



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**REDUCCIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA DEL LABORATORIO
DE BROMATOLOGÍA Y NUTRICIÓN ANIMAL DE LA FCP-
ESPOCH MEDIANTE ADSORCIÓN CON MINERAL
ALUMINOSILICATO DE LA LOCALIDAD DE CACHA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: CRISTINA PAOLA GRANIZO VILLACRÉS

DIRECTOR: DR. JUAN MARCELO RAMOS FLORES, Ms.C.

Riobamba - Ecuador

2023

© 2023, Cristina Paola Granizo Villacrés

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

Yo, Cristina Paola Granizo Villacrés, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 22 de junio de 2023

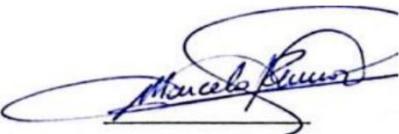


Cristina Paola Granizo Villacrés

060589308-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **REDUCCIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA DEL LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA Y NUTRICIÓN ANIMAL DE LA FCP-ESPOCH MEDIANTE ADSORCIÓN CON MINERAL ALUMINOSILICATO DE LA LOCALIDAD DE CACHA**, realizado por la señorita **CRISTINA PAOLA GRANIZO VILLACRÉS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Segundo Hugo Calderón, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-22
Dr. Juan Marcelo Ramos Flores, Ms.C. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-22
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera, Ms.C. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-22

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación dedico con mucho cariño y amor a Dios por haberme iluminado y acompañado siempre en el transcurso de mi vida estudiantil, a mi madre: Sra. Mariana del Rocío Villacrés Hernández que con sacrificio y paciencia me brindó su apoyo incondicional sin esperar nada a cambio. A Milton Noboa por brindarme su amistad sincera, la cual me dio la fortaleza necesaria para afrontar cualquier dificultad. A Ismael Guamanquispe que desde un inicio estuvo conmigo ayudándome a crecer tanto en el ámbito académico como en lo personal, razón por la cual he podido culminar una meta más en mi vida.

Cristina

AGRADECIMIENTO

Recalco mi profundo agradecimiento a Dios, que me dio la sabiduría y la fuerza necesaria para lograr cumplir mis objetivos. A mi Madre por saber inyectarme siempre esa energía positiva cuando más lo necesitaba y por confiar en mí en todo momento, a aquellos que han sido mi motor y fuerza para salir adelante.

A los distinguidos docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por ver impartido sus conocimientos para ser un profesional capaz, competitivo y útil para la sociedad.

A los distinguidos Docentes: Doc. Marcelo Ramos e Ing. Mabel Parada por su excelente guía en el desarrollo del presente trabajo de Investigación.

Cristina

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1.	Planteamiento del problema.....	2
1.2.	Problema general de investigación	3
1.3.	Problemas específicos de investigación.....	3
1.4.	Objetivos.....	3
1.4.1.	<i>Objetivo general</i>	3
1.4.2.	<i>Objetivos específicos</i>	3
1.5.	Justificación de la investigación.....	4
1.5.1.	<i>Justificación teórica</i>	4
1.5.2.	<i>Justificación metodológica</i>	5
1.5.3.	<i>Justificación práctica</i>	5
1.6.	Hipótesis	5
1.6.1.	<i>Hipótesis general</i>	5
1.6.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	6

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	7
2.1.	Antecedentes de investigación	7
2.2.	Referencias teóricas	10
2.2.1.	<i>Dureza del agua</i>	10
2.2.2.	<i>Dureza temporal</i>	10
2.2.3.	<i>Dureza permanente</i>	10
2.2.4.	<i>Clasificación de las aguas según su dureza total</i>	11
2.2.5.	<i>Grados de la dureza del agua</i>	11

2.2.6.	<i>Impacto del agua dura</i>	11
2.2.7.	<i>Métodos de determinación de dureza</i>	12
2.2.8.	<i>Impacto del agua dura para la salud</i>	12
2.2.9.	<i>Arcilla</i>	13
2.2.10.	<i>Estructura de los minerales de arcilla</i>	13
2.2.11.	<i>Propiedades fisicoquímicas de las arcillas</i>	15
2.2.11.1.	<i>Área superficial y superficie específica</i>	15
2.2.11.2.	<i>Capacidad de intercambio catiónico</i>	16
2.2.11.3.	<i>Capacidad de adsorción</i>	16
2.2.11.4.	<i>Hidratación e hinchamiento</i>	16
2.2.11.5.	<i>Plasticidad</i>	16
2.2.11.6.	<i>Tixotropía</i>	17
2.2.11.7.	<i>Densidad</i>	17
2.2.11.8.	<i>Conductividad térmica</i>	17
2.2.12.	<i>Adsorción por minerales de arcilla</i>	17
2.2.13.	<i>Descripción de la adsorción</i>	18
2.2.14.	<i>Factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el agua</i>	18

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	19
3.1.	Enfoque de investigación	19
3.2.	Nivel de investigación	19
3.3.	Diseño de investigación	19
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	20
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	20
3.4.	Tipo de estudio	20
3.5.	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	21
3.6.	Técnica de recolección de datos primarios y secundarios	21
3.7.	Parte experimental	22
3.7.1.	<i>Pre-tratamiento del mineral arcilloso</i>	22
3.7.2.	<i>División de la arcilla pre-tratada</i>	22
3.7.3.	<i>Tratamiento ácido de la arcilla</i>	23
3.7.4.	<i>Tratamiento térmico de la arcilla</i>	23
3.7.5.	<i>Determinación de dureza a través del método volumétrico complexométrico</i>	23
3.8.	Especificación de las variables	23
3.8.1.	<i>Variables independientes</i>	23

3.8.2.	<i>Variables dependientes</i>	23
3.9.	Matriz de consistencia	23
3.10.	Procedimiento de aplicación del tratamiento	25
3.11.	Diseño experimental	25
3.12.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	29

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	30
4.1.	Análisis físico químico del agua del laboratorio de bromatología y nutrición animal de la FCP-ESPOCH	30
4.2.	Tratamiento del efluente	31
4.3.	Análisis del diseño experimental	32
4.4.	Análisis por factores	35
4.5.	Caracterización del efluente posterior al tratamiento	38
4.6.	Prueba de hipótesis	39

	CONCLUSIONES	42
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIONES	43
--	------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Información recopilada para el trabajo de integración curricular	9
Tabla 2-2: Clasificación de las aguas según el valor de la dureza total	11
Tabla 3-1: Codificación arcillas	22
Tabla 3-2: Niveles de tratamiento	26
Tabla 3-3: Hipótesis de trabajo	28
Tabla 3-4: Tabla ANOVA.....	29
Tabla 4-1: Análisis físicoquímico del agua del laboratorio de bromatología y nutrición animal	30
Tabla 4-2: Remoción de dureza por efecto de los tratamientos en 2 horas de contacto	31
Tabla 4-3: Remoción de dureza por efecto de los tratamientos en 3 horas de contacto	31
Tabla 4-4: Remoción de dureza por efecto de los tratamientos en 4 horas de contacto	31
Tabla 4-5: Análisis físicoquímico del agua del laboratorio de bromatología y nutrición animal posterior al tratamiento con el mineral aluminosilicato	38
Tabla 4-6: Comparación de resultados de la caracterización del efluente	39
Tabla 4-7: Resultados de prueba de hipótesis.....	39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Esquema de la lámina octaédrica.....	14
Ilustración 2-2: Esquema de la lámina tetraédrica	14
Ilustración 3-2: Estructura de los filosilicatos junto con la disposición en hoja.....	15
Ilustración 4-2: Propiedades fisicoquímicas de la arcilla	17
Ilustración 1-4: Presentación visual del diagrama de pareto	34
Ilustración 2-4: Gráfica de residuos para reducción.....	35
Ilustración 3-4: Gráfica de efectos principales para reducción	36
Ilustración 4-4: Interacción de los factores experimentales	37

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PRE TRATAMIENTO DEL MINERAL ALUMINOSILICATO

ANEXO B: TRATAMIENTOS REALIZADOS AL MINERAL ALUMINOSILICATO

ANEXO C: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS REALIZADOS AL AGUA DEL LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA Y NUTRICIÓN ANIMAL DE LA FCP-ESPOCH

ANEXO D: PROCESO DE PESAJE Y AGITACIÓN DE LA ARCILLA PARA DETERMINAR EL NIVEL DE REDUCCIÓN DE DUREZA

ANEXO E: DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA POST TRATAMIENTO MEDIANTE EL MÉTODO VOLUMÉTRICO COMPLEXÓMETRICO

ANEXO F: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108

RESUMEN

El objetivo del trabajo de investigación fue evaluar la efectividad de un mineral aluminosilicato de la localidad de Cacha en el proceso de reducción de dureza del agua perteneciente al “Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH”. Las muestras de mineral arcilloso obtenidas en la localidad mencionada se sometieron a procesos de trituración y tamizado preliminares. Seguidamente el mineral se sometió a pre tratamientos para eliminar carbonatos, materia orgánica y homogeneizar los iones presentes. Posterior al pretratamiento, el mineral fue dividido en dos porciones, correspondientes a luces de malla <math><150\mu\text{m}</math> y <math><2000\mu\text{m}</math>. El mineral en sus dos granulometrías diferentes, a su vez se separó en tres partes, cada una de ellas sometidas a diferentes tratamientos ácido, térmico y natural (sin tratamiento). Luego, se realizó una caracterización fisicoquímica del agua del laboratorio, determinándose una dureza inicial de 522.4 mg/L. Para cada tratamiento el adsorbente se aplicó al agua en una relación de 0,5 g para 100 mL, respectivamente, con agitación constante durante tiempo de 2, 3 y 4 horas. Las combinaciones de los niveles de los factores granulometría, tratamiento y tiempo de contacto, con tres repeticiones para cada tratamiento, dio como resultado 54 ensayos experimentales. Los resultados indicaron que el mejor tratamiento para reducir la dureza corresponde al de una arcilla fina ($150\mu\text{m}$) tratada térmicamente (750°C) y agitada por 4 horas, con un porcentaje de remoción de 45.89%, con el que la dureza se redujo a 282.67mg/L, logrando además que el agua perteneciente a este laboratorio cumple cada uno los límites máximos permisibles establecidos en la NTE INEN 1108.

Palabras clave: <MINERAL ALUMINOSILICATO>, <CACHA (PARROQUIA)>, <TRATAMIENTO TÉRMICO>, <TRATAMIENTO ÁCIDO>, <DUREZA DEL AGUA>, <ADSORCIÓN>.

1459-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

The aim of the research work was to evaluate the effectiveness of an aluminosilicate mineral from the Cacha in the water hardness reduction process belonging to the "Bromatology and Animal Nutrition Laboratory of the FCP-ESPOCH". The clay mineral samples obtained in the aforementioned locality were subjected to preliminary crushing and sieving processes. The mineral was then subjected to pre-treatment to eliminate carbonates, organic matter and homogenize the ions present. After pretreatment, the mineral was divided into two portions, corresponding to mesh spans $<150\mu\text{m}$ and $<2000\mu\text{m}$. The mineral in its two different granulometries, in turn, was separated into three parts, each of them subjected to different acid, thermal and natural (untreated) treatments. Then, a physicochemical characterization of the laboratory water was carried out, and an initial hardness of 522.4 mg/L was determined. For each treatment, the adsorbent was applied to the water at a ratio of 0.5 g per 100 mL, respectively, with constant agitation for 2, 3 and 4 hours. The combinations of the levels of the factors granulometry, treatment and contact time, with three replicates for each treatment, resulted in 54 experimental trials. The results showed that the best treatment to reduce hardness corresponds to that of a fine clay ($150\mu\text{m}$) thermally treated (750°C) and agitated for 4 hours, with a removal percentage of 45.89%, with which hardness was reduced to 282.67mg/L, also achieving that the water belonging to this laboratory meets each of the maximum permissible limits established in NTE INEN 1108.

Keywords: <ALUMINOSILICATE MINERAL>, <CACHA (PARISH)>, <THERMAL TREATMENT>, <ACID TREATMENT>, <WATER HARDNESS>, <ADSORPTION>.



Dra. Nanci Margarita Inca Chunata Mgs.

0602926719

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la importancia de la investigación del recurso hídrico, se ha visto la necesidad de efectuar un control riguroso debido que, un mal tratamiento del agua acarrea un sin número de enfermedades. El agua es necesaria porque es la base de la vida misma., por ello existen algunos factores importantes a tomar en cuenta como es la presencia de calcio, magnesio, pH y conductividad, que en algún momento pueden ser parámetros que infieran en la calidad del agua. Por otro lado, la arcilla es considerada como un mineral complejo que consiste principalmente en una mezcla de aluminosilicatos cristalinos llamados minerales de arcilla, a menudo están acompañados de materia orgánica. El uso de arcilla para eliminar o ablandar los contaminantes presentes en el agua ha sido un tema ampliamente estudiado debido a que no solo es un mineral de fácil acceso y barato, sino porque también es muy efectivo al momento de purificar el agua. Es por ello que se ha visto la necesidad de encontrar una alternativa fácil de usar, económica y respetuosa con el medio ambiente para la eliminación de estos iones. Una de las posibilidades es el proceso de adsorción de intercambio iónico utilizando minerales aluminosilicatos, dado que, por su naturaleza contribuyen a la retención de cationes y aniones disueltos en el agua, por lo que, el presente trabajo investigativo tiene como finalidad reducir el índice de dureza del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mediante el uso de arcilla de Cacha, para lograr obtener un agua que se encuentre dentro de los rangos recomendados y no represente un riesgo en su uso cotidiano.

Por lo tanto, el siguiente trabajo de investigación está constituido por cuatro capítulos, el Capítulo I, está constituido por la introducción, el planteamiento del problema, el establecimiento del problema general y los específicos, el objetivo general y los objetivos específicos, las justificaciones necesarias y la hipótesis general y específicas existentes en el proyecto. En el Capítulo II, se ven reflejados los fundamentos teóricos del trabajo de investigación, como los antecedentes y la base conceptual de la problemática presentada, con la finalidad de tener un mejor entendimiento del tema abordando temas como las propiedades y los beneficios que presentan los minerales aluminosilicatos en la absorción de metales causantes de la dureza en el agua. En el Capítulo III, se da inicio al desarrollo del proyecto, mediante la descripción de la metodología basada en diferentes fuentes bibliográficas para la determinación de los factores que se deben tener en cuenta para reducir de manera significativa la dureza del agua del Laboratorio antes mencionado. En el Capítulo IV, se muestran los resultados obtenidos, los cuales ayudarán a validar el proyecto de investigación. Por último, se describen las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La calidad del agua es un tema que ha tenido un desarrollo tardío a lo largo de la historia, por lo que a finales del siglo XIX no se ha conseguido reconocer al agua como el origen de graves enfermedades. Actualmente, la importancia entre la cantidad como de la calidad del agua, es un tema que está fuera de toda duda (Romo y Navarrete, 2017, p.01).

El agua es el reactivo más comúnmente utilizado, debido a que es considerado como disolvente universal, por dicha razón, es de vital importancia precautelar por su pureza. El agua generalmente está compuesta por calcio y magnesio, sales causantes de la dureza, pero, por otra parte, el agua está compuesta por otras sustancias como Fe, Si, Mn, cloruros, sulfatos, Na y minerales que se encuentran suspendidos (Valdivia, *et al.*, 2010, pp.03-04).

Entre las diversas formas conocidas de contaminantes del agua, las sales de calcio y magnesio son motivo de gran preocupación dado que aumentan la dureza del agua. En su uso cotidiano, el agua dura puede causar una serie de problemas que incluyen la formación de incrustaciones en calderas, lavadoras y tuberías, la dificultad crear espuma con el jabón, la aparición de manchas indeseables en los fregaderos y la ropa, así como el endurecimiento de la piel y el cabello. Además, el agua dura puede causar graves problemas de salud, como trastornos cardiovasculares, problemas renales y el cáncer. Por otra parte, la OMS menciona que la ingesta excesiva de calcio está vinculada a la formación de cálculos renales y la de magnesio provoca diarrea debido a la alteración del hábito intestinal. Debido a los problemas que presenta el agua dura, es preciso adoptar medidas inmediatas para ablandar el agua. En la actualidad, existen varias técnicas que se han puesto en marcha para resolver el problema, como por ejemplo el intercambio de iones, las técnicas de base eléctrica y la filtración por membrana, son algunas de las técnicas que se han aplicado actualmente. Sin embargo, los altos costes de instalación, operación y mantenimiento impiden su aplicación masiva (Rolence, *et al.*, 2014, pp.97).

Por todo lo anteriormente mencionado es de suma importancia proceder con el tratamiento del agua presente en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, dado que la misma posee un alto índice de dureza, para ello, el objetivo de este proyecto de investigación fue identificar las variables independientes a modificar, para que, por medio de la utilización de minerales aluminosilicatos presentes en la localidad de Cacha, se pueda obtener un agua que cumpla condiciones óptimas para su posterior utilización.

1.2. Problema general de investigación

- ¿Cuál es la influencia de los minerales aluminosilicatos localizados en la comunidad de Cacha en la absorción de calcio y magnesio presentes en el agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH?

1.3. Problemas específicos de investigación

- ¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH?
- ¿Cuál es el efecto individual y combinado de los factores a modificarse en los minerales aluminosilicatos como adsorbentes sobre la reducción de dureza del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH?
- ¿Qué combinación es la más óptima para lograr una mayor reducción de la dureza del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Reducir la dureza del agua del Laboratorio de bromatología y nutrición animal de la FCP-ESPOCH mediante adsorción con mineral aluminosilicato de la localidad de Cacha.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH en las etapas previa y posterior al tratamiento con adsorbente de mineral aluminosilicato de la localidad de Cacha.
- Determinar el efecto individual y combinado que tengan los factores tiempo de contacto, tipo de material arcilloso y la granulometría de adsorbente sobre la reducción de la dureza del agua.
- Establecer qué combinación de factores analizados logra la mayor reducción de dureza del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

El agua se encuentra en la naturaleza de muchas formas y características diferentes pero la que nos interesa, principalmente, para uso humano y que se presenta en forma líquida, se denomina agua dulce, la misma está compuesta por una gran variedad de componentes en solución en pequeñas proporciones, haciéndola más o menos apta para diferentes utilidades, para lo cual, se han instaurado una serie de normativas para determinar y regular la calidad del agua de manera más eficiente, dichas normativas van desde el agua de consumo directo o potable hasta el agua para el uso industrial (Capcha y Cabrera, 2018, p.14).

El aumento significativo de los métodos innovadores en la purificación del agua, es una de las ramas de la ciencia de los materiales que actualmente buscan soluciones debido a que la contaminación presente en los recursos hídricos naturales, tiene como principal objetivo explorar nuevas alternativas que permitan la adsorción de moléculas, la correcta filtración de partículas en suspensión, resinas de intercambio, entre otros. Los adsorbentes de origen natural se utilizan cada vez más en los procesos de tratamiento de agua debido a su fácil disponibilidad en la naturaleza y bajo costo en comparación de otros materiales sintéticos. El agua se puede ablandar agregando carbonato de sodio o filtrando por medio de zeolitas naturales o artificiales, que se usan comúnmente para absorber iones metálicos que causan dureza y liberar iones de sodio. Entre los principales adsorbentes naturales existentes, que se diferencian según sus propiedades estructurales, composición química, porosidad y propiedades fisicoquímicas, se encuentran: sílice, silicatos por capas, aluminosilicatos (zeolitas), perlita, asbestos, bauxita y magnesita (Ramírez y Muñoz, 2017, p.52).

Actualmente los laboratorios están obligados a utilizar agua con un bajo nivel de impurezas, por lo tanto, dichos requisitos son establecidos de acuerdo a varios estándares, que obviamente dependerán de varias organizaciones internacionales responsables en determinar y establecer los valores especificados, entre éstas se encuentran la American Society for Testing and Materials (ASTM), British Standards Institution (BSI) y la International Organization for Standardization (ISO). La dureza que presenta el agua es un factor limitante, por lo que es de vital importancia conocer el contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} , dado que, a mayor presencia de dichos iones, se presentan incrustaciones. Para el tratamiento del agua se utilizan varios métodos y el uso de cada uno depende de los objetivos a alcanzar con el agua a tratar (Valdivia, *et al.*, 2010, p.04).

Por lo tanto, tomando en consideración lo anteriormente mencionado, para el desarrollo de dicho proyecto, se utilizará como adsorbente los minerales aluminosilicatos, es decir, arcillas o minerales arcillosos provenientes de la ciudad de Riobamba, parroquia Cacha, los cuales debido a las propiedades que presentan, tienen la capacidad de adsorber e inmovilizar especies extrañas,

por lo cual dicha característica ayudará a determinar qué condiciones son las idóneas para conseguir un agua que cumpla con cada una de las condiciones establecidas para ser utilizada en lo posterior dentro del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH (González, 2015, p.57).

1.5.2. Justificación metodológica

Para la realización del siguiente trabajo de investigación el cual se basa específicamente en reducir la dureza del agua se requiere analizar la efectividad del mineral aluminosilicato al ser tratado con diferentes factores como tiempo de contacto, granulometría y tipo de material arcilloso, utilizando como solución el agua del del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.

Para evaluar el efecto de remoción de la dureza del agua, es necesario determinar las concentración inicial y final del agua a tratarse, por lo cual se utilizará el método volumétrico complexométrico.

1.5.3. Justificación práctica

La dureza del agua es una cualidad indeseable en muchas partes del mundo, por lo que, se han utilizado diferentes métodos para eliminar dicha dureza, como el método de intercambio iónico, la ósmosis inversa, la destilación, etc. Sin embargo, a medida que aumenta el costo, la energía y los procesos de estos métodos, ha sido de vital importancia indagar acerca de un método alternativo para ablandar el agua (Bindhu, *et al.*, 2021, p.01)., por lo que se ha visto necesario dentro del presente tema de investigación recabar la información necesaria como el tiempo de contacto, el tipo de arcilla y la granulometría necesaria para poder ablandar el agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, mediante el uso de minerales aluminosilicatos.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

- El mineral aluminosilicato de la Localidad de Cacha logra la reducción de la dureza del agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.

1.6.2. Hipótesis específicas

- Las propiedades fisicoquímicas del agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH luego del tratamiento aplicado, varía con referencia a su estado inicial.
- El tiempo de contacto, el tipo de arcilla y la granulometría influyen en la reducción de la dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.
- Factores y condiciones de tratamiento logran una capacidad máxima de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

A continuación, se muestra información recabada referente a la utilización de minerales aluminosilicatos de tipo arcilloso en la reducción de la dureza del agua, en los cuales se describe lo siguiente:

Los aluminosilicatos son un grupo de materiales con diferentes estructuras cristalinas, que se utilizan comúnmente en varias aplicaciones en el ámbito industrial y económico. Una de las ventajas de contar con estos materiales es que pueden cambiar fácilmente sus propiedades, además se pueden sintetizar a nivel de laboratorio a partir de componentes elementales (Paucar y Florido, 2015, p.05).

Actualmente se han desarrollado varios métodos para reducir la dureza del agua, siendo la adsorción una de las más efectivas. En el trabajo investigativo de Yumar J. tuvo como objetivo determinar la influencia de los aluminosilicatos activados a nivel de laboratorio en la adsorción de calcio y magnesio, donde por activación química y por adición de HCl optimizó la capacidad de absorción del magnesio y calcio. En donde mediante la experimentación se obtuvo una reducción del 85% (Junco, 2019, p.10).

El-Naggar y colaboradores dentro de su trabajo de investigación para lograr una eficiente reducción de la dureza del agua subterránea, por lo que en los factores a estudiarse fue el pH, tiempo de intercambio la concentración de iones originales y la temperatura, en donde para analizar cada uno de los factores antes mencionados utilizaron la técnica por lotes, en donde concluyeron que el pH óptimo para adsorber calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) fue de 6, el tiempo de contacto fue de 150 minutos y la concentración de adsorbente fue de aproximadamente 1 g y en el caso de la temperatura determinaron que al aumentar la temperatura, aumenta la capacidad de adsorción, por lo que sería una relación directamente proporcional, en donde los valores de temperatura alcanzados fueron de 303 a 348 ± 1 K. Por lo que se concluye que las arcillas son buenos adsorbentes de dureza, los cuales pueden llegar a reemplazar a adsorbentes convencionales, por su bajo costo y su amplia aplicabilidad (El-Naggar, *et al.*, 2018, p.235).

En el trabajo realizado por Zavala para reducir la dureza del agua utilizó la difracción de rayos X (XFR), fisisorción de nitrógeno y microscopia electrónica de barrido (MEB), mediante estas técnicas logró determinar los compuestos de la arcilla utilizada. La arcilla fue tratada térmicamente en un intervalo de temperatura de 800°C a 1000°C en un rango de 3 horas, en donde se concluyó que a mayor temperatura el tamaño del poro de la arcilla disminuye, la granulometría del mineral fue determinada a través de una malla de menos de 60 μm , además esta arcilla fue tratada con HCl al 10% para eliminar cualquier impureza existente, y finalmente tras realizar todos estos análisis, las membranas desarrolladas en el siguiente trabajo de investigación fueron capaces de reducir el 40% de dureza en el agua, concluyendo así que las arcillas son buenos materiales adsorbentes (Zavala, 2015, p.03).

En el trabajo de investigación realizado por Aragaw & Ayalew utilizaron espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), AAS, XRD, área de superficie (BET), calorimetría diferencial de barrido y TGA para caracterizar las arcillas, además determinaron que la mejor capacidad de absorción de calcio y magnesio se logra al obtener un pH de 6,5, con un tiempo de contacto de 150 minutos y a bajas temperaturas, finalmente concluyeron que la zeolita sintetizada tuvo un mayor índice de reducción de dureza del agua con un porcentaje del 81,4%, por lo que determinaron que las arcillas son buenos absorbentes de metales y se aconseja su aplicación dado que son minerales de bajo costo y de fácil obtención (Aragaw y Ayalew 2019, p.157).

Lestari y colaboradores en su trabajo investigativo determinaron que, para obtener una mejor reducción de la dureza al utilizar arcillas como material adsorbente, se pulveriza la arcilla y se la pasa por tamices de 500 μm a 800 μm , además la misma es tratada con HCl a 0,1M por 2 horas, el pH óptimo para que se lleve a cabo la reducción de la dureza es de 8, obteniendo así un porcentaje de reducción de 27,64% de Calcio (Ca^{2+}) y 20,10% de Magnesio (Mg^{2+}), demostrando de esta manera que la aplicación de las arcillas es una buena opción al momento de querer absorber metales (Lestari, *et al.*, 2018, p.01).

En la siguiente tabla se resume las investigaciones acerca del uso de arcillas en la reducción de la dureza del agua

Tabla 2-1: Información recopilada para el trabajo de integración curricular

Estudio	Autor	Tipo	Fecha de publicación	Enlace de publicación
Adsorción de calcio y magnesio en agua subterránea por aluminosilicatos activados a nivel de laboratorio de la Universidad Continental Huancayo-2018	Junco, Yumar	Tesis	23 de octubre del 2019	https://hdl.handle.net/20.50.12394/6945
Effective Solutions of Hardness by Using Adsorption Technique on Kaolinite Smectite Adsorbent from Aqueous Solution	Sheneshen, E; Fathy, M; El-Naggar, I; Ahmed, S; Shehata, N; Shehata, A	Revista Científica	6 de enero del 2018	https://www.tsijournals.com/articles/effective-solutions-of-hardness-by-using-adsorption-technique-on-kaolinite-smectite-adsorbent-from-aqueous-solution-13653.html
Desarrollo de membranas porosas a partir de arcilla para el ablandamiento de agua	Zavala Gómez, Carlos Eduardo	Tesis	Septiembre del 2015	http://ri.uaq.mx/handle/123456789/3219
Removal of water hardness using zeolite synthesized from Ethiopian kaolin by hydrothermal method	Aragaw, Tadele Assefa; Ayalew, Adane Adugna	Revista Científica	Marzo del 2019	http://iwaponline.com/wpt/article-pdf/14/1/145/659416/wpt0140145.pdf
Removal of calcium and magnesium ions from hard water using modified Amorphophallus campanulatus skin as a low cost adsorbent	Lestari, Dwi; Malik, Abdul; Muhammad, Irfan; Sidiq, Mahathir	Revista Científica	2018	https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/13/mateconf_icet4sd2018_01020.pdf
Efficiency of modified clays in water softening	Lima, R; Greati, V; Lima, P; Medeiros, R; Santos, A; Fernandes, V	Artículo Científico	N/A	https://iwra.org/member/congress/resource/3027684.pdf
Characterization and Modification of Clay for Removal of Drinking Water Hardness	Wickramasuriya, A; Arachchige, R; Kottegoda, I	Revista Científica	20 de noviembre del 2021	https://bit.ly/30JVIFV
Estudo Da Vermiculita Como Adsorvente De Íons Cobre (Ii) Em Solução Aquosa.	Priscila Quartarone; Márcia Angélica Neves; Luiz Fernando Caldas	Revista Científica	2012	https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/revistapct/article/view/357
Aprovechamiento de tobas y bentonitas regionales para la adsorción de metales pesados en solución acuosa	Rueda, M; Volzone, C; Lado, D; Ortega, J	Artículo Científico	12 de julio del 2012	http://artigos.entmme.org/download/2007/tratamiento_de_effluentes-effluents_treatment/1899%20-%20M.L.Rueda_C.Volzone_D.C.Lago_J.Ortega%20-%20APROVECHAMIENTO%20DE%20TOBAS%20Y%20BENTONITAS%20REGIONALES%20PARA%20LA%20ADSORCION%20DE%20METALES%20PESADOS%20EN%20SOLUCION%20ACUOSA.pdf

Fuente: Google Académico, Science Direct, entre otras.

Elaborado por: Granizo Cristina, 2023.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Dureza del agua

El agua es el líquido más abundante en la Tierra ya que cubre aproximadamente el 72% de la superficie terrestre. Existe en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso. Según investigaciones, del 65% al 70% de la masa corporal humana es agua (Romo y Chilpa, 2017, p.02).

La dureza presente en el agua está básicamente relacionada con la cantidad de cationes metálicos, a excepción de los metales alcalinos que contiene, dado que pueden existir en forma de carbonato o bicarbonato. Entre estos minerales se encuentran el Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Ba^{2+} y Sr^{2+} . Debido a que la concentración de iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} es elevada en comparación con otros cationes, la dureza del agua se expresa básicamente como CaCO_3 (Millán, et al., 2003, p.40).

2.2.2. Dureza temporal

La dureza temporal se debe básicamente a la presencia de calcio y magnesio, que pueden eliminarse por medio de ebullición. Esta dureza es equivalente a la suma de las proporciones básicas de calcio y magnesio y también es conocida como dureza carbonatada, puesto que mientras aumenta la temperatura del agua hasta llegar a su punto de ebullición, los iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} precipitan en forma de CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{OH})_2$ respectivamente. El uso de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ también ayuda a eliminar la dureza temporal (Romo y Navarrete, 2017, p.03).

2.2.3. Dureza permanente

La dureza permanente también es conocida como dureza residual o no carbónica. La dureza residual es causada por la presencia del CaSO_4 , magnesio y cloruros presentes en el agua, los cuales pueden llegar a ser más solubles mientras se va elevando la temperatura. Las aguas que presentan dicha dureza pueden eliminarse añadiendo CaCO_3 o por filtración utilizando como material adsorbente zeolitas, las cuales pueden ser naturales o artificiales, éstas básicamente se encargan de eliminar iones metálicos que provocan dicha dureza, y ayudan a liberar iones Na^{2+} del agua (Romo y Navarrete, 2017, p.03).

2.2.4. Clasificación de las aguas según su dureza total

El agua se puede clasificar de acuerdo al valor de la dureza total de iones ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$) según lo indica la siguiente tabla:

Tabla 2-2: Clasificación de las aguas según el valor de la dureza total

Tipo de Agua	ppm CaCO_3
Muy blanda	0 – 15
Blanda	16 – 75
Semidura	76 – 150
Dura	151 – 300
Muy dura	> 300

Fuente: (Millán, et al., 2003, p.40).

Elaborado por: Granizo Cristina, 2022.

2.2.5. Grados de la dureza del agua

La dureza del agua es una medida de la concentración total de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , expresada en ppm o mg/L. Se pueden encontrar diferentes grados de dureza del agua entre los cuales podemos mencionar los americanos, franceses, alemanes e ingleses que a continuación los mismos son expuestos con sus correspondientes valores en mg CaCO_3/L de agua (Romo y Navarrete, 2017, p.03).

- Grado francés ($^{\circ}\text{F}$): 10 mg CaCO_3/L de agua.
- Grado alemán ($^{\circ}\text{D}$): 17,9 mg CaCO_3/L de agua.
- Grado inglés ($^{\circ}\text{E}$): 14,3 mg CaCO_3/L de agua.

2.2.6. Impacto del agua dura

El agua con un valor de dureza superior a 200 mg/l puede formar cierto tipo de incrustaciones en los sistemas de distribución debido a la interacción de factores como el pH y la alcalinidad del agua. Estas incrustaciones se forman por la descomposición térmica de los iones de calcio y magnesio disueltos en el agua, lo que hace que se elimine el CO_2 y se precipiten los carbonatos (CaCO_3) que se vuelven insolubles. Las incrustaciones se componen en mayor cantidad por calcita y en menor proporción por dragonita, ambos son considerados como carbonatos de calcio de composición química similar (Niera, 2006, p.11).

En consecuencia, por lo anteriormente mencionado, si no se llega a aplicar un control efectivo de dichas reacciones, las incrustaciones aparecerán más frecuentemente, lo cual puede llegar a provocar el crecimiento de una costra incrustante de espesor considerable en las paredes de los

sistemas de distribución, la cual será mecánicamente dura para ser removida y térmicamente muy aislante (Niera, 2006, p.11).

2.2.7. Métodos de determinación de dureza

La dureza del agua se puede determinar mediante varios métodos tradicionales, como métodos de jabón, gravimétricos, EDTA o volumétricos, así como mediante métodos más avanzados, como métodos de absorción atómica y de plasma (Niera, 2006, p.08).

- a) Método del Jabón: Este método consiste básicamente en la titulación del agua con una solución jabonosa, donde el indicador es la espuma de jabón producida al restar toda la dureza del agua con una cantidad fácilmente detectable de la solución jabonosa (Niera, 2006, p.08).
- b) Método Gravimétrico: Es el método más preciso para determinar la dureza del agua de componentes desconocidos. El ion calcio se determina por medio de precipitación, el cual se calcina para transformarse en CaO, mientras tanto, los iones magnesio son determinados por medio de la precipitación, el cual también es calcinado para convertirlo en $Mg_2O_7P_2$. La dureza total es calculada a través de la suma del calcio y magnesio de los residuos calcinados (Niera, 2006, p.08).
- c) Método del EDTA o Volumétrico: Se basa en la titulación volumétrica, donde una muestra de agua cuyo pH debe estar en el rango de 6-8 se titula con EDTA en solución de NaCl en presencia de un indicador (Niera, 2006, p.08).
- d) Métodos avanzados: Estos métodos no pueden usarse como métodos de control convencionales debido al alto costo de los instrumentos y reactivos requeridos (Niera, 2006, p.09).

2.2.8. Impacto del agua dura para la salud

El calcio y el magnesio en agua dura son necesarios para el cuerpo. El Ca es el catión divalente más abundante en el cuerpo humano, representando del 1,5 al 2% del peso total. El Mg juega un papel importante como cofactor y activador en más de 300 reacciones enzimáticas. Pero la ingesta excesiva de estos iones puede causar muchas enfermedades, incluidos ciertos defectos y anomalías del sistema nervioso, como la anencefalia, la muerte perinatal y varios tipos de cáncer. Entre los tipos de cáncer asociados a la dureza se mencionan el cáncer rectal, de colon, páncreas, pulmón y próstata. Otro efecto de la dureza son los cambios en la piel causados por el pH de esa agua, por lo que el contacto con agua dura puede hacer que el pH sea alcalino, evitando que el jabón funcione correctamente, aumentando la infección y causando la aparición de granos, picazón, sequedad de la dermis y tacto rugoso o áspero (Niera, 2006, p.17).

2.2.9. Arcilla

Los minerales arcillosos son filosilicatos de aluminio hidratados que se encuentran en el 95% de la corteza terrestre y sus estructuras contienen cantidades variables de hierro, magnesio, metales alcalinos, metales alcalinotérreos y otros cationes (Obando, 2017, p.33).

La arcilla se define generalmente desde un punto de vista geológico como un mineral inorgánico con un tamaño de partícula menor o igual a $2\mu\text{m}$. Su composición química es diversa, en la cual sobresalen los aluminosilicatos, los cuales se caracterizan por tener morfología laminar, donde dichas láminas pueden desplazarse para formar una nueva estructura. Las moléculas de arcilla tienen propiedades físicas y químicas únicas, como la capacidad de adsorber iones en sus interfaces (Martínez y Carbajal, 2012, p.87).

Según Díaz & Torrecillas el término “arcilla” posee varios conceptos para determinar el tamaño de partícula, mineralogía, propiedades físicas entre otras. El tamaño de partícula de las arcillas está determinado según sea su uso o por el tipo de persona que la haya estudiado por ejemplo según los químicos la arcilla que utilizan para el estudio de coloides su tamaño es $< 1\mu\text{m}$, según los mineralogistas e investigadores del suelo el tamaño de partícula de la arcilla es $< 2\mu\text{m}$, y según los sedimentólogos las arcillas poseen un tamaño de partícula $< 4\mu\text{m}$ (Díaz y Torrecillas 2002, p.460).

Es importante mencionar que las arcillas, por su naturaleza coloidal, sus fáciles cambios estructurales, su abundancia en la naturaleza y su bajo costo, son ideales para la adsorción de contaminantes químicos. Entre las principales aplicaciones de las arcillas se ha evidenciado su gran uso en la industria de los cerámicos y arcillas activadas. Sin embargo, debido a sus propiedades químicas y estructuras cristalinas, las arcillas actualmente tienen excelentes aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales debido a sus propiedades de intercambio iónico y adsorción. En los últimos años se han realizado varios estudios sobre la capacidad de adsorción de las arcillas sobre contaminantes orgánicos en aguas residuales con el fin de desarrollar métodos de tratamiento eficaces y eficientes para su eliminación (Lozano, 2016, p.17).

2.2.10. Estructura de los minerales de arcilla

Las propiedades de las arcillas están determinadas por sus características estructurales ya que, al igual otros filosilicatos, tienen una estructura basada en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos. Los grupos tetraédricos $(\text{SiO})_4^{4-}$ están unidos entre sí y comparten tres de los cuatro átomos de oxígeno con otros grupos vecinos, para formar una capa infinitamente extendida, lo que da como resultado $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$, que es aproximadamente la unidad base. Los tetraedros están dispuestos para formar hexágonos. El silicio tetraédrico puede ser reemplazado por Al^{3+} o Fe^{3+} (Baldeón y Carrión, 2015, p.24).

La estructura atómica de arcilla se basa en dos unidades, una lámina octaédrica y una tetraédrica. La lámina octaédrica está comprendida principalmente por oxígenos e hidroxilos empaquetados en los que los átomos de Al, Fe y Mg están dispuestos de manera octaédrica (Murray, 2006, p.07).

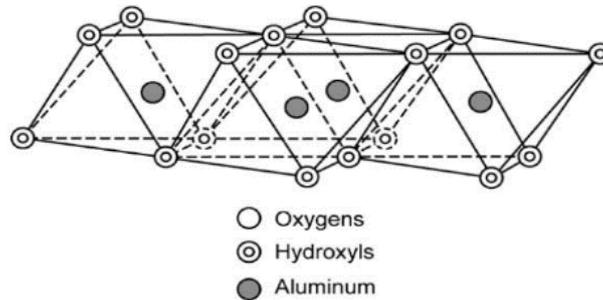


Ilustración 1-2: Esquema de la lámina octaédrica

Fuente: Murray,2006, p.07.

La segunda unidad consta de capas tetraédricas de sílice en las que los átomos de silicio son equidistantes de los cuatro átomos de oxígeno o pueden convertirse en grupos hidroxilo dispuestos de modo que el átomo de silicio esté en el centro del tetraedro. Estos tetraedros están dispuestos para formar una red hexagonal que se repite infinitamente en dos direcciones horizontales para formar láminas tetraédricas de sílice (Murray, 2006, p.07).

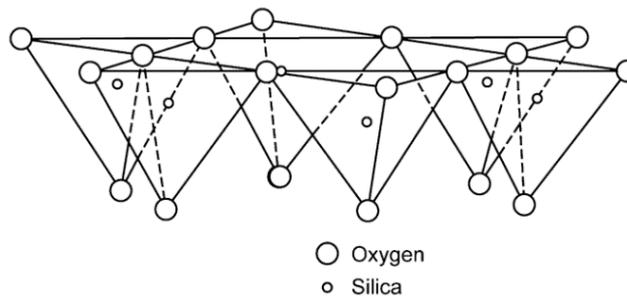


Ilustración 2-2: Esquema de la lámina tetraédrica

Fuente: Murray,2006, p.07.

En resumen, una capa tetraédrica une una capa octaédrica, y el plano de unión entre las dos capas está formado por oxígeno y grupos tetraédricos que no se comparten, entonces en el plano mencionado, cada hexágono tiene $(OH)^-$. El $(OH)^-$ restante se reemplaza por oxígeno tetraédrico (Baldeón y Carrión, 2015, p.24).

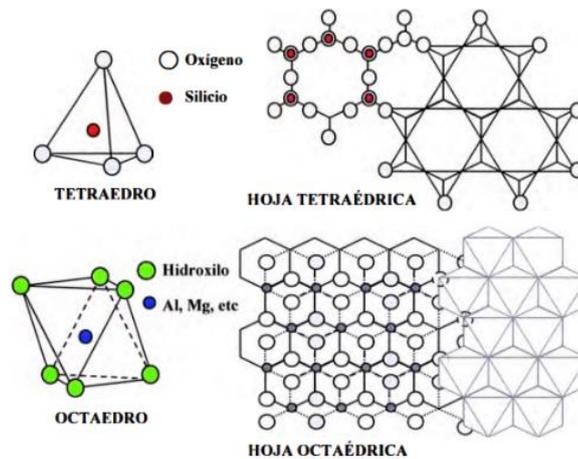


Ilustración 3-2: Estructura de los filosilicatos junto con la disposición en hoja

Fuente: Baldeón y Carrión, 2015, p.24.

2.2.11. Propiedades fisicoquímicas de las arcillas

Las propiedades fisicoquímicas de los minerales arcillosos son importantes para comprender las razones de sus diversos usos, las arcillas suelen atraer moléculas de agua, variando su tamaño de partícula, lo que origina pastas o suspensiones según la relación arcilla/agua, respectivamente. Al mismo tiempo, las arcillas se convierten en agentes de transferencia o transformación, como resultado de su gran capacidad para retener iones o moléculas en el interior de su estructura, o sobre sus superficies (Pozo, 2015, p.193).

El origen de su comportamiento está en su textura (tamaño, forma y porosidad) que explica su elevada superficie específica, pero también en sus características cristalógicas de sus minerales constituyentes (minerales de la arcilla), que justifican la presencia de cargas permanentes y variables, responsables de sus propiedades de superficie (absorción/adsorción, intercambio iónico, hidratación e hinchamiento). Entre las propiedades que puede aportar un material arcilloso destacan: una alta superficie específica, elevada capacidad de adsorción, y absorción y de intercambio catiónico (Pozo, 2015, p.193).

2.2.11.1. Área superficial y superficie específica

El pequeño tamaño de partícula aporta a las arcillas una elevada área superficial, debido a que la misma aumenta conforme disminuye el diámetro de grano, pero, además la mayor parte de los minerales de la arcilla presentan una morfología laminar o fibrosa, lo cual origina una mayor área superficial. El área superficial se determina sumando el área superficial exterior por unidad de masa de la partícula más el área superficial interior y es expresado como: m^2/g . Las arcillas tienen una superficie específica alta, lo que es de vital importancia en varias aplicaciones industriales donde las interacciones sólido-líquido dependen directamente de esta propiedad. La

determinación del área superficial específica externa se considera un buen indicador de la capacidad de adsorción de los minerales arcillosos (Pozo, 2015, p.194).

2.2.11.2. Capacidad de intercambio catiónico

La arcilla puede intercambiar fácilmente iones adheridos a las superficies exteriores de sus cristales, los espacios entre capas u otros espacios internos en su estructura que están presentes en soluciones acuosas. La capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma de cada uno de los cationes intercambiables que los minerales se pueden adsorber a ciertos cambios de pH (Gómez, 2012, p.100).

2.2.11.3. Capacidad de adsorción

La capacidad de adsorción de la arcilla está directamente relacionada con sus propiedades estructurales inherentes, por lo que existe adsorción, que ocurre cuando existe una interacción química entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y un líquido llamado adsorbato (Gómez, 2012, p.101).

2.2.11.4. Hidratación e hinchamiento

La absorción de agua en el espacio entre las capas de arcilla hace que las capas se separen, provocando un fenómeno llamado hinchazón. Este proceso depende esencialmente del equilibrio entre la atracción electrostática de las láminas de cationes y la energía de hidratación de los cationes (Gómez, 2012, p.101).

2.2.11.5. Plasticidad

La arcilla es de naturaleza plástica, esta propiedad ocurre porque el agua cubre las partículas en capas, creando un efecto lubricante que permite que las partículas se deslicen más fácilmente unas contra otras cuando se aplica fuerza. La alta plasticidad de las arcillas se debe a su morfología en capas, tamaño extremadamente pequeño y enorme capacidad de hinchamiento (Gómez, 2012, p.102).

2.2.11.6. Tixotropía

Se define como el fenómeno en el que un coloide pierde su resistencia cuando se amasa, es decir, que se vuelve líquida. Si permanecen en reposo, pueden recuperar su cohesión, así como su comportamiento sólido (Gómez, 2012, p.102).

2.2.11.7. Densidad

En diferentes condiciones, la densidad de la arcilla está determinada por una densidad diferente en lugar de un valor único. Esto se debe a que la densidad de las arcillas varía de una especie a otra (Gómez, 2012, p.103).

2.2.11.8. Conductividad térmica

El incremento de temperatura involucra una disminución en esta propiedad. Una arcilla seca pura dispone de una conductividad térmica de 0,39 y 0,59 W/m·K. Pero cuando la arcilla se encuentra mezclada con otros minerales este valor tiende a aumentar, alcanzando valores de hasta 10 W/m·K (Gómez, 2012, p.103).



Ilustración 4-2: Propiedades fisicoquímicas de la arcilla

Fuente: Gómez, 2012, p.100.

2.2.12. Adsorción por minerales de arcilla

Algunas arcillas se utilizan en absorbentes debido a su capacidad para absorber agua u otras moléculas existentes en ellas. La adsorción es un proceso de transferencia de masa basado en la capacidad de ciertas sustancias para retener moléculas en su superficie de forma más o menos reversible. La capacidad de adsorción se expresa como porcentaje del adsorbato con respecto a la masa (Baldeón y Carrión, 2015, p.27).

2.2.13. Descripción de la adsorción

Generalmente, la adsorción implica la retención de un soluto inmerso en una interfaz de solución, que puede ser un líquido y un gas o un sólido o entre dos líquidos diferentes. El término se usa porque es difícil distinguir la fisisorción de la quimisorción y se usa para describir el mecanismo por el cual las especies orgánicas se unen al adsorbente. La capacidad de adsorción teórica de un contaminante particular se puede determinar calculando su temperatura de adsorción para determinar la capacidad de adsorción del material adsorbente. La cantidad de adsorbente que puede contener un adsorbente depende de la especie, la concentración y la temperatura. Generalmente, la cantidad de adsorbente se determina en función de la concentración a temperatura constante, y la función resultante se denomina temperatura de adsorción (Baldeón y Carrión, 2015, p.28).

2.2.14. Factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el agua

- Tipo de compuestos a eliminar: Los compuestos de alto peso molecular y baja solubilidad se adsorben más fácilmente.
- La concentración del compuesto que desea eliminar: Cuanto mayor sea la concentración, más adsorbente se necesita.
- La presencia de otros compuestos orgánicos competirá con otros compuestos por los sitios de adsorción disponibles.
- El pH del agua: Los compuestos con mayor acidez son más fáciles de eliminar a un pH más bajo (Baldeón y Carrión, 2015, p.28).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo debido a que, con la realización de ensayos experimentales y la combinación de factores como tiempo de contacto, granulometría y tipos de arcillas se cuantificará la concentración inicial y final de iones CaCO_3 en la solución acuosa, lo que ayudará a denotar el porcentaje de remoción de dureza de agua alcanzado en el proceso de adsorción empleando el mineral aluminosilicato de la localidad de Cacha.

3.2. Nivel de investigación

Según el nivel la investigación será de tipo correlacional, luego de los ensayos experimentales mediante las combinaciones de los factores de tiempo de contacto, tipo de material arcilloso y la granulometría de adsorbente, se establecerá relaciones entre estas variables independiente sobre la capacidad de reducción de dureza del agua.

3.3. Diseño de investigación

El siguiente trabajo de investigación será de tipo experimental, puesto que se llevará a cabo el análisis del efecto de las combinaciones de tiempo de contacto, tipo de material arcilloso y la granulometría de adsorbente sobre la cantidad máxima de reducción de la dureza utilizando como solución el agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.

De forma general para llevar a cabo dicha investigación, se pone en conocimiento el proceso de adquisición de la información, basado en los siguientes pasos:

- Recolección de muestras del mineral aluminosilicato de la localidad de Cacha
- Acondicionamiento del mineral aluminosilicato.
- Experimentación aplicando la combinación de factores como el tiempo de contacto, tipo de material arcilloso y la granulometría de adsorbente, tomando como referencia publicaciones afines.
- Análisis de los datos obtenidos.

3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente

Tomando en cuenta cada uno de los factores como el tiempo de contacto, el tipo de material arcilloso, la granulometría y su combinación para determinar la capacidad máxima de remoción de dureza del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH, el presente trabajo es de tipo experimental.

3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo

La siguiente investigación es de tipo transversal centrado en analizar los datos obtenidos de la combinación de tiempo de contacto, tipo de material arcilloso y la granulometría de adsorbente sobre la capacidad de reducción de la dureza del agua con tres niveles en el factor tipo de arcilla y tiempo de contacto y dos niveles en el factor granulometría, en donde se realizarán tres repeticiones por cada factor, dando lugar a un estudio de 54 ensayos experimentales.

3.4. Tipo de estudio

Según su proceso

Hipotética-deductiva: Es hipotética-deductiva debido a que con la experimentación se validó la hipótesis deduciendo que las arcillas estudiadas son eficientes al momento de reducir la dureza del agua.

Según el ámbito

Aplicativa: Debido a que se buscó que el tema de investigación resuelve el problema presentado dentro del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.

Según su trabajo

- **Bibliográfica:** Se revisó investigaciones afines acerca de arcillas tratadas y usadas en la reducción de dureza del agua con lo que se determinó los parámetros para su tratamiento y para su dosificación en el efluente a tratar.
- **Cuasi-experimental:** Es cuasi-experimental debido a que no se tuvo un control total de la arcilla y efluente a ser tratados.

Según su profundidad

- **Descriptiva:** Se estudió las características de la arcilla y efluente a ser tratado.
- **Correlacional:** Se estableció la relación de dosis de los tratamientos para purificar y tratar la arcilla.
- **Exploratoria:** Se realizó un primer acercamiento sobre el uso de la arcilla de la localidad del Cacha para la reducción de la dureza del agua.
- **Explicativa:** Se determinó el efecto de la arcilla sobre la dureza del agua.

3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

Como población de estudio se tiene a los minerales aluminosilicatos de la ciudad de Riobamba. Como unidad de análisis se tiene el mineral aluminosilicato de la localidad de Cacha.

La selección de la muestra se realizará bajo muestreo por conglomerados, donde se escogerá aleatoriamente 5 kg de mineral arcilloso, teniendo como referencia la norma “NTE INEN 695:2010”. El volumen de solución obtenida a través del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH es de 5L.

3.6. Técnica de recolección de datos primarios y secundarios

Al tratarse de un proyecto investigativo se recopiló y analizó la información de las siguientes fuentes:

- Revisión bibliográfica en libros, revistas científicas, artículos científicos y bases de datos (Sciencedirect, Scopus, Web of Knowledge).
- Recolección mineral arcilloso de la localidad de Cacha siguiendo la norma “INEN NTE 695:2010”.
- Toma de las muestras del efluente proveniente del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH.
- Análisis fisicoquímicos al agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH.
- Medición de la dureza inicial existente en el agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH.
- Medición de la dureza final existente en el agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH.

Las muestras de arcilla se homogenizaron, redujeron y codificaron según se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 3-1: Codificación arcillas

Natural	Tratamiento Ácido	Tratamiento Térmico
AFNR1	AFAR1	AFTR1
AFNR2	AFAR2	AFTR2
AFNR3	AFAR3	AFTR3
AGNR1	AGAR1	AGTR1
AGNR2	AGAR2	AGTR2
AGNR3	AGAR3	AGTR3

Elaborado por: Granizo Cristina, 2022.

Tratamientos

Las muestras de arcilla trituradas y tamizadas a una luz de malla de $<150\mu\text{m}$ y $<2000\mu\text{m}$ se sometieron a los siguientes tratamientos:

Térmico: Se sometió 12g de arcilla fina y gruesa a 750°C

Ácido: Tomando 12g de arcilla gruesa y 8g de arcilla fina con 200 mL de HCl 0,5M

3.7. Parte experimental

La ejecución del siguiente trabajo de investigación estuvo comprendida en diferentes partes:

3.7.1. Pre-tratamiento del mineral arcilloso

Las muestras de minerales arcillosos se trituraron, molieron y tamizaron manualmente (luz de malla $<150\mu\text{m}$ y $<2000\mu\text{m}$). Posteriormente, el mineral arcilloso fue sometido a un proceso de purificación, eliminando carbonatos, materia orgánica y homogenizando iones, en donde para el primer tratamiento se utilizó HCl a 0,2N y para el segundo se utilizó H_2O_2 al 10% en masa.

3.7.2. División de la arcilla pre-tratada

Las muestras tratadas y tamizadas las dividimos en muestra fina (luz de malla de $<150\mu\text{m}$) la cual se subdividirá en arcilla natural, arcilla tratada en medio ácido y la arcilla tratada térmicamente, de la misma manera se subdivide a las muestras gruesas (luz de malla $<2000\mu\text{m}$).

3.7.3. Tratamiento ácido de la arcilla

El mineral arcilloso fue tratado con HCl a 0.5M por una hora.

3.7.4. Tratamiento térmico de la arcilla

Para este tratamiento la arcilla fue introducida en una mufla por aproximadamente 3 horas a una temperatura de 750°C.

3.7.5. Determinación de la dureza a través del método volumétrico complexométrico

La dureza presente en el agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, se determinó a través de este método, tomando 25ml de muestra de agua, añadiendo posteriormente 1 ml de KCN, 2 ml de buffer pH 10, una pizca de indicador Negro de Eriocromo T, y se titula con EDTA al 0.02M pasando de un color rosado a azul, obteniendo así un volumen, el cual, tras aplicar una ecuación matemática, nos arroja el valor de dureza existente.

3.8. Especificación de las variables

3.8.1. Variables independientes

- ❖ Tiempo de contacto
- ❖ Tipo de mineral arcilloso
- ❖ Granulometría

3.8.2. Variables dependientes

- ❖ Propiedades fisicoquímicas del agua del laboratorio
- ❖ Reducción de la dureza del agua
- ❖ Capacidad máxima de reducción de dureza del agua

3.9. Matriz de consistencia

ASPECTOS GENERALES						
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
¿Cuál es la influencia de los minerales aluminosilicatos localizados en la comunidad de Cacha en la absorción de calcio y magnesio presentes en el agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH?	Reducir la dureza del agua del laboratorio de bromatología y nutrición animal de la FCP-ESPOCH mediante adsorción con mineral aluminosilicato de la localidad de Cacha	El mineral aluminosilicato de la Localidad de Cacha logra la reducción de la dureza del agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.	Independientes Mineral aluminosilicato de la localidad de Cacha Dependientes Reducción de la dureza del agua	% de reducción de dureza del agua	Ensayos de laboratorio	Método volumétrico complexométrico.
ASPECTOS ESPECÍFICOS						
FORMULACIÓN DE PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH?	Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH en las etapas previa y posterior al tratamiento con adsorbente de mineral aluminosilicato de la localidad de Cacha.	Las propiedades fisicoquímicas del agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH luego del tratamiento aplicado, varía con referencia a su estado inicial	Independiente Agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal Dependiente Propiedades fisicoquímicas del agua de del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal.	pH, dureza, alcalinidad, calcio, cloruros entre otros.	Ensayos de laboratorio	Instrumental de laboratorio y reactivos
¿Cuál es el efecto individual y combinado de los factores a modificarse en los minerales aluminosilicatos como absorbentes sobre la reducción de la dureza del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH?	Determinar el efecto individual y combinado que tengan los factores tiempo de contacto, tipo de material arcilloso y la granulometría de adsorbente sobre la reducción de la dureza del agua.	El tiempo de contacto, el tipo de arcilla y la granulometría influyen en la reducción de la dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.	Independientes Tiempo de contacto, tipo de arcilla y granulometría Dependientes Reducción de la dureza del agua	Tiempo (h) Granulometría (µm) Tipo de arcilla	Ensayos de Laboratorio	Instrumentos de Laboratorio (vasos de precipitación, pipetas, buretas, Erlenmeyer, etc.)
¿Qué combinación es la más óptima para lograr una mayor reducción de la dureza del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH?	Establecer qué combinación de factores analizados logra la mayor reducción de dureza del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH.	Factores y condiciones de tratamiento logran una capacidad máxima de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.	Independientes Combinación de condiciones de operación Dependientes Capacidad máxima de remoción de dureza	Mayor índice de reducción de dureza	Ensayos de Laboratorio Análisis de data	Herramientas informáticas

Elaborado por: Granizo Cristina, 2022.

3.10. Procedimiento de aplicación del tratamiento

El procedimiento experimental consta de las siguientes etapas:

1. Recolección de la arcilla
2. Molienda de la arcilla
3. Tamizado
4. Pre tratamiento de la arcilla para su posterior uso
5. División de la arcilla en fina y gruesa (<150µm y <2000µm)
6. Tratamiento térmico y ácido de los dos tipos de arcilla
7. Análisis fisicoquímicos del agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal para determinar la dureza inicial y otros parámetros de calidad
8. Agitación a régimen constante por 2, 3 y 4 horas de los dos tipos de arcilla.
9. Reposo de 1 hora
10. Filtración
11. Determinación de la combinación de factores más eficiente en el proceso de reducción de dureza del agua
12. Análisis fisicoquímicos del agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal posterior al tratamiento con el mineral aluminosilicato más eficiente.

Se pueden observar imágenes de la ejecución de los pasos mencionados en la sección de anexos.

3.11. Diseño experimental

Corresponde a un diseño factorial con 3 factores: Tiempo de contacto, tipo de material arcilloso y la granulometría de adsorbente. En donde el modelo estadístico será el siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde:

- μ es la media general
- α_i es el efecto debido al i-ésimo nivel del factor Tiempo de contacto
- β_j es el efecto debido al j-ésimo nivel del factor Tipo de material arcilloso
- γ_k es el efecto debido al k-ésimo nivel del factor Granulometría del adsorbente
- $(\alpha\beta)_{ij}$ es el efecto combinado de la interacción Tiempo de contacto - Tipo de material arcilloso al aplicar el tratamiento ij

- $(\alpha\gamma)_{ik}$ es el efecto combinado de la interacción Tiempo de contacto - Granulometría Al aplicar el tratamiento ik
- $(\beta\gamma)_{jk}$ es el efecto combinado de la interacción Tipo de mineral arcilloso – Granulometría al aplicar el tratamiento jk
- $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es el efecto combinado de la interacción Tiempo - Tipo de material arcilloso – Granulometría al aplicar el tratamiento ijk
- e_{ijkl} representa el error aleatorio que, se supone, sigue una distribución normal con media 0 y varianza constante σ^2 , y son independientes.

Factores de tratamiento

Corresponden a las condiciones de operación: Tiempo de contacto, tipo de material arcilloso y granulometría utilizada en el siguiente trabajo de titulación.

Tabla 3-2: Niveles de tratamiento

Tiempo de Contacto	Tipo de material arcilloso	Granulometría
2 h, 3h y 4h	Natural	<150 μ m y <2000 μ m
2 h, 3h y 4h	Ácida	<150 μ m y <2000 μ m
2 h, 3h y 4h	Térmico	<150 μ m y <2000 μ m

Elaborado por: Granizo Cristina, 2022.

Los niveles de tratamiento se determinaron mediante la revisión de varias fuentes bibliográficas confiables, debido a que en varias investigaciones que presentaban dichos valores de tratamiento se obtuvieron grandes índices de reducción de dureza del agua.

Variable respuesta

La variable respuesta es el grado de reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, determinando dicha reducción por medio de una relación proporcional calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{grado de reducción de dureza} = \left| \frac{C_{fH2O} - C_{iH2O}}{C_{iH2O}} \right|$$

De la ecuación se desprende el grado de reducción dado que puede presentar valores comprendidos entre 0 (ninguna reducción de dureza) y 1 (reducción completa de dureza).

Unidad experimental

Corresponden a las muestras de efluente con presencia de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} pertenecientes al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.

Hipótesis

Tabla 3-3: Hipótesis de trabajo

H ₀ : El tiempo de contacto no tiene efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : El tiempo de contacto tiene efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH
H ₀ : El tipo de arcilla no tiene efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : El tipo de arcilla tiene efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH
H ₀ : La granulometría no tiene efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : La granulometría tiene efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH
H ₀ : La combinación de factores tiempo-tipo no tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : La combinación de factores tiempo-tipo tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH
H ₀ : La combinación de factores tipo-granulometría no tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : La combinación de factores tipo-granulometría tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.
H ₀ : La combinación de factores tiempo-granulometría no tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : La combinación de factores tiempo-granulometría tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH
H ₀ : La combinación de factores tipo-tiempo-granulometría no tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : La combinación de factores tipo-tiempo-granulometría tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH

Elaborado por: Granizo Cristina, 2022.

Tabla 3-4: Tabla ANOVA

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F
Factor A (Tiempo)	SC_{Tiempo}	3	CM_{Tiempo}	CM_{Tiempo}/CM_{Error}
Factor B (Tipo)	SC_{Tipo}	3	CM_{Tipo}	CM_{Tipo}/CM_{Error}
Factor C (Granulometría)	$SC_{Granulometría}$	2	$CM_{Granulometría}$	$CM_{Granulometría}/CM_{Error}$
Efecto Tiempo-Tipo	$SC_{Tiempo-Tipo}$	$(3)(3) = 9$	$CM_{Tiempo-Tipo}$	$CM_{Tiempo-Tipo}/CM_{Error}$
Efecto Tiempo-Granulometría	$SC_{Tiempo-Granulometría}$	$(3)(2) = 6$	$CM_{Tiempo-Granulometría}$	$CM_{Tiempo-Granulometría}/CM_{Error}$
Efecto Tipo-Granulometría	$SC_{Tipo-Granulometría}$	$(3)(3) = 9$	$CM_{Tipo-Granulometría}$	$CM_{Tipo-Granulometría}/CM_{Error}$
Efecto Tiempo-Tipo-Granulometría	$SC_{Tiempo-Tipo-Granulometría}$	$(3)(3)(2) = 18$	$CM_{Tiempo-Tipo-Granulometría}$	$CM_{Tiempo-Tipo-Granulometría}/CM_{Error}$
Error	SC_{Error}	$32(96-1) = 3040$	CM_{Error}	
Total	SC_{Total}	$(2*4*4*96)-1 = 3071$	CM_{Total}	

Elaborado por: Granizo Cristina, 2022.

3.12. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

El método de investigación a realizarse en el presente trabajo es el deductivo, la experimentación se llevará a cabo por medio de la variación de factores como tiempo de contacto, tipo de material arcilloso y la granulometría de adsorbente utilizando como solución el agua del laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, la cual permitirá obtener las relaciones para establecer la capacidad máxima de reducción de la dureza del agua.

Las técnicas de recolección de datos primarios, al ser un proyecto de tipo experimental se llevará a cabo un análisis de laboratorio, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- Concentración inicial de iones Calcio (Ca^{2+}) y Magnesio (Mg^{2+}) por el método volumétrico complexométrico.
- Concentración final de iones Calcio (Ca^{2+}) y Magnesio (Mg^{2+}) por el método volumétrico complexométrico.

Para la recolección de datos secundarios, los mismos serán obtenidos por medio de una revisión bibliográfica en libros, revistas científicas, artículos científicos en bases de datos como Google académico, Sciencedirect, Scopus, entre otros.

Como instrumentos para la obtención de datos primarios se utilizará un molino, tamices, balones de aforo, varilla de agitación, embudo, crisol, pinza, mufla, frascos ámbar, vasos de precipitación. Para la recopilación de los datos recolectados de tiempo de contacto, granulometría y tipo de material arcilloso se utilizará Excel y Minitab.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis físico químico del agua del laboratorio de bromatología y nutrición animal de la FCP-ESPOCH

A continuación, se muestra una tabla que contiene cada uno de los análisis fisicoquímicos realizados al agua del laboratorio de bromatología y nutrición animal de la FCP-ESPOCH, para poder identificar de una manera eficaz y eficiente los parámetros que se encuentran fuera de los rangos y valores establecidos por la normativa NTE INEN 1108.

Tabla 4-1: Análisis físico químico del agua del laboratorio de bromatología y nutrición animal

Determinaciones	Unidades	Agua del laboratorio de bromatología y nutrición animal de la FCP-ESPOCH	Límite máximo Permitido NTE INEN 1108	Observaciones
pH	-	7.1	6.5 – 8.5	Dentro del límite
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	<1	12	Dentro del límite
Olor	-	No Objetable	No Objetable	No Objetable
Sabor	-	No Objetable	No Objetable	No Objetable
Conductividad	µSiems/cm	121.9	-	-
Turbiedad	NTU	0.252	5	Dentro del límite
Salinidad	mg/L	121.5	-	-
Cloruros	mg/L	32.61	250	Dentro del límite
Calcio	mg/L	100.8	-	-
Magnesio	mg/L	116.06	-	-
Dureza	mg/L	522.4	300	Fuera del límite
Alcalinidad	mg/L	400	-	-
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	824	1000	Dentro del límite

Elaborado por: Granizo Cristina, 2023.

Como se puede visualizar en la Tabla 1-4, el agua del laboratorio de bromatología y nutrición animal de la FCP-ESPOCH, es un agua que cumple con cada uno de los rangos y valores establecidos en la normativa NTE INEN 1108, a excepción de la dureza, ya que como se puede evidenciar, este efluente excede por mucho el valor establecido en la normativa, concluyendo de esta manera, que el agua de dicho laboratorio, es un agua muy dura.

4.2. Tratamiento del efluente

Los resultados de la remoción de dureza, por aplicación de los tratamientos anteriormente mencionados se indican en las siguientes tablas:

Tabla 4-2: Remoción de dureza por efecto de los tratamientos en 2 horas de contacto

Tipo de arcilla	Dureza inicial (mg/l CaCO ₃)	Dureza Promedio (mg/l CaCO ₃)	Porcentaje de Remoción (%)
Arcilla Fina Natural	522.4	397.3	23.95
Arcilla Fina Ácida	522.4	434.40	16.85
Arcilla Fina Térmica	522.4	424	18.84
Arcilla Gruesa Natural	522.4	409.33	21.64
Arcilla Gruesa Ácida	522.4	504	3.52
Arcilla Gruesa Térmica	522.4	437.33	16.28

Elaborado por: Granizo Cristina, 2023.

Tabla 4-3: Remoción de dureza por efecto de los tratamientos en 3 horas de contacto

Tipo de arcilla	Dureza inicial (mg/l CaCO ₃)	Dureza Promedio (mg/l CaCO ₃)	Porcentaje de Remoción (%)
Arcilla Fina Natural	522.4	412	21.13
Arcilla Fina Ácida	522.4	432	17.30
Arcilla Fina Térmica	522.4	312	40.28
Arcilla Gruesa Natural	522.4	426.67	18.33
Arcilla Gruesa Ácida	522.4	338.13	35.27
Arcilla Gruesa Térmica	522.4	336	35.68

Elaborado por: Granizo Cristina, 2023.

Tabla 4-4: Remoción de dureza por efecto de los tratamientos en 4 horas de contacto

Tipo de arcilla	Dureza inicial (mg/l CaCO ₃)	Dureza Promedio (mg/l CaCO ₃)	Porcentaje de Remoción (%)
Arcilla Fina Natural	522.4	386.7	35.55
Arcilla Fina Ácida	522.4	372	28.79
Arcilla Fina Térmica	522.4	282.67	45.89
Arcilla Gruesa Natural	522.4	377.33	27.77
Arcilla Gruesa Ácida	522.4	346.67	33.64
Arcilla Gruesa Térmica	522.4	293.33	43.85

Elaborado por: Granizo Cristina, 2023.

4.3. Análisis del diseño experimental

Para el desarrollo del análisis experimental se utilizó el programa Minitab, del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Granulometría	2	150; 2000
Tipo	3	Natural; Ácida; Térmica
tiempo	3	2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	19	6293,89	331,26	19,63	0,000
Bloques	2	51,75	25,87	1,53	0,230
Lineal	5	4176,94	835,39	49,50	0,000
Granulometría	1	1,50	1,50	0,09	0,767
Tipo	2	1357,12	678,56	40,20	0,000
tiempo	2	2818,32	1409,16	83,49	0,000
Interacciones de 2 términos	8	1529,79	191,22	11,33	0,000
Granulometría*Tipo	2	91,29	45,65	2,70	0,081
Granulometría*tiempo	2	230,11	115,06	6,82	0,003
Tipo*tiempo	4	1208,39	302,10	17,90	0,000
Interacciones de 3 términos	4	535,41	133,85	7,93	0,000
Granulometría*Tipo*tiempo	4	535,41	133,85	7,93	0,000
Error	34	573,85	16,88		
Total	53	6867,75			

El análisis de varianza indica que los p-valores más significativos (valores menores) pertenece al tipo de arcilla y al tiempo de contacto, lo que implica que el efecto más importante en la reducción de dureza surge por la combinación de Tipo*tiempo del adsorbente (mineral aluminosilicato). Los p-valores altos en granulometría son indicativos que sus efectos en la remoción de dureza son menos significativos.

Resumen del modelo

S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4,10829	91,64%	86,97%

Coefficientes					
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	26,389	0,559	47,20	0,000	
Bloques					
1	-0,397	0,791	-0,50	0,619	1,33
2	1,347	0,791	1,70	0,098	1,33
Granulometría					
150	0,167	0,559	0,30	0,767	1,00
Tipo					
Natural	-3,256	0,791	-4,12	0,000	1,33
Ácida	-3,826	0,791	-4,84	0,000	1,33
Tiempo					
2	-9,543	0,791	-12,07	0,000	1,33
3	1,611	0,791	2,04	0,049	1,33
Granulometría*Tipo					
150 Natural	0,386	0,791	0,49	0,628	1,33
150 Ácida	-1,750	0,791	-2,21	0,034	1,33
Granulometría*tiempo					
150 2	2,862	0,791	3,62	0,001	1,33
150 3	-1,929	0,791	-2,44	0,020	1,33
Tipo*tiempo					
Natural 2	9,20	1,12	8,23	0,000	1,78
Natural 3	-5,01	1,12	-4,48	0,000	1,78
Ácida 2	-2,84	1,12	-2,54	0,016	1,78
Ácida 3	2,12	1,12	1,89	0,067	1,78
Granulometría*Tipo*tiempo					
150 Natural 2	-2,27	1,12	-2,03	0,051	1,78
150 Natural 3	2,78	1,12	2,49	0,018	1,78
150 Ácida 2	5,38	1,12	4,81	0,000	1,78
150 Ácida 3	-5,47	1,12	-4,90	0,000	1,78

La diferencia existente en los factores de inflación de varianza (FIV) a favor del efecto Tipo*tiempo, al presentar valores superiores a 1 ratifican lo discutido con respecto a los p-valores del modelo presentado; de decir, que el efecto combinado del factor tipo*tiempo tienen un efecto favorable al momento de reducir dureza a diferencia de la granulometría, la cual no influye de manera significativa en dicho proceso.

Ecuación de regresión

$$\begin{aligned}
 \text{Reducción} = & 26,374 + 0,181 \text{ Granulometría}_{150} - 0,181 \text{ Granulometría}_{2000} - 3,241 \text{ Tipo}_{\text{Natural}} \\
 & - 3,855 \text{ Tipo}_{\text{Ácida}} + 7,096 \text{ Tipo}_{\text{Térmica}} - 9,571 \text{ tiempo}_{2} + 1,626 \text{ tiempo}_{3} \\
 & + 7,946 \text{ tiempo}_{4} + 0,372 \text{ Granulometría} * \text{Tipo}_{150 \text{ Natural}} \\
 & - 1,721 \text{ Granulometría} * \text{Tipo}_{150 \text{ Ácida}} + 1,350 \text{ Granulometría} * \text{Tipo}_{150 \text{ Térmica}} \\
 & - 0,372 \text{ Granulometría} * \text{Tipo}_{2000 \text{ Natural}} + 1,721 \text{ Granulometría} * \text{Tipo}_{2000 \text{ Ácida}} \\
 & - 1,350 \text{ Granulometría} * \text{Tipo}_{2000 \text{ Térmica}} + 2,891 \text{ Granulometría} * \text{tiempo}_{150 \text{ 2}} \\
 & - 1,943 \text{ Granulometría} * \text{tiempo}_{150 \text{ 3}} - 0,948 \text{ Granulometría} * \text{tiempo}_{150 \text{ 4}} \\
 & + 2,891 \text{ Granulometría} * \text{tiempo}_{2000 \text{ 2}} + 1,943 \text{ Granulometría} * \text{tiempo}_{2000 \text{ 3}} \\
 & + 0,948 \text{ Granulometría} * \text{tiempo}_{2000 \text{ 4}} + 9,23 \text{ Tipo} * \text{tiempo}_{\text{Natural 2}} \\
 & - 5,03 \text{ Tipo} * \text{tiempo}_{\text{Natural 3}} - 4,20 \text{ Tipo} * \text{tiempo}_{\text{Natural 4}} \\
 & - 2,89 \text{ Tipo} * \text{tiempo}_{\text{Ácida 2}} + 2,14 \text{ Tipo} * \text{tiempo}_{\text{Ácida 3}} + 0,75 \text{ Tipo} * \text{tiempo}_{\text{Ácida}}
 \end{aligned}$$

4
 - 6,34 Tipo*tiempo_Térmica 2 + 2,88 Tipo*tiempo_Térmica 3
 + 3,45 Tipo*tiempo_Térmica 4 - 2,29 Granulometría*Tipo*tiempo_150 Natural 2
 + 2,79 Granulometría*Tipo*tiempo_150 Natural 3
 - 0,50 Granulometría*Tipo*tiempo_150 Natural 4
 + 5,44 Granulometría*Tipo*tiempo_150 Ácida 2
 - 5,50 Granulometría*Tipo*tiempo_150
 Ácida 3 + 0,06 Granulometría*Tipo*tiempo_150 Ácida 4
 - 3,15 Granulometría*Tipo*tiempo_150 Térmica 2
 + 2,71 Granulometría*Tipo*tiempo_150 Térmica 3
 + 0,44 Granulometría*Tipo*tiempo_150 Térmica 4
 + 2,29 Granulometría*Tipo*tiempo_2000 Natural 2
 - 2,79 Granulometría*Tipo*tiempo_2000 Natural 3
 + 0,50 Granulometría*Tipo*tiempo_2000 Natural 4
 - 5,44 Granulometría*Tipo*tiempo_2000 Ácida 2
 + 5,50 Granulometría*Tipo*tiempo_2000 Ácida 3
 - 0,06 Granulometría*Tipo*tiempo_2000 Ácida 4
 + 3,15 Granulometría*Tipo*tiempo_2000 Térmica 2
 - 2,71 Granulometría*Tipo*tiempo_2000 Térmica 3
 - 0,44 Granulometría*Tipo*tiempo_2000 Térmica 4

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Reducción	Ajuste	Resid	Resid est.	R
16	24,20	15,89	8,31	2,55	R
19	32,62	25,29	7,33	2,25	R

Residuo grande R

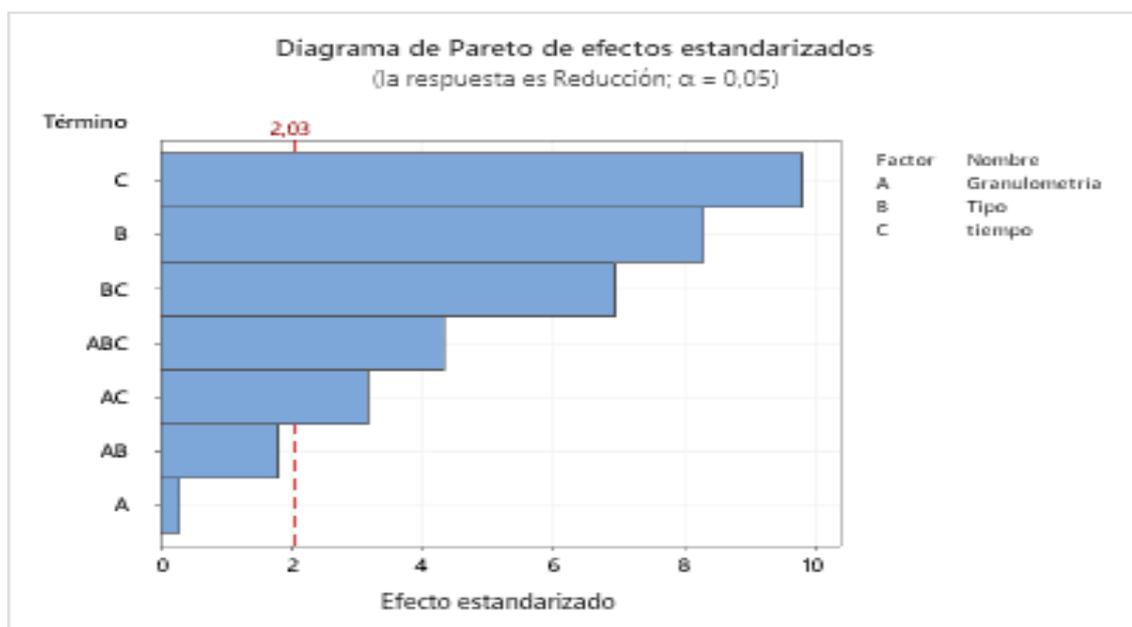


Ilustración 1-4: Presentación visual del diagrama de Pareto

Elaborado por: Granizo Cristina, 2023.

El siguiente esquema denominado diagrama de Pareto en donde intervienen cada uno de los factores considerados en el siguiente trabajo de investigación ratifica que el efecto más significativo es el tiempo de contacto seguido por el tipo de mineral arcilloso utilizado, y de igual forma, cuando entra en interacción la granulometría se logra evidenciar la disminución de

efectividad en el proceso, concluyendo que este último factor no es de mucha relevancia al momento de reducir dureza.

Con la finalidad de confirmar la pertinencia del diseño experimental, se ha visto la necesidad de configurar el diseño para que se generen gráficas respecto a los residuos, las cuales se muestran a continuación

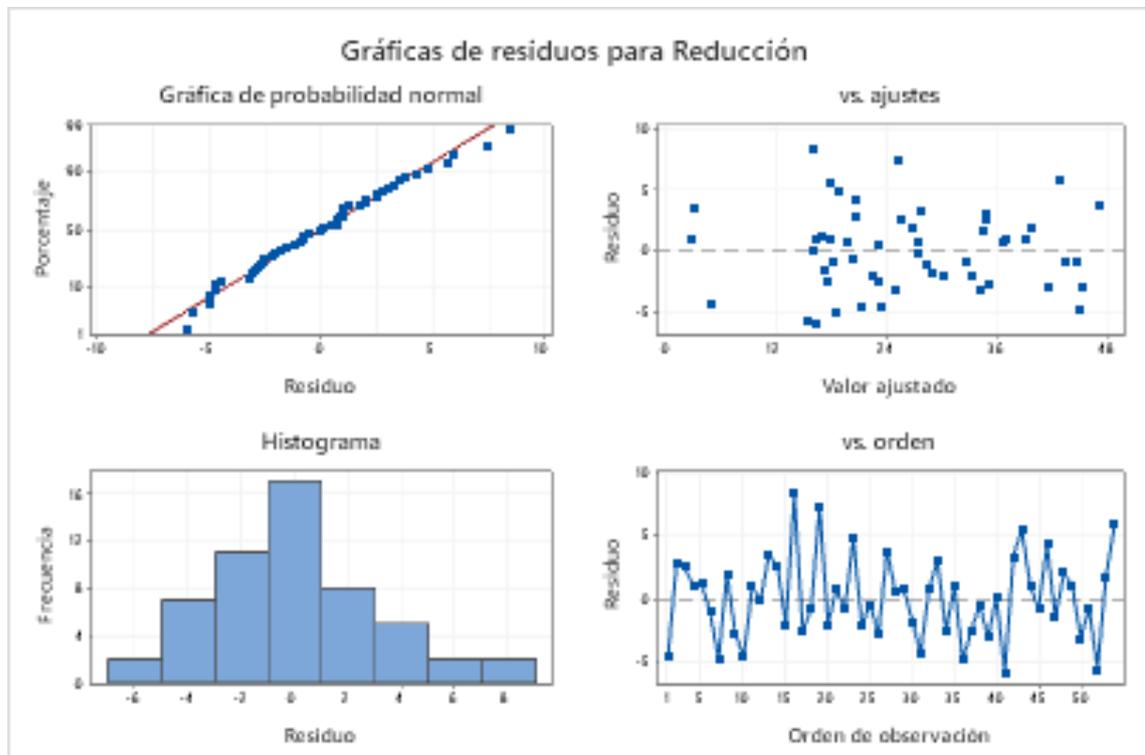


Ilustración 2-4: Gráfica de residuos para reducción

Elaborado por: Granizo Cristina, 2023

De la siguiente representación visual se puede confirmar que los resultados se ajustan a los supuestos del diseño experimental; es decir, los residuos tienen una distribución que se asemeja a una campana de Gauss (Histograma), su probabilidad es homogénea (probabilidad normal) y cada uno de los puntos se distribuyen aleatoriamente en torno a la media (vs. orden). Esto confirma la efectividad del modelo presentado para describir la relación de los factores con los resultados obtenidos.

4.4. Análisis por factores

Para el análisis del efecto individual de cada uno de los factores sobre los resultados, se partió de los resultados del diseño experimental, en esta ocasión aplicando un análisis de factores, cuyos resultados se pueden divisar a continuación:

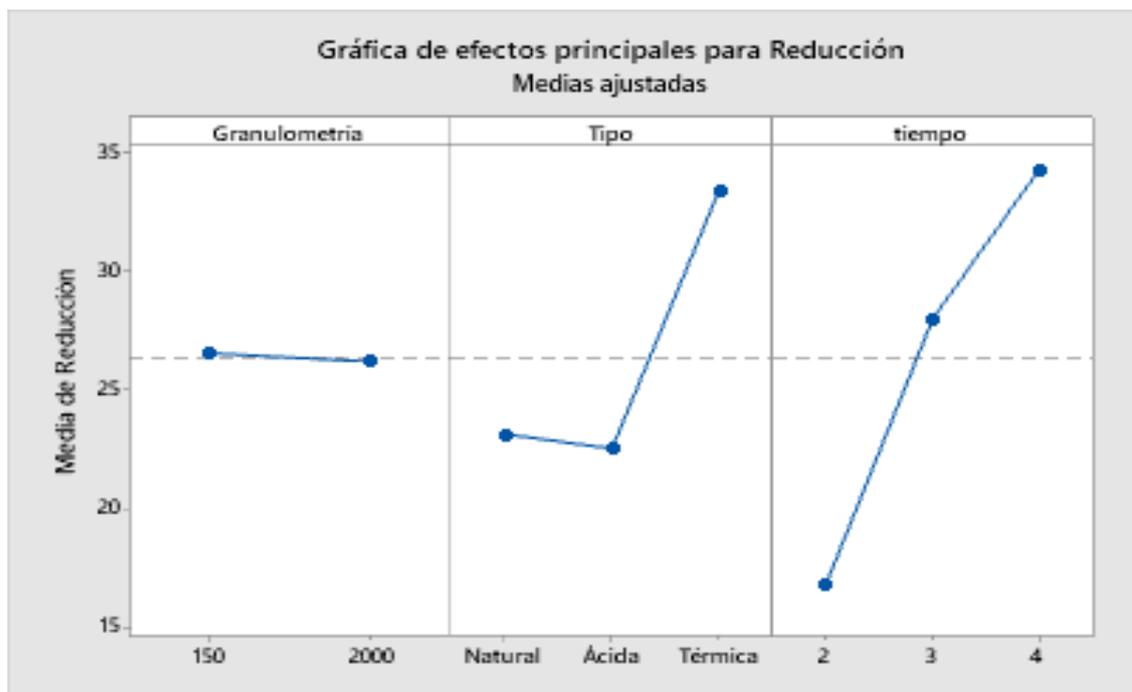


Ilustración 3-4: Gráfica de efectos principales para reducción

Elaborado por: Granizo Cristina, 2023

Como se puede visualizar en las gráficas, en el caso de la granulometría, su efecto individual señala que al trabajar con tamices con luz de malla de 150 μ m se obtiene una reducción de dureza aceptable, mientras que al hablar de la utilización de tamices que presenten mayor luz de malla, en este caso 2000 μ m, se evidencia claramente una disminución en su efectividad para reducir la dureza. Con respecto al tipo de mineral aluminosilicato utilizado se logra apreciar que la arcilla natural no muestra un efecto tan eficaz al hablar de reducción de dureza, por otro lado, tenemos la arcilla tratada en medio ácido la cual, al ser comparada con la arcilla natural, muestra una clara disminución, por lo que, al igual que la arcilla natural, no es favorable en dicho proceso, y por último se tiene una arcilla tratada térmicamente, la cual presenta un elevado crecimiento, demostrando así, que este es el tipo de mineral arcilloso más eficaz y eficiente al momento de hablar de reducción de dureza, lo cual coincide con los datos bibliográficos revisados anteriormente, los cuales indican que se obtiene una buena adsorción de minerales pesados al momento de trabajar con arcillas tratadas a elevadas temperaturas. En el caso del efecto individual que presenta el tiempo en este proceso, se puede observar que se obtienen mejores resultados al trabajar con mayores tiempos de contacto, en el caso del siguiente trabajo de investigación, el mejor tiempo fue las 4 horas de contacto, obtenido de esta manera, valores de dureza inferiores a los presentados en un inicio.

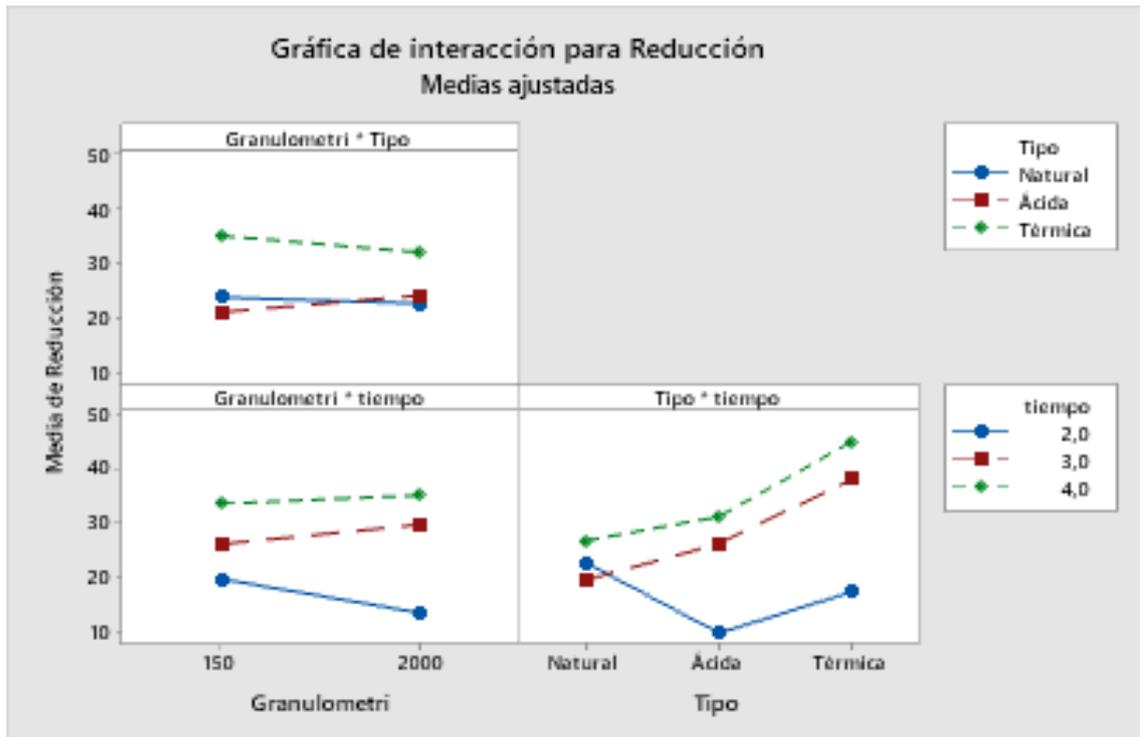


Ilustración 4-4: Interacción de los factores experimentales

Elaborado por: Granizo Cristina, 2023

La gráfica de efecto combinado de granulometría*tipo, muestra un comportamiento decreciente cuando se tiene una arcilla natural y térmica, pero se nota un ligero crecimiento al tratarse de una arcilla modificada en un medio ácido. En el caso del efecto granulometría*tiempo, se puede evidenciar que, al trabajar con un menor tiempo y mayor granulometría, el efecto para reducir dureza disminuye, mientras que, al ir aumentando el tiempo de contacto y al utilizar tamices con luz de malla 2000µm, se nota un notable incremento en la reducción de dureza, haciendo de estos, tratamientos eficientes para este proceso. Por último, tenemos el efecto Tipo*tiempo en el cual se logra evidenciar que la arcilla natural a menor tiempo de contacto ayuda muy poco a la reducción de dureza, mientras que la misma al ser sometida a un mayor tiempo, favorece a la reducción. En el caso de la arcilla ácida, se puede notar claramente que, al ser expuesta a un menor tiempo, no es eficaz al momento de reducir dureza, por el contrario, si a este tipo de arcilla se le somete a mayores tiempos de contacto, resulta favorable para la reducción. En el caso de la arcilla tratada térmicamente, como se ve reflejado en el gráfico, actúa de mejor manera al ser sometida a mayores tiempos de contacto, concluyendo de esta manera que, si se desea obtener buenos valores de reducción, la arcilla ya sea natural o modificada, debe ser expuesta a un mayor tiempo de contacto.

4.5. Caracterización del efluente posterior al tratamiento

De los resultados obtenidos del diseño experimental se eligió la combinación arcilla tratada térmicamente, a una luz de malla <150µm y tiempo de contacto de 4 horas como el tratamiento más eficaz. Efectuando de esta manera los análisis fisicoquímicos correspondientes, los cuales son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 4-5: Análisis del agua del laboratorio de bromatología y nutrición animal posterior al tratamiento con el mineral aluminosilicato

Determinaciones	Unidades	Agua del laboratorio de bromatología y nutrición animal de la FCP-ESPOCH posterior al tratamiento	Límite máximo Permitido NTE INEN 1108	Observaciones
pH	-	7	6.5 – 8.5	Dentro del límite
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	<1	12	Dentro del límite
Olor	-	No Objetable	No Objetable	No Objetable
Sabor	-	No Objetable	No Objetable	No Objetable
Conductividad	µSiems/cm	137.3	-	-
Turbiedad	NTU	0.102	5	Dentro del límite
Salinidad	mg/L	137.3	-	-
Cloruros	mg/L	29.87	250	Dentro del límite
Calcio	mg/L	17.92	-	-
Magnesio	mg/L	7.38	-	-
Dureza	mg/L	282.67	300	Dentro del límite
Alcalinidad	mg/L	305	-	-
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	816	1000	Dentro del límite

Elaborado por: Granizo Cristina, 2023.

Finalmente se muestra una comparación de los resultados de caracterización fisicoquímica en los momentos anterior y posterior al tratamiento realizado a dicho efluente obteniendo de esta manera los siguientes resultados:

Tabla 4-6: Comparación de resultados de la caracterización del efluente

Determinaciones	Unidades	Pre Tratamiento		Post Tratamiento	
		Resultado	Observaciones	Resultado	Observaciones
pH	-	7.1	Dentro del límite	7	Dentro del límite
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	<1	Dentro del límite	<1	Dentro del límite
Olor	-	No Objetable	No Objetable	No Objetable	No Objetable
Sabor	-	No Objetable	No Objetable	No Objetable	No Objetable
Conductividad	µSiems/cm	121.9	-	137.5	-
Turbiedad	NTU	0.252	Dentro del límite	0.250	Dentro del límite
Salinidad	mg/L	137.3	-	121.5	-
Cloruros	mg/L	32.61	Dentro del límite	31.46	Dentro del límite
Calcio	mg/L	100.8	-	17.92	-
Magnesio	mg/L	116.06	-	7.38	-
Dureza	mg/L	522.4	Fuera del límite	282.67	Dentro del límite
Alcalinidad	mg/L	400	-	305	-
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	824	Dentro del límite	816	Dentro del límite

Elaborado por: Granizo Cristina, 2023.

Como se puede evidenciar en la Tabla 6-4, existe una notable diferencia entre cada uno de los parámetros tratados, concluyendo así que, la arcilla de la localidad de Cacha, aparte de ayudar en la reducción de la dureza, contribuyó con la mejora de los demás factores tratados, obteniendo de esta manera un agua de calidad, que cumple con cada uno de los valores y rangos establecidos en la normativa ecuatoriana NTE INEN 1108, haciéndola apta para su posterior uso. Se puede encontrar la normativa ecuatoriana NTE INEN 1108 en la sección de anexos.

4.6. Prueba de hipótesis

Tabla 4-7: Resultados de prueba de hipótesis

Hipótesis Nula	Hipótesis Alternativa	Resultado	Conclusión
H ₀ : El tiempo de contacto no tiene efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : El tiempo de contacto tiene efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	p-value < α 0,000 < 0,05	Se rechaza H ₀ y se acepta H _a

H ₀ : El tipo de arcilla no tiene efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : El tipo de arcilla tiene efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	p-value < α 0,000 < 0,05	Se rechaza H ₀ y se acepta H _a
H ₀ : La granulometría no tiene efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : La granulometría tiene efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	p-value > α 0,750 > 0,05	Se rechaza H ₀ y se acepta H _a
H ₀ : La combinación de factores tiempo-tipo no tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : La combinación de factores tiempo-tipo tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	p-value < α 0,000 < 0,05	Se rechaza H ₀ y se acepta H _a
H ₀ : La combinación de factores tipo-granulometría no tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : La combinación de factores tipo-granulometría tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	p-value > α 0,090 > 0,05	Se rechaza H _a y se acepta H ₀
H ₀ : La combinación de factores tiempo-granulometría no tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : La combinación de factores tiempo-granulometría tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	p-value < α 0,000 < 0,05	Se rechaza H ₀ y se acepta H _a
H ₀ : La combinación de factores tipo-tiempo-granulometría no tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	H _a : La combinación de factores tipo-tiempo-granulometría tienen efecto en la reducción de dureza del agua perteneciente al laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	p-value < α 0,000 < 0,05	Se rechaza H ₀ y se acepta H _a

Elaborado por: Granizo Cristina, 2023.

De lo anterior, los resultados llevan a la confirmación de la hipótesis general del presente trabajo de investigación. Demostrando, a nivel estadístico que el uso de minerales aluminosilicatos de la localidad de Cacha, ya sean que se encuentren de manera natural o modificada SI logran reducir la dureza del agua perteneciente al Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH.

CONCLUSIONES

- ❖ El empleo de mineral aluminosilicato de la localidad de Cacha, tanto en su estado natural como modificado resulto ser efectivo al momento de reducir la dureza del agua perteneciente al Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH, debido a que los resultados muestran la capacidad de adsorción de los metales causantes de la dureza, siendo esta una alternativa favorable e inclusive eco amigable.
- ❖ Las propiedades fisicoquímicas del agua del Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la FCP-ESPOCH, que previo a llevarse a cabo el tratamiento con el mineral aluminosilicato, se encontraban fuera de límite era la dureza por lo que, luego del tratamiento con el mineral aluminosilicato en las condiciones seleccionadas de granulometría, tipo de arcilla y tiempo cumplieron con cada uno los límites máximos permisibles establecidos en la NTE INEN 1108.
- ❖ El efecto más significativo al momento de reducir dureza es el efecto combinado de Tipo*tiempo. En el caso del tiempo, su efecto individual mejora cuando se trabaja con un mayor tiempo de contacto. En el caso del tipo de mineral aluminosilicato el efecto del tratamiento térmico es mucho mejor al compararse con la arcilla natural y la arcilla tratada en medio ácido. La granulometría tuvo un mínimo efecto sobre la adsorción de dureza del agua.
- ❖ El mayor índice de reducción de dureza del agua del laboratorio, al trabajar con una proporción de 0,5 gramos de adsorbente con 100 mL de agua, se logró con la combinación de arcilla fina (<150 μm), tratada térmicamente a 750 °C y con un tiempo de contacto de 4 horas. En estas condiciones se alcanzó una reducción de dureza del 45.89%.

RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda articular esta investigación con una nueva con respecto a la utilización del mineral aluminosilicato dentro de un filtro, con la finalidad de determinar si con otros componentes adicionales al adsorbente en mención, se logra obtener un porcentaje mayor de reducción al expuesto en la presente investigación.
- ❖ Tomar en consideración el correcto manejo y preservación de las muestras de efluente, las mismas deben ser colocadas en un cooler con bolsas de hielo cerradas para ser transportadas al laboratorio, con cuidado de no congelar las muestras, además se debe considerar que el envase donde se transportan cada una de las muestras debe contener una correcta identificación, para evitar futuras confusiones y para su correcta conservación se debe mantener las muestras a una temperatura de 4 a 10°C, por un tiempo máximo de 72 horas.
- ❖ Analizar la remoción de dureza con el mineral aluminosilicato de la localidad de Cacha al ser sometida a tiempos de agitación mucho más extensos que a los del presente trabajo de investigación, con la finalidad de conocer si se logra obtener un porcentaje de reducción mayor al 50%.
- ❖ Investigar algún mecanismo de recuperación de las arcillas utilizadas, luego de que se haya agotado su capacidad de reducción de dureza en el agua.

BIBLIOGRAFÍA

ARAGAW, T.A. y AYALEW, A.A., 2019. Removal of water hardness using zeolite synthesized from Ethiopian kaolin by hydrothermal method. *Water Practice & Technology* [en línea], vol. 14, no. 1, pp. 145-159. [Consulta: 20 junio 2022]. ISSN 1751-231X. DOI 10.2166/wpt.2018.116. Disponible en: <http://iwaponline.com/wpt/article-pdf/14/1/145/659416/wpt0140145.pdf>.

BALDEÓN GARCÍA, H.F. y CARRIÓN ESPINOZA, L.V., 2015. Remoción de cromo de agua residual de la industria textil con filtros de arcilla [en línea]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú. [Consulta: 20 junio 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3727>.

BINDHU, B.K., SHAJI, H., KURUVILA, J., NAZERINE, M. y SHAJI, S., 2021. Removal of total hardness using low cost adsorbents. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* [en línea], vol. 1114, pp. 1-8. [Consulta: 27 junio 2022]. DOI 10.1088/1757-899X/1114/1/012089. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1114/1/012089/pdf>.

CAPCHA NIETO, J. y CABRERA TOLEDO, J., 2018. Caracterización de extractos de semillas de Moringa Oleifera y su eficacia para disminuir la dureza del agua potable [en línea]. Ica: Universidad Nacional San Luis Gonzaga. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unica.edu.pe/handle/20.500.13028/3409>.

DÍAZ, L. y TORRECILLAS, R., 2002. Cerámica y Vidrio Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* [en línea], vol. 41, no. 05, pp. 459-470. [Consulta: 27 junio 2022]. ISSN 0366-3175. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/4676>.

ERDEM, E., KARAPINAR, N. y DONAT, R., 2004. The removal of heavy metal cations by natural zeolites. *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 280, no. 2, pp. 309-314. ISSN 00219797. DOI 10.1016/j.jcis.2004.08.028.

GARCÍA VILLÉN, F., 2020. Aplicaciones farmacéuticas de aluminosilicatos mesoporosos: estudio de arcillas fibrosas (sepiolita y palygorskita) en geles con agua mineromedicinal [en línea]. Granada: Universidad de Granada. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10481/65331>.

GÓMEZ, C., 2012. Aspectos físicos de los peloides para aplicación en termoterapia [en línea]. Vigo: Universidad de Vigo. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/handle/11093/154>.

GONZÁLEZ, M.J., 2015. Aluminosilicatos naturales y modificados como adsorbentes para la eliminación de contaminantes ambientales [en línea]. Buenos Aires: Universidad Nacional de La Plata. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/44945>.

GUILLEN, M. y CAÑAZACA, M., 2020. Remoción de dureza del agua mediante resinas catiónicas para el uso industrial y consumo humano. Una revisión [en línea]. Juliaca: Universidad Peruana Unión. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3322>.

JUNCO, Y., 2019. Adsorción de calcio y magnesio en agua subterránea por aluminosilicatos activados a nivel de laboratorio de la Universidad Continental Huancayo-2018 [en línea]. Huancayo: Universidad Continental. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/6945>.

LESTARI, D., MALIK, A., MUHAMMAD, I. y SIDIQ, M., 2018. Removal of calcium and magnesium ions from hard water using modified *Amorphophallus campanulatus* skin as a low cost adsorbent. MATEC Web of Conferences [en línea], vol. 154. [Consulta: 28 junio 2022]. DOI 10.1051/mateconf/201815401020. Disponible en: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/13/mateconf_icet4sd2018_01020.pdf.

LOZANO, M., 2016. Estudio de adsorbentes arcillosos para una aplicación sostenible [en línea]. Salamanca: Universidad de Salamanca. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/128371/DQI_LozanoGarc%EDaMS_Estudioadsorbentesarcillosos.pdf;jsessionid=045E767BE3F0EF4A694DB68D3E90E400?sequence=1

MARTÍNEZ, D.R. y CARBAJAL, G.G., 2012. Hidróxidos dobles laminares: arcillas sintéticas con aplicaciones en nanotecnología. Avances en Química [en línea], vol. 7, no. 1, pp. 87-99. [Consulta: 27 junio 2022]. ISSN 1856-5301. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/933/93322655011.pdf>.

MILLÁN, F., MATHISON, J., ALVARES, M. y JARBOUH, W., 2003. Estudio comparativo de la dureza del agua en el estado Mérida y algunas localidades del centro y occidente de Venezuela Water hardness comparative study between Mérida state towns and some center and

western venezuelan towns. Revista Ciencia e Ingeniería [en línea], vol. 24, no. 1, pp. 40-46. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/cing/v24n1/articulo7.pdf>.

MURRAY, H.H., 2006. Chapter 2 Structure and Composition of the Clay Minerals and their Physical and Chemical Properties. Developments in Clay Science [en línea], vol. 2, pp. 7-31. [Consulta: 27 junio 2022]. ISSN 15724352. DOI 10.1016/S1572-4352(06)02002-2. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1572435206020022>.

NIERA GUTIÉRREZ, M., 2006. Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile [en línea]. Santiago de Chile: Universidad de Chile. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104452>.

OBANDO REINOSO, J.A., 2017. Reducción de efluentes coloreados de la empresa «Curtipiel Castro» provincia de Tungurahua utilizando minerales arcillosos [en línea]. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4271>.

PAUCAR LEÓN, E. y FLORIDO FLOREZ, L.A., 2015. Estudio del incremento en el intercambio iónico de un aluminosilicato como posibilidad de aplicación en remediación de Aguas Contaminadas con MP [en línea]. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2909/MTf1fla046.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

PICASSO, G. y SUN KOU, M. del R., 2008. Aplicaciones tecnológicas de las arcillas modificadas. Revista de la Sociedad Química del Perú [en línea], vol. 74, no. 1. [Consulta: 27 junio 2022]. ISSN 1810-634X. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2008000100007&script=sci_arttext&tlng=pt.

POZO, M., 2015. Importancia de la composición y propiedades físicas de de peloides las arcillas en la preparación [en línea]. Cantoblanco: Universidad Autónoma de Madrid. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Maraver/publication/280039405_IV_CIBAP_BOI_2015/links/55a4f44c08ae00cf99c9365e/IV-CIBAP-BOI-2015.pdf#page=170.

PRATO, J., GONZÁLEZ, L., PÉREZ, M. y RODRÍGUEZ, M., 2021. Adsorción de la dureza del agua sobre lechos de rocas volcánicas de Ecuador. Información Tecnológica [en línea], vol. 32, no. 2, pp. 51-60. [Consulta: 28 junio 2022]. ISSN 0716-8756. DOI 10.4067/S0718-07642021000200051. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7867356>.

RAMÍREZ, I. y MUÑOZ, E., 2017. Adsorbentes y materiales utilizados para filtración y reducción de contaminantes en aguas potables. Revista Ciencia, Innovación y Tecnología [en línea], vol. 3, pp. 51-61. [Consulta: 27 junio 2022]. ISSN 2422-0264. DOI 10.38017/2390058X.74. Disponible en: <https://revista.jdc.edu.co/index.php/rciyt/article/view/74>.

ROLENCE, C., LAZARO, R. y NJAU, K., 2014. Water hardness removal by coconut shell activated carbon. International Journal of Science, Technology and Society [en línea], vol. 2, no. 5, pp. 97. [Consulta: 11 septiembre 2022]. ISSN 2330-7420. DOI 10.11648/J.IJSTS.20140205.11. Disponible en: <https://dspace.nm-aist.ac.tz/handle/20.500.12479/354>.

ROMO TOLEDANO, J. y CHILPA NAVARRETE, A., 2017. Eliminación de dureza del agua por medio de aireación. Caso de estudio. Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química [en línea], pp. 1-11. [Consulta: 27 junio 2022]. ISSN 2448-6663. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11191/8337>.

SHENESHEN, E.S., FATHY, M., EL-NAGGAR, I.M., AHMED, S.A., SHEHATA, N. y SHEHATA, A.M., 2018. Effective Solutions of Hardness by Using Adsorption Technique on Kaolinite Smectite Adsorbent from Aqueous Solution. International Journal of Chemical Sciences Research [en línea], vol. 16, no. 1, pp. 235. [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 0972-768 X. Disponible en: <https://www.tsijournals.com/articles/effective-solutions-of-hardness-by-using-adsorption-technique-on-kaolinite-smectite-adsorbent-from-aqueous-solution-13653.html>.

VALDIVIA, Y., VALDÉS, S. y GÓMEZ. MAYLIN, 2010. Agua para uso en Laboratorios. Boletín Científico Técnico INIMET [en línea], no. 1, pp. 3-10. [Consulta: 28 junio 2022]. ISSN 0138-8576. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223017807002>.

ZAVALA GÓMEZ, C.E., 2015. Desarrollo de membranas porosas a partir de arcilla para el ablandamiento de agua [en línea]. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <http://ri.uaq.mx/handle/123456789/3219>.

ZILPA HERNÁNDEZ SANTIAGO, 2015. Comparación de tratamientos empleados para la eliminar la dureza del agua. [en línea]. Quintana Roo: Universidad de Quintana Roo. [Consulta: 27 junio 2022]. Disponible en: <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/320>.



ANEXOS

ANEXO A: PRE TRATAMIENTO DEL MINERAL ALUMINOSILICATO

a.



b.



c.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Granizo Cristina, 2023.	PRE TRATAMIENTO DEL MINERAL ALUMINOSILICATO		
a. Eliminación de carbonatos con HCl. b. Proceso de filtración para pasar a la siguiente etapa del pre tratamiento c. Materia orgánica H ₂ O ₂	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
					1

ANEXO B: TRATAMIENTOS REALIZADOS AL MINERAL ALUMINOSILICATO

a.



b.



c.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA </p>	TRATAMIENTOS REALIZADOS AL MINERAL ALUMINOSILICATO		
<p>a. Peso arcilla natural gruesa</p> <p>b. Tratamiento ácido de la arcilla con HCl</p> <p>c. Tratamiento térmico (750°C) por 3 horas</p>	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		<p>Realizado por: Granizo Cristina, 2022.</p>	2	1:1	2022/11/10

ANEXO C: ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS REALIZADOS AL AGUA DEL LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA Y NUTRICIÓN ANIMAL DE LA FCP-ESPOCH

a.



b.



c.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Realizado por: Granizo Cristina, 2022.</p>	<p align="center">ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS REALIZADOS AL AGUA DEL LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA Y NUTRICIÓN ANIMAL DE LA FCP- ESPOCH</p>		
<p>a. Muestras iniciales de cada uno de los análisis a realizarse</p> <p>b. Muestras finales de los análisis realizados</p> <p>c. Determinación del color inicial del agua del laboratorio de bromatología y nutrición animal de la FCP-ESPOCH</p>	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			3	1:1	2022/11/10

ANEXO D: PROCESO DE PESAJE Y AGITACIÓN DE LA ARCILLA PARA DETERMINAR EL NIVEL DE REDUCCÓN DE DUREZA

a.



b.



c.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Granizo Cristina, 2022.	PROCESO DE PESAJE Y AGITACIÓN DE LA ARCILLA PARA DETERMINAR EL NIVEL DE REDUCCÓN DE DUREZA		
a. Pesaje de cada tipo de arcilla para ser sometida a agitación b. Muestras de agua y arcilla para cada tratamiento. c. Agitación de cada uno de los vasos realizando tres repeticiones en cada tratamiento	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			4	1:1	2023/01/19

ANEXO E: DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA POST TRATAMIENTO MEDIANTE EL MÉTEDO VOLUMÉTRICO COMPLEXÓMETRICO

a.



b.



c.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Granizo Cristina, 2022. </p>	<p align="center"> DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA POST TRATAMIENTO MEDIANTE EL MÉTEDO VOLUMÉTRICO COMPLEXÓMETRICO </p>		
<p>a. Filtrado del agua después de la agitación</p> <p>b. Muestras de dureza antes de ser titulada con EDTA.</p> <p>c. Muestras de dureza después de ser tituladas con EDTA.</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Información</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>		<p>LÁMINA</p> <p align="center">5</p>	<p>ESCALA</p> <p align="center">1:1</p>	<p>FECHA</p> <p align="center">2023/01/19</p>

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos específicos

5.1.1 El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual ¹⁾	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃	mg/l	50
Nitritos, NO ₂	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,1
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01

¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁸Ra



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 02/08/2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Cristina Paola Granizo Villacrés
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1459-DBRA-UPT-2023

