técnicas de instrumentación de recolección de datos y los procedimientos a seguir en la investigación.

Capítulo IV. Se presentan los resultados del trabajo de investigación.

Capítulo V. Se presentan discusiones de resultados, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Debido a sus propiedades físicas y químicas, las bentonitas pueden ser utilizadas de manera completa y adecuada para diferentes aplicaciones.

El término bentonita, fue propuesto por Knight en 1898, para un material arcilloso peculiar que poseía una gran plasticidad, altamente coloidal y que procedía de la formación Benton Shale, en el Cretácico de Wyoming (USA).

Este mineral tiene la propiedad de hinchar y aumentar varias veces su volumen cuando se pone en contacto con agua, y además de formar geles tixotrópicos cuando se añade en pequeñas cantidades de agua.

Desde que comenzó el uso industrial de la bentonita, tres mercados han absorbido la mayor parte del producto: lodo de perforación, arena de fundición y gránulos de mineral de hierro.

En la zona de Ayacucho se han encontrado más de 300 especies no metálicas, entre las que destaca la bentonita, que cuenta con grandes reservas, cabe indicar que actualmente

no hay producción de bentonita. El análisis mineralógico por DRX de la arcilla reporta los siguiente:

- Montmorillonita 43,65%
- Cristobalita 24,52 %
- Amorfo 20,53 %
- otros 11,30 %,

Los recursos estimados equivalen a 540 toneladas. (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 2017)

El trabajo de tesis pretende dar a conocer el proceso de obtención de policloruro de aluminio de la bentonita, empleando ácido clorhídrico para que a partir del óxido de aluminio se pueda obtener cloruro de aluminio, el cual después del agregado de hidróxido de sodio se va obtener hidróxido de aluminio. Este hidróxido de aluminio va a reaccionar con ácido clorhídrico obteniéndose el policloruro de aluminio.

La bentonita empleada se encuentra en las cercanías de la ciudad de Ayacucho, específicamente en el distrito de Soccus, en el yacimiento denominado Ampuqasa, como se muestra en la Figura 1, en la cual se visualiza dicho yacimiento, coadyuvando de este modo a darle un valor agregado a la bentonita y permitir así el desarrollo económico de la población de dicha zona.

El policloruro de aluminio es un producto muy importante, ya que tiene aplicaciones en la industria.

El proceso a emplearse es el hidrometalúrgico (extracción y separación de una sustancia soluble de otra insoluble, usando un solvente inorgánico u orgánico, generalmente acuoso, a temperatura y presiones variables), el cual será presentado al término del trabajo de investigación.

Figura 1

Yacimiento Ampuqasa, ubicada en el distrito de Soccos – Ayacucho.



Nota: En la figura las flechas indican la ubicación del yacimiento de la bentonita

La alúmina (Al_2O_3) se descompone en 5 monómeros y 3 posibles polímeros como coagulante, porque es inherentemente más sensible al pH, la alcalinidad, la temperatura, otras partículas y la materia orgánica en el agua cruda, también se ve afectada por la concentración del coagulante.

Los policloruros de aluminio forman sustancias químicas de masa molar moderada y altamente cargadas que están fácilmente disponibles para la coagulación. Tiene muchas ventajas sobre la alúmina.

1.2. DELIMITACION DEL PROBLEMA

Espacial. El presente trabajo de tesis, se desarrolló en la ciudad de Huamanga de la región de Ayacucho en la Planta Cerámica y Laboratorio de Química Orgánica de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.

Temporal. La duración del trabajo de investigación fue aproximadamente de 12 meses, a partir de su aprobación.

Contenido. El presente trabajo de investigación cuenta con un desarrollo de un proceso para la obtención de policloruro de aluminio.

Metodológico. La metodología que se utilizará será experimental, mediante la cual se espera determinar en primer lugar, la composición de la bentonita y posteriormente el rendimiento de obtención de policloruro de aluminio.

Técnica – científica. Se circunscribe en el marco del aprovechamiento de un mineral no metálico, teniendo a la región de Ayacucho como un gran potencial para su extracción, por ello se tiene la intención de darle una aplicación tecnológica para la obtención de PAC

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema General

- ¿Cuáles serán los parámetros que inciden en la obtención de policloruro de aluminio a partir de la bentonita de la localidad de Soccus (Ampuqasa)?

Problemas Específicos

- ¿Cuál será la composición química de la bentonita a ser utilizada en la obtención del policloruro de aluminio?
- ¿Cuál será el procedimiento a seguir para determinar los parámetros con la finalidad de obtener policloruro de aluminio a partir de bentonita?
- ¿Qué método se empleará para determinar el contenido de aluminio expresado como % de Al_2O_3 en peso, en el policloruro de aluminio?

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN

El estudio permite buscar la mejora en la efectividad de la floculación mediante las diferentes alternativas tecnológicas, para lo cual se obtendrá el policloruro de aluminio para su uso en la industria.

La bentonita es una arcilla formada esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas incluyendo a la motmorillonita. Los materiales no metálicos, como la arcilla, son muy importantes y tienen grandes usos.

La bentonita es una arcilla de gran importancia industrial, sus propiedades y características están determinadas por su estructura en diferentes niveles. Es utilizada principalmente a nivel manufacturero e industrial.

Su aplicación es vasta y se puede emplear en el campo de la cosmetología, la medicina natural, en la enología, para remover contaminantes de las aguas residuales, en el tratamiento de aguas para consumo humano, en la agricultura y a nivel industrial.

Por todas estas cualidades, esta investigación nos permitirá aprovechar la bentonita, proveniente de la localidad de Soccos para la obtención de policloruro de aluminio.

La investigación tiene como principales objetivos, la generación de conocimiento, a través de la producción de nuevas ideas; y la solución de problemas prácticos

En la actualidad, gran parte de las investigaciones están enfocadas en desarrollar técnicas para optimizar de manera eficaz los recursos de acuerdo con su uso ideal para el beneficio humano, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida y actividades productivas en diferentes sectores y es en este principio en el que encaja el presente trabajo de investigación.

1.4.2. IMPORTANCIA

Tendrá implicancias en el aprovechamiento de la bentonita. La presente investigación buscará dar un valor industrial a la bentonita, mediante la obtención de policloruro de aluminio, dando como resultado un producto de calidad para aplicaciones en tratamiento de aguas residuales y en muchas otras industrias lo cual finalmente generará un impacto económico, social y ambiental para el desarrollo de la localidad de Soccos.

Es conveniente llevar a cabo esta investigación ya que se va dar un valor agregado a la bentonita del yacimiento de Ampuqasa, ubicada en la localidad de soccos, materia prima que nos permitirá obtener el policloruro de aluminio para su uso en la industria.

1.5. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

- No se cuenta con información pertinente al tema de investigación.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar los parámetros para obtener policloruro de aluminio a partir de la bentonita proveniente del distrito de Soccos-Ayacucho.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la composición química de la bentonita del distrito de Soccos Ayacucho mediante el método de análisis químico por fluorescencia de rayos X, para su empleo en la obtención del policloruro de aluminio.
- Determinar las condiciones favorables en la determinación de los parámetros, para la obtención de policloruro de aluminio a partir de la bentonita proveniente del distrito de Soccos.
- Cuantificar el contenido de aluminio expresado como % de Al_2O_3 en peso, en el policloruro de aluminio obtenido a partir de la bentonita proveniente del distrito de Soccos (Ampuqasa)

1.7. HIPÓTESIS

1.7.1. HIPÓTESIS GENERAL

- Se van a determinar los parámetros que incidan en el desarrollo del proceso para la obtención de policloruro de aluminio a partir de bentonita proveniente del distrito de Soccos- Ayacucho.

1.7.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Mediante el análisis químico por fluorescencia de rayos X se va a determinar la composición química de la bentonita proveniente del distrito de Soccos (Ampuqasa), la cual presenta características apropiadas para la obtención de PAC.
- Se va a desarrollar un procedimiento apropiado para determinar los factores con la finalidad de obtener policloruro de aluminio a partir de la bentonita proveniente del distrito de Soccos.
- La cuantificación del contenido de aluminio expresado como % de Al_2O_3 en peso, en el policloruro de aluminio obtenido a partir de la bentonita del distrito de Soccos-Ayacucho, se va a determinar mediante el método de ensayo por espectrofotometría por absorción atómica (APHA 3111 D)

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. INTERNACIONAL

Mendoza (2012), en su tesis: “Obtención del policloruro de aluminio a partir de la chatarra; para uso en purificación de agua”. Realizó ensayos en el laboratorio con la finalidad de obtener policloruro de aluminio, evaluando la eficiencia del proceso de obtención, seleccionó para su trabajo el aluminio en virutas, debido a que es más fácil de manipular y contiene 96% de pureza, el mismo que obtuvo de la empresa de Gomer Compani, que elabora ollas de aluminio. La termodinámica del proceso le permitió evaluar la entalpía, entropía, energía libre y la cinética de la reacción.

Con éstos parámetros, se efectuaron las pruebas para elaborar el policloruro de aluminio, utilizó ácido clorhídrico al 37% (p/p) y cal pura, el ácido tuvo una concentración 5,1 N, el tiempo de la reacción acido-metal fue de 5 horas y la neutralización fue de 2 horas,

los análisis realizados fueron el pH y la densidad, para la obtención de la velocidad de la reacción se tomó el tiempo y las concentraciones.

Comprobó si el producto funcionaba como coagulante, para lo cual tomó muestra de agua del río Daule, tomando dosis de 1, 2, 3, 4, 5, 6 mL de la solución al 1%, por medio de la prueba de jarras, determinándose la dosis óptima del policloruro de aluminio para cada una de las muestras de agua.

Belloti & Irigo Simó (2018), en su trabajo titulado “Producción de policloruro de aluminio a partir de aluminio secundario”, manifiesta que el policloruro de aluminio (PAC) al ser un polímero inorgánico puede ser empleado como coagulante primario en sistemas de potabilización de aguas superficiales o profundas y tratamiento de aguas residuales industriales, sin producir ningún tipo de modificación o interferencia. Este proyecto busca la evaluación técnica y económica en la producción de policloruro de aluminio a partir de aluminio secundario o reciclado. Inicialmente se realiza un estudio de mercado para evaluar la factibilidad de instalar una planta de producción de PAC en nuestro país.

El proceso de producción posee una etapa de reacción química y posteriormente la purificación del producto en cuestión. Para la selección del proceso se analizan factores técnicos, económicos y medioambientales; se realiza además el diseño, dimensionamiento y adopción de los equipos involucrados. Teniendo como base de producción 5 080 toneladas anuales, se estiman los costos totales de producción como así también los ingresos por ventas siendo éstos de \$79 667 646,54 y \$95 601 175,85 respectivamente. Se concluye que el proyecto es viable técnica y económicamente, para lo cual se determinan ciertos indicadores como el VAN que presenta un valor \$11 354 539,68, una TIR de 39% y un PRI de 2 años y 10 meses. En función a lo anteriormente citado, se determina que el proyecto es rentable.

2.1.2. NACIONAL

Rojas & Sánchez (2020), en su Tesis “Capacidad de adsorción de un material

compuesto a base de bentonita y óxido de grafeno para remover arsénico en agua contaminada”, expuesta en la Universidad Nacional “Pedro Ruíz Gallo” de Lambayeque, manifiesta que el agua cumple un rol importante para la vida en el planeta, ya que, actualmente su disponibilidad es considerada como uno de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030. Sin embargo, el consumo de agua crece continuamente a nivel mundial. Por lo que, se opta por recurrir a la mayor cantidad de fuentes de agua, incluyendo el agua subterránea, el cual, posee metales pesados. Éstos representan un peligro para la salud, tal es el caso del Arsénico. La adsorción representa una buena alternativa para remover metales pesados en el agua. Por estos motivos se decidió utilizar bentonita como material adsorbente, y de manera adicional se agregó óxido de Grafeno (GO) con la finalidad de remover arsénico en el agua contaminada.

Se formaron 03 tipos de éste variando la concentración de óxido de Grafeno (GO) al 2%, 4% y 6% (%p/p), los materiales se caracterizaron con espectroscopía infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) con la finalidad de identificar los grupos funcionales presentes.

Se evaluó la capacidad de adsorción en muestras de agua con arsénico con concentraciones iniciales de 0,04, 0,1 y 0,16 ppm, concluyendo que, la capacidad de adsorción del material compuesto a base de bentonita y GO para remover arsénico en agua contaminada es significativa, toda vez que se remueve el arsénico en un porcentaje mayor al 95% para las tres composiciones con las que se experimentó.

2.1.3. LOCAL

Quispe (2021), en su tesis titulada “Obtención de policloruro de aluminio a partir de chatarras de aluminio, para la reducción de la turbidez de las aguas de la piscigranja Jatarisum-Vinchos – Ayacucho. 2019”. Manifiesta que, en este estudio, se han realizado ensayos en el laboratorio con la finalidad de tener policloruro de aluminio, empleando latas

de gaseosas y cerveza desechadas que contienen aluminio, debido a que este material es más fácil de manipular y contiene un alto grado de pureza.

La limpieza de las latas se realizó mediante un proceso hidrometalúrgico, empleándose una solución de H_2SO_4 al 40 por ciento en volumen, con lo cual se obtuvieron latas libres de estampado.

Luego se efectuó un ataque químico a las latas que contienen aluminio empleándose HCl , obteniéndose AlCl_3 , luego se adicionó NaOH 1 N, hasta obtener un pH igual a 6,8 con lo cual se obtuvo un precipitado blanco y gelatinoso de $\text{Al}(\text{OH})_3$, el cual se lavó y se secó.

Se preparó nuevamente AlCl_3 y se agregó el $\text{Al}(\text{OH})_3$ preparado anteriormente con lo que se logró obtener el policloruro de aluminio, aquí hay que tener cuidado con el pH ya que no debe superar el valor de 2,5; luego se calentó la solución hasta obtener una translúcida. La cual una vez analizada nos dio como resultado policloruro de aluminio con 5,83 por ciento en contenido de Al_2O_3 .

Al efectuarse mediciones in situ en la piscigranja Jatarisum – Vinchos – Ayacucho, en épocas de lluvia sin y con la solución de policloruro de aluminio, obteniéndose buena eliminación de la turbidez en los diferentes puntos escogidos dentro de la piscigranja, empleando solución de policloruro al 2 por ciento en contenido de Al_2O_3 .

2.2. BENTONITA

La bentonita está formada por arcillas altamente coloidales y plásticas compuestas principalmente por montmorillonita (Mt), un mineral arcilloso del grupo de las esmectitas. Dependiendo de la naturaleza de su origen, las bentonitas presentan diferente composición con otros minerales, principalmente cuarzo, feldespato, calcita, illita y mica (Boylu et al., 2010). Tanto las propiedades físicas y químicas de la bentonita dependen de la composición, estructura, tamaño de las partículas, área de superficie, capacidad de intercambio iónico, capacidad de adsorción y de hinchamiento (Nones et al., 2015). Respecto al color, es

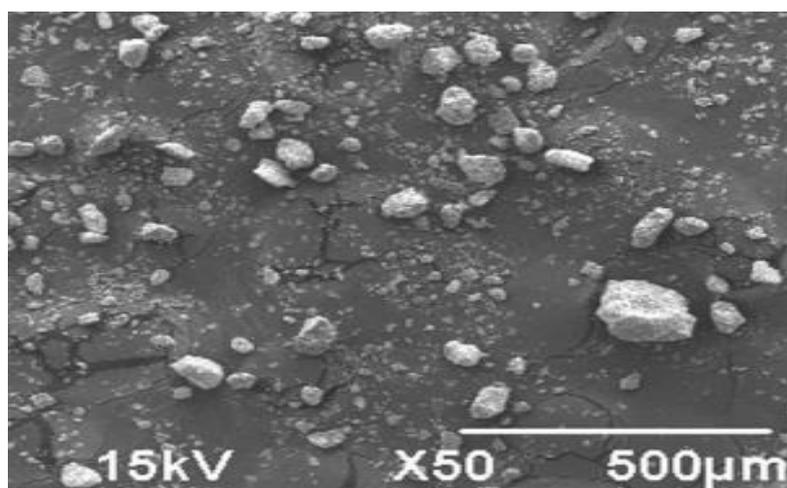
variable, desde el bronceado al azul grisáceo. Las bentonitas blancas son muy raras y son más valiosas en muchas aplicaciones que desean un color blanco (Murray, 2006).

De acuerdo a Hanulakova et al. (2013), la montmorillonita está compuesto por dos capas de tetraedros de sílice con una capa central de octaedro de alúmina entre ellas y presentan sitios hidroxilo ionizable entre capas en su superficie externa. Por otro lado, estos minerales son partículas extremadamente finas del orden de $500\ \mu\text{m}$ o menos. En la figura 2 se puede observar la morfología de la bentonita. La superficie de las capas lleva carga negativa debido a los reemplazos isomórficos de cationes dentro de la estructura y estos iones son responsables de equilibrar la carga negativa en las superficies (Ahmad et al., 2018).

Estos cationes se conocen como cationes intercambiables, que son responsables de las propiedades físicas y del hinchamiento de la arcilla en el agua. Los cationes más comunes disponibles son sodio, aluminio, potasio y calcio junto con muchos iones menos comunes que incluyen hierro y titanio (Nones et al., 2015).

Figura 2

Morfología de la bentonita.



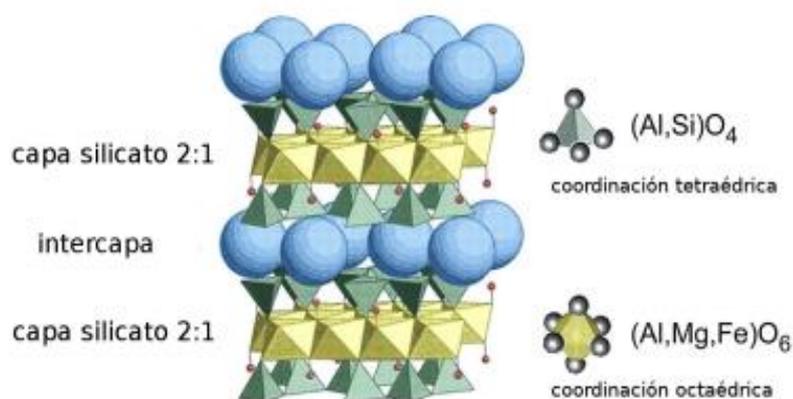
Nota. En la figura se aprecia mediante microscopía electrónica de barrido con un aumento de 50X se nota la presencia de partículas de bentonita de 500 micrómetros de diámetro. Los granos son aglomerados compactos, sin presentar una forma típica. Nones et al. (2015)

2.2.1. ESTRUCTURA

La estructura de los minerales de arcilla 2:1 En la figura 3. Se puede apreciar la estructura antes descrita: tetraedros y octaedros con átomos centrales, coordinados por cuatro y seis átomos de oxígeno, respectivamente. Entre las capas de mineral, para balancear la carga negativa neta, se acomodan iones, como sodio o calcio, que pueden ser intercambiados por otros iones o por sustancias orgánicas. (Moreira,2016)

Figura 3

Estructura de los minerales de arcilla.



Nota: Estructura cristalina genérica de las esmectitas. (Williams 2009)

2.2.2. TIPOS DE BENTONITA

Bentonita sódica. La montmorillonita de sodio se compone de escamas delgadas muy pequeñas, como textura de hojuelas de maíz. Esto da como resultado que las montmorillonitas de sodio tengan una superficie muy alta de aproximadamente 150-200 m^2/g . El área de superficie y la carga de capa alta dan a la bentonita sódica una elevada capacidad de sorción y viscosidad muy alta a baja concentración de sólidos (5%), en contraste con la caolinita, que tiene una viscosidad baja al 70% de sólidos (Murray, 2006)

Por su alta carga de capa y la capacidad de intercambio de bases, las bentonitas de sodio poseen una alta capacidad de hinchamiento del orden de 10 a 15 veces cuando se

colocan en agua. Esta capacidad de hinchamiento da como resultado muchos usos beneficiosos. Cabe resaltar que la tixotropía es una de las propiedades que le hace única a la bentonita de sodio, y por tanto son considerados excelentes agentes de suspensión (Murray, 2006).

Por otro lado, el tamaño de partícula muy fino, la capacidad de hinchamiento y la forma de las escamas dan a la bentonita de sodio la capacidad de formar membranas casi impermeables al movimiento del agua. Esto lo convierte en un muy buen sellador para revestir acequias de riego y rellenos sanitarios y para formar un sello impermeable en formaciones permeables al perforar pozos de petróleo y gas, para evitar la pérdida de fluidos (Murray, 2006).

En general, la bentonita de sodio se caracteriza por su capacidad para absorber grandes cantidades de agua y formar suspensiones tixotrópicas viscosas (Eisenhour & Brown, 2009).

En la figura 3 se visualiza la bentonita sódica.

Figura 4

Bentonita sódica.



Nota. Bentonita sódica (fotografía), Steber Lester,

(<https://www.steberlester.com/producto/bentonita-sodica-molida/>)

Bentonita cálcica. La Ca-bentonita, por el contrario, se caracteriza por su baja absorción de agua y su capacidad de hinchamiento y su incapacidad para permanecer suspendida en el agua. Cada tipo de bentonita tiene sus propias aplicaciones únicas (Eisenhour & Brown, 2009).

La bentonita de calcio generalmente tiene un tamaño de partícula más grande, tiene un área de superficie menor ($50-80 \text{ m}^2/\text{g}$), una capacidad de intercambio de bases más baja, un índice de hinchamiento más bajo (2-3) y una viscosidad más baja que la bentonita de sodio.

Estas propiedades se pueden aumentar intercambiando el calcio con sodio, pero rara vez las propiedades son iguales a las de una bentonita de sodio natural. (Murray, 2006).

La bentonita de calcio tiene una mayor resistencia en verde, menor resistencia en seco y en caliente y mejor fluidez que la bentonita de sodio (Murray, 2006).

En la figura 5 se visualiza a la bentonita cálcica.

Figura 5

Bentonita cálcica.



Nota. Bentonita cálcica (Fotografía), geologiaweb,

(<https://geologiaweb.com/minerales/bentonita/>)

Bentonita potásica. Esta bentonita está compuesta fundamentalmente por illita y minerales de capas mixtas y se supone que se formó a partir de cenizas volcánicas. La esmectita está presente en pequeñas cantidades.

Este tipo de bentonita se caracteriza por contener significativamente más potasio que los otros tipos. El prefijo meta se incluye en el nombre para denotar la idea de que esta bentonita es el producto de un metamorfismo de bajo grado o alteración diagenética.

En la figura 6 se visualiza a la bentonita potásica.

Figura 6

Bentonita potásica.



Nota. Bentonita potásica (fotografía), geologiaweb,

(<https://geologiaweb.com/minerales/bentonita/>)

2.2.3. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LA BENTONITA

En forma natural la bentonita es una roca blanda, generalmente de color beige claro a oscuro, amarillo verdoso y excepcionalmente blanco cremoso o verdoso. Su textura al tacto puede describirse como grasosa o untuosa.

Las aplicaciones industriales de este grupo de minerales se basan en ciertas propiedades fisicoquímicas, como:

Área superficial. El área superficial de la bentonita se define como el área superficial externa más el área superficial interna de sus componentes por unidad de masa m^2/g (García y Martínez, 2004). La bentonita generalmente tiene un área superficial grande debido a la morfología laminar y al tamaño de cristal pequeño (Rozalen, 2004)

La superficie específica de las bentonitas de sodio en estado seco es de 25-50 m^2/g , mientras que en suspensión acuosa este valor aumenta a 300 m^2/g y con bentonitas cálcicas de 200 a 250 m^2/g . (Hidalgo, 2004)

Capacidad de hinchamiento. Dado que la carga negativa de las láminas de bentonita es relativamente pequeña (y, por lo tanto, la proporción de cationes en las capas intermedias), la unión de las láminas a los cationes de las capas intermedias es débil. Gracias a esto, el agua penetra fácilmente en el espacio entre las capas, lo que aumenta el espacio inferior, lo que conduce a la expansión de la bentonita y la formación de suspensiones coloidales. La motmorillonita se hidrata por etapas. El agua penetra lentamente entre las placas de silicio-oxígeno, que actúan como canales que favorecen proporcionalmente la entrada de más agua. Si hay suficiente agua disponible, los iones acumulados en la superficie de la hoja se hidratan y generan cargas positivas. Al mismo tiempo, las placas de silicio-oxígeno forman cargas negativas que provocan repulsión entre ellas, separándose y provocando el hinchamiento característico de las bentonitas (Molina, 2004)

Hay que tener en cuenta que la capacidad de hinchamiento depende del tipo de bentonita. La diferencia de hinchamiento entre la bentonita de sodio y calcio se debe a la atracción de cationes entre capas. La atracción del catión calcio es más fuerte, lo que resulta en una reducción de la cantidad de agua absorbida, mientras que la atracción del catión sodio es menor, lo que permite una mayor retención de agua entre las capas. La enorme superficie específica (alrededor de 50 000 cm^3/g) y la estructura esponjosa de las micelas le confieren una alta absorción (Olivera, 2009)

Capacidad de intercambio catiónico (CIC). La intercambiabilidad se debe principalmente a la capacidad de reemplazar los cationes de las capas intermedias débilmente conectadas a esa estructura por otros cationes diferentes cuando estos últimos están en solución acuosa. Así, la capacidad de intercambio catiónico de la bentonita varía entre 80 - 150 meq/100 g. La relativa facilidad con la que se pueden reemplazar los cationes en la región de las capas intermedias viene dada aproximadamente por la serie: $Li^+ < Na^+ < H^+ < K^+ < NH_4^+ \ll Mg^{2+} < Ca^{2+}$. En general, mayor carga y menor radio atómico aumentan la preferencia de la bentonita como catión (Arias, 2001)

Tixotropía. La tixotropía es la capacidad de formar un gel al reposar y de volverse fluido cuando se agita. Se presenta esta propiedad cuando las partículas coloidales de las bentonitas se encuentran formando el gel y luego de una alta agitación se rompe la orientación de los cationes y finaliza el equilibrio estructural y su consistencia disminuye, recuperándose progresivamente debido a que la suspensión pasa al estado de reposo (García, 2020)

2.2.4. APLICACIÓN DE LA BENTONITA

Las principales aplicaciones de la bentonita se muestran a continuación.

Fundición de metales. La fundición de metales es uno de los usos actuales más importantes de la bentonita. Bloques de motor, tambores de freno, carcasas de transmisión, tapas de registro, desagües de calles, accesorios de latón para agua, bandejas de hierro fundido y más se producen a partir de moldes de fundición que contienen bentonita (Murray, 2006)

Fluidos de perforación. También es un componente principal en los fluidos utilizados para la perforación de pozos de pequeño diámetro para pozos de agua, exploración de minerales y monitoreo ambiental (Eisenhour & Brow, 2009). La montmorillonita de sodio (bentonita de Na) es el componente principal de los lodos de perforación de agua dulce.

La función de los lodos de perforación es eliminar los recortes del pozo para evitar que los fluidos de formación entren en el lodo de perforación, lubricar y enfriar la barrena y construir un revoque de filtración impermeable para evitar la penetración de la pared del pozo.

Absorbente de desechos de mascotas. La Na-bentonita encierra los desechos de las mascotas en grupos de arcilla absorbente, que se pueden sacar fácil y completamente de la caja de arena, lo que reduce la cantidad de basura desperdiciada y mantiene las cajas de arena limpias y sin olores.

El desarrollo de la arena a base de arcilla, y en particular la arena aglomerada, ha contribuido significativamente a la aceptación de los gatos como mascotas de interior (Murray, 2006)

Pelletización de mineral de hierro. En este proceso, el mineral se muele primero con precisión para liberar el óxido de hierro de la roca huésped. Desafortunadamente, la finura del concentrado de mineral de hierro en polvo resultante crea problemas de manipulación durante el envío y durante el procesamiento en el alto horno. Estos problemas se resuelven mezclando una pequeña cantidad de bentonita y agua con el concentrado de mineral de hierro finamente molido y luego pasando la mezcla a través de un peletizador para producir pellets esféricos de aproximadamente 1 cm de diámetro. Estos gránulos se secan y luego se sinterizan. Después de enfriar, los pellets endurecidos pueden soportar el transporte y la manipulación a larga distancia sin romperse.

Blanqueamiento y clarificante. Las bentonitas de calcio son particularmente eficaces como arcillas blanqueadoras después de haber sido tratadas con ácido para mejorar su porosidad. Debido a sus propiedades blanqueadoras superiores, la producción mundial de bentonitas activadas supera ahora varios cientos de miles de toneladas por año (Murray, 2006).

Por otro lado, la bentonita de sodio se usa como agente clarificante para clarificar el vino y el jugo. La clarificación es un proceso en el que se introduce una sustancia adsorbente en el líquido para eliminar las proteínas suspendidas y otros coloides orgánicos que de otro modo precipitarían o crearían turbidez cuando el líquido se enfríe. La gran superficie y la alta carga negativa de la montmorillonita hacen que la bentonita sea ideal para adsorber compuestos con carga positiva, como las proteínas, y eliminarlos mediante floculación (García, 2020)

Desecante. Las bentonitas son conocidas por su capacidad para absorber la humedad del aire. Las bentonitas de grado desecante contienen Ca^{2+} y Mg^{2+} como los cationes intercambiables dominantes y siempre tienen un alto contenido de montmorillonita con una alta carga de capa (Eisenhour & Brown, 2009)

Fabricación de papel. La bentonita se usa ampliamente en combinación con polímeros catiónicos para flocular las fibras de celulosa durante la fabricación de papel. El uso de bentonita mejora varios procesos clave en el extremo húmedo de las máquinas de papel, incluida la retención de sólidos, la tasa de drenaje y la formación uniforme de la hoja (Eisenhour & Brown, 2009)

Selladores ambientales. La capacidad única de la bentonita para absorber agua, hincharse y producir una permeabilidad al agua extremadamente baja lo convierte en un sellador excelente para aplicaciones ambientales.

Ingeniería civil. Las aplicaciones de las bentonitas en este campo incluyen: prevenir el hundimiento, crear películas para soportes de excavación, mejorar la plasticidad y trabajabilidad de los cementos, ayudar a estabilizar y actuar como túneles, protección de tuberías, lubricantes y agregados, incluyendo grietas y migración de sólidos en suspensión (Eisenhour y Brown, 2009).

Medicina. La bentonita, generalmente sódica, se toma para aliviar las úlceras de

estómago y, según varias personas, es eficaz. Ésta se utiliza como medio de suspensión en varias formulaciones medicinales (Eisenhour & Brown, 2009)

Otros usos. En general, las aplicaciones de la bentonita son innumerables, además de los ya citados, se mencionan otros usos como: formulaciones de productos cosméticos, detergentes para limpieza en seco, aditivos para fertilizantes, como base de productos químicos (herbicidas, insecticidas y pesticidas), formulaciones de pinturas, recubrimiento de semillas, perforación de las semillas cuando se siembran, clarificación de agua, entre otros (García, 2020)

2.3. POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC's)

Delgado et al. (2003) menciona que el policloruro de Aluminio (PAC) es un coagulante/floculante alternativo inorgánico prepolimerizados. Así, los PAC's se componen de una gama de especies hidrolíticas de Al^{3+} , poseen una estructura que es bastante estable ante hidrólisis posteriores y tiene varias ventajas sobre otras sales metálicas, que incluyen: mejora de la formación de flóculos, menor volumen de lodos y eficacia en un amplio rango de pH (Rebhun y Lurie, 1993). Por otro lado, las escamas de PAC suelen ser grupos de pequeñas esferas y/o estructuras en forma de cadena con un tamaño inferior a 25 mm, mientras que las escamas de sulfato de aluminio son estructuras porosas con un tamaño de 25-100 mm. Esta diferencia estructural hace que la suspensión de los PAC sea menos turbia que la del sulfato de aluminio (Cogollo, 2011)

Cabe mencionar que los coagulantes alternativos son los coagulantes inorgánicos prepolimerizados de nueva generación como los policloruros de aluminio (PAC), el clorhidrato de aluminio (ACH) y los polisulfatos de aluminio (PAS), los cuales presentan mejores ventajas que los coagulantes convencionales como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico. y actualmente son ampliamente utilizados en el tratamiento de agua y aguas residuales domésticas (Tzoupanos et al., 2009)

2.3.1. ESTRUCTURA DEL PAC

El PAC está formado por monómeros, dímeros, oligómeros hasta polímeros. Su fórmula general es $Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}$. Cuando se disuelven en agua estas especies contienen iones Al^{3+} , iones hidroxilo OH^- , iones cloruro Cl^- y moléculas de agua. En solución acuosa su fórmula general es $Al_x(OH)_y(H_2O)_n^{(3x-y)+}$ o también $Al_xO_z(OH)_y(H_2O)_n^{(3x-y-2z)+}$.

El más útil de estos polímeros es el denominado Al_{13} o Keggin- Al_{13} cuya fórmula es $AlO_4Al_{12}(OH)_{24}(H_2O)_{12}^{7+}$. La especie Al_{13} tiene forma tridimensional. Se estima que el precursor de esta polimerización es el $Al(OH)_4^-$, el cual presenta una conformación tetraédrica y se encuentra en el centro de la estructura (Lifeder,2020)

2.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL PAC COMERCIAL

Los diversos PAC se diferencian entre sí principalmente por su fuerza, expresada como % de alúmina Al_2O_3 y su basicidad, la cual indica la cantidad de material polimérico en el PAC, y puede variar entre 10 % (baja basicidad), 50 % (basicidad media), 70 % (alta basicidad) y 83 % (la más alta basicidad, que corresponde al clorhidrato de aluminio o ACH) (Lifeder,2020).

2.3.3. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL PAC

Alto poder floculante/coagulante, capaz de formar flóculos muy completos con alta velocidad de disolución y poder de limpieza, consiguiendo una mayor remoción de turbidez (Tzoupanos et al., 2009)

Amplio y eficaz rango de pH, con un funcionamiento óptimo a pH entre 5 y 9, dependiendo de la concentración de carbono orgánico disuelto en el agua. También actúa en caso de fluctuaciones de temperatura, eliminando sustancias coloidales y colorantes de los sistemas de agua (Química Industrial, 2021)

Fácil de manejar y entregar sin dejar residuos no disueltos no deseados, a diferencia de los coagulantes granulares tradicionales que deben disolverse y en muchos casos dejan residuos perjudiciales para los equipos de dosificación.

Comercialmente se presenta como un líquido de color almíbar ligeramente viscoso, a veces con brillo opalescente y sabor dulce astringente (Cogollo, 2011)

Al reducirse el uso de polielectrolitos, su consumo es mucho menor o innecesario cuando se utiliza policloruro de aluminio, salvo que sea necesario acelerar el proceso de sedimentación, se recomienda el uso de polielectrolitos (Cabrera, 2016). En la Tabla 1 se muestran las propiedades fisicoquímicas del policloruro de aluminio.

Tabla 1

Propiedades Fisicoquímicos del policloruro de Aluminio (PAC).

Propiedades	Policloruro de Aluminio
Fórmula molecular	$[Al(OH)_nCl_{5-n}]X$, con $0 < n < 3$
	$Al_2(OH)_4Cl_2$
Apariencia	Líquido color ámbar claro - oscuro
Olor	Ligeramente ácido.
pH (10 %)	> 1
Solubilidad en agua	Completa
Solubilidad en otros	Insoluble en solventes orgánicos comunes
Punto de ebullición	110 – 120 °C.
Punto de fusión y congelación	- 20 °C Aproximadamente.
Peso específico	1,1 – 1,4 (a 20 °C)

Nota. Quimpac (2012)

2.3.4. APLICACIONES DEL POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)

Según About Xunyu Group (2021), con sede en China, el policloruro de aluminio se utiliza como coagulante principal en los siguientes procesos:

- Agua potable y saneamiento sanitario.
- Aguas industriales, aguas residuales industriales, aguas de aspersión de minas y campos petrolíferos, aguas residuales químicas en las industrias papelera, metalúrgica, de carbón lavado y del cuero.
- Diversas industrias: pegamento para fabricación de papel, impresión y teñido, endurecedor de hormigón, endurecedor de fundición de precisión, refinado de glicerina, producción de telas antiarrugas, medicina, cosmética, etc.
- Separación de aceite y agua y tiene un buen efecto en la industria de refinación de petróleo.

2.3.5. MÉTODOS PARA LA PREPARACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO

El policloruro de aluminio se puede sintetizar a partir de diversas fuentes que contienen aluminio, incluido aluminio metálico, hidróxido de aluminio, óxido de aluminio y combinaciones de los mismos. Varias variables, como la concentración de ácido clorhídrico, la temperatura y el pH, se controlan cuidadosamente durante la producción del polímero (Garcés, 2010).

A continuación, veremos diferentes formas de producir dicho coagulante a partir de diferentes materias primas.

Método de preparación de policloruro de aluminio empleando chatarras de aluminio. La síntesis del polímero tiene lugar en un reactor de tanque mixto de poliéster reforzado con fibra de vidrio, donde se alimentan cantidades adecuadas de aluminio, ácido clorhídrico al 37 % y agua. La reacción de formación del policloruro de aluminio tiene lugar entre 70 - 80 °C durante 7 - 8 horas hasta alcanzar la temperatura final entre 112 - 115 °C.

Cuando se completa la reacción, el producto se bombea a un filtro, dando como resultado un líquido transparente y viscoso con una densidad de aproximadamente 1,38 kg/L y una concentración de 18 % de Al_2O_3 . Después del control de calidad, se almacena en contenedores de poliéster reforzado con fibra de vidrio o polietileno de alta densidad o se puede obtener como un polvo amarillento sólido para lo cual el filtrado debe secarse a 150 - 200 °C, en un tambor secador rotatorio (Chane- Ching, 1999).

Método de preparación del policloruro de aluminio empleando hidróxido de aluminio – Patente CN1046512A. Una de las fuentes de aluminio en la producción de policloruro de aluminio es el hidróxido de aluminio, que en solución acuosa reacciona con ácido clorhídrico al 33 % para producir el polímero deseado. El uso de presión y altas temperaturas permite completar la reacción en un reactor, cuyo mezclador está revestido internamente con 8 m³ de vidrio; El hidróxido de aluminio se carga con un tornillo de alimentación, pantallas y elevadores para eliminar las impurezas que dañan el revestimiento de vidrio. El reactor está equipado con un sistema de pesaje que alimenta la cantidad correspondiente de hidróxido de aluminio y ácido clorhídrico y un 1% más de la primera materia prima. Para desarrollar la primera etapa, se corre vapor a baja presión hasta una temperatura de 70 °C; cuando se alcanza esta temperatura, se entrega vapor a media presión (8 kgf/ cm²). Se utiliza vapor de dos niveles para que la diferencia de temperatura entre el revestimiento interior y la superficie exterior del vidrio no supere los 115 °C y así evitar daños en el revestimiento interior. Cuando ha pasado el tiempo de reacción, 6 - 8 horas, el producto se enfría con agua a diferentes temperaturas, se filtra y se retira para su almacenamiento. La torta de filtración, que consiste principalmente en hidróxido de aluminio insoluble, se recicla parcialmente en el proceso (Mc Curdy, 2004).

Desde un punto de vista técnico, este método es más complicado y tiene costos elevados.

Método de preparación de policloruro de aluminio empleando alúmina – Patente CN101898775A. Las materias primas necesarias para obtener policloruro de aluminio al 18 % son óxido de aluminio y ácido clorhídrico acuoso al 33 %. La reacción tiene lugar en un reactor de vidrio equipado con un agitador interno, durante el cual la temperatura del reactor se mantiene entre 80 y 90 °C. El cloruro de polialuminio resultante se mezcla y el óxido de aluminio sin reaccionar junto con las sustancias insolubles se filtra. Las aguas residuales líquidas, principalmente aguas ácidas, se recolectan en un tanque desde donde se desvían al sitio de producción (Vallier, 2000).

2.3.6. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE ALUMINIO EN COAGULANTES

En el proceso de producción de policloruro de aluminio, uno de los parámetros controlados es el contenido de aluminio del producto final como porcentaje de óxido de aluminio, % Al_2O_3 . Debido al alto contenido de aluminio del producto, no se requiere una alta sensibilidad analítica, pero se recomienda que el método sea robusto, rápido, simple y preciso.

Los métodos analíticos que se presentan a continuación corresponden a estas características (Irigo y Bellotti, 2018).

Determinación de aluminio por métodos volumétricos para determinar Al^{3+} por análisis volumétrico. Se utiliza la titulación por retroceso. Para ello, se añade un exceso conocido de EDTA, se calienta durante un tiempo para promover la formación del complejo de aluminio, y el EDTA en exceso puede titularse rápida y fácilmente con una solución estándar de Zn^{2+} (Irigo y Bellotti, 2018).

Determinación de aluminio por espectroscopía molecular. El aluminio se puede determinar colorimétricamente si el metal tiene un complejo coloreado formado por un mediador adecuado, ajustando el pH del ambiente adecuadamente. Entre los métodos espectrofotométricos existentes, por la sencillez, robustez y sensibilidad del procedimiento,

los más interesantes son aquellos que utilizan como ligandos el Cromoatzurol S y la Eriocromocianina R.

Estos reactivos son capaces de formar complejos cuantitativamente estables y coloreados con el aluminio (Irigo y Bellotti, 2018).

Determinación de aluminio por espectroscopía atómica. La espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) es adecuada para la determinación de aluminio en varias concentraciones y cumple con los requisitos de velocidad, simplicidad y precisión. Para ello, el analito contenido en la muestra líquida se pulveriza en un plasma, que se genera con gas argón procedente de la corriente de alta frecuencia.

El aluminio se pulveriza y, tras volver al estado básico, emite radiación que es captada en la rejilla de difracción que forma el detector (Irigo y Bellotti, 2018).

Determinación de aluminio mediante Gravimetría. Mediante esta metodología, el aluminio presente en la muestra es convertido en $\text{Al}(\text{OH})_3$, es decir, una especie insoluble, la cual se puede separar por filtración, se lava con una solución adecuada, y se calcina formándose la especie Al_2O_3 anhidra que se pesa en frío. Sin embargo, pese a la sencillez del método, la determinación de aluminio mediante la técnica gravimetría lleva consigo una serie de desventajas ya que, además de ser un procedimiento lento y laborioso, presenta muchas interferencias de otros elementos formadores de hidróxidos (Irigo y Bellotti, 2018).

2.4. NORMAS AMBIENTALES

- **Normas técnicas peruanas**

NTP 311.083:1976 productos químicos para análisis

NTP 311.084:1976 productos químicos para análisis

- **Normas de análisis del PAC**

Normas AWWA, ANSI/AWWA B408-98

Norma IRAM 41106:2004

Norma Mexicana NMX-AA-130-SCFI-2006.

Norma Española UNE- EN 883:2005.

European Standard EN EN 883:1997.

- **Normas extranjeras**

Métodos analíticos por espectrofotometría de absorción atómica. 1976

Métodos estandarizados para el análisis de agua y aguas residuales APHA, AWWA, WEF.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1. LUGAR DEL ESTUDIO

La presente investigación se llevó a cabo en la planta cerámica y en el laboratorio de química orgánica, de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación según las variables es experimental debido a que analiza el efecto producido por la acción de la variable independiente sobre la dependiente y según el tipo de datos empleados es cuantitativa.

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Explicativo, ya que se trata de efectuar un proceso de abstracción a fin de destacar aquellos elementos, aspectos o relaciones que se consideran básicos para comprender los objetos y procesos. La realidad inmediata y originaria se nos presenta como un efecto

(variable dependiente), y el trabajo científico consiste en encontrar la causa o el elemento que la genera (variable independiente).

3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Experimental, ya que se tiene una manipulación intencional de la variable independiente.

Se empleó el diseño completamente al azar (DAC), el cual consiste en la extracción de un pequeño subconjunto a partir de un conjunto inicial o población (que puede ser infinita) de tal modo que la muestra extraída no dependa de las propiedades de los individuos que lo componen, sino que los tenga en cuenta y sea libre de prejuicios.

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1. POBLACIÓN

Bentonitas del yacimiento de Ampuqasa del distrito de Soccos de la región de Ayacucho, cuyas coordenadas situando como referencia el control de Soccos, se presentan en la tabla 2, las cuales para tener una mejor visión vienen plasmados en la Figura 7.

Tabla 2

Coordenadas de las menas, donde se tomarán la muestra de bentonita.

Mena	Coordenadas	Distancia (km)
1	13°12'41" S 74°16'34" W	3,87
2	13°13'07" S 74°16'46" W	4,17
3	13°11'42" S 74°16'26" W	4,44

Nota. Esta tabla se muestra coordenadas sur, oeste y distancias de la mena 1, 2 y 3

Figura 7

Yacimiento Ampuqasa de bentonita.



Nota. En la figura se aprecia la ubicación del yacimiento de bentonita enumerada.

3.5.2. MUESTRA

Diversas alícuotas tomadas de la población, visualizar la figura 6, donde se encuentran numerados las menas del yacimiento Ampuqasa. El tipo de muestreo empleado es el aleatorio simple.

Se tomaron 2 kg de muestra de cada mena, se trasladaron a la planta cerámica de la UNSCH, la muestra fue mezclada, secada, chancada, cuarteada por incremento, presecada, pulverizada a malla 200 y finalmente almacenada y nos quedamos con 1 kg como muestra representativa de la cual, se tomó 200 a 250 g y se mandó a analizar con la finalidad de determinar la composición de la muestra problema., la cual se encuentra plasmada en el Anexo 2.

3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Es un proceso metodológico mediante el cual se transforma la variable de conceptos abstractos a términos concretos, observables y medibles, es decir, dimensiones e indicadores.

En la tabla 3, se visualiza la operacionalización de variables para el presente estudio.

Tabla 3

Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente: Bentonita	La bentonita es una arcilla formada esencialmente por minerales del grupo de la esmectita, independientemente de su ocurrencia u origen (Díaz, 2021)	La bentonita es empleada en la industria petrolera, la ingeniería civil, la agricultura, como material de sellado de residuos tóxicos, para fabricar moldes de fundición y muchas utilidades más.	Al(OH) ₃ HCl	Cantidad de gramos Cantidad de mililitros
Variable Dependiente: Policloruro de aluminio	Producto obtenido por reacción de hidróxido de aluminio con ácido clorhídrico en cantidades y condiciones adecuadas (QCINCA, 2022)	El policloruro de aluminio es ampliamente utilizado como coagulante primario en sistemas de tratamiento de aguas industriales, industrias metalmeccánicas, mataderos, lecherías, cabañas. pintura, industria del aceite vegetal entre otros.	Al ₂ O ₃	Porcentaje(%)

3.7. TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La obtención de datos para la presente investigación, fueron efectuadas en tres etapas:

En la primera etapa. Se procedió con un análisis documental que incluyeron técnicas de análisis documental y análisis de contenido. Los instrumentos necesarios fueron: registros, ubicación geográfica del lugar de extracción de la bentonita, revisión bibliográfica de fuentes secundarias y generación de fichas de registros de datos.

En la segunda etapa. Se realizó una evaluación de campo tanto estructurada como no estructurada. Los instrumentos necesarios fueron: check list, escala de estimación, cámaras fotográficas.

En la tercera etapa. Se dio inicio a la observación experimental, determinándose la composición química de la bentonita en estudio, y diferentes ensayos en laboratorio para la obtención de policloruro de aluminio. Los instrumentos necesarios fueron: materiales, reactivos y equipos de laboratorio.

3.8. PROCEDIMIENTOS

3.8.1. MUESTREO DE LA BENTONITA

La muestra de bentonita fue extraída del yacimiento a tajo abierto de ampuqasa, ubicado en el distrito de Soccos-Ayacucho. Se colocó la muestra de bentonita en una superficie limpia para que no entre en contacto con el suelo y por tanto no se contamine con ciertas impurezas. En la Figura 7a se muestra la bentonita de Soccos.

Posteriormente fueron trasladadas al laboratorio de la planta de cerámica de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la UNSCH y se procedió a realizar la preparación mecánica a la muestra problema y se almacenó en bolsas de polietileno para sus respectivos análisis y proceso de obtención de policloruro de aluminio (Figura 7b y 7c)

Figura 8

Bentonita materia prima para la obtención de policloruro de aluminio.



Nota. En la figura se aprecia bentonita del distrito de Soccos, a) Bentonita del origen, b) Molienda de la bentonita y c) Bentonita fina

3.8.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA BENTONITA

La composición química de la bentonita se determinó mediante fluorescencia de rayos X. Los elementos que van desde el sodio número atómico ($Z = 11$) hasta el uranio número atómico ($Z = 92$) se determinaron semicuantitativamente mediante este análisis. El hardware no detecta ningún elemento que no se informe porque está por debajo del límite de detección para este elemento. Los resultados de los elementos se expresan estequiométricamente como óxidos. El método de preparación utilizado para la muestra fue una tableta comprimida.

3.8.3. PROCESO DE OBTENCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE BENTONITA

La bentonita se calcina a temperatura de $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, por espacio de 2 horas, para que pierda el agua de cristalización y hacerla lixiviable por los ácidos.

Bentonita: Al_2O_3 ; MgO ; MnO ; SiO_2 ; K_2O ; CaO ; Na_2O

En un recipiente de vidrio, se añadió 20 mL de agua y 30 mL de HCl (32 – 33 % en peso) de densidad 1,16 g/cm³.

Para determinar estos volúmenes, se efectuaron pruebas preliminares, manteniendo constante la masa de bentonita, cuyos resultados se presentan a continuación.

Determinación de concentración de ácido clorhídrico empleando volúmenes de

15 mL, 20 mL, 25 mL y 30 mL

Para 15 mL

- Calculamos la masa de ácido clorhídrico

$$\rho = \frac{m}{V. \%}$$

$$m_{\text{HCl}} = \rho_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot \%_{\text{HCl}}$$

$$m_{\text{HCl}} = 1,16 \text{ g/mL} \cdot 15 \text{ mL} \cdot 0,325$$

$$m_{\text{HCl}} = 5,655 \text{ g}$$

- Calculamos moles de ácido clorhídrico

$$n_{\text{HCl}} = m_{\text{HCl}} / \text{PM}_{\text{HCl}}$$

$$n_{\text{HCl}} = 5,655 \text{ g} / 36,5 \text{ g/mol}$$

$$n_{\text{HCl}} = 0,1549 \text{ mol}$$

- Finalmente calculamos la concentración de ácido clorhídrico

$$M_{\text{HCl}} = n_{\text{HCl}} / v_{\text{soln}}$$

$$M_{\text{HCl}} = 0,1549 \text{ mol} / 0,05 \text{ L}$$

$$M_{\text{HCl}} = 3,1 \text{ mol} / \text{L}$$

Para 20 mL

- Calculamos la masa de ácido clorhídrico

$$\rho = \frac{m}{V. \%}$$

$$m_{\text{HCl}} = \rho_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot \%_{\text{HCl}}$$

$$m_{\text{HCl}} = 1,16 \text{ g/mL} \cdot 20 \text{ mL} \cdot 0,325$$

$$m_{\text{HCl}} = 7,54 \text{ g}$$

- Calculamos moles de ácido clorhídrico

$$n_{\text{HCl}} = m_{\text{HCl}} / \text{PM}_{\text{HCl}}$$

$$n_{\text{HCl}} = 7,54 \text{ g} / 36,5 \text{ g/mol}$$

$$n_{\text{HCl}} = 0,2066 \text{ mol}$$

- Finalmente calculamos la concentración de ácido clorhídrico

$$M_{\text{HCl}} = n_{\text{HCl}} / V_{\text{soln}}$$

$$M_{\text{HCl}} = 0,2066 \text{ mol} / 0,05 \text{ L}$$

$$M_{\text{HCl}} = 4,13 \text{ mol} / \text{L}$$

Para 25 mL

- Calculamos la masa de ácido clorhídrico

$$\rho = \frac{m}{V. \%}$$

$$m_{\text{HCl}} = \rho_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot \%_{\text{HCl}}$$

$$m_{\text{HCl}} = 1,16 \text{ g/mL} \cdot 25 \text{ mL} \cdot 0,325$$

$$m_{\text{HCl}} = 9,425 \text{ g}$$

- Calculamos moles de ácido clorhídrico

$$n_{\text{HCl}} = m_{\text{HCl}} / \text{PM}_{\text{HCl}}$$

$$n_{\text{HCl}} = 9,425 \text{ g} / 36,5 \text{ g/mol}$$

$$n_{\text{HCl}} = 0,2582 \text{ mol}$$

- Finalmente calculamos la concentración de ácido clorhídrico

$$M_{\text{HCl}} = n_{\text{HCl}} / v_{\text{soln}}$$

$$M_{\text{HCl}} = 0,2582 \text{ mol} / 0,05 \text{ L}$$

$$M_{\text{HCl}} = 5,16 \text{ mol} / \text{L}$$

Para 30 mL

- Calculamos la masa de ácido clorhídrico

$$\rho = \frac{m}{V \cdot \%}$$

$$m_{\text{HCl}} = \rho_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot \%_{\text{HCl}}$$

$$m_{\text{HCl}} = 1,16 \text{ g/mL} \cdot 30 \text{ mL} \cdot 0,325$$

$$m_{\text{HCl}} = 11,31 \text{ g}$$

- Calculamos moles de ácido clorhídrico

$$n_{\text{HCl}} = m_{\text{HCl}} / PM_{\text{HCl}}$$

$$n_{\text{HCl}} = 11,31 \text{ g} / 36,5 \text{ g/mol}$$

$$n_{\text{HCl}} = 0,3099 \text{ mol}$$

- Finalmente calculamos la concentración de ácido clorhídrico

$$M_{\text{HCl}} = n_{\text{HCl}} / v_{\text{soln}}$$

$$M_{\text{HCl}} = 0,3099 \text{ mol} / 0,05 \text{ L}$$

$$M_{\text{HCl}} = 6,20 \text{ mol} / \text{L}$$

En la tabla 4, se visualiza pruebas preliminares para determinar la molaridad de la solución de ácido clorhídrico para el presente estudio teniendo en cuenta el tipo de investigación experimental, cuantitativa y de nivel explicativo con intervención de manipulación de variable.

La metodología a emplearse se basa en lo siguiente:

En 10 vasos de precipitado se colocaron 15 g de bentonita a cada uno y se agregó 50 mL de solución de HCl 3,10 M a cada vaso de precipitado, en otra batería de 10 vasos de precipitado se colocaron 15 g de bentonita a cada uno y se agregó 50 mL de solución de HCl 4,13 M a cada vaso de precipitado, en otra batería de 10 vasos de precipitado se colocaron 15 g de bentonita a cada uno y se agregó 50 mL de solución de HCl 5,16 M a cada vaso de precipitado, en otra batería de 10 vasos de precipitado se colocaron 15 g de bentonita a cada uno y se agregó 50 mL de solución de HCl 6,20 M a cada vaso de precipitado, notándose en cada caso la formación de una suspensión color naranja-marrón, observándose diferentes proporciones de bentonita no disuelta luego de la reacción, éstas fueron pesadas y los resultados se presentan en la Tabla 4

Tabla 4

Pruebas preliminares para determinar la molaridad de la solución de HCl

mbent. (g)	VHCl (mL)	MHCl (mol/L)	VSol. (mL)	m₁ (g)	m₂ (g)	m₃ (g)	m₄ (g)	m₅ (g)	m₆ (g)	m₇ (g)	m₈ (g)	m₉ (g)	m₁₀ (g)
15	15	3,10	50	13,1023	12,8642	12,6751	13,0458	12,7493	12,9641	12,8705	12,6520	13,1207	12,8528
15	20	4,13	50	9,9887	9,9035	9,8664	10,3670	10,0233	10,2663	10,0891	10,0019	10,1487	9,9601
15	25	5,16	50	6,2350	5,8120	6,1502	5,9298	6,2641	5,8623	6,2288	6,1301	6,2415	6,1623
15	30	6,20	50	2,1891	1,9171	2,1373	1,8381	1,9182	1,9704	2,1269	2,3639	1,8803	2,0968

Nota. Esta tabla muestra 4 tratamientos en ella figura masa de la bentonita no disuelta, volumen de HCl, la concentración del HCl, el volumen de la solución y también se muestran los resultados de las masas residuales (m₁.... m₁₀), los cuales contienen cloruros insolubles.

Una vez determinada la concentración adecuada de HCl, se colocó en un vaso de precipitados 15 g de bentonita y se agregó 50 mL de solución de HCl 6,20 M, formándose una suspensión color naranja-marrón, en este punto es esencial controlar el pH, el cual debe ser mayor que 3,4; cuando este valor se encuentre por debajo, es necesario agregar más bentonita con el propósito de precipitar el hierro presente como insoluble. En seguida se procedió a filtrar, obteniéndose una solución incolora.

Figura 9

Obtención de una suspensión de color naranja.

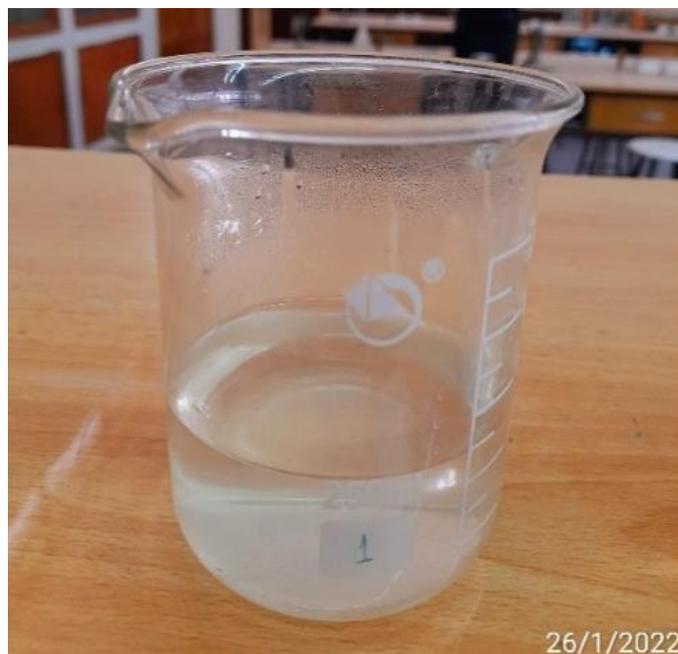


Nota. Formación de una suspensión color naranja-marrón

Al filtrar la suspensión de color naranja se separa no solo el hierro presente como insoluble, sino también otras impurezas que pudiera contener la bentonita.

Figura 10

Suspensión filtrada.



Nota: Solución filtrada de cloruros constituyentes de la muestra de bentonita

Es innegable que aparte del AlCl_3 formado, también se han producido cloruros de otros constituyentes de la bentonita tales como MgCl_2 (blanco), MnCl_2 (rosado), SiCl_4 (incoloro), KCl (blanco), CaCl_2 (blanco), NaCl (blanco), los cuales se encuentran en la suspensión filtrada

La solución de AlCl_3 obtenida, y los otros cloruros formados, se neutralizaron con 12 g de NaOH en solución (100 mL). formándose un precipitado de $\text{Al}(\text{OH})_3$ (insoluble), $\text{Mn}(\text{OH})_2$ (soluble), KOH (soluble), $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (soluble). Luego se lavó el precipitado con agua destilada y se filtró la solución, el precipitado de $\text{Al}(\text{OH})_3$ se lavó por 5 veces con agua destilada, pero es mejor utilizarlo seco. Se me muestra en la Figura 11.

Figura 11

Formación de precipitado de $Al(OH)_3$.



Nota: En la figura se aprecia el precipitado de $Al(OH)_3$ sólido

El $Al(OH)_3$ se acidificó con HCl hasta alcanzar un pH mayor a 2,3; en un vaso de precipitado con agitación y calentamiento, hasta que se observa la disolución de todo el $Al(OH)_3$ y la solución tome un ligero color amarillento.

Figura 12

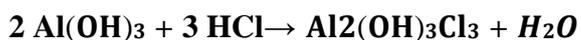
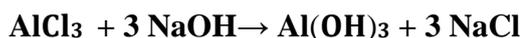
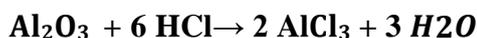
Obtención de policloruro de aluminio.



Nota: En la figura se aprecia la solución PAC obtenido color amarillento

¿Cómo se produce el policloruro de aluminio?

Una vez obtenida los resultados del análisis por FRX de la bentonita. Las reacciones que ocurren durante la obtención de policloruro de aluminio a partir de la bentonita son las siguientes.



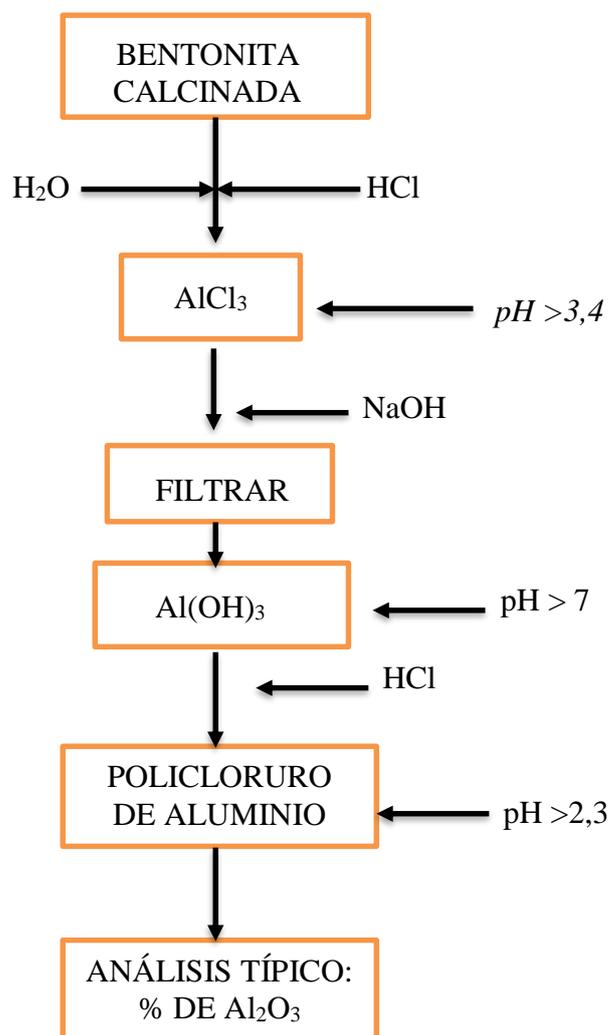
Para lo cual habrá que proceder de la siguiente manera:

- a) En un vaso de precipitado conteniendo HCl, se agrega poco a poco la bentonita en polvo, observándose la formación de una suspensión color naranja – marrón. En este punto es menester controlar el pH. Se va a obtener como producto el cloruro de aluminio. Filtrar.
- b) A la solución de cloruro de aluminio así obtenida se le agrega hidróxido de sodio, hasta un pH básico, con lo cual se va a obtener un precipitado gelatinoso de color blanco de hidróxido de aluminio.
- c) El hidróxido de aluminio obtenido debe ser lavado varias veces, con la intención de eliminar las sales solubles formadas.
- d) Al hidróxido de aluminio lavado y si es posible secado, agregar HCl hasta obtener un pH ácido, en continua agitación y en caliente, con lo cual se estaría logrando la obtención de una solución de color amarillenta conocida como policloruro de aluminio.
- e) Se analizará el contenido de aluminio expresado como % de Al_2O_3 en peso, contenido en la solución final

Análisis típico: % de Al_2O_3 en la solución final.

Figura 13

Diagrama de flujo cualitativo para la obtención de policloruro de aluminio.



En la figura 13 se observa el diagrama cualitativo para la obtención de policloruro de aluminio, cuyas muestras serán analizadas para determinar su contenido de aluminio expresado como % de Al_2O_3 en peso.

3.8.4. BALANCE DE MATERIA

Base de cálculo teórico:

Masa de bentonita = 15 g

Contenido de Al_2O_3 = 14,76 %

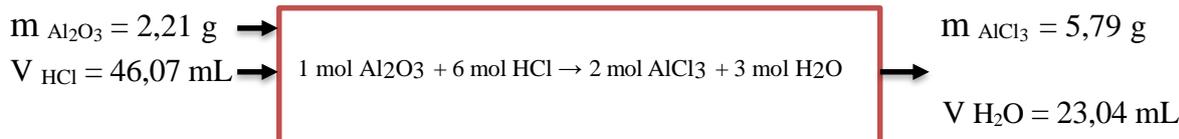
$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 15 \text{ g} \times 0,1476$$

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2,21 \text{ g}$$

Entonces en la primera reacción química balanceada tenemos:

$$\text{PM}_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 102 \text{ g/mol} \longrightarrow 1 \cancel{\text{ mol}} \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 102 \text{ g}/\cancel{\text{ mol}} = 102 \text{ g Al}_2\text{O}_3$$

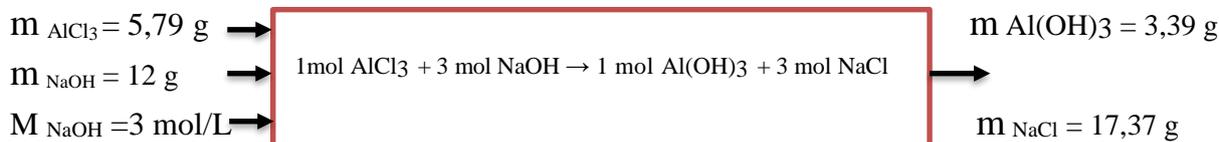
$$\text{PM}_{\text{AlCl}_3} = 133,34 \text{ g/mol} \longrightarrow 2 \cancel{\text{ mol}} \text{ AlCl}_3 \cdot 133,34 \text{ g}/\cancel{\text{ mol}} = 266,68 \text{ g AlCl}_3$$



En la segunda reacción química balanceada tenemos:

$$\text{PM}_{\text{Al(OH)}_3} = 78 \text{ g/mol} \longrightarrow 1 \cancel{\text{ mol}} \text{ Al(OH)}_3 \cdot 78 \text{ g}/\cancel{\text{ mol}} = 78 \text{ g Al(OH)}_3$$

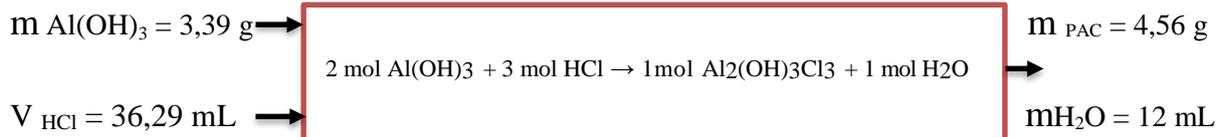
$$\text{PM}_{\text{AlCl}_3} = 133,34 \text{ g/mol} \longrightarrow 1 \cancel{\text{ mol}} \text{ AlCl}_3 \cdot 133,34 \text{ g}/\cancel{\text{ mol}} = 133,34 \text{ g AlCl}_3$$



Finalmente, en la tercera reacción química balanceada tenemos:

$$\text{PM}_{\text{Al(OH)}_3} = 78 \text{ g/mol} \longrightarrow 2 \cancel{\text{ mol}} \text{ Al(OH)}_3 \cdot 78 \text{ g}/\cancel{\text{ mol}} = 156 \text{ g Al(OH)}_3$$

$$\text{PM}_{\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}_3} = 210 \text{ g/mol} \longrightarrow 1 \cancel{\text{ mol}} \text{ Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}_3 \cdot 210 \text{ g}/\cancel{\text{ mol}} = 210 \text{ g Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}_3$$



Base de cálculo real:

Masa de bentonita = 15 g

De la tabla 4 del tratamiento 4 promedio de las 10 masas residuales es 2 g

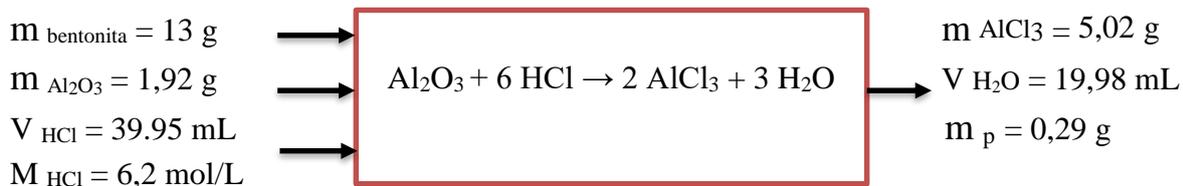
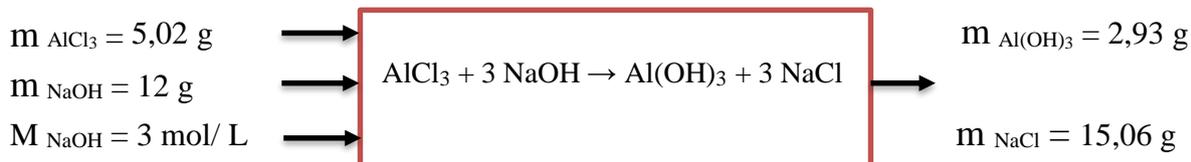
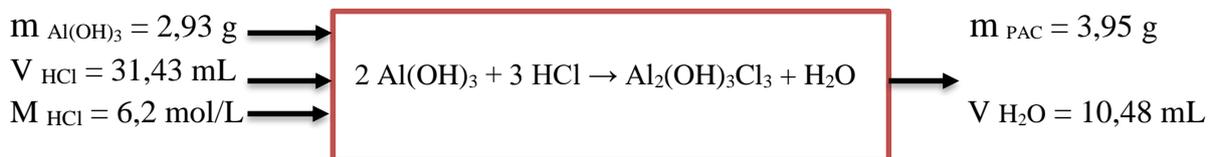
Masa de bentonita reaccionada = 13 g

Contenido de $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14,76 \%$

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 13 \text{ g} \times 0,1476 \quad m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 1,92 \text{ g}$$

$$m_p = 2,21 \text{ g} - 1,92 \text{ g}$$

$$m_p = 0,29 \text{ g}$$

Entonces en la primera reacción química tenemos:**En la segunda reacción química tenemos:****Finalmente, en la tercera reacción química tenemos:**

3.8.5. DETERMINACIÓN DE % DE RENDIMIENTO DEL PAC

$$\% \text{ Rendimiento} = \left(\frac{\text{Rendimiento real}}{\text{Rendimiento teórico}} \right) \times 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \left(\frac{3.95}{4.56} \right) \times 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 87 \% \text{ de } \text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}_3$$

3.8.6. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ALUMINIO EXPRESADO COMO % DE Al_2O_3 EN EL POLICLORURO DE ALUMINIO

Se colocaron 3 muestras de bentonita en tres vasos de 250 mL por separado, en el primero se colocó 5 g de bentonita, en el segundo 15 g de bentonita y en el tercero 25 g de bentonita; a cada uno de ellos se agregó 50 mL de HCl 6,20 M, posteriormente se agregó 12 g de NaOH en solución (100 mL), midiéndose en este punto el pH inicial se filtró, se lavó y luego se fue agregando HCl hasta alcanzar valores de pH final mayores que 2,3; con calentamiento a una temperatura de 80°C y con agitación de 300 rpm, hasta que la solución tomó un color amarillento. Se dejaron enfriar las muestras a temperatura ambiente y se enviaron para sus respectivos análisis en contenido de aluminio expresado como % de Al_2O_3 en peso, al laboratorio certificado EQUAS (Anexo 3).

3.8.7. DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

La determinación del CIC se hizo de acuerdo a la norma NMX-L-144-SCFI-2003.

Las porciones reactivas de las arcillas, adsorben el azul de metileno, determinándose así la capacidad de intercambio catiónico (CIC). La bentonita es dispersada en una solución de pirofosfato de sodio y digerida con ácido nítrico para eliminar la materia orgánica, y posteriormente efectuar la titulación con azul de metileno.

Para caracterizar la bentonita y determinar su CIC se prepararon las siguientes sustancias químicas:

Solución de azul de metileno: Se pesa 1,6 g de azul de metileno para un volumen de 500 mL, se agitó durante un tiempo de 2 horas para su disolución.

Solución de pirofosfato de sodio al 2%: Se pesan 10 gramos de pirofosfato y 490 g de agua destilada, agitándose durante un tiempo de 1 hora para la obtención de 500 mL de solución al 2%.

Solución de ácido nítrico: Se mide 34,2 mL de HNO_3 y se transfirió a un matraz volumétrico de 100 mL, en el cual previamente se colocó 50 mL de agua destilada, se aforó y se agitó durante 20 min para obtener una solución al 34,2 %.

Procedimiento:

- a) Secar 2 g de bentonita a 100 °C, durante 2 horas.
- b) Pesar 0,5 g de bentonita en un matraz Erlenmeyer.
- c) Agregar 20 mL de solución de pirofosfato al 2 % y agitar durante 10 minutos a temperatura moderada.
- d) Agregar 1 mL de solución de ácido nítrico y agitar durante 10 min a temperatura moderada.
- e) Enfrié la muestra y con agua destilada aforar a 50 mL.
- f) Titular la mezcla con azul de metileno, empleando cada vez 1 mL hasta obtener la aureola azul esperando 30 segundos, extraer una gota y marcarla en el papel de filtro, si se alcanza a distinguir la aureola esperar 2 min y repetir la gota.
- g) Si la aureola se pierde agregar 0,5 mL del titulante, repetir el paso anterior, hasta completar la titulación.

Expresión de resultados

$$CIC = \frac{Vam}{m}$$

dónde:

V_{am} es el volumen de azul de metileno, en mL;

m es la masa de la muestra, en g, y

CIC es la capacidad de intercambio catiónico, en meq/100 g.

3.8.8. DISEÑO EXPERIMENTAL

Diseño completamente al azar (DCA): Es una herramienta estadística que tiene como objetivo probar o no, la existencia del efecto de un único factor con la aplicación de sus diversos tratamientos (τ) aplicados a j repeticiones sobre la unidad experimental. De esta manera, se evita en consecuencia, los análisis tendenciosos.

Se empleó el diseño completamente al azar, debido a que todas las corridas experimentales se realizaron en orden aleatorio completo.

Las observaciones obtenidas de cada tratamiento se podrán describir con el modelo lineal estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + r_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde μ es la media global que es común a cada tratamiento, r_i que es relativo al tratamiento i y ε_{ij} es el error atribuible a la medición Y_{ij}

Este modelo implica que en el diseño completamente al azar actuarían a lo más dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio.

La media global μ de la variable de respuesta no se considera una fuente de variabilidad por ser una constante común a todos los tratamientos, que hace las veces de punto de referencia con respecto al cual se comparan las respuestas medias de los tratamientos.

Los datos descritos en la tabla 4 fueron analizados por el programa Minitab (software estadístico), cuyos resultados se presentan en el capítulo IV.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Los datos descritos en la tabla 4 fueron analizados por el programa Minitab (software estadístico), cuyos resultados se muestran a continuación:

4.1. VERIFICACIÓN DE LOS SUPUESTOS

Normalidad de los errores:

Hipótesis:

Ho: Las masas residuales se distribuyen normalmente (hipótesis nula)

Ha: Las masas residuales no se distribuyen normalmente (hipótesis alternativa)

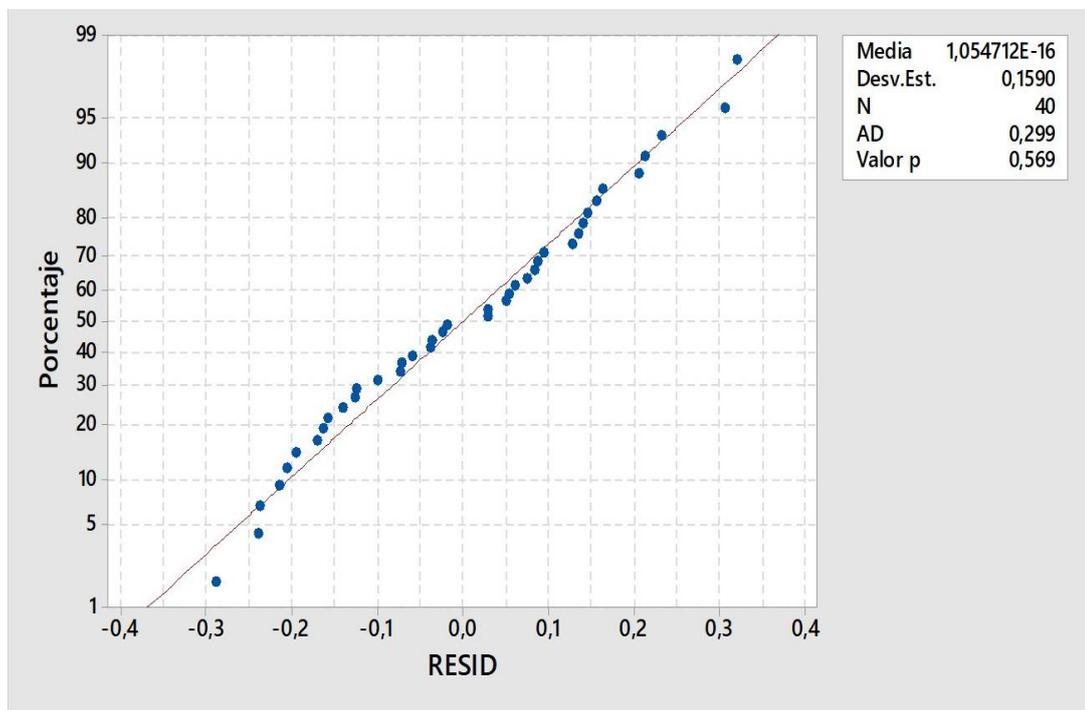
Nivel de significación de 5%: $\alpha = 0,05$

Estadístico de prueba: AD = 0,299

p-valor: 0,569

Decisión. No se rechaza la hipótesis nula porque p-valor: 0,569 es mayor que el nivel de significación: $\alpha=0,05$ por lo tanto se acepta la hipótesis nula

Conclusión. Con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de normalidad.

Figura 14*Probabilidad de RESID Normal.*

4.2. PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS

Hipótesis:

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$ (hipótesis nula)

σ_1^2 : varianza del tratamiento 1

H_a : al menos una varianza es diferente (hipótesis alternativa)

Nivel de significación de 5 %: $\alpha = 0,05$

Estadístico de prueba: Barlett

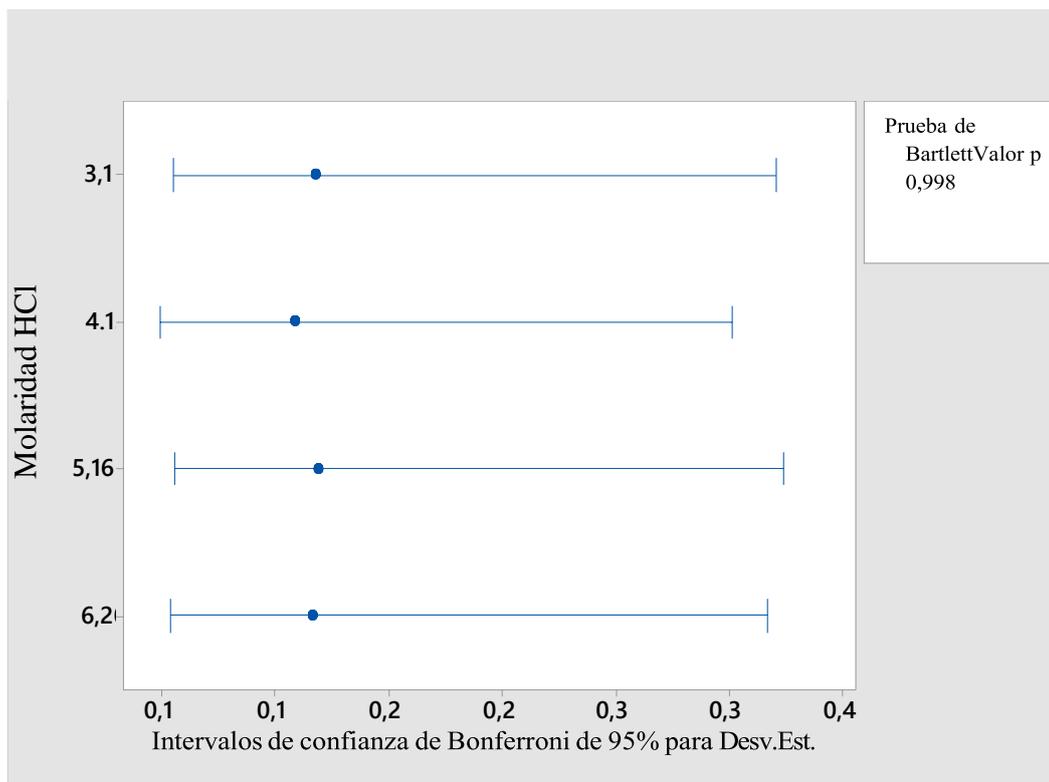
p-valor: 0,998

Decisión. No se rechaza la hipótesis nula porque p-valor: 0,998 es mayor que el nivel de significación: $\alpha = 0,05$ por lo tanto se acepta la hipótesis nula

Conclusión. con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas

Figura 15

Prueba de igualdad de varianzas: RESID vs. Molaridad HCl.



4.3. AL MENOS UNA CONCENTRACIÓN DE ACIDO CLORHÍDRICO ES DIFERENTE DE LOS DEMÁS

Hipótesis:

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (no hay diferencias significativas entre los tratamientos)

Ha: al menos una μ_i es diferente de los demás (las concentraciones de HCl tienen efecto en la obtención de policloruro de aluminio siendo la más idónea la de 6,2 M)

Nivel de significación: $\alpha = 0,05$

Estadístico de prueba:

F = 8157,37

Tabla 5*Análisis de varianza.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Molaridad HCl	3	670,348	223,449	8157,37	0,000
Error	36	0,986	0,027		
Total	39	671,334			

Nota. Esta tabla muestra un análisis de varianza para comparar medias de diferentes grupos

Decisión. Se rechaza la hipótesis nula por qué valor p es menos que nivel de significación: $\alpha = 0,05$ por lo tanto caemos en la hipótesis alternativa donde nos indica que no todas las medias son iguales.

Conclusión. Con una significancia del 5 %, al menos una concentración de HCl es diferente a los demás

4.4. CONCENTRACIÓN DE HCl MÁS EFECTIVO

Prueba de Tukey:

Hipótesis:

Ho: $\mu_i = \mu_j$, no hay diferencias significativas entre los tratamientos (hipótesis nula)

Ha: $\mu_i \neq \mu_j$, (hipótesis alternativa)

Nivel de significación de 5 %: $\alpha = 0,05$

Recordemos: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Salida Minitab:

Tabla 6

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

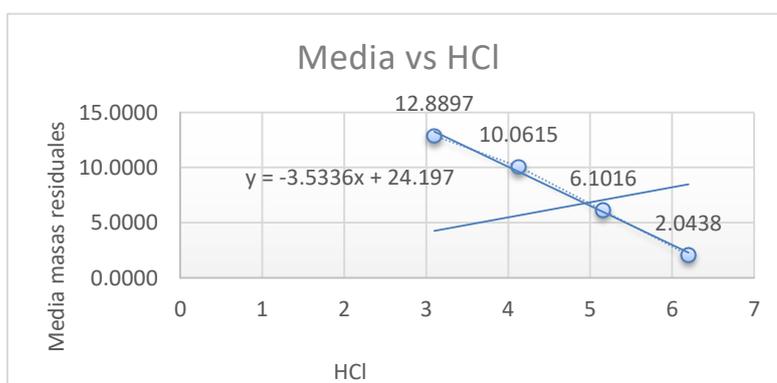
Molaridad			
HCl	N	Media	Agrupación
3,10	10	12,8897	A
4,13	10	10,0615	B
5,16	10	6,1016	C
6,20	10	2,0438	D

Nota. Esta tabla muestra las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Conclusión. La concentración adecuada de HCl en función al diseño experimental a un nivel de significancia del 5 % es de 6,2 M, es el más efectivo porque tiene mayor o menor promedio y difiere significativamente con los otros. La cual puede ser modificada mediante estudios más precisos en función a la disolución total de la muestra de bentonita.

Figura 16

Disolución total de la muestra de bentonita.



$$y = -3,5336x + 24,197$$

$$0 - 24,197 = -3,5336X$$

$$24,197 = 3,5336X$$

$$24,197/3,5336 = X$$

$$X = 6,85 \text{ mol/ L}$$

Con los datos obtenidos en la tabla 4 ya se puede observar la tendencia de la curva, lo cual nos permitió determinar la concentración adecuada de ácido clorhídrico cuando se disuelva totalmente la muestra de bentonita.

4.5. CONCENTRACIÓN DE NaOH

Para la neutralización de la solución de AlCl_3 se empleó solución de NaOH 3 M, con la intención de liberar los iones OH^- lentamente.

4.6. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA BENTONITA

Los resultados obtenidos por el laboratorio BIZAlab (Anexo 2), se presentan en la Tabla 7, en la cual se observa que la bentonita está compuesta por 14,76 por ciento de óxido de aluminio, además de otros componentes.

Tabla 7

Análisis químico de la bentonita por fluorescencia de rayos X

Fórmula	%	Fórmula	%
SiO_2	68,85	K_2O	0,77
Al_2O_3	14,76	TiO_2	0,20
MgO	3,59	P_2O_5	0,06
Fe_2O_3	1,46	SrO	0,05

Nota. Resultados obtenidos por el laboratorio bizalab mediante análisis químico por fluorescencia de rayos X.

4.7. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ALUMINIO EXPRESADO COMO % DE Al_2O_3 EN EL POLICLORURO DE ALUMINIO

En la tabla 8 se muestra el contenido de aluminio expresado como % de Al_2O_3 en el policloruro de aluminio que se obtiene a partir de bentonita y evidencia un valor de 8 por ciento para la muestra de 5 g., 10,30 por ciento para la muestra de 15 g., y 10,40 por ciento para la muestra de 25 g., lo que nos indica que el contenido de aluminio expresado como % de Al_2O_3 se va incrementando a medida que se incrementa el peso de la muestra. Como se muestra en la figura 28

Tabla 8

Análisis del porcentaje de Al_2O_3 en las muestras de policloruro de aluminio.

Muestra (g)	M1	M2	M3
Peso (g)	5	15	25
Volumen de solución de HCl (mL)	50	50	50
Volumen de solución de NaOH (mL)	100	100	100
pH inicial	13,25	13,32	13,34
pH final	2,59	2,38	2,37
Temperatura (°C)	80	80	80
Agitación (r.p.m.)	300	300	300
% Al_2O_3	8	10,30	10,40

En la tabla 8 se muestra los resultados de porcentaje de Al_2O_3 en las muestras de policloruro de aluminio que se obtuvo mediante el método espectrofotometría por absorción atómica.

Es preciso resaltar que los resultados del análisis del porcentaje de Al_2O_3 en las muestras obtenidas de policloruro de aluminio se encuentran dentro del rango de porcentajes (2 – 18 %) en los cuales se vende este producto.

4.8. PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DEL PAC

En este estudio teniendo en cuenta el rendimiento real y rendimiento teórico el porcentaje de rendimiento del policloruro de aluminio es 87 %

4.9. CARACTERIZACIÓN DE LA BENTONITA SÓLIDA

La caracterización de la bentonita sólida utilizada para el trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de química orgánica obteniéndose los siguientes resultados:

4.9.1. Densidad

Densidad aparente de la bentonita:

Se encuentra entre 0,7 - 0,9 g/mL

Densidad de la bentonita real

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Volumen de la solución = 100 mL

Masa del vaso precipitado vacío, $m_1 = 103,53$ g

Masa del vaso precipitado más masa de la bentonita, $m_2 = 192,9363$

Masa de la bentonita = $m_2 - m_1$

Masa de la bentonita = $192,9363$ g – $103,53$

Masa de la bentonita = $89,30$ g

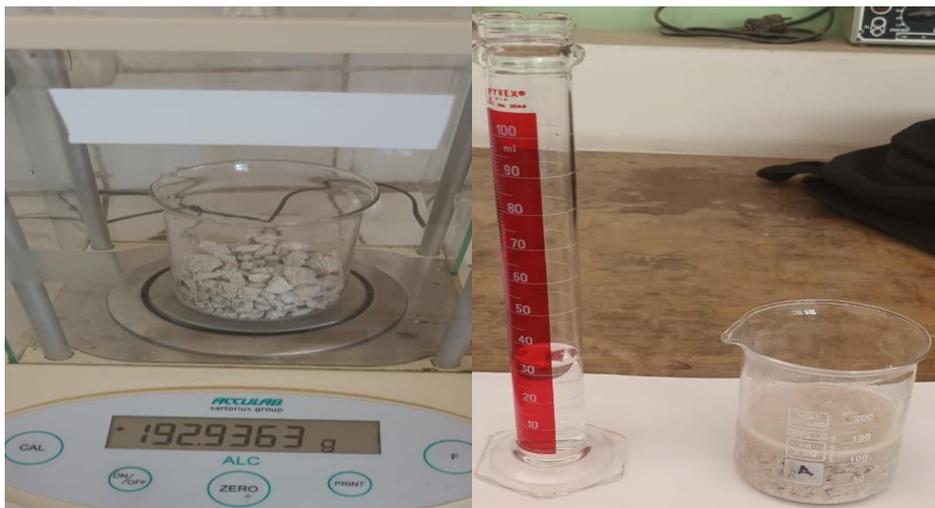
Entonces:

$$\rho = \frac{89,41 \text{ g}}{100 \text{ mL}}$$

$$\rho = 0,8941 \text{ g/mL}$$

Figura 17

Determinación de la densidad de bentonita.

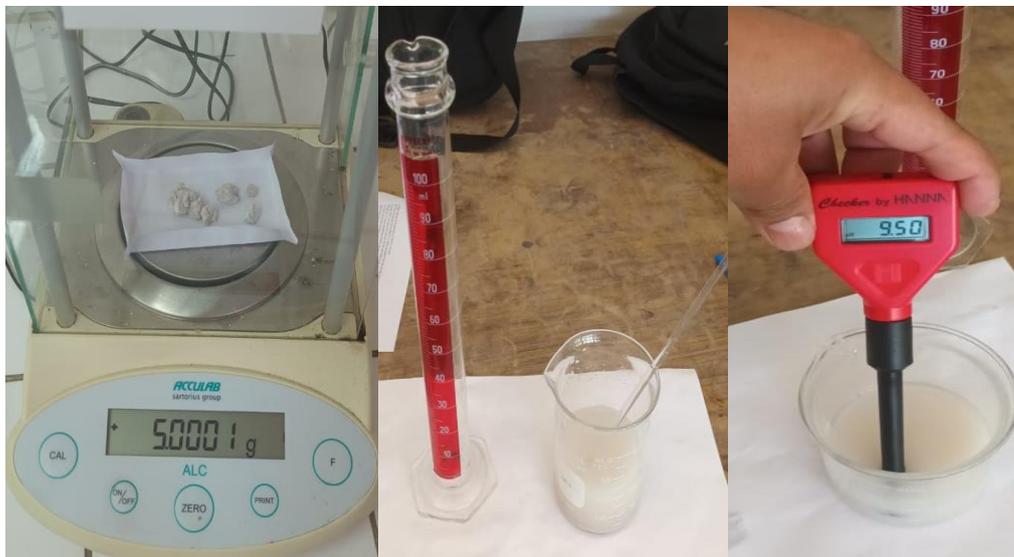


4.9.2. pH de la bentonita al 5 %

Se empleó 5 g de bentonita contenida en un vaso precipitado, se añadió 100 mL de agua destilada y luego se midió el pH obteniéndose como resultado 9,50.

Figura 18

pH de la bentonita.



4.9.3. Capacidad de intercambio catiónico

De acuerdo a la norma NMX-L-144-SCFI-2003, está establece el parámetro a evaluar (capacidad de intercambio catiónico de bentonita). A continuación, se presenta una tabla representativa de los resultados obtenidos al determinar el CIC:

Tabla 9

Resultados del CIC.

Prueba	Masa (g)	Vol. Gastado (mL)	CIC (meq/100g)
1	0,5021	44	87,6319
2	0,5005	45	89,9101
3	0,5000	46	92,0000
4	0,5008	46	91,8530

Promedio = 90,3488 CIC (meq/100g)

Figura 19

Preparación de azul de metileno.



Figura 20

Preparación pirofosfato de sodio al 2 %.

**Figura 21**

Preparación ácido nítrico.



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al buscar en la bibliografía estudios de este tipo, no se pudo encontrar respuesta alguna, por lo que al ser este trabajo el primero en su género, resulta un tanto difícil contrastar con el resultado de otras investigaciones por lo que sería bueno darles crédito a los resultados obtenidos y esperar que se desarrollen otros trabajos de la misma línea para poder compararlos y dar un veredicto definitivo.

Los resultados obtenidos en la investigación, concuerdan con la literatura sobre la obtención de policloruro de aluminio a partir de la bentonita, ya que se obtuvo un % de Al_2O_3 en una de las muestras de 10,40; valor que nos indica que el policloruro de aluminio se encuentra dentro del rango de obtención del mismo, que a nivel comercial oscila entre el 2 y el 18 %.

En cuanto a la metodología empleada, se puede inferir que ha sido encaminada de tal manera que ha cumplido sus fines ya que el resultado nos demuestra la validez de la misma.

Al haberse cumplido las hipótesis y las preguntas planteadas en el trabajo de investigación, vale recalcar que los resultados obtenidos verifican nuestro trabajo y por lo tanto es menester darle la aprobación a dicha investigación.

En el diseño experimental con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de la homogeneidad de varianzas; se observa que las concentraciones de HCl tienen efecto en la obtención de policloruro de aluminio siendo la más idónea la de 6,2 M, ya que es la concentración más efectiva y difiere significativamente con los otros.

En cuanto a la caracterización de la bentonita empleada en la presente investigación, se determinó su densidad aparente siendo ésta de 0,8941 g/mL la cual se encuentra dentro del rango teórico para la bentonita (0,7 a 0,9 g/mL); luego se determinó el pH de la bentonita al 5%, siendo ésta de 9,5; también se determinó la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de la misma, empleando la norma NMX-L-144-SCFI-2003, la cual nos dio como resultado promedio 90,3488 meq/100 g; es bueno indicar que cuanto mayor es la CIC mayor es la cantidad de cationes que éste puede retener.

CONCLUSIONES

- Se determinó los parámetros para la obtención de policloruro de aluminio a partir de la bentonita de la localidad de Soccos (Ampuqasa) Ayacucho, determinándose un pH mayor a 3,4 para la obtención de cloruro de aluminio, asimismo para la obtención de hidróxido de aluminio se determinó un pH mayor a 7 y para la obtención del PAC se determinó un pH mayor a 2,3. La concentración de ácido clorhídrico adecuado fue de 6,2 M y la de hidróxido de sodio 3,0 M.
- Para determinar la composición química de la bentonita se hizo uso de los servicios del laboratorio químico certificado BIZAlab, el cual mediante análisis por fluorescencia de rayos X, nos proporcionó los resultados inherentes a la muestra de bentonita, la cual se presenta en el anexo 2, observándose que el porcentaje de Al_2O_3 es de 14,76
- Para la obtención de policloruro de aluminio a partir de la bentonita de la localidad de Soccos, se logró determinar las condiciones favorables en la determinación de los parámetros adecuados tales como: pH mayor a 3,4 para la obtención del cloruro de aluminio, pH mayor a 7 para la precipitación del hidróxido de aluminio y pH mayor a 2,3 en la obtención de policloruro de aluminio, además se logró determinar la concentración adecuada de ácido clorhídrico (6,20 M) para una alta disolución de la bentonita.
- Para determinar el contenido de aluminio expresado como % de Al_2O_3 en el policloruro de aluminio obtenido se hizo uso de los servicios del laboratorio químico certificado EQUAS, el cual mediante el método (APHA 3111 D) espectrofotometría por absorción atómica, nos proporcionó los resultados de las 3 muestras enviadas, siendo éstas 8,00; 10,30 y 10,40 % en Al_2O_3 ; valores que nos indican que el resultado final es policloruro de aluminio.

RECOMENDACIONES

- Para estudios posteriores sería recomendable que se aborde el tema tratado en esta investigación empleando metodologías diferentes, bien sean más avanzadas o del mismo nivel, pero con otros instrumentos. O también, aplicar la metodología empleada en el estudio, en investigaciones de otros temas e incluso de otras áreas del conocimiento
- Es preciso recalcar el sumo cuidado con el control de los valores de pH, ya que estos valores determinan la formación tanto del hidróxido de aluminio (pH alto), así como la del policloruro de aluminio (pH bajo).
- Es importante manifestar la relevancia del presente estudio, por lo que se invita a los estudiantes de la facultad a seguir investigando sobre este tema ya que nos permite aparte de desarrollar nuevos procedimientos darles un valor agregado a los no metales que en abundancia se encuentran en nuestra región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- About Xunyu Group. (2021). Company located in China “About Xunyu Group”. [Online]. Recovered from: <https://www.polyaluminium-chloride.net/contact-us/>
- Ahmad, H. M., Kamal, M. S., & Al-Harthi, M. A. (2018). *Effect of thermal aging and electrolyte on bentonite dispersions: rheology and morphological properties*. *Journal of Molecular Liquids*, 269, 278-286. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.08.058>
- Arias, A. (2001). *Suelos tropicales. ISBN 9968 - 31-092 - 1- Costa Rica*: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Belloti & Irigo Simó, (2018). Tesis. *Producción de policloruro de aluminio a partir de aluminio secundario. Argentina*. Universidad tecnológica Nacional. <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/3367>
- Boylu, F., Çinku, K., Esenli, F., & Çelik, M. S. (2010). *The separation efficiency of Na-bentonite by hydrocyclone and characterization of hydrocyclone products*. *International Journal of Mineral Processing*, 94(3-4), 196-202. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2009.12.004>.
- Cabrera, P. (2016). *Análisis de alternativas para la utilización del cloro y sus derivados en la producción de coagulantes*. Trabajo de Diploma en Ingeniería Química. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas [Online]. Recuperado de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7357/Cabrera%20Ferr%C3%A1n%20Pablo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cogollo Flórez, J. M. (2011). *Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio*.
- Cogollo, J. (2003). *Optimización del proceso de clarificación en la planta de tratamiento de aguas de una embotelladora de bebidas*. Montería [Trabajo de Grado Ingeniero de Alimentos]. Montería: Universidad de Córdoba.

- Chane-ching, J. (1999). *Nuevos policloruros o policlorosulfatos de aluminio, su procedimiento de preparación y su aplicación al tratamiento de medios acuosos*. España patent application.
- Dyna, 78(165), 18-27. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532011000100002
- Delgado, S., Díaz, F., García, D., & Otero, N. (2003). *Behaviour of inorganic coagulants in secondary effluents from a conventional wastewater treatment plant*. *Filtration & separation*, 40(7), 42-46. [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(03\)00732-8](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(03)00732-8)
- Eisenhour, D. D., & Brown, R. K. (2009). *Bentonite and its impact on modern life*. *Elements*, 5(2),83-88. Doi: <https://doi.org/10.2113/gselements.5.2.83>
- García, G.; Martínez. (2004). *Recursos minerales de España*. España
- García.; M. (2020). *Bentonitas y Zeolitas sintéticas con propiedades adsorbentes de iones mejoradas. Aplicaciones en tratamientos de aguas contaminadas*. Tesis para optar el gradode Máster en Ingeniería Química. Universidad de Sevilla. [Online]. Recuperado de:<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/104004/TFM-1731-GARCIA%20BAENA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hanulakova, D., Zeman, J., Vašíček, R., Příkryl, R., & Kuchovský, T. (2013). *Determination of pore water composition during long term interaction of bentonite substrates with water media: comparative study*. *Applied clay science*, 80, 69-75. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.06.006>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2017). *Estudio de recursos de rocas y minerales industriales para la inclusión económica social y desarrollo en la región de Ayacucho*. B-040-Boletin_Estudio_recursos_rocas_minerales_industriales...Ayacucho (2).pdf
- Lifeder. (6 de febrero de 2020). *Policloruro de aluminio: estructura, propiedades, obtención*,

usos. <https://www.lifeder.com/policloruro-de-aluminio/>

- Moreira, R. (2016). *Trabajo final de grado. Propiedades de una bentonita industrial nacional y su caracterización estructural basada en absorción y difracción de rayos X (XANES y DRX)* (Versión PDF) obtenido de file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf
- Mendoza, J. (2012). Tesis. *Obtención de Policloruro de aluminio a partir de la chatarra para uso en potabilización de agua*. Ecuador. Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redu48>
- McCurdy, K., Carlson, K., & Gregory, D. (2004). *Floc morphology and cyclic shearing recovery: comparison of alum and polyaluminum chloride coagulants*. *Water Research*, 38(2), 486- 494. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.005>
- Molina, R. (2000). *Teoría de la clarificación de mostos y vinos y sus aplicaciones prácticas*. España: Mundi-Prensa.
- Murray, H. H. (2006). *Structure and composition of the clay minerals and their physical and chemical properties*. *Developments in clay science*, 2,7 31. [https://doi.org/10.1016/S1572-4352\(06\)02002-2](https://doi.org/10.1016/S1572-4352(06)02002-2)
- Nones, J., Riella, H. G., Trentin, A. G., & Nones, J. (2015). *Effects of bentonite on different cell types: A brief review*. *Applied Clay Science*, 105, 225-230. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.12.036>
- Oliveira, D. (2009). *Estudio de modificación de bentonita para remoción de fenol en aguas producidas en la industria de petróleo*. Universidad Federal de Rio Grande de Norte. Brasil.
- Quispe, L. (2021). Tesis. *Obtención de policloruro de aluminio a partir de chatarras de aluminio, para la reducción de la turbidez de las aguas de la piscigranja Jatarisum – Vinchos – Ayacucho*. 2019. Huamanga. Universidad Nacional de San Cristóbal de

Huamanga.

Química Industrial (2021). *Empresa de Química Industrial en el Perú* [online].

Recuperado de <https://www.quimicaindustrial.pe/producto/policloruro-de-aluminio/>

Quimpac. (2012). Quimpac de Colombia S.A. “Hoja de Seguridad Policloruro de Aluminio

(PAC) e Hidroxicloruro de Aluminio (ACH). [online]. Recuperado de:

<https://www.quimpac.com.co/pdfs/SHa-001-1.pdf>

Rebhun, M., & Lurie, M. (1993). *Control of organic matter by coagulation and floc*

separation. Water Science and Technology, 27(11),

1. [https://www.proquest.com/docview/1943235396?pq-](https://www.proquest.com/docview/1943235396?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true)

[origsite=gscholar&fromopenview=true](https://www.proquest.com/docview/1943235396?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true)

Rojas & Sánchez (2020), Tesis. *Capacidad de adsorción de un material compuesto a base de*

bentonita y óxido de grafeno para remover arsénico en agua contaminada. UPRG.

Lambayeque. Perú. [https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/844](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8443/BC-4846%20ROJAS%20GONZAGA-SANCHEZ%20BALAREZO.pdf)

[3/BC-4846%20ROJAS%20GONZAGA-SANCHEZ%20BALAREZO.pdf](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8443/BC-4846%20ROJAS%20GONZAGA-SANCHEZ%20BALAREZO.pdf)

Rozalen, M. (2004). *Mecanismos y velocidad de disoluciones de montmorillonita en*

soluciones de electrolitos inertes. Influencia del pH y la temperatura. Universidad de

Granada. España.

Tzoupanos, N. D., Zouboulis, A. I., & Tsoleridis, C. A. (2009). *A systematic study for the*

characterization of a novel coagulant (polyaluminium silicate chloride). Colloids and

Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 342(1-3), 30-39.

<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2009.03.054>

Vallier, E. y otros. (2000). *Proceso para la preparación de policloruro de aluminio básico y*

su aplicación en el tratamiento de medios acuosos. España patent application.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia.

Obtención de Policloruro de Aluminio a Partir de Bentonita, del Distrito de Soccos (Ampuqasa) Ayacucho-2021

AUTOR: Luis Angel QUIJANO RAMIREZ TIPO: Experimental NIVEL: Explicativo DISEÑO: Experimental

PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS PRINCIPAL	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	UNIVERSO POBLACIÓN
<p>¿Cuáles serán los parámetros que inciden en la obtención de policloruro de aluminio a partir de la bentonita de la localidad de Soccos (Ampuqasa)?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <p>1. ¿Cuál será la composición química de la bentonita a ser utilizada en la obtención del policloruro de aluminio?</p> <p>2. ¿Cuál será el procedimiento a seguir para determinar los parámetros con la finalidad de obtener policloruro de aluminio a partir de bentonita?</p> <p>3. ¿Qué método se empleará para determinar el contenido de aluminio expresado como % de Al_2O_3 en peso, en el policloruro de aluminio?</p>	<p>Determinar los parámetros para obtener policloruro de aluminio a partir de la bentonita proveniente del distrito de Soccos-Ayacucho.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <p>1. Determinar la composición química de la bentonita del distrito de Soccos Ayacucho mediante el método de análisis químico por fluorescencia de rayos X, para su empleo en la obtención del policloruro de aluminio.</p> <p>2. Determinar las condiciones favorables en la determinación de los parámetros, para la obtención de policloruro de aluminio a partir de la bentonita proveniente del distrito de Soccos.</p> <p>3. Cuantificar el contenido de aluminio expresado como % de Al_2O_3 en peso, en el policloruro de aluminio obtenido a partir de la bentonita proveniente del distrito de Soccos (Ampuqasa)</p>	<p>Se van a determinar los parámetros para desarrollar un proceso en la obtención de policloruro de aluminio a partir de bentonita proveniente del distrito de Soccos-Ayacucho.</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <p>1. Mediante el análisis químico por fluorescencia de rayos X es importante la determinación de la composición de la bentonita proveniente del distrito de Soccos (Ampuqasa), la cual presenta características apropiadas para la obtención de PAC.</p> <p>2. Se va a desarrollar un procedimiento apropiado para determinar los factores con la finalidad de obtener policloruro de aluminio a partir de la bentonita proveniente del distrito de Soccos.</p> <p>3. La cuantificación del contenido de aluminio expresado como % de Al_2O_3 en peso, en el policloruro de aluminio obtenido a partir de la bentonita del distrito de Soccos-Ayacucho. Se va a determinar mediante el método de ensayo por espectrofotometría por absorción atómica (APHA 3111 D)</p>	<p>(X): Independiente: Bentonita.</p> <p>(Y): Dependiente: Policloruro de aluminio.</p>	<p>Variable independiente X₁: $Al(OH)_3$; Cantidad de gramos</p> <p>X₂: HCl; Cantidad de mililitros</p> <p>Variable dependiente Y₁: % de Al_2O_3</p>	<p>Método de investigación: Para el desarrollo de la tesis se va a utilizar el método cuantitativo.</p> <p>Nivel y tipo de investigación: Nivel: Explicativo Tipo: Experimental</p> <p>Muestra: Diversas alícuotas tomadas de la población para la obtención de policloruro de aluminio.</p> <p>Técnicas: Experimentales.</p> <p>Instrumentos: Métodos de análisis y control adecuados.</p>	<p>Bentonitas tomadas de diferentes puntos geográficos del distrito de Soccos (Ampuqasa) de la región de Ayacucho.</p>

Anexo 2*Análisis químico de la bentonita por un laboratorio certificado***INFORME DE ENSAYO**

**ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X
DE UNA MUESTRA**

Para:

Luis Angel Quijano Ramírez

Aprobado por:

Gerente General: Erika Gabriel

Informe de Ensayo No: OTIV-107			
REV	EDICION	EMITIDO PARA	FECHA
0	Primera	Información	13-May-2021
<p>Descargo de Responsabilidad: Los resultados de los ensayos pertenecen solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con Normas del Producto o como certificado del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce.</p>			

I. INTRODUCCION

A solicitud de Luis Ángel Quijano Ramírez, se ha realizado el análisis químico por fluorescencia de rayos X (FRX) de una muestra.

La muestra se recibió disgregada y en cantidad apropiada para el análisis a realizar. El servicio corresponde a la orden de trabajo OTIV-107.

En el análisis químico por FRX se realizó la determinación semicuantitativa de los elementos desde el sodio (Z=11) al uranio (Z=92). Los elementos que no se reportan no han sido detectados por el equipo, debido a que se encuentran por debajo del límite de detección del elemento respectivo.

Los resultados elementales han sido estequiométricamente expresados en óxidos. El método de preparación aplicado a la muestra fue pastilla prensada. El informe incluye la pérdida por calcinación (LOI- calcinación a 950°C por 2 horas), que corresponde a la pérdida de peso, expresado en porcentaje, y que refleja el contenido de componentes volátiles en las muestras, como agua, carbonatos (se descomponen liberando CO₂), sulfatos y sulfuros (se descomponen liberando SO₂), entre otros.

II. ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Muestra Bentonita

Análisis Químico Semicuantitativo

Fórmula	%
SiO ₂	68,85
Al ₂ O ₃	14,76
MgO	3,59
Fe ₂ O ₃	1,46
CaO	1,39
Na ₂ O	1,11
K ₂ O	0,77
TiO ₂	0,20
P ₂ O ₅	0,06
SrO	0,05
MnO	0,04
ZrO ₂	0,01

MUESTRA	LOI
Muestra Bentonita	7,7

III. ANEXOS

OBSERVACIONES:

- El presente informe no puede ser utilizado como certificado.
- Los resultados corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
- Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento.
- %: Porcentaje masa-masa (g/g).
- ppm: Relación masa-masa ($\mu\text{g/g}$).
- Límite de Detección de la técnica (L.D.): 100 ppm.

CONDICIONES DE OPERACIÓN Y ANÁLISIS FRX:

Equipo: Espectrómetro

Tipo: Longitud de onda dispersiva (WDXRF)

Ánodo Pd (50kV, 4mA)

Temperatura de ambiente: 24 °C Colimador: S2

Cristales: RX25, PET y LIF200

Detectores: Contador de Centelleo y de Flujo.

Anexo 3

Análisis químico del policloruro de aluminio por un laboratorio certificado



**Environmental Quality
Analytical Services S.A.**
Tecnología al servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental



INFORME DE ENSAYO N° N0081/22

Solicitante : LUIS ANGEL QUIJANO RAMIREZ
Dirección : Huamanga – Ayacucho
Procedencia : OBTENCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE BENTONITA
Matriz de la Muestra: SOLUCION FINAL DE $Al(OH)_3$
Fecha de Muestreo : 26 - Enero – 2022
Responsable del Muestreo : Personal Técnico - Empresa Solicitante
Fecha y Hora de Recepción : 31 - enero - 2 022 / 07:55
Fecha de Ejecución del Ensayo: 31 - enero al 07 - febrero - 2022

Código Interno: L0081/22

PARÁMETROS	0081 - 1 ^(a)	0081 - 2 ^(a)	0081 - 3 ^(a)	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	1 (10:00 h)	2 (10:00 h)	3 (10:00 h)		
% Concentración de Óxido de Aluminio	8,00	10,30	10,40	%	APHA 3111 D

(^a) Código de Laboratorio (^b) Código del Solicitante

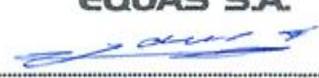
REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -

STANDAR METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -

La muestra cumple con los requisitos de calidad para ser analizada.

Lima, 07 de febrero de 2022.

EQUAS S.A.

Ing. Eusebio Victor Cóndor Evaristo
 Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirigencia ante la comisión deberealizarse diez días útiles antes de su vencimiento.

Código: F01-P.DIR.04
 Revisión: 00
 Fecha: 17-10-2 019

Dirección de Laboratorio: Mz. I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte
 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e-mail: info@equas.com.pe

Página 1 de 1

Anexo 4

Panel fotográfico

Figura 22*Tablero de control del horno de fundición.*

Figura 23

Calcinación de la bentonita en la mufla del laboratorio de química orgánica.



Figura 24

Registro del pesaje de muestras.



Figura 25

Secado de los crisoles.



Figura 26

Formación de hidróxido de aluminio.

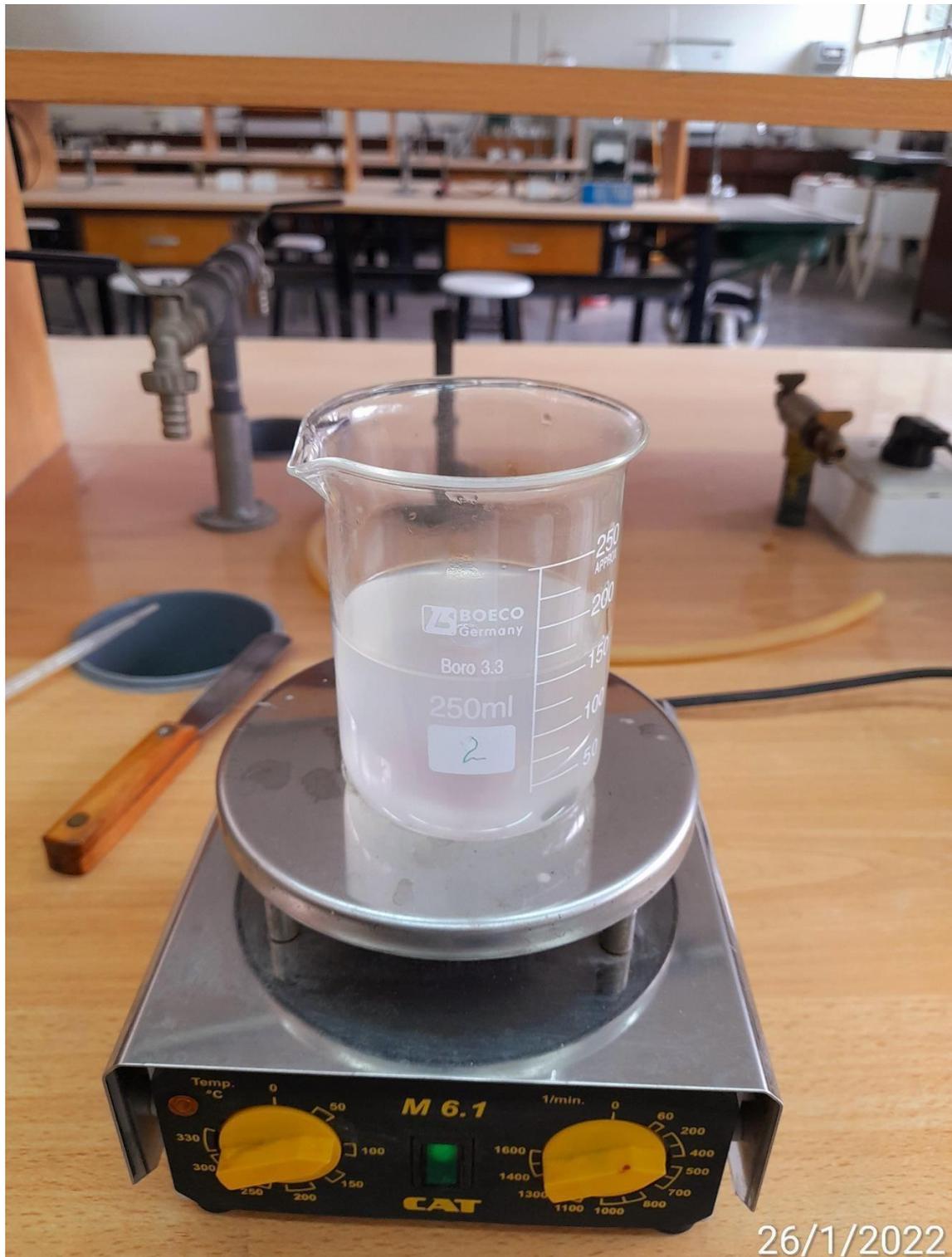


Figura 27

Control de pH.



Figura 28

Preparación de las muestras para la determinación de la pureza del policloruro de aluminio.

**Figura 29**

Formación de policloruro de aluminio a una temperatura de 80°C y 300 rpm



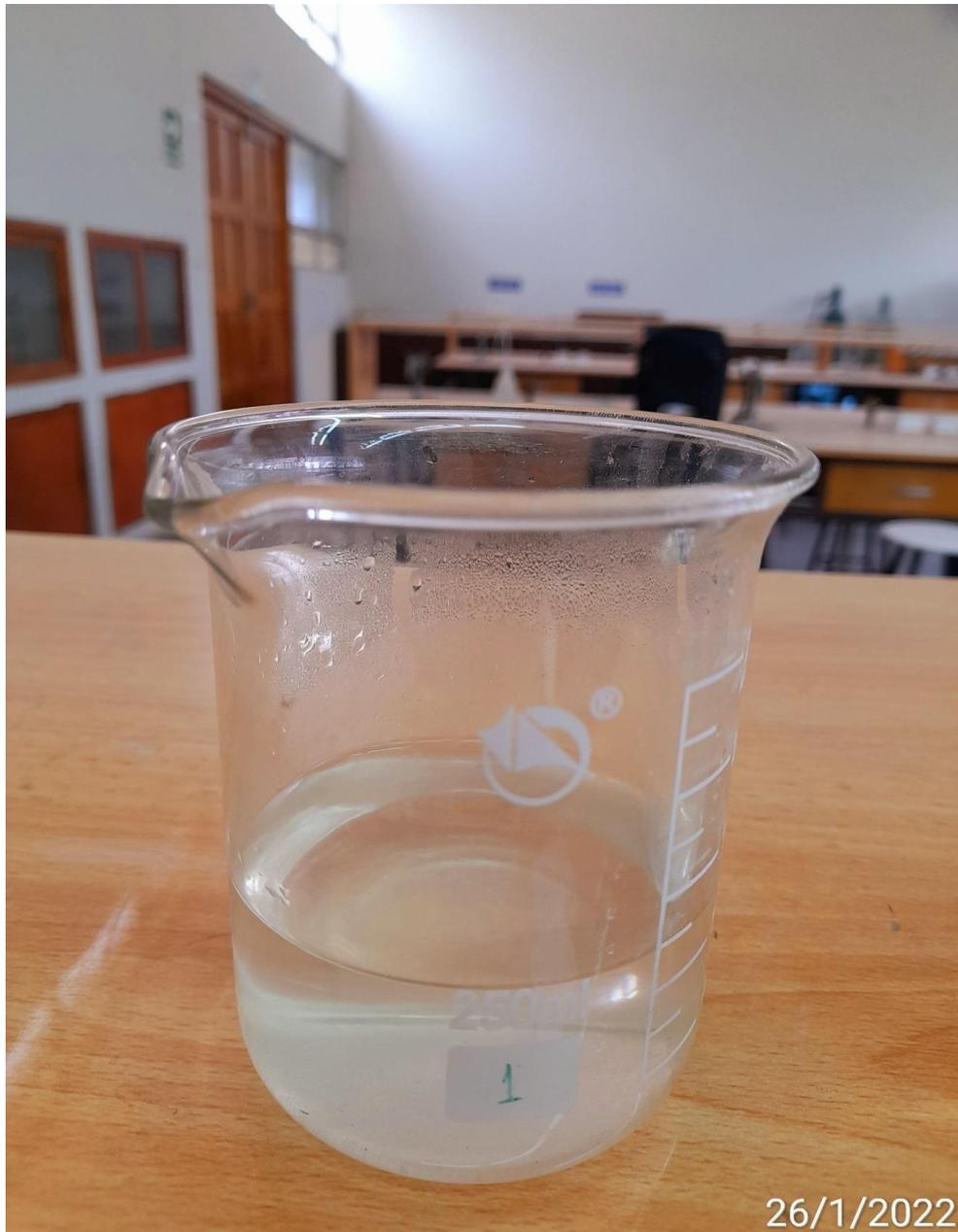
Figura 30

Muestras listas para su análisis de porcentaje de Al_2O_3 .



Figura 31

Policloruro de aluminio obtenido.



**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACION DE LA TESIS PRESENCIAL****“OBTENCION DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE BENTONITA, DEL DISTRITO DE SOCCOS (AMPUQASA) AYACUCHO-2021”****Expositor: Luis Angel QUIJANO RAMIREZ
Bachiller en Ingeniería Química**

Expediente N° 2215400

Resolución Decanal N° 096-2023-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 01-08-2023.

En la Sala de Conferencia “Pedro Villena Hidalgo” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las diez de la mañana con cinco minutos del día viernes cuatro de agosto del año dos mil veintitrés, se reunieron el Bachiller en Ingeniería Química **Luis Angel QUIJANO RAMIREZ**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Mg. León Fernando PEREZ CHAUCA, Mg. Abdías ASCARZA MOISES y Mg. Pedro INGA ZARATE, bajo la Presidencia de la Dra. Alcira Irene CORDOVA MIRANDA (Decana(e) de la FIQM), Mg. Aníbal Pablo GARCIA BENDEZU (Docente Asesor de la Tesis), el Mg. José Alberto CUEVA VARGAS (Secretario-Docente) y el público asistente;

Acto seguido, la Presidenta del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **“OBTENCION DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE BENTONITA, DEL DISTRITO DE SOCCOS (AMPUQASA) AYACUCHO-2021”**, presentado por el Bachiller **Luis Angel QUIJANO RAMIREZ**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 096-2023-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó al Bachiller **Luis Angel QUIJANO RAMIREZ**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de treintaicinco minutos.

Finalizada la exposición del Bachiller, la presidenta invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Pedro INGA ZARATE y Mg. Abdías ASCARZA MOISES y Mg. León Fernando PEREZ CHAUCA. Luego la Presidenta invitó al Mg. Aníbal Pablo GARCIA BENDEZU para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

A continuación, la presidenta del jurado invito al sustentante y al público para que se sirva abandonar la sala de conferencia con la finalidad de permitir al jurado de sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO CATORCE (14).**



UNSCH

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGÍA

ACTA DE SUSTENTACION DE LA TESIS PRESENCIAL

“OBTENCION DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE BENTONITA, DEL DISTRITO DE SOCCOS (AMPUQASA) AYACUCHO-2021”

Expositor: Luis Angel QUIJANO RAMIREZ
Bachiller en Ingeniería Química

Expediente N° 2215400

Resolución Decanal N° 096-2023-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 01-08-2023.

Finalmente, la Presidenta del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la sala de conferencias y anunció que, el Bachiller **Luis Angel QUIJANO RAMIREZ**, ha resultado **APROBADO POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con un flamante **INGENIERO QUIMICO** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las doce del mediodía con veinte minutos se dio por finalizado este acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

.....
Dra. Alcira Irene CORDOVA MIRANDA
Presidenta (e)

.....
Mg. León Fernando PEREZ CHAUCA
Miembro

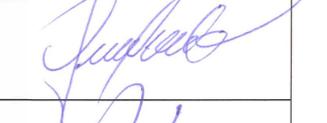
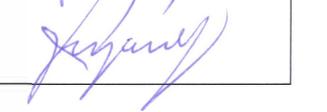
.....
Mg. Abdías ASCARZA MOISES
Miembro

.....
Mg. Pedro INGA ZARATE
Miembro

.....
Mg. José Alberto CUEVA VARGAS
(Secretario Docente)

ACTA DE CONFORMIDAD

Los que suscribimos, miembros de Jurado Designado para el Acto Público de Sustentación de Tesis modalidad presencial cuyo Título es: "**OBTENCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE BENTONITA, DEL DISTRITO DE SOCCOS (AMPUQASA) AYACUCHO -2021**". Presentado por el bachiller en Ingeniería Química Luis Angel QUIJANO RAMIREZ, el cual fue expuesto el día 4 de agosto del 2023 a horas 10 am, en mérito a la Resolución Decanal N° 096-2023-UNSCH-FIQM/D, **DAMOS NUESTRA CONFORMIDAD** en su totalidad al trabajo final corregido, aceptando la publicación final de la mencionada tesis y declaramos al recurrente **APTO** para que pueda iniciar las gestiones administrativas conducentes a la expedición y entrega de título profesional de **INGENIERO QUÍMICO**.

MIEMBROS DEL JURADO	DNI	FIRMA
Mg. León Fernando PEREZ CHAUCA	065 4765 4	
Mg. Abdías ASCARZA MOISES	28263357	
Mg. Pedro INGA ZARATE	28263568	

Ayacucho, 29 de agosto del 2023

**UNSCH****FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y
METALURGIA****ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA QUÍMICA****CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°-008-2023-UNSCH-FIQM/EPIQ**

El que suscribe, director de la **Escuela Profesional de Ingeniería Química** de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, habiendo recibido el requerimiento de Constancia de Originalidad por parte del Bach. **Luis Angel QUIJANO RAMIREZ**, se procedió a la evaluación y regularización de originalidad del archivo adjunto con el **TURNITIN - UNSCH**, de acuerdo a los criterios establecidos en el **Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH**, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU; cuyos resultados son:

Tesis: "Obtención de Policloruro de Aluminio a Partir de Bentonita, del Distrito de Soccos (Ampuqasa) Ayacucho- 2021"

Autor : Bach. Luis Angel QUIJANO RAMIREZ
Identificado : 2166003277
Fecha : 14 de setiembre de 2023
Archivo : Tesis

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del **27 (veintisiete) % de ÍNDICE DE SIMILITUD** realizado con **Depósito de trabajos estándar**, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que, los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Ayacucho, 14 de setiembre de 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

Mtro. Abraham Perlandá TREJO ESPINOZA
DIRECTOR

Adjunto **Reporte de Índice de Similitud**
cc. archivo

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA
QUIMICA** Av. Independencia S/N –
Ayacucho Telf. 066-312510 Anexo. 152
Correo: ep.quimica@unsch.edu.pe



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Luis Ángel Quijano Ramirez
Título del ejercicio: Tesis
Título de la entrega: "Obtención de Policloruro de Aluminio a Partir de Bentonita,..."
Nombre del archivo: TESIS_QUIJANO_IN_TURNITIN_PDF.PDF
Tamaño del archivo: 3.09M
Total páginas: 71
Total de palabras: 13,628
Total de caracteres: 68,417
Fecha de entrega: 14-sept.-2023 10:02a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 2166003277

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS
"Obtención de Policloruro de Aluminio a Partir de Bentonita, del
Distrito de Soccos (Ampuqasa) Ayacucho -2021"

PRESENTADO POR:

Bach. Luis Ángel QUIJANO RAMIREZ

Para optar el título profesional de:

INGENIERO QUÍMICO

ASESOR:

Mg. Aníbal Pablo GARCÍA BENDEZÚ

AYACUCHO - PERÚ

2023

“Obtención de Policloruro de Aluminio a Partir de Bentonita, del Distrito de Soccus (Ampuqasa) Ayacucho -2021”

por Luis Ángel Quijano Ramirez

Fecha de entrega: 14-sep-2023 10:02a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2166003277

Nombre del archivo: TESIS_Quijano_in_turnitin_pdf.pdf (3.09M)

Total de palabras: 13628

Total de caracteres: 68417

“Obtención de Policloruro de Aluminio a Partir de Bentonita, del Distrito de Soccus (Ampuqasa) Ayacucho -2021”

INFORME DE ORIGINALIDAD

27%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

15%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	8%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	ria.utn.edu.ar Fuente de Internet	2%
4	repositorio.unajma.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	1%
6	idoc.pub Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
8	core.ac.uk Fuente de Internet	1%

9	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	revistas.unal.edu.co Fuente de Internet	1 %
11	documents.mx Fuente de Internet	1 %
12	www.buenastareas.com Fuente de Internet	<1 %
13	geologiaweb.com Fuente de Internet	<1 %
14	idus.us.es Fuente de Internet	<1 %
15	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1 %
16	revistas.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repository.unipiloto.edu.co Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
20	hemeroteca.unad.edu.co	

Fuente de Internet

<1 %

21

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

22

repositorio.uti.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

23

www.revsaludpublica.sld.cu

Fuente de Internet

<1 %

24

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

25

Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

26

aprenderly.com

Fuente de Internet

<1 %

27

www.ptolomeo.unam.mx:8080

Fuente de Internet

<1 %

28

Submitted to K12 Incorporated

Trabajo del estudiante

<1 %

29

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

30

Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

<1 %

31 repositorio.ingemmet.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

32 repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

33 doczz.es

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

DATOS

1. Apellidos y Nombres, N° de DNI del tesista:

Apellidos Y Nombres	DNI
Quijano Ramirez, Luis Angel	70658141

2. Apellidos y Nombres, N° de DNI y ORCID del asesor:

Apellidos y Nombres	DNI	ORCID
García Bendezú, Aníbal Pablo	19831529	http://orcid.org/0000-0002-5355-0255

3. Apellidos y Nombres de los jurados:

- Córdova Miranda, Alcira Irene
- Pérez Chauca, León Fernando
- Ascarza Moisés, Abdías
- Inga Zárate, Pedro
- Cueva Vargas, José Alberto

4. URI del campo de investigación y el desarrollo OCDE:

2.04.01 - Ingeniería química

URI: <https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.01>