



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre y cuando den crédito y licencia a las nuevas creaciones bajo los mismos términos. Esta licencia suele ser comparada con las licencias copyleft de software libre y de código abierto. Todas las nuevas obras basadas en la suya portarán la misma licencia, así que cualesquiera obras derivadas permitirán también uso comercial.

[http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



EVALUACION DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al **BORRADOR DE TESIS** cuyo título es:

"INFLUENCIA DEL EMPLEO DE UN FILTRO ABLANDADOR MULTIMEDIA EN LA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CARBONATOS PRESENTES EN EL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL CENTRO POBLADO CASA BLANCA DEL DISTRITO DE SANTIAGO – ICA - 2021"

Presentado por:

SOLIS UCHUYA JAIME ALEJANDRO

De la **MAESTRÍA EN INGENIERIA QUÍMICA** mención **PROCESOS QUÍMICOS Y AMBIENTALES**.

Que, se ha recibido del operador del programa informático evaluador de originalidad de la Escuela de Posgrado de la UNICA, el informe automatizado de originalidad, el mismo que concluye de la siguiente manera:

El documento de investigación APRUEBA los criterios de originalidad con un porcentaje de similitud de 8%.

Para dar fe, se adjunta al presente el reporte de similitud de las bases de datos de iThenticate. En Ica 28 de octubre del 2022

Atentamente

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. ROBERTO H. CASTAÑEDA FERRONES
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE POSGRADO

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRIA EN INGIENERIA QUIMICA
Mención Procesos Químicos y Ambientales



**Influencia del empleo de un filtro ablandador-multimedia en la
reducción de la concentración de carbonatos presentes en el
agua para consumo humano del Centro poblado Casa Blanca
del Distrito de Santiago - Ica – 2021**

Línea de investigación: Recursos hídricos, riesgo de
desastres y cambio climático.

PRESENTADO POR:

SOLIS UCHUYA JAIME ALEJANDRO

Para optar el Título Magister en Ingeniería Química

ICA – PERU

2022

DEDICATORIA

El presente documento es dedicado a mis padres Mario y Graciela por ser los forjadores del presente en el cual me encuentro. A mi esposa e hijas símbolos del camino en el que he marcado mi horizonte a seguir; y a mis familiares en general sobre todo, a los que han sabido valorar el esfuerzo y dedicación de mi persona en mi vida profesional.

AGRADECIMIENTOS

A todos mis docentes y colegas de profesión que de alguna u otra manera me ayudaron a enriquecerme de conocimientos y experiencias, para el logro de la culminación del presente trabajo de investigación.

INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
PORTADA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
INDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Situación problemática	11
1.2. Antecedentes de la investigación	12
1.2.1. Antecedentes internacionales	12
1.2.2. Antecedentes Nacionales	14
1.2.3. Antecedentes Locales	15
1.2.4. Justificación e importancia	15
1.2.5. Bases teóricas	17
1.2.6. Marco Conceptual	34
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA	36
III. RESULTADOS.	39
3.1. Procedimiento experimental	39
3.2. Resultados de análisis de muestras	49
3.3. Contrastación de la hipótesis principal	64
IV. DISCUSIÓN.	65
V. CONCLUSIONES	68
VI. RECOMENDACIONES.	69
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	70
VIII. ANEXOS.	72

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Número de malla utilizados en el tamizaje de la arena.	40
Tabla 3.1 Composición química y microbiológica del agua de que abastece al Centro Poblado Casa Blanca – Distrito de Santiago – Ica – 2022	49
Tabla 3.2 Variación del pH del agua potable durante el tiempo de estudio.	49
Tabla 3.3 Variación de la dureza del agua durante el tiempo de estudio	51
Tabla 3.4 Variación de la conductividad del agua durante el tiempo de estudio	52
Tabla 3.5 Variación de la dureza con el espesor de la capa de resinas catiónicas (Velocidad de flujo: 5 L/h)	53
Tabla 3.6 Variación de la dureza con el espesor de la capa de resinas catiónicas (Velocidad de flujo: 4 L/h)	54
Tabla 3.7 Variación de la dureza con el espesor de la capa de resinas catiónicas (Velocidad de flujo: 3 L/h)	55
Tabla 3.8 Variación de la dureza con el espesor de la capa de resinas catiónicas (Velocidad de flujo: 2 L/h)	56
Tabla 3.9 Variación de la dureza con el espesor de la capa de resinas catiónicas (Velocidad de flujo: 1 L/h)	57
Tabla 3.10 Variación de la dureza con la variación de velocidad del flujo	58
Tabla 3.11 Variación de la dureza con la variación de la capa de carbón activado (Velocidad del flujo 5 L/h)	59
Tabla 3.12 Variación de la dureza con la variación de la capa de carbón activado (Velocidad del flujo 5 L/h)	60
Tabla 3.13 Variación de la dureza con la variación de la capa de carbón activado (Velocidad del flujo 5 L/h)	61
Tabla 3.14 Variación de la dureza con la variación de la capa de carbón activado (Velocidad del flujo 5 L/h)	62
Tabla 3.15 Composición química y microbiológica del agua después del tratamiento en el filtro ablandador multimedia.	63
Tabla 3.16 Datos comparativos de los parámetros del agua de que abastece al Centro Poblado Casa Blanca – Distrito de Santiago – Ica – 2022 Antes y después del tratamiento en el filtro ablandador-multimedia.	63
Tabla 3.17 Correlación entre empleo de un filtro ablandador multimedia (EFAM) y Reducción de la concentración de carbonatos (RCC).	64

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Resinas catiónicas ácido fuertes empleadas en el ablandamiento del agua	18
Figura 2. Diversas formas de resinas catiónicas.	19
Figura 3. Esquema del intercambio iónico entre el Ca^{2+} y el Na^{+}	21
Figura 4. Carbón activado.	22
Figura 5. Principales grupos superficiales en la superficie del carbón activado	25
Figura 6. Grupos funcionales formados en el interior de un poro.	25
Figura 7. Microfotografía que muestra la porosidad del carbón activado.	26
Figura.8. Zeolitas de diversa granulometría.	27
Figura.9. Microfotografía de una zeolita mostrando el agua ocluida en los poros	27
Figura 10. Estructura de la zeolita.	28
Figura 11. Arena de río.	30
Figura 12. Microfotografía de la arena.	31
Figura 13 Mecanismo de Transporte	33

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Límites máximos permisibles de los parámetros de calidad del agua	72
Anexo 2. Resultados de la caracterización del agua antes del tratamiento	73
Anexo 3. Resultados de la dureza con respecto a la variación de espesor de resinas y carbón activado	74
Anexo 4. Resultados de la caracterización del agua después del tratamiento	75
Anexo 5. Vista del proceso de filtración y toma de muestras	75
Anexo 6. Vista frontal del filtro multimedia utilizado	77
Anexo 7. Ubicación geográfica del pozo de abastecimiento de agua potable del centro poblado Casa Blanca del distrito de Santiago-Ica	78
Anexo 8. Procedimientos para determinar parámetros	79

RESUMEN

La investigación titulada “Influencia del empleo de un filtro ablandador-multimedia en la reducción de la concentración de carbonatos presentes en el agua para consumo humano del Centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago - Ica – 2021”, es un estudio de tipo aplicada, de nivel explicativo y de diseño experimental, cuyo objetivo es disminuir la dureza del agua potable expresada como carbonato de calcio mediante un filtro ablandador multimedia para lo cual se realizaron ensayos regulando el flujo de agua y el espesor de las capas de material filtrante conformada por resinas catiónicas, carbón activado, zeolita, arena fina y gruesa, como resultado de las pruebas se obtuvo una reducción de la dureza del agua desde 647 mg/L hasta 127 mg/L, así mismo se han reducido las concentraciones de las sales de cobre, hierro y manganeso, los sulfatos y cloruros. El filtro empleado también permite reducir la carga microbiana del agua, eliminando en su totalidad los coliformes totales y los coliformes fecales.

Palabras claves: Filtro ablandador multimedia, filtración lenta, resinas catiónicas.

ABSTRACT

The present investigation entitled "Influence of the use of a softener-multimedia filter in the reduction of the concentration of carbonates present in the water for human consumption of the Casa Blanca Populated Center of the District of Santiago - Ica - 2021", is a study of applied type , explanatory level and experimental design, whose objective is to reduce the hardness of drinking water expressed as calcium carbonate through a multimedia softener filter for which tests were carried out regulating the flow of water and the thickness of the layers of filter material made up of cationic resins, activated carbon, zeolite, fine and coarse sand, as a result of the tests a reduction in water hardness was obtained from 647 mg/L to 127 mg/L, likewise the concentrations of copper salts have been reduced , iron and manganese, sulfates and chlorides. The filter used also makes it possible to reduce the microbial load of the water, completely eliminating total coliforms and fecal coliforms.

Key words: Multimedia softener filter, slow filtration, cationic resins.

INTRODUCCIÓN

El Centro Poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica, se abastece únicamente con agua subterránea que se extrae mediante bomba centrífuga vertical de 8" en pozo profundo de 66,3 m. de profundidad, con un caudal de 42.7 L/s. ;la composición química de esta agua al igual que de todas las aguas del subsuelo, responde principalmente a tres procesos: uno de ellos es la concentración de evaporación de las sales atmosféricas que proceden de los aerosoles generados en la superficie del mar, aparte de las sales disueltas en el agua de lluvia; el segundo proceso es la disolución del suelo infiltrado que contiene varias sales en el agua, disolviéndolas, ionizándolas e incluso propiciando con ellas reacciones de óxido reducción; un tercer proceso que afecta la composición química del agua subterránea es la inclusión de aguas con alta salinidad y aguas residuales ácidas, que contribuyen a la presencia de metales pesados. Por otro lado, la composición del agua subterránea puede variar por diversos motivos: naturales o antrópicos, tales como el clima, la temperatura, la composición del suelo por el que fluye el agua, el tiempo que permanece en el acuífero, y la cantidad de gases disueltos que hay en el agua: dióxido de carbono y oxígeno. Entre las actividades humanas que modifican la composición de las aguas subterráneas están: los efluentes líquidos de diversas industrias que se infiltran en las capas terrestres llegando a los acuíferos donde depositan diversas sales y compuestos químicos muchos de ellos muy peligrosos para la salud. De las sustancias señaladas, la mayoría se encuentran solubilizadas en el agua, ionizadas, existiendo iones de calcio, magnesio, sodio y potasio; y los aniones: bicarbonato, sulfato y cloruro. La presencia del ion carbonato está condicionada a un $\text{pH} > 8,3$, lo cual es muy frecuente en aguas que discurren por terrenos calcáreos y que contienen dióxido de carbono disuelto en proporciones altas, el cual forma con el agua ácido carbónico. El carbonato de calcio y de magnesio constituye la dureza del agua, lo que afecta negativamente a la salud humana. La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos. El agua dura puede acumular depósitos en las tuberías o incluso bloquearlas por completo. Esta propiedad física es dañina, especialmente en el agua de alimentación de calderas, donde las altas temperaturas promueven la formación de incrustaciones.

La tesis se ha desarrollado en cuatro partes o capítulos, siendo el primero de ellos la introducción en la cual se exponen los fundamentos de la investigación abordando la situación problemática, el problema, los objetivos, la hipótesis de investigación y la importancia del estudio.

La segunda parte corresponde al estudio teórico relacionado con el tema de estudio, en el se aborda los antecedentes teóricos nacionales e internacionales, seguido por las bases teóricas en donde se estudia el filtro ablandador multimedia y el mecanismo de funcionamiento, así como el

fundamento teórico relacionado con el carbonato de calcio, la dureza del agua y los bicarbonatos disueltos en el agua debido a la presencia excesiva de dióxido de carbono. Esta parte incluye la metodología de la investigación y el desarrollo experimental se dan a conocer en ella los métodos y los materiales empleados.

La tercera parte corresponde a los resultados obtenidos en el estudio de campo y los análisis realizados, estos han sido seleccionados, tabulados e interpretados.

La cuarta parte aborda la discusión de resultados en donde se hace un análisis pormenorizado del estudio realizado, se explica la metodología empleada y el porque de cada resultado. Seguidamente la tesis concluye en las conclusiones y recomendaciones.

1.1. Situación problemática.

El agua que abastece el centro poblado Casa Blanca del distrito de Santiago, contiene una elevada concentración de carbonato de calcio, la cual supera el rango permitido por las normas nacionales e internacionales ya que su valor supera los 500 mg/L, lo cual crea una serie de inconveniente a los usuarios ya que la precipitación y acumulación de esta sustancia disminuye continuamente el diámetro de las tuberías, llegando incluso en un tiempo prolongado a obstruirlas, generando en ellas corrosión. En cuanto a la salud de las personas se acumula en los riñones generando lo que se denomina cálculos renales, enfermedad muy dolorosa y que perjudica enormemente la salud de los que la padecen, motivo por el cual es preciso desarrollar una investigación que permita reducir su contenido en las aguas subterráneas, si es que su eliminación no fuera posible. Para ello en la presente tesis se propone el empleo de un filtro ablandador -multimedia el cual permita reducir a un mínimo el contenido de carbonatos y bicarbonatos.

1.1.1. Formulación del problema

Problema general.

¿Cómo influye el empleo de un filtro ablandador-multimedia en la reducción de la concentración de carbonatos presentes en el agua para consumo humano del Centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago - Ica – 2021?

Problemas específicos.

PE1: ¿Cuál es la concentración promedio de carbonatos en las aguas subterráneas que se extraen para uso potable e industrial en el centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica- 2021?

PE2: ¿Cuáles son las características funcionales del filtro ablandador- multimedia que se empleará para reducir la concentración de carbonatos en el agua potable del centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica- 2021?

PE3: ¿Qué rendimiento tiene el filtro ablandador- multimedia que se empleará para reducir la concentración de carbonatos en el agua potable del centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica- 2021?

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. A nivel internacional

O. Gómez [1] En su tesis mediante el empleo de un prototipo de ósmosis inversa alimentado por energía solar, se hicieron las correspondientes pruebas de desalinización del agua para uso potable. Este estudio se llevó a cabo bajo diversas condiciones, que incluyen conductividad eléctrica, presión y radiación solar, lográndose una producción de agua blanda de 0,5 a 1 metro cúbico. El autor concluye que el agua obtenida está muy por debajo de la cantidad de sales que debe tener un agua potable y se requiere agregar a ella una cierta cantidad de sales a fin de hacerla potable con la cantidad necesarias de sales.

Y. Cruz y M. López [2] en su tesis plantearon la posibilidad de acondicionar el agua tratada a un pH determinado en el cual no se produzcan ni corrosión ni incrustaciones en las tuberías a través de las cuales se distribuye el agua potable. El ajuste de pH se considera en el estudio necesario, ya que durante el tratamiento del agua se adicionan al agua reactivos químicos como coagulantes y desinfectantes, los cuales por sus características químicas se comportan como ácidos o bases con un elevado poder corrosivo o precipitante que pone en peligro las tuberías de agua potable. Los autores concluyen que independientemente de los materiales que se elijan para las tuberías es necesario de todas maneras hacer el acondicionamiento del agua mediante el ajuste de pH, de acuerdo con el método propuesto.

A. Peraza [3] Presentó su tesis cuyo objetivo fue disminuir la concentración del carbonato de calcio mediante un método eléctrico, que permite un cambio del pH en la interface electrodo-solución. El estudio de diseño experimental desarrolló ensayos considerando diversos factores que podrían influenciar en la precipitación del carbonato de calcio, para ello se estudió la densidad de corriente, la temperatura a la

cual se debe trabajar, el tipo de electrodo, la geometría del electrodo, las características de los cristales del precipitado. Comprobándose que durante el ensayo, el pH aumenta. Los ensayos realizados demostraron la viabilidad de precipitar el carbonato de calcio en el electrodo, gracias a reacciones de reducción.

C. De Souza [4] Presentó su tesis, una investigación básica no experimental que consistió en analizar los diversos métodos propuestos para el control de la corrosión y las incrustaciones producto de la excesiva concentración de carbonatos. Por otro lado, se analiza los factores que afectan en la calidad del agua de uso doméstico, como la calidad del material con las que se han fabricado las tuberías, el pH del agua potable y su composición química. La autora concluye es necesario utilizar en las aguas potables inhibidores de corrosión y hacerle el tratamiento necesario para ablandar el agua, sobre todo para disminuir la concentración de carbonatos en ella.

G. Escobedo [5] presentó su tesis cuyo objetivo fue determinar los efectos de los carbonatos en los diversos equipos y procesos de las industrias en las cuales se emplea el agua como insumo o como materia prima. El estudio de diseño experimental desarrolla una serie de ensayos en los cuales se demuestra los efectos negativos de estos carbonatos en equipos como las calderas, intercambiadores de calor, hervidores, marmitas, etc., siendo los principales las incrustaciones y la corrosión masiva que se extiende incluso a las tuberías y válvulas de las diversas plantas. Otro de los negativos es la formación de biocapas sobre las superficies carbonatadas que se forman al interior de tuberías y equipos que permiten la acumulación de patógenos y otros microorganismos que perjudican los productos finales en la industria alimentaria y que causan enfermedades en consumidores.

I. Ávila y M. Moreno [6] presentaron su tesis cuyo objetivo es la construcción de un filtro multimedia, en el cual se incluye una capa de carbón, con el fin de eliminar bacterias, turbiedad y los carbonatos de calcio y magnesio que constituyen la dureza del agua. Mediante una serie de ensayos, con aguas superficiales destinadas al uso domiciliario, se hicieron ensayos que permitieron establecer que el filtro cumple con los objetivos propuestos. La calidad del agua obtenida es de mejor calidad.

1.2.2. A nivel nacional

H. Huallpa [7] el objetivo de su tesis fue plantear el tratamiento de las aguas subterráneas para reducir la dureza mediante el empleo de reactivos químicos: cal, hidróxido de sodio, tripolifosfato de sodio. La investigación es de diseño experimental. Mediante ensayos de laboratorio se estableció la concentración de los reactivos que es

necesaria para reducir la concentración de los carbonatos del agua subterránea que en el área de estudio alcanza los 665,8 mg/L, que es sumamente elevada con relación al límite máximo que exige la OMS que es de 300 mg/L. La autora concluye que el tratamiento con el tripolifosfato de sodio es el más adecuado y solo se requiere de 0,22g en 500 ml. de agua para lograr un drástico descenso en la concentración de carbonatos.

C. López [8] Presentó su tesis cuyo objetivo es determinar la concentración de carbonatos de calcio y magnesio en las fuentes de agua de la ciudad de Abancay, y establecer si las concentraciones encontradas son asequibles a las cantidades diarias que deben de consumir cada grupo etario de la población. El estudio se hizo en media docena de reservorios, cuyas aguas fueron sometidas a análisis mediante espectrofotometría de absorción atómica. Según el estudio las concentraciones de carbonatos existentes en los reservorios de Abancay, aportan una parte de estas sales al organismo de las personas y por tanto la proporción de carbonatos en estas aguas son aptas para el consumo humano.

J. Hurtado y K. Barón [9] Presentaron su tesis cuyo objetivo fue implementar un sistema mecánico que permita disminuir la dureza de las aguas subterráneas; este sistema es mecánico y comprende el empleo de filtros de arena, filtros multimedia, ablandadores de resinas y un sistema de ósmosis inversa. De esta manera el sistema eliminará no solo las sales presentes en el agua, sino además eliminará la carga microbiana que pudiera tener. Los autores concluyen que después de analizar la calidad del agua tratada por el método propuesto, esta resultó apta para el consumo humano.

E. Díaz [10] Presentó su tesis de grado cuyo objetivo fue determinar los factores intrínsecos del agua del manantial, antes de entrar al sistema de abastecimiento, para ello se hicieron los respectivos análisis para comprobar la calidad del agua. Se hicieron los muestreos en tres lugares y en diferentes épocas del año. Los ensayos demuestran que las características químicas de las paredes del reservorio y el efecto de la actividad humana que altera su composición afectan en la calidad del agua. El autor concluye que los factores que inciden en la calidad del agua son la formación calcárea del manantial y la ganadería y letrinas no impermeabilizadas, sin embargo, la calidad del agua es regular.

S. Molina [11] Presentó su tesis de grado cuyo objetivo fue evaluar la dureza del agua potable que consumen un sector de los pobladores de las riberas bajas del Río Chili.

Los ensayos realizados al agua del sector en estudio reportaron que la dureza del agua del río Chili está muy por debajo de los límites máximos permisibles, aunque en ciertos sectores supera el límite mayor a 180 mg/L, considerada agua muy dura. Una de las conclusiones importante en este estudio es, según el autor, es la relación entre el nivel de dureza del agua con la litiasis urinaria.

G. Rosi [12] Presentó su tesis de grado cuyo objetivo fue eliminar contaminantes de las aguas superficiales con ayuda de un filtro multimedia, en cuya elaboración se empleó carbón, arena y grava. Se realizaron ensayos con el filtro propuesto, con aguas no adecuadas para el consumo humano, pudiendo, según la autora, disminuir considerablemente las partículas en suspensión, los sólidos solubles y ciertas sales de metales pesados como el plomo cadmio y arsénico por niveles inferiores a los límites máximos permitidos por la OMS. Las pruebas experimentales realizadas permitieron establecer que este tipo de filtro, debe de usarse en serie, es decir es necesario el uso de más de un filtro, por lo que recomienda dos o tres unidades en el sistema de filtración para lograr óptimos resultados.

1.2.3. Antecedentes locales

No se han encontrado datos sobre la investigación aquí planteada.

1.2.4. Justificación e importancia de la investigación

Justificación teórica:

En teoría la investigación se justifica porque aborda temas relacionadas con el agua, su análisis, tratamiento mediante el empleo de un filtro ablandador-multimedia para reducir la concentración de carbonatos. Se hará un estudio amplio sobre el filtro multimedia al cual se le agregará resinas de intercambio iónico para captar calcio y magnesio.

Justificación metodológica:

Desde el punto de vista metodológico, la investigación se justifica porque plantea la necesidad de llevar a cabo estudios experimentales que permitan verificar la factibilidad técnica del uso de un filtro ablandador-multimedia para tratar la dureza del agua potable. Los estudios se realizarán a nivel laboratorio, con ayuda de un prototipo.

Justificación social:

Socialmente este estudio se justifica en tanto uno de los objetivos es reducir la concentración de los carbonatos, los cuales afectan al organismo causando

enfermedades renales y por otro lado reducirá las incrustaciones en tuberías y válvulas del sistema de agua potable del centro poblado Casa Blanca Del Distrito de Santiago.

Justificación práctica:

Desde el punto de vista práctico, los métodos de ensayo que se emplearán serán rápidos y sencillos para poder evaluar las aguas, de tal manera que tendrá el estudio una utilidad práctica para estudiantes y profesionales. Así mismo se plantea la construcción de un filtro ablandador-multimedia, cuya tecnología es barata y sencilla de implementar.

La investigación planteo los siguientes objetivos:

Objetivo General.

Determinar cómo influye el empleo de un filtro ablandador-multimedia en la reducción de la concentración de carbonatos presentes en el agua para consumo humano del Centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago - Ica – 2021.

Objetivos específicos.

OE1: Determinar la concentración promedio de carbonatos en las aguas subterráneas que se extraen para uso potable e industrial en el centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica- 2021.

OE2: Determinar las características funcionales del filtro ablandador- multimedia que se empleará para reducir la concentración de carbonatos en el agua potable del centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica- 2021.

OE3: Determinar el rendimiento del filtro ablandador- multimedia que se empleará para reducir la concentración de carbonatos en el agua potable del centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica- 2021.

1.2.5. Bases Teóricas

1.2.5.1. Filtro ablandador multimedia.

Definición

Definiremos al filtro ablandador multimedia como un dispositivo filtrante que posee diversas capas de material poroso, de actividad específica, que cumple dos funciones principales: retirar del agua potable las sales que constituyen la

dureza (Carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio) y retener los sólidos suspendidos, sustancias contaminantes diversas (colorantes, detergentes, metales pesados, olores, sabores, etc.), purificando de esta manera las aguas destinadas al consumo humano con alta eficiencia, cuando ha sido bien estructurado y el flujo del líquido es convenientemente regulado.

El filtro ablandador multimedia que se estudia en esta tesis y que ha servido para desarrollar la parte experimental de la tesis consta de varias capas filtrantes de diversos materiales, cada uno de ellos con una función específica, gracias a las características estructurales del material y a sus propiedades fisicoquímicas. Las propiedades de cada una de ellas serán descritas a continuación de manera concreta pero detallada, incidiendo principalmente en sus propiedades funcionales y en el papel que desempeñan durante la filtración del agua.

1.2.5.2. Capas constituyentes del filtro ablandador multimedia.

Las capas constituyentes del filtro ablandador multimedia son las que a continuación se describen:

a. Capa de resinas de intercambio iónico.

Las resinas de intercambio iónico son compuestos químicos sintéticos sólidos que se fabrican en forma de gránulos, perlas o esferas muy pequeñas con diámetros que van desde 0,3 hasta 1,2 mm, cuya principal propiedad es ser insolubles en agua y tener numerosos poros en los cuales se alojan iones moleculares (grupos polares) de carácter ácido o básico. Durante el intercambio iónico, esos iones se permutan con otros positivos o negativos que están en el líquido, sin afectar sus propiedades de solubilidad y sin modificar en absoluto su forma física.

Las dimensiones arriba señaladas corresponden a valores de diámetros que se han corroborado experimental e industrialmente como efectivas para el intercambio iónico, sin embargo, también se fabrican resinas de intercambio iónico en forma de polvo. En estas resinas los grupos polares están incorporados a una matriz polimérica sintética (estirénica, acrílica, etc.) desde donde captan iones que están presentes en el agua y al mismo tiempo le ceden cantidades equivalentes de otros iones.

Fig. 1. Resinas catiónicas ácido fuertes empleadas en el ablandamiento del agua [13]



Las resinas de intercambio iónico comerciales son de dos tipos: tipo gel y tipo poroso, la estructura de ambas es idéntica, pero se diferencian por su porosidad. Estas resinas son compuestas altamente reticulados, lo cual aumenta su fuerza mecánica a las tensiones físicas y a las sustancias químicas.

Fig.2. Diversas formas de resinas catiónicas [14]



Las resinas de tipo gel son materiales micro porosos, cuyos poros resultan del proceso de polimerización; mientras que las resinas macro porosas logran tal condición (poros de mayor diámetro) artificialmente, tratándolas con ciertas sustancias especialmente diseñadas para tal efecto. De esta manera se forman en la matriz los macro poros, que tienen como finalidad aumentar la superficie de adsorción y desorción.

El agua ocluida en los poros de las resinas de intercambio iónico es prácticamente invisible y se es difícil su eliminación de ella, considerándosele como agua retenida. El polímero que constituye la estructura de la resina contiene un ion inmovilizado permanentemente, de tal forma que constituye parte de la estructura y por tanto no se puede eliminar o reemplazar con otro tipo de iones. Pero como las resinas deben ser eléctricamente neutras, a cada uno de los iones fijos se aparea con un ion de carga opuesta que se le llama contra-ion, el cual es móvil y puede entrar y salir de la estructura de la resina y es el que se intercambia.

Las resinas por su composición química pueden ser: Resinas catiónicas fuertes (CF) y resinas catiónicas débiles. Las primeras, que se van a emplear en el ablandamiento del agua potable en la presente tesis, están caracterizadas por tener radicales sulfónicos (HSO_3^-) y su acidez cercana la del ácido sulfónico. Son idóneos para eliminar todos los cationes del agua. Presentan una selectividad máxima para cationes trivalentes, una selectividad media para divalentes y una más baja para monovalentes. Se utiliza en el ablandamiento en el ciclo del sodio y en la desmineralización en el ciclo del hidrógeno. La tasa de intercambio es rápida y casi no presenta fuga de iones. Son resinas estables que pueden durar hasta 20 años o más. Soportan altas temperaturas por encima de 100 °C.

Las resinas de intercambio iónico se emplean en el ablandamiento del agua, es decir, sirven para eliminar o reducir la dureza del agua, conformada por las sales (carbonatos) de calcio y magnesio, que en determinadas condiciones precipitan generando el sarro o incrustaciones que se acumulan sobre las superficies de los ductos y recipientes donde se almacena o calienta el agua que lo contiene. Durante el ablandamiento los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} ingresan hacia los microporos de las resinas y se

adsorben en ellos mientras que los iones móviles de las resinas que en este caso es el Na^+ , salen de ella.

Las resinas de intercambio iónico cargadas de sulfito de sodio ionizado $\text{Na}^+ + \text{SO}_3^-$ (en el agua ocluida en los poros) se colocan en el filtro multimedia formando una capa de 20 cm de espesor. Al pasar un flujo de agua que contiene carbonato de calcio (CaCO_3) y carbonato de magnesio (MgCO_3) los iones Calcio (Ca^{2+}) y Magnesio (Mg^{2+}) ingresan a la resina y se fijan por adsorción en los microporos, mientras que el ion Na^+ , sale de ella; los iones carbonato (CO_3^{2-}) no pueden entrar porque los iones sulfonato (SO_3^-) que se encuentran conformando la estructura de la resina, se lo impide, tal como podemos visualizar en la figura 3.

La reacción que se produce durante el ablandamiento es la siguiente:

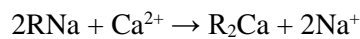
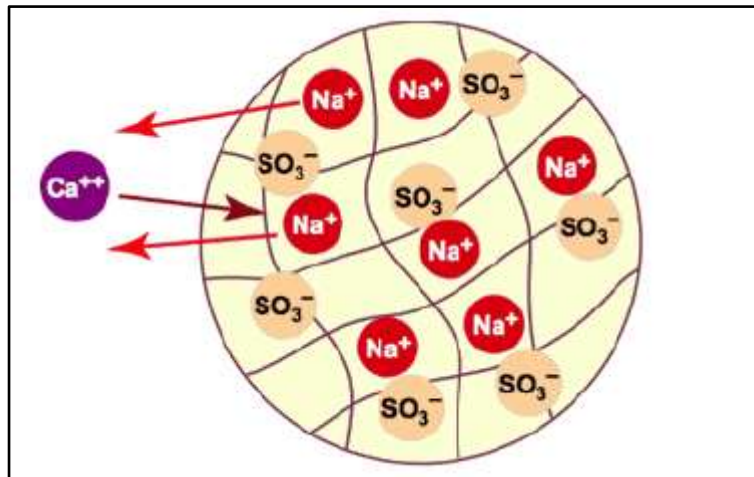


Fig. 3. Esquema del intercambio iónico entre el Ca^{2+} y el Na^+ [15]



Como hemos descrito anteriormente se puede resumir el concepto de resina, como un material sintético conformada por una red de radicales hidrocarburos a los que se unen por adsorción grupos funcionales iónicos, los mismos que son solubles en un medio acuoso. Las moléculas de hidrocarburos se unen entre si transversalmente dando lugar a una estructura tridimensional que le proporciona a la resina la propiedad de

ser totalmente insoluble y con alta tenacidad. Por otro lado, la extensión, o grado de reticulación, es el responsable de la estructura porosa interna de la resina, que a su vez no debe ser tan extensa para permitir el libre movimiento de los iones intercambiables. Con el fin de evitar la reacción con otro tipo de iones diferentes a los que participan en el ablandamiento del agua, las resinas usadas para este fin se fabrican con un grado de reticulación adecuado, que impide el ingreso de iones de mayor tamaño.

El comportamiento de la resina es dado por la naturaleza de los grupos iónicos unidos a su estructura sólida. El número total de grupos por unidad en peso de resina establece su capacidad de intercambio, y el tipo de grupo es el que determina el equilibrio de intercambio iónico y también la selectividad iónica. Para el ablandamiento del agua potable generalmente se emplean las resinas catiónicas, que contienen cationes intercambiables y grupos funcionales ácidos, tales como: el sulfónico $R-SO_3H$; fenólico $R-OH$, carboxílico $R-COOH$; y fosfórico $R-P(O)_3H_2$. La red orgánica está representada por la letra R en estas fórmulas, que conforma la estructura sólida de la resina.

El intercambio de cationes es muy eficiente debido a que las resinas de intercambio tienen una mayor afinidad con los cationes de calcio y de magnesio que por los iones de sodio. El resultado del proceso de intercambio iónico es limitado, funciona hasta que las resinas se saturan con los iones metálicos de los compuestos que constituyen la dureza del agua, cuando esto sucede entonces hay que proceder a la regeneración de las resinas.

b. Capa de carbón activado.

Es un material carbonáceo de origen orgánico que presenta una estructura cristalina reticular, extremadamente porosa a tal extremo que 1 gramo de carbón activado puede cubrir hasta 2 000 metros cuadrados de superficie. Esta gran superficie de contacto convierte al carbón activado en un adsorbente por excelencia, el cual puede captar en la superficie de sus poros (macro poros, mesoporos y microporos, diversas sustancias tales como: colorantes, odorantes que transmiten mal olor, sustancias que poseen mal sabor, ácidos, venenos, algunos metales, entre ellos metales pesados, detergentes, etc.

Fig. 4. Carbón activado. [16]



La activación del carbón consiste en un tratamiento que se desarrolla a altas temperaturas y en presencia de algún reactivo, como resultado del cual la cantidad de poros aumenta y por tanto aumenta su capacidad de adsorción. Dicho de otro modo, la activación del carbón consiste en proliferar el área de la superficie creando una gran estructura interna porosa.

El carbón activado posee dos propiedades principales que permiten darle una aplicación muy vasta en el tratamiento de otras sustancias en las que hay algún componente que se desea eliminar; estas propiedades son en primer lugar su alta capacidad de eliminación de sustancias y en segundo lugar su poca selectividad de retención. La primera de estas propiedades (alta capacidad de eliminación de sustancias) responde a su gran área interna de adsorción conformada por los macro poros, los meso poros y los microporos donde se fijan las sustancias adsorbidas. Estudios diversos a nivel micro han podido establecer cuál es el mecanismo de acción del carbón activado durante la adsorción de diversas sustancias; así por ejemplo se ha establecido que los microporos le asignan una elevada superficie y capacidad de retención, en tanto los mesoporos y macro poros sirven para adsorber moléculas de grandes dimensiones, como los colorantes y los coloides, a la vez que permite el ingreso y la difusión

rápida de las moléculas hacia los microporos que es el centro activo donde se da con mayor intensidad el proceso de adsorción.

En cuanto a la poca especificidad, esta propiedad es importante porque puede adsorber cualquier sustancia indistintamente de sus características físicas o químicas, como la porosidad, acidez o basicidad, etc., por esta razón en algunos textos se le considera al carbón activado un adsorbente universal. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el carbón activado por su naturaleza de origen orgánico es apolar y por tanto tiene mayor compatibilidad con las sustancias apolares tales como los hidrocarburos, los fenoles, los colorantes, etc., sustancias que además de ser apolares poseen un alto volumen molecular.

El carbón activado no adsorbe nitrógeno, oxígeno y agua a temperatura ambiente, por esta razón. Se emplea grandes cantidades de este material para purificar corrientes gaseosas de oxígeno, nitrógeno y agua, eliminando de ellas contaminantes diversos en estado gaseoso (dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, vapores de gasolinas, etc.) en estado líquido (industriales, aguas potables y residuales, tintorerías, etc.).

Las propiedades adsorbentes de un carbón activado no son dependientes únicamente de la superficie y la porosidad. Las sustancias polares son retenidas débilmente sobre la superficie (apolar) del carbón. En estos casos, la fijación al carbono de “heteroátomos”, principalmente hidrógeno y oxígeno, creando estructuras o grupos funcionales tipo ácido carboxílico, carbonilo, lactosas, etc., incrementan la afinidad de las sustancias polares por la superficie del adsorbente y pueden conferir un carácter ácido-base al carbón.

En la superficie del carbón activado puede contener átomos de otros elementos diferentes al carbono, los cuales reciben el nombre de heteroátomos y forman diversos grupos superficiales, tal como se ve en la figura 5 mostrada más abajo.

Otras propiedades importantes que influyen en el carbón activado como adsorbente son la posibilidad de aceptar grupos polares en su superficie,

los cuales pueden darle características básicas o ácidas que acepta bien gracias a su propiedad anfótera, de esta manera puede adsorber sustancias polares y perder su carácter hidrófobo convirtiéndose en un material hidrofílico. Esta variación en las propiedades del carbón activado es considerablemente utilizada en la industria para la adsorción de sustancias diversas y en el tratamiento del agua para adsorber la mayor cantidad posible de contaminantes.

Fig. 5. Principales grupos superficiales en la superficie del carbón activado [17]

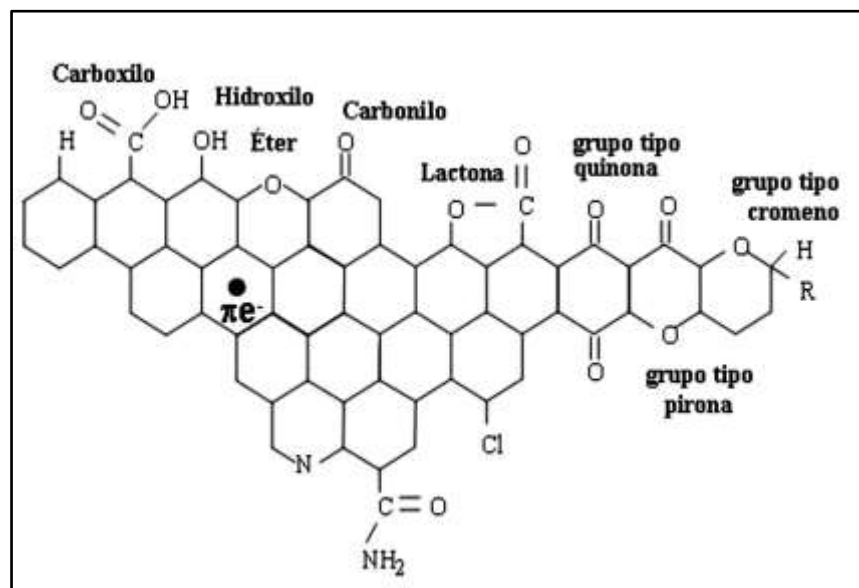
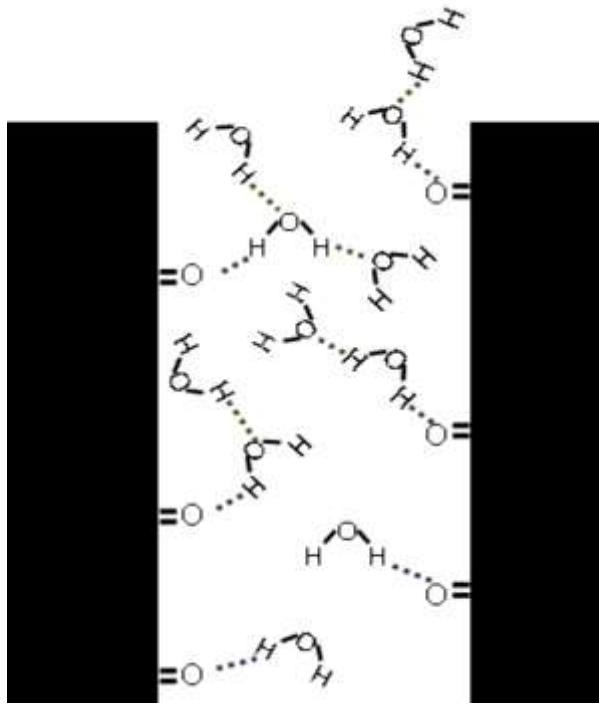
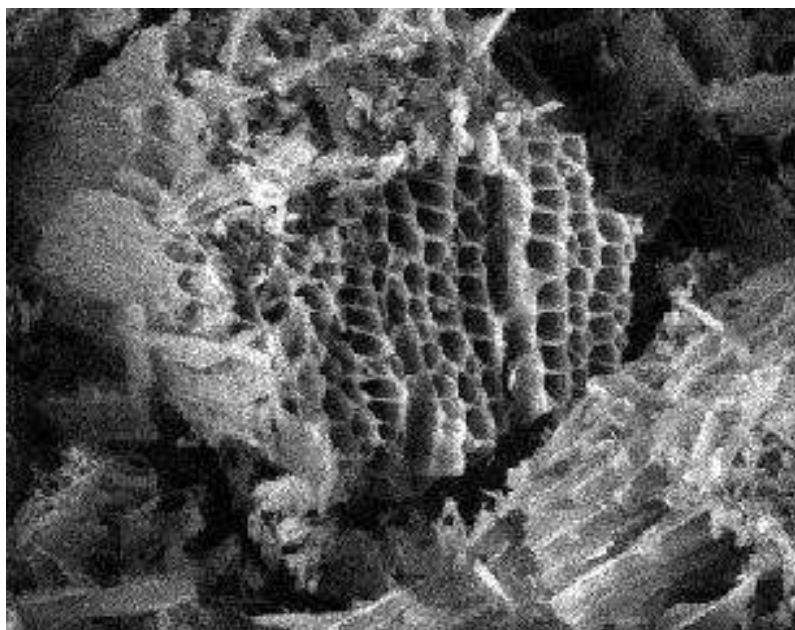


Fig.6. Grupos funcionales formados en el interior de un poro [17]



El carbón activado que se emplea en la construcción de filtros multimedia tiene diversos precursores que resultan de la carbonización y activación de la cáscara de coco, madera, semillas de frutas, lignito, azúcar, o carbón mineral. El carbón activado es más eficiente cuanto más amplia es su superficie de contacto con las sustancias que tiene que adsorber. El carbón activado adsorbe no solo sustancias disueltas en el agua, sino también sólidos, gases, debido a ello es muy usado para eliminar malos olores y sabores desagradables, colorantes y detergentes y otras muchas sustancias apolares y polares. El carbón activado es capaz de fijar por adsorción en su superficie externa e interna moléculas orgánicas. El carbón activado aparte de sus macro poros, mesoporos y microporos, posee centros activos en donde están fijados radicales que tienen la propiedad de captar sustancias o moléculas polares y no polares. Generalmente, los filtros de carbón activado por lo general están compuestos por carbón activo granular que presentan partículas de entre 0,595 y 2,38 mm.

Fig. 7. Microfotografía que muestra la porosidad del carbón activado [18]



c. Capa de zeolita.

Desde el punto de vista mineralógico la zeolita es un mineral considerado dentro de los aluminosilicatos hidratados de estructura cristalina. La estructura de la zeolita es porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10 Å, dentro de los cuales se insertan iones grandes y moléculas de agua que poseen la virtud de moverse libremente permitiendo de esta manera el intercambio iónico y la deshidratación reversible. Principalmente, la zeolita está compuesta por aluminio y silicio. Su estructura cristalina se fundamenta en las tres direcciones de la red cristalina con SiO₄ tetraédrica en la que los 4 oxígenos son compartidos con los tetraedros adyacentes. Las zeolitas naturales son aluminosilicatos de sodio, potasio y calcio entre otros, existen cerca de 40 especies diferentes, siendo la clinoptilolita, y la mordenita las que mayormente se usan en la industria ya que poseen especiales propiedades.

Fig.8. Zeolitas de diversa granulometría [19]

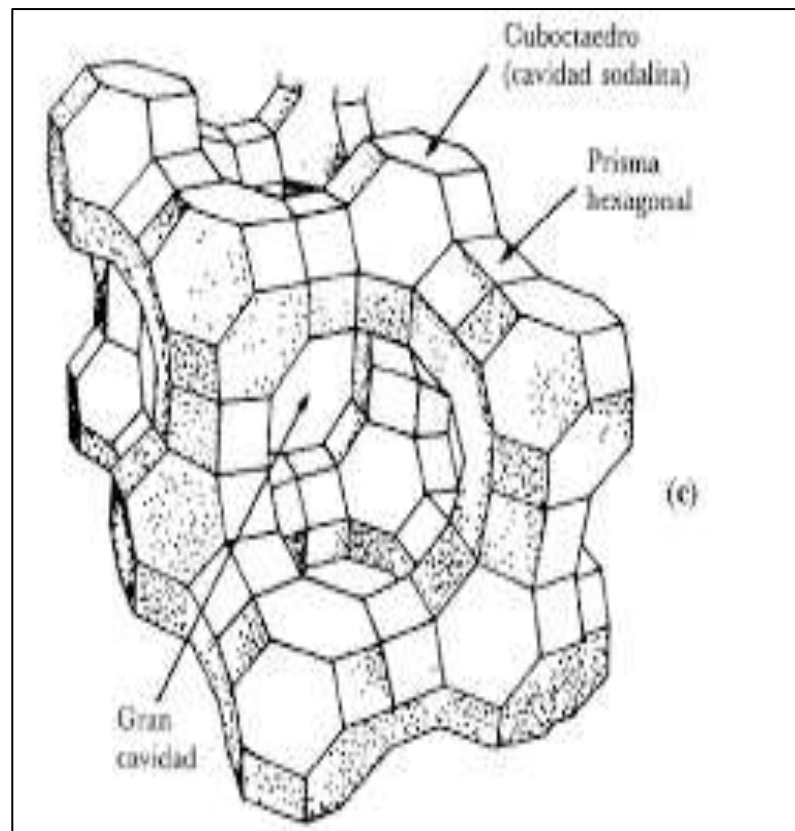


Fig. 9. Microfotografía de una zeolita mostrando el agua ocluida en los poros [19]



Entre las más importantes propiedades de las zeolitas está el hecho de que las cavidades que se forman poseen lugares que pueden ser ocupadas por moléculas e iones de agua, que sirven para equilibrar el exceso de carga negativa. Además, la estructura micro porosa, confiere la transferencia de materia entre el poro y el medio que lo rodea. Dicha transferencia se encuentra limitada por el diámetro de los poros ya que solo ingresarán o saldrán de ellos, las moléculas cuyas dimensiones sean inferiores a un cierto valor crítico, el cual cambia de una zeolita a otra.

Fig. 10. Estructura de la zeolita. [20]



La capacidad de intercambio iónico de una zeolita es la cantidad de equivalentes de un catión que es capaz de retener por intercambio iónico, una masa de zeolita determinada. Dicha capacidad se encuentra relacionada directamente con la cantidad de aluminio presente en la red zeolítica y depende directamente de su composición química. Una alta capacidad de intercambio iónico corresponde a zeolitas con baja relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. La capacidad de intercambio iónico teórica máxima, es el número de equivalentes intercambiables por masa de la celda unitaria. Dicha capacidad no siempre se alcanza debido a que existen sitios de intercambio inaccesibles.

La estructura tridimensional de la zeolita le confiere ciertas propiedades físicas importantes tales como una dureza media que oscila entre 4 y 5 Mohs, un área superficial entre 40 a 60 metros cuadrados por gramo y una densidad aparente de 0,90 a 0,98 kg/L. La combinación de gran área superficial, alta dureza, y baja densidad aparente, genera que la zeolita

clinoptilolita sea un excelente medio filtrante granular, que puede captar partículas sólidas de hasta 5.0 micrómetros de diámetro, lo que garantiza una alta eficiencia en la remoción de sólidos en suspensión que facilitan la turbidez y el color en aguas naturales. Si se compara esta capacidad de retención de partículas sólidas con la de la arena y el carbón es mucho mayor ya que la arena capta partículas sólidas de diámetro mínimo de 40 micrómetros y el carbón activado de 20 micrómetros.

Además de estas propiedades naturales, se puede ejecutar un procedimiento para aumentar las capacidades específicas de la zeolita, como cubrir la estructura de la zeolita natural con óxido metálico, con el propósito de remover manganeso, hierro e incluso arsénico. La captura de sólidos dentro del filtro principalmente ocurre, por el mecanismo de retención mecánica de sólidos debido a la superposición de capas granulares que suministran poros de captura a lo largo del lecho, teniendo en cuenta que la filtración tiene una dirección vertical descendente sobre una presión mínima de 0.5 MCA y 1.0 kgf.cm⁻² para filtros de tipo abierto y cerrado, respectivamente. Además del efecto mecánico de retención de los sólidos, existe también un pequeño efecto electrostático entre los sólidos en suspensión y el lecho de zeolita, que también aporta al proceso de filtración.

Comparándolo con otros medios filtrantes convencionales, como arena y cuarzo, la zeolita natural clinoptilolita presenta una mayor capacidad para retener sólidos utilizando aproximadamente un 30% y un 50% menos de material en el filtro, respectivamente, debido a su menor densidad aparente.

d. Capa de arena.

Desde el punto de vista de la mineralogía la arena es un material granulado cuyo diámetro oscila entre 0,063 y 2 mm resultante de la disgregación de diversos tipos de rocas motivada por la erosión del agua y del viento durante muchísimo tiempo. Básicamente la arena está formada por compuestos inorgánicos naturales entre los cuales el dióxido de silicio es un componente mayoritario en sus diversas formas u homólogos (pizarra, apatita, cuarzo, etc.). Los granulos de arena están sueltos, y gracias al diámetro de sus partículas se comporta en ciertas circunstancias como un

fluido. Las partículas que poseen diámetro inferior a 0,063 mm se denominan finos y las de diámetro superior a 2 mm se denomina grava. Desde un punto de vista técnico para la construcción de filtros de arena se emplean granos de arena y grava cuyos diámetros oscilan entre 0,15mm hasta 3mm.

La arena no solo está compuesta de partículas de silicio también contiene otros componentes como las sales de compuestos inorgánicos, los cuales son solubles en agua, por ello se considera más adecuado emplear para filtración arena de río, ya que esta generalmente está libre de dichas sales y contiene solo óxidos de silicio los cuales son insolubles en agua y ofrecen buena resistencia a la abrasión y ruptura en las condiciones del filtro de arena o el filtro multimedia.

Fig.11. Arena de río [21]



Fig.12. Microfotografía de la arena [21]



Cuando la filtración es lenta la arena fina (con granos de diámetro entre 0,063 hasta 2 mm) permite reducir considerablemente el número de virus y bacterias, protozoos y huevos de nematodos, todos ellos patógenos demasiado peligrosos para la salud de los consumidores. Así mismo la estructura arenosa del filtro permite reducir casi totalmente la turbiedad del agua tratada. Los compuestos orgánicos suspendidos en el agua van quedando retenidos en la superficie de la capa de arena fina, la cual poco a poco va creando una torta más gruesa llamada biocapa y tiene como función retener los patógenos que luego son destruidos, liberando de esta manera los microbios del agua filtrada. Esta biocapa es también la responsable de la reducción de carbono orgánico que es biodegradable.

1.2.5.3. Mecanismos de funcionamiento en la filtración lenta

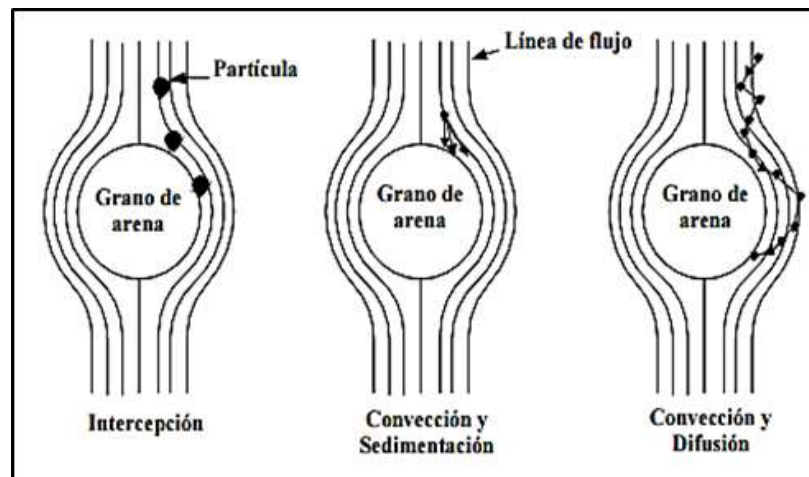
La eliminación de sustancias químicas presentes en el agua, disueltas o no en ella, requiere que el flujo del agua a través del filtro sea lento a fin de permitir una operación de adsorción eficiente y retener de esta manera tanto sólidos suspendidos como microorganismos y sustancias químicas como el carbonato, hierro y magnesio. En el interior del filtro se suceden diversos mecanismos, los principales de ellos son los que a continuación describimos

- Mecanismo de Transporte

Durante el recorrido del agua a través del filtro, esta va a pasar entre los finísimos canales que se forman entre los granos de material filtrante, este paso no es libre, hay colisiones, partículas que se adsorben en el medio filtrante, algunas partículas se sedimentan en ciertos lugares del filtro, principalmente en las superficies de cada capa, otras pasan y siguen su recorrido hasta encontrar una capa que por sus propiedades la captan, liberando el agua de los contaminantes. Esto indica que la filtración se cumple con eficiencia debido a que en ella se llevan a cabo diversos mecanismos, que a continuación describimos:

- Tamizado: Mediante este mecanismo las partículas de mayor diámetro que los poros queda retenido en la superficie.
- Intercepción: Cuando las partículas chocan con los granos de arena.
- Sedimentación: Este mecanismo permite que las partículas sean atraídas por la fuerza de gravedad hacia los granos de arena, lo que provoca su colisión. Este fenómeno se incrementa apreciablemente por la acción de fuerzas electrostáticas y de atracción de masas.
- Difusión: Se produce cuando la trayectoria de la partícula es modificada por micro variaciones de energía térmica en el agua y los gases disueltos en ella, lo cual puede provocar su colisión con un grano de arena.
- Flujo intersticial: Este mecanismo está referido a las colisiones entre partículas debido a la bifurcación y unión de líneas de flujo que devienen de la tortuosidad de los intersticios del medio filtrante. Este cambio continuo de dirección del flujo produce mayor oportunidad de colisión.

Fig. 13. Mecanismo de Transporte [22]



Fuente: CEPIS-OPS. (1998)

Mecanismo de adherencia

Dicho mecanismo es el que permite remover las partículas que, mediante los mecanismos arriba descritos, han colisionado con los granos de arena del medio filtrante. La propiedad adherente de los granos de arena es dada por la acción de fuerzas químicas, acciones eléctricas y atracción de masas, así como por película biológica que crece sobre ellos, y en la que se realiza la depredación de los microorganismos patógenos por organismos de mayor tamaño tales como las rotíferas y protozoarios.

Mecanismo biológico de desinfección

Como se mostró anteriormente, la remoción total de partículas en este proceso se debe al efecto conjunto del mecanismo de adherencia y el mecanismo biológico. Se hace necesario que para que el filtro opere como un verdadero “sistema de desinfección” se haya generado un schmutzdecke vigoroso y en cantidad suficiente. Solo cuando se ha llegado a ese punto, el FLA podrá operar correctamente. Por lo tanto, se dice que el filtro (o el manto) “está maduro”. Al comenzar el proceso, las bacterias depredadoras o benéficas transportadas por el agua usan como fuente de alimentación el depósito de materia orgánica y pueden multiplicarse en forma selectiva, lo que ayuda a la formación de la película biológica del filtro. Estas bacterias oxidan la materia orgánica para producir la energía que necesitan para su metabolismo (desasimilación) y convierten parte de ésta en material necesario para su crecimiento (asimilación). Por lo tanto, las sustancias y materia orgánica

muerta se convierten en materia viva. Los productos de la desasimilación son conducidos por el agua a profundidades mayores y son utilizados por otros organismos.

1.2.6. Marco conceptual

Ablandamiento de agua.

La reducción o eliminación de iones de calcio y magnesio, que son la causa principal de la dureza en el agua. Proceso para reducir la dureza del agua debido a la presencia de iones de calcio y magnesio. Normalmente es por precipitación química, pero también puede ser por intercambio iónico u otros procesos específicos.

Adsorbente

Sólido que tiene la capacidad de retener en su superficie líquidos, gases, o materia suspendida. La alúmina activada y el carbón activado, son adsorbentes utilizados comúnmente en el tratamiento de agua.

Adsorbato

Sustancia líquida, gaseosa o sólida que puede ser adsorbida.

Adsorción

El proceso físico que ocurre cuando los líquidos, gases o materias suspendidas se adhieren a las superficies o en los poros de un medio adsorbente como el carbón activado. La adsorción es un proceso físico que ocurre sin reacción química.

Agua potable.

Agua destinada al consumo humano en la cual según las normas nacionales e internacionales debe de tener como máximo 250 mg/L de carbonato de calcio.

Agua subterránea:

Agua situada bajo la superficie del terreno rellenando el espacio vacío entre las rocas, o el material poroso, y que se extiende por toda la zona considerada como saturada.

Antracita

Es el carbón mineral más metamórfico que contiene mayor contenido de carbono. Es de color negro a gris acero con un tono brillante.

Arena sílica

Es un medio granular con alto contenido de sílice en su composición, lo que le da gran dureza y se presenta en diferentes granulometrías dependiendo su aplicación. En tratamiento de agua suele utilizarse la granulometría 20×30.

Carbón activado

El carbón activado o carbón activo es carbón poroso que atrapa compuestos, principalmente orgánicos, presentes en un gas o en un líquido. Lo hace con tal efectividad, que es el purificante más utilizado por el ser humano. En tratamiento de agua se usa comúnmente para declorar, reducir la concentración de compuestos orgánicos. Se comercializa en forma de gránulos, polvo o pellet.

Dureza

Una característica del agua natural debido a la presencia de calcio y magnesio disueltos. La dureza del agua es responsable de la formación de incrustaciones en tuberías, calentadores de agua, y previene la formación de espuma cuando reacciona con jabones. La dureza generalmente se expresa en granos por galón, partes por millón o miligramos por litro, todo como equivalente de carbonato de calcio.

Dureza total

El total de todos los cationes metálicos divalentes, principalmente la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, expresada en términos de equivalentes de carbonato de calcio.

Filtración.

La filtración es una técnica, proceso tecnológico u operación unitaria de separación, por la cual se hace pasar una mezcla de sólidos y fluidos, gas o líquido, a través de un medio poroso o medio filtrante que puede formar parte de un dispositivo denominado filtro, donde se retiene la mayor parte del o de los componentes sólidos de la mezcla.

Sólidos en suspensión:

Sólidos insolubles, de naturaleza orgánica o inorgánica, suspendidos en el seno de la solución acuosa que pueden ser separados mediante técnicas físicas como la centrifugación, decantación o filtrado. Las aguas subterráneas generalmente tienen un contenido muy bajo de sólidos en suspensión.

Zeolitas

Aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos que al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos o sea de 3 a 10 angstroms.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es aplicada en tanto se plantea dar solución a un problema relacionado con la calidad del agua, la cual se ve afectada por la alta concentración de carbonatos, la cual es necesario disminuir o eliminar. Por su nivel es explicativa y por su diseño es experimental ya que se manipula la variable independiente: Empleo de un filtro ablandador-multimedia.

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

2.2.1. Población

La población incluye a las aguas potables de alto contenido de carbonatos de la provincia de Ica.

2.2.2. Muestra

Está representada por el agua potable que se distribuye en la red del Centro Poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, la cual será primeramente analizada para determinar sus parámetros y poder caracterizarla, sobre todo para determinar la concentración de carbonatos en ella.

2.3. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

2.3.1. Variable independiente:

VI = Empleo de un filtro ablandador-multimedia.

2.3.2. Variable dependiente.

VD= Reducción de la concentración de carbonatos.

2.3.3. Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	INDICES
V.I. Empleo de un filtro ablandador-multimedia	Teórica	1. Características físicoquímicas de los componentes del filtro. 2. Mecanismo de captación de CaCO ₃ .	1. Propiedades de adsorción e intercambio iónico 2. Capacidad de intercambio iónico
	Aplicativa	1. Procedimiento operativo del filtro ablandador multimedia	1. Cantidades de hipoclorito 2. Compuestos formados
V.D. Reducción de la concentración de carbonatos.	Cuantitativa	1. Cantidad de CaCO ₃ retenido en el filtro ablandador multimedia	mg/L

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

2.4.1. Hipótesis general.

El empleo de un filtro ablandador-multimedia influye directa y significativamente en la reducción de la concentración de carbonatos presentes en el agua para consumo humano del Centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago - Ica – 2021.

2.4.2. Hipótesis específicas.

HE1: La concentración promedio de carbonatos en las aguas subterráneas que se extraen para uso potable e industrial en el centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica- 2021, es alta.

HE2: Las características funcionales del filtro ablandador- multimedia que se empleará para reducir la concentración de carbonatos en el agua potable del centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica- 2021, es de alta capacidad de adsorción de carbonatos de calcio y magnesio.

HE3: El rendimiento del filtro ablandador- multimedia que se empleará para reducir la concentración de carbonatos en el agua potable del centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica- 2021, es alto.

2.5. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

2.5.1. Técnicas.

Las técnicas empleadas fueron las técnicas de análisis de la química analítica.

2.5.2. Instrumentos

Fueron los ensayos químicos desarrollados en laboratorio para determinar cantidades entrantes y salientes de carbonatos en el agua tratada.

2.5.3. Análisis de datos

Se empleó la correlación de Pearson para establecer la relación entre ambas variables.

III. RESULTADOS

3.1. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1.1. Construcción del filtro.

Para construir el filtro ablandador multimedia se empleó un recipiente de vidrio de estructura cuadrada de 25 cm por lado y de 1,5 m de altura, al cual se le colocaron tubos de PVC de media pulgada y llaves de paso de igual diámetro, para la salida del agua tratada, cada una de las zonas de material filtrante se separaron con planchas plásticas de 2 mm de espesor perforadas a fin de que el material filtrante de cada una de las capas no se mezcle.

El filtro se construyó colocando en el fondo del recipiente grava de mediano tamaño (diámetro promedio 3 cm), que alcanzó los 5 cm de altura y sobre ella se colocó una de las placas plásticas perforada, seguidamente se echó sobre ella arena gruesa cuyo diámetro fluctúa entre 0,60 hasta los 2 mm, realizando el tamizaje de la arena directamente en el recipiente hasta completar una altura de 20 cm, colocando otra placa perforada y se agregó sobre ella arena de granulometría media cuyo menor diámetro fue de 0,35 mm y la mayor 0,50 mm hasta alcanzar los 20 cm seguidamente se colocó otra placa perforada y se agregó la arena fina cuyo diámetro menor fue 0,15 mm y el mayor 0,33 mm, sobre este material se coloca una placa perforada más y sobre ella se agrega la zeolita con una granulometría de 2,80 mm; la altura de esta capa también fue de 20 cm y se cubrió con otra placa perforada sobre la cual se vierte el carbón activado granulado (diámetro 0,3 mm) hasta que alcance la altura de 15 cm; después de colocar otra placa perforada se agregó la resina catiónica de ácido fuerte, ésta capa también fue de 15 cm.

Las dos últimas capas (resinas y carbón activado) después de varias pruebas experimentales se variaron a 20 cm de altura o espesor, con lo cual se llegó a resultados más eficientes con flujos de aguas mayores, lo que resultó beneficioso.

Debido a que la arena es un conglomerado de distintas sustancias inorgánicas que existe en la corteza terrestre y muchas de ellas son solubles en agua, tales como las sales de diversos metales entre ellas, sulfatos, cloruros, nitratos, que a temperatura ambiente se disuelven en el agua formando electrolitos. La arena que se seleccionó

fue la arena de río, debido a que esta está constantemente sometida a lavado y el agua puede solubilizar las sales dejando solamente compuestos insolubles tales como las diversas formas de dióxido de sílice (cuarzo, pizarra, apatita, etc.) las cuales son ideales para la filtración ya que no son solubles y ofrecen la resistencia necesaria para evitar la ruptura de los granos y la formación de limo (partículas de diámetro menor a 0,063 mm), material que se compacta formando tapones en diversas zonas del filtro, incluso sobre las placas de separación, afectando la capacidad hidráulica del filtro en su conjunto.

Cuando se recoge arena de las orillas de un río esta puede estar libre de sustancias inorgánicas solubles, pero puede contener material orgánico diverso, desde microorganismos hasta residuos vegetales por lo que hay que someterla a lavado con agitación mecánica, dejando que el agua fluya por un determinado tiempo de acuerdo con el grado de contaminación, este lavado se prolonga hasta que el agua salga transparente. Después de lo cual se extiende sobre una superficie limpia, bajo el sol para que seque y posteriormente al secado se somete a tostación con el fin de eliminar todo vestigio de material orgánico, con el fin de calcinarlo. Después que ha enfriado, nuevamente se lava para eliminar cenizas y se vuelve a secar al sol. De esta manera se obtuvo una arena de alta calidad para usarse en la filtración, luego se tamiza y se selecciona de acuerdo con la granulometría, para finalmente depositarla en el filtro.

Tamizado de la arena.

Para el tamizado de la arena se emplearon las mallas siguientes:

Tabla 2.1

Número de mallas utilizadas en el tamizaje de la arena

U.S. MALLA, #	Abertura, mm
10	2,000
30	0,595
50	0,297
100	0,149

Para seleccionar la arena gruesa, primeramente, se empleó el tamiz o malla # 10, desechándose el material que quedó retenido en esta malla, todo lo pasante tiene diversa granulometría, por lo que se vuelve a pasar por el tamiz, pero esta vez por la

número 30, considerando como arena gruesa al material que queda retenida en esta malla.

El pasante por la malla # 30, se tamiza con malla # 50 y toda la arena que queda retenida en esta malla se considera arena de diámetro medio.

El material pasante por la malla # 50 se tamiza con la malla # 100 y todo lo retenido se considera como arena fina. El pasante por malla # 100 se desecha porque este se considera limo (polvo).

De esta manera en cada tipo de arena: gruesa, media y fina se obtiene un conglomerado de diámetros, lo cual hemos considerado necesario hacerlo pues se ha determinado que emplear en cada capa arena de diferentes diámetros permite una mejor filtración profunda y la liberación de sólidos suspendidos y microorganismos con mayor eficiencia,

Una vez concluido el montaje del filtro se procedió a hacer una prueba de filtración a la vez que se enjuaga el filtro, para ello se empleó agua destilada, un volumen de 30 litros, la cual se dejó pasar a través de las diferentes capas hasta que salió y fue recolectada en un recipiente para luego desecharla, esta agua fue transparente y demoró 87 minutos en pasar a través de las distintas capas del filtro multimedia. Al finalizar el enjuague del filtro, se consideró que este estaba apto para iniciar las pruebas necesarias.

3.1.2. Ensayos fisicoquímicos y microbiológicos

Los ensayos fisicoquímicos que se realizaron al agua tratada fueron los siguientes: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, sólidos en suspensión. Estos ensayos se realizaron de acuerdo con las Normas Peruanas establecidas por INDECOPI.

SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN

Procedimiento

- Se taran individualmente en placas de vidrio los filtros estándar necesarios y se anota el peso inicial seco, determinado a 103-105°C.
- Se filtra un volumen determinado de muestra homogenizada por medio de un filtro tarado, ayudado de una bomba de vacío.
- Este es secado en estufa a 103- 105°C hasta peso constante.

Cálculos:

Sólidos totales (mg/L) = [(A-B) x1000] / Volumen de muestra (L)

A = peso de residuo seco + peso del filtro (mg)

B = peso del filtro (mg)

SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Procedimiento

- Se llena un cono de Imhoff con la muestra bien homogeneizada, hasta el enrase de 1 litro.
- Se deja sedimentar durante 45 minutos, luego se remueven suavemente las paredes del cono con una varilla o mediante rotación.
- Se deja en reposo durante 15 minutos más.
- Se registra el volumen de sólidos sedimentados en la parte inferior del cono. La determinación se expresa en mililitros de partículas sedimentadas por litro de muestra.

TURBIDEZ.

Aparato: Turbidímetro Nefelométrico.

Fundamento:

La determinación de la turbidez se basa en el paso de la luz a través de una suspensión, que luego hace desaparecer la imagen de la flama de una bujía patrón.

Procedimiento:

- Se agita la muestra y se tomó de ella una porción de 300 mL en un vaso de precipitación de 400 mL.
- En un vaso de precipitación de 150 mL se vertió 100 mL de la muestra.
- En un segundo vaso se hizo una dilución de la muestra al 50%.
- En un tercer vaso se diluyó hasta el 25%.
- En un cuarto vaso se diluyó hasta el 10%.
- En un quinto vaso se diluyó hasta el 5% de la muestra.
- Se determinó la turbidez de cada uno de los vasos, agitando su contenido durante la determinación.

Los resultados se expresan en unidades Nefelométricas de turbidez o simplemente en U.N.T.

CONDUCTIVIDAD.

Equipo: Conductímetro.

Fundamento:

La concentración de las sales disueltas en el agua conduce la corriente eléctrica que circula por el puente de Wheatstone, del conductímetro produciendo una señal que es leída en la pantalla.

Procedimiento:

Los envases empleados en los ensayos deben estar totalmente limpios de huellas dactilares. Se enciende el aparato, se ajusta a escala correspondiente y se selecciona el patrón más adecuado, el mismo que se agita y se coloca en la celda de medición. Se mueve la aguja de la perilla de ajuste "Standardize" hasta presentar el valor de conductividad en la escala. Se retira la muestra patrón y colocar la muestra problema, para realizar la lectura correspondiente.

CLORUROS.

Fundamento.

Este método empleado se basa en que, en una solución neutra o ligeramente alcalina, el ion cloruro es precipitado por el nitrato de plata como cloruro de plata, el cual se precipita antes de que se forme cromato de plata (color rojo) a partir del cromato de potasio.

Procedimiento:

Coloque 100 mL de la muestra en un Erlenmeyer y en otro 100 mL de agua destilada (libre de cloruros) que servirá como testigo para el comparativo. Si la muestra es coloreada se decolora por la adición de 3 mL de suspensión de hidróxido de aluminio con agitación. Después de unos 10 minutos se filtra y se lava con 10 a 15 mL de agua destilada. Si la muestra contiene sulfuro o tiosulfato, se alcaliniza a la fenolftaleína con solución de hidróxido de sodio. Se agrega 1 mL de peróxido de hidrógeno y se agita. Se neutraliza con ácido sulfúrico.

Agregue unas gotas de fenolftaleína y ajuste a un ligero color rosado (pH entre 7-10) agregando ácido sulfúrico o hidróxido de sodio, según sea necesario. Agregue 1 mL de K₂CrO₄. Titule con la solución valorada de nitrato de plata hasta que aparezca una coloración amarillo-rojiza. Se determina el gasto de titulante de la muestra testigo, siguiendo el método de titulación presentado.

Cálculo.

$$Cl = \frac{(mL AgNO_3 (muestra) - mL AgNO_3 (testigo)) \times mL de muestra}{N_{AgNO_3} \times 35,46 \times 1,000}, mg/L$$

MEDICION DE pH.

Fundamento:

La medición del pH se hace con el pH-metro que consta de dos electrodos. El elemento sensible es el electrodo de vidrio, que consta de un tubo con un bulbo

muy delgado de vidrio especial en la zona inferior. El bulbo y parte del tubo se llenan con HCl de concentración definida, en el cual se introduce un alambre de plata. Cuando el electrodo de vidrio se pone en una solución acuosa, los iones hidrógeno se desplazan de esta solución hacia la superficie de la membrana de vidrio del bulbo; análogamente los iones hidrógeno del ácido clorhídrico se desplazan también hacia la membrana. El número de iones hidrógeno que llegan está relacionado con el pH de la solución. Por lo tanto, (a menos que el pH interior sea idéntico al exterior), se presenta una diferencia de cargas eléctricas entre las superficies interior y exterior de la membrana. Esta diferencia de cargas representa un potencial que se mide comparándolo con un potencial constante de un electrodo de referencia, que es de calomel, ambos conectados al pH-metro. Para un determinado electrodo de vidrio, y puesto que las condiciones imperantes en el interior de su bulbo, así como el potencial del electrodo de calomel, son constantes, la diferencia de potencial que se mide depende exclusivamente del pH de la solución problema. Por lo tanto, la diferencia de potencial es una función lineal del pH de la solución. Entonces, la escala del medidor puede graduarse linealmente en unidades de pH.

Procedimiento:

- a) Se toma la muestra de agua que se desea analizar.
- b) El ajuste y calibración del aparato es efectuado según el procedimiento indicado en el manual del fabricante. En forma general se puede proceder de la siguiente manera:
 - Se enjuaga el electrodo con agua destilada.
 - Se coloca el corrector manual térmico en el valor de temperatura que tiene la muestra de agua.
 - Se introduce el electrodo en la solución buffer seleccionada y se gira el botón de encendido hasta la posición de pH.
 - Se lleva la aguja del medidor al valor de pH que corresponde a la solución buffer según la temperatura, moviendo el botón de calibración en el sentido de las manecillas del reloj o viceversa.
 - Se regresa el botón de encendido a la posición de apagado.
 - Se lava y enjuaga el electrodo con agua destilada.
- c) Se determina el pH de la muestra de agua de la siguiente manera:
 - Se introduce el electrodo en la muestra y colocar el botón de encendido en la posición de pH.
 - Se lee el pH de la muestra; esperando a que el electrodo alcance el equilibrio (30 segundos).

- Regresar el botón de encendido a la posición de apagado.
- Se enjuaga el electrodo con agua destilada y mantenerlo sumergido en ella mientras no esté en funcionamiento.
- El valor de pH se lee directamente en la pantalla del potenciómetro.

DUREZA TOTAL.

(Método: titulación con EDTA).

Fundamento:

El EDTA forma un quelato complejo soluble cuando se agrega a una solución que contiene ciertos cationes metálicos. Si se agrega una pequeña cantidad de un colorante como el Negro Cromo T, a una solución acuosa que contenga iones de calcio y magnesio, a un pH 10, la solución cambia de color al rojo vino; si entonces se agrega el EDTA como titulador, se forman complejos de calcio y magnesio, cambiando el color de la solución al azul, en donde se llega al punto final de la titulación.

Procedimiento:

- a) Se toman 50 mL de la muestra, se agrega 1 mL de solución amortiguadora.
- b) Luego se adicionan posteriormente 4 gotas de la solución indicadora.
- c) Se titula con EDTA.

Si en la titulación no se logra un cambio preciso de color, hay que agregar el inhibidor. El tiempo no debe exceder los 5 minutos, a partir de cuando se agrega la solución amortiguadora.

Calculo:

Dureza total (DT) como mg/L carbonato de calcio, se calcula con la fórmula:

$$DT = \text{mL EDTA} \times 20.$$

CALCIO.

(Método titulación con EDTA).

Fundamento:

El EDTA se combina rápidamente con el calcio y puede ser determinado al elevar el pH lo suficiente para precipitar el magnesio como hidróxido, usando un indicador que se combine únicamente con el calcio como por ejemplo la murexida.

Procedimiento:

- a) Tomar 50 mL de la muestra.
- b) Agregar 2 mL de hidróxido de sodio 1N para llegar un pH de 12 a 13 unidades.
- c) Añadir 0,1 ó 0,2 g de mezcla indicadora.
- d) Titular con EDTA. El color de la solución deberá cambiar progresivamente de rosa a púrpura y terminar en este punto.

Cálculos:

$$\text{mg/L Ca} = \frac{A \times B \times 400,8}{\text{mL de muestra}}$$

Donde:

A - ml del titulante.

B - mg de carbonato de calcio, equivalente a 1 mL de EDTA.

MAGNESIO.

(Determinación por cálculo)

Fundamento:

La concentración del magnesio se halla por medio de cálculos, cuando se conoce la dureza total y la concentración de calcio.

Cálculos:

mEq = miliequivalentes

mEq/L de dureza = mg dureza x 0,01998

mEq/L de calcio = mg Ca/L x 0,0494

mEq/L de Mg = 12,16 x (mEq/L de dureza - mEq/L de Ca).

SULFATOS.

Fundamento:

Este método es basado en el hecho de que el sulfato de bario tiende a precipitar en forma coloidal y que este es mejorado más aún con la presencia de apreciables cantidades de cloruro de sodio. Por estandarización del procedimiento usado para

producir la solución coloidal del sulfato de bario, es posible obtener resultados cuantificables.

Procedimiento:

- a) Filtre la muestra hasta obtener un filtrado sin turbiedad.
- b) Tomar 50 mL de la muestra filtrada en un Erlenmeyer de 250 mL y agregue 5 mL de solución acondicionadora. Mezclar bien y agregar una cucharadita de cloruro de bario, agite suavemente por 1 minuto y deje reposar 4 minutos.
- c) Realice la lectura en el turbidímetro y obtenga la concentración de sulfato en la tabla del turbidímetro.

CALCULO:

$$\text{mg/L de SO}_4 = \frac{\text{mg de SO}_4 \times 1000}{\text{mL de muestra}}$$

DETERMINACION DE COBRE, HIERRO Y MANGANESO.

Para los tres metales una fracción de muestra previamente digerida es llevada hacia una llama aire – acetileno posicionada en el paso óptico de un espectrofotómetro de absorción atómica. La muestra en estas condiciones es atomizada. La población de átomos al estado elemental absorbe radiación característica proveniente de una fuente de emisión de líneas atómicas de Cu; la relación entre potencia incidente y potencia transmitida es una medida de la concentración del elemento en la muestra, del mismo modo se produce la absorción del hierro y del manganeso, para lo cual hay que cambiar el tubo de cátodo hueco de acuerdo con el metal analizado.

3.1.3. Análisis microbiológicos.

A la muestra de agua, antes y después de su tratamiento con el material floculante de la tuna, se le practicaron los siguientes ensayos microbiológicos:

- Coliformes totales
- Coliformes fecales.

COLIFORMES TOTALES Y COLIFORMES FECALES.

Existen en el mercado diversos medios de cultivo específicos para cada una de estas determinaciones, como los suministrados por la casa Millipore. A continuación, se describe un método rutinario que se basan en estos medios de cultivo comerciales.

Procedimiento

Se emplea la metodología de filtración sobre membranas, utilizando el medio de cultivo apropiado para el recuento de los diversos tipos de microorganismos. Para ello se toman inicialmente 10 ml. de agua residual, se introducen en un matraz de 100 ml., y se enrasa con agua estéril. La dilución a realizar de la muestra depende del grado de contaminación esperado. Las etapas necesarias para los análisis microbiológicos son las siguientes:

Preparación de las placas Petri

- Se toma la placa Petri, que contiene un soporte absorbente estéril.
- Se toma una ampolla de 2 mL del medio adecuado y se vierte sobre el soporte absorbente, distribuyéndolo por toda el área superficial.

Filtración de la muestra

- Se realiza en matraz Kitasato de vidrio sobre el que se sitúa un porta filtros de plástico dotado de disco filtrante de ésteres de celulosa con 0,45 μ m de diámetro de poro.
- Se coloca la membrana en el filtro con la ayuda de unas pinzas esterilizadas.
- Se toman 10 mL de la muestra convenientemente diluida y se lleva al porta filtro.
- Se conecta la bomba de vacío, para filtrar la muestra. Los posibles microorganismos quedarán retenidos en el filtro Se desconecta la bomba de vacío. Con las pinzas flameadas se toma el filtro y se coloca en la placa Petri preparada para la determinación microbiológica.

3.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA MUESTRA.

Tabla 3.1

Composición química y microbiológica del agua de que abastece al Centro Poblado Casa Blanca – Distrito de Santiago – Ica – 2022

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	RESULTADO
pH a 20°C	-	9,2
Conductividad a 25°C	µS/cm	779
Turbidez	NTU	4,5
Dureza total, como CaCO ₃	mg/L	647
Sulfatos, como SO ₄	mg/L	213
Cloruros, como Cl	mg/L	198
Hierro (Fe)	mg/L	0,25
Manganeso (Mn)	mg/L	0,32
Cobre (Cu)	mg/L	0.9
Coliformes totales	NMP/100 ml	3
Coliformes fecales	NMP/100 ml	5

Fuente: Datos experimentales.

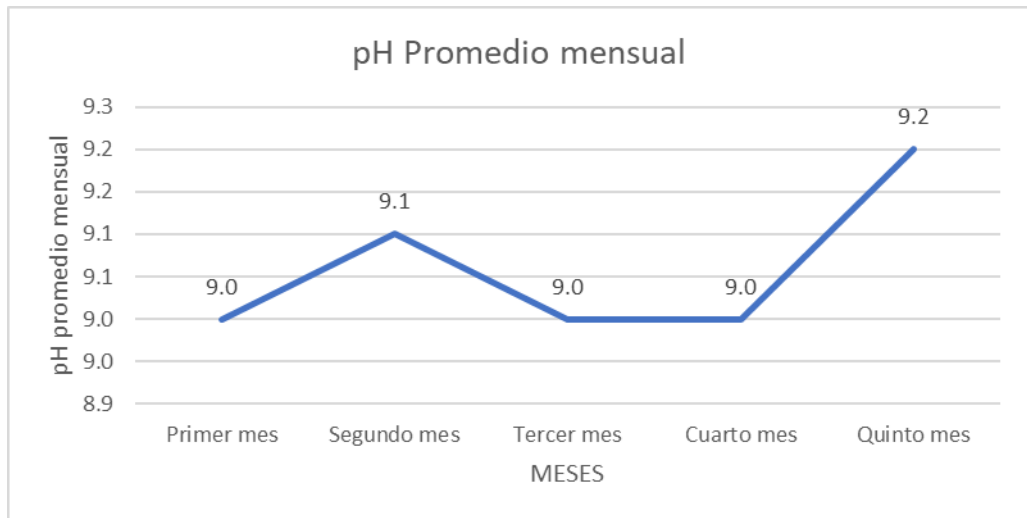
Tabla 3.2

Variación del pH del agua potable durante el tiempo de estudio

Mes	Semana	pH promedio	pH promedio mensual
Primer mes	1° semana	8,8	9,0
	2° semana	8,9	
	3° semana	8,9	
	4° semana	9,0	
Segundo mes	1° semana	8,9	9,1
	2° semana	9,2	
	3° semana	9,1	
	4° semana	9,2	
Tercer mes	1° semana	8,9	9,0
	2° semana	8,9	
	3° semana	9,1	
	4° semana	9,2	
Cuarto mes	1° semana	9,0	9,0
	2° semana	8,9	
	3° semana	9,2	
	4° semana	9,2	
Quinto mes	1° semana	9,1	9,2
	2° semana	9,2	
	3° semana	9,2	
	4° semana	9,2	

Fuente: Datos experimentales

Gráfico 1



Fuente: Datos de la tabla 3.2

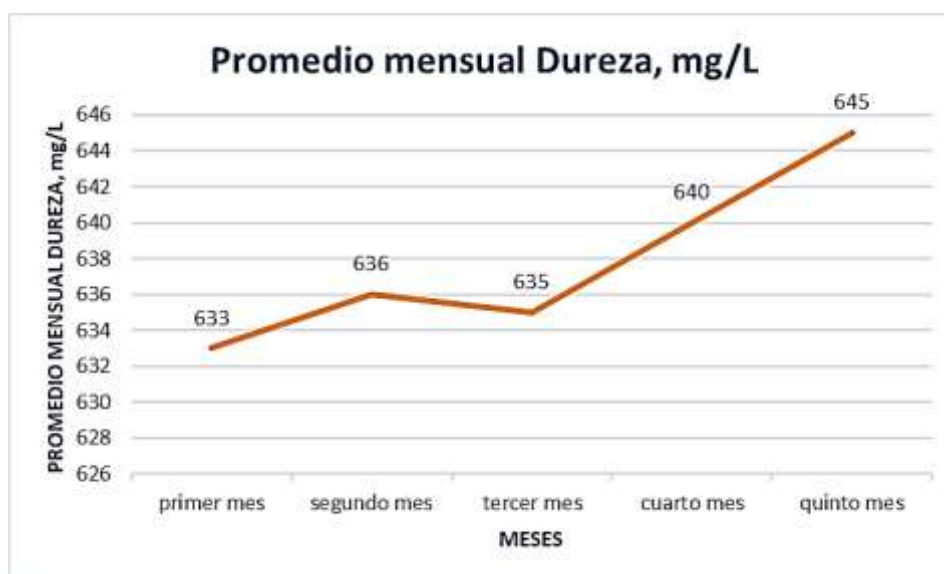
La tabla 3.2 y el gráfico 1 muestran la variación del pH del agua potable procedente del Centro Poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica, 2022, en la que podemos observar que el pH tiende a aumentar hasta un valor de 9,2 en el último mes de ensayo.

Tabla 3.3
Variación de la dureza del agua durante el tiempo de estudio

Mes	Análisis quincenal	Dureza, mg/L	Promedio mensual Dureza, mg/L
Primer mes	1° análisis	630	633
	2° análisis	635	
Segundo mes	1° análisis	635	636
	2° análisis	637	
Tercer mes	1° análisis	636	635
	2° análisis	634	
Cuarto mes	1° análisis	637	640
	2° análisis	642	
Quinto mes	1° análisis	643	645
	2° análisis	647	

Fuente: Datos experimentales.

Gráfico 2



Fuente: Datos de la tabla 3.3.

Interpretación: La tabla 3.3 y el gráfico 2 muestran la variación de la dureza del agua potable procedente del Centro Poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica, 2022, en la que podemos observar que la dureza expresada como carbonato de calcio tiende a aumentar hasta un valor de 645 mg/L en el último mes de ensayo.

Tabla 3.4

Variación de la conductividad del agua durante el tiempo de estudio

Mes	Análisis quincenal	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	Conductividad promedio mensual, $\mu\text{S}/\text{cm}$
Primer mes	1° análisis	774	774
	2° análisis	773	
Segundo mes	1° análisis	774	744
	2° análisis	774	
Tercer mes	1° análisis	775	775
	2° análisis	774	
Cuarto mes	1° análisis	778	778
	2° análisis	778	
Quinto mes	1° análisis	779	779
	2° análisis	779	

Fuente: Datos experimentales.

Gráfico 3



Interpretación: La tabla 3.4 y el gráfico 3 muestran la variación de la conductividad del agua potable procedente del Centro Poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica, 2022, en la que podemos observar que la conductividad muestra un aumento alcanzando un valor de $779 \mu\text{S}/\text{cm}$.

3.2.1. Resultados del estudio con el filtro ablandador- multimedia

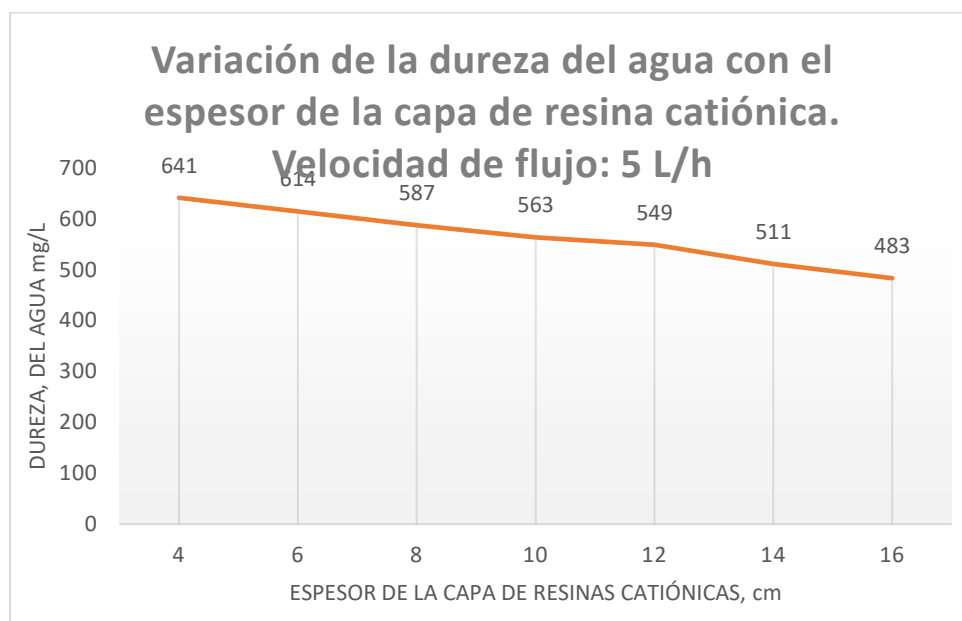
Tabla 3.5

Variación de la dureza con el espesor de la capa de resinas catiónicas
(Velocidad de flujo: 5 L/h)

N°	Espesor de la capa, cm	Dureza, mg/L
01	4	641
02	6	614
03	8	587
04	10	563
05	12	549
06	14	511
07	16	483

Fuente: Datos experimentales.

Gráfico 4



Fuente: Datos de la tabla 3.5

Interpretación: En la tabla 3.5 y en el gráfico 4 se muestran los resultados de la variación de la dureza del agua con respecto al espesor de la capa de resinas catiónicas en el filtro ablandador-multimedia, cuando la velocidad del flujo de agua es de 5 litros por hora. Como se observa la dureza se va reduciendo conforme aumenta el espesor de la capa de resinas hasta reducirse a 483 mg/L.

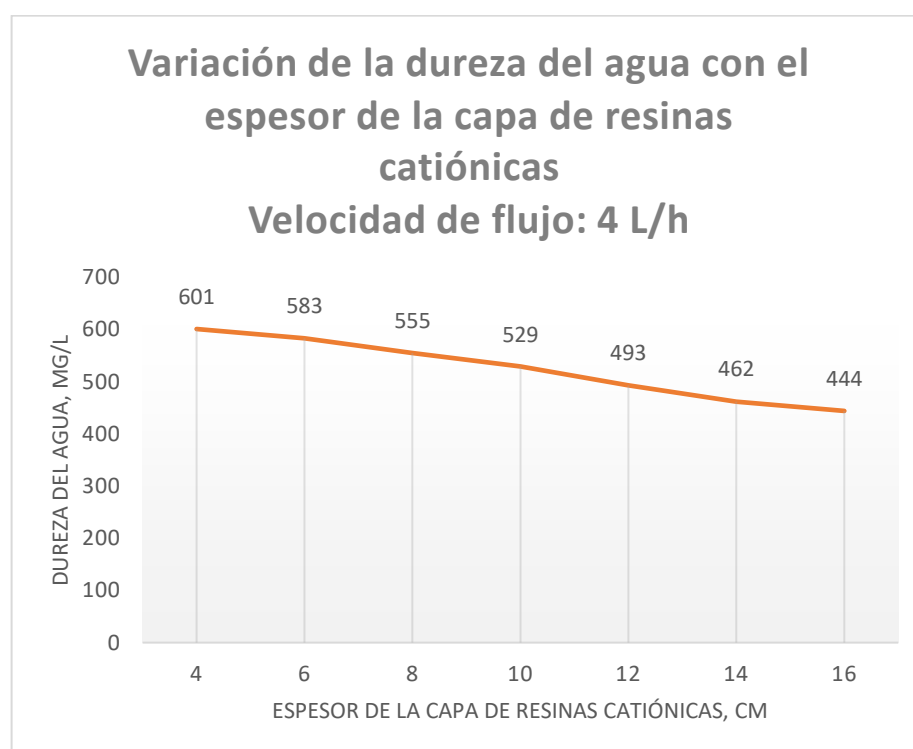
Tabla 3.6

Variación de la dureza con el espesor de la capa de resinas catiónicas
(Velocidad de flujo: 4 L/h)

N°	Espesor de la capa, cm	Dureza, mg/L
01	4	601
02	6	583
03	8	555
04	10	529
05	12	493
06	14	462
07	16	444

Fuente: Datos experimentales.

Gráfico 5



Fuente: Datos de la tabla 3.6.

Interpretación: En la tabla 3.6 y en el gráfico 5 se muestran los resultados de la variación de la dureza del agua con respecto al espesor de la capa de resinas catiónicas en el filtro ablandador-multimedia, cuando la velocidad del flujo de agua es de 4 litros por hora. Como se observa la dureza se va reduciendo conforme aumenta el espesor de la capa de resinas hasta reducirse a 444 mg/L.

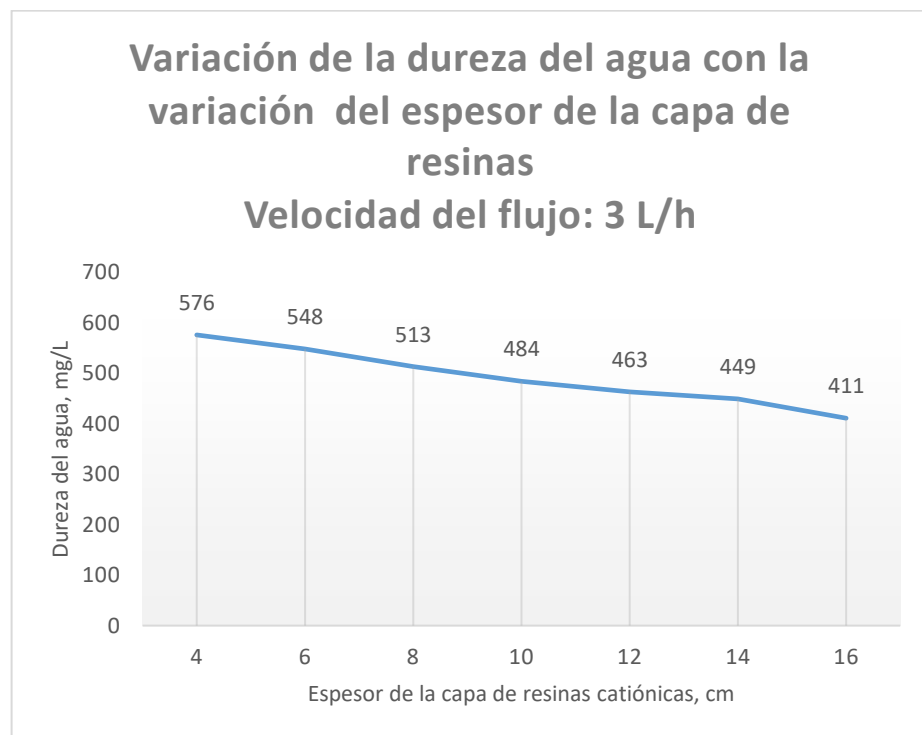
Tabla 3.7

Variación de la dureza con el espesor de la capa de resinas catiónicas
(Velocidad de flujo: 3 L/h)

N°	Espesor de la capa, cm	Dureza, mg/L
01	4	576
02	6	548
03	8	513
04	10	484
05	12	463
06	14	449
07	16	411

Fuente: Datos experimentales.

Gráfico 6



Fuente: Datos de la tabla 3.7

Interpretación: La tabla 3.7 y en el gráfico 6 se muestran los resultados de la variación de la dureza del agua con respecto al espesor de la capa de resinas catiónicas en el filtro ablandador-multimedia, cuando la velocidad del flujo de agua es de 3 litros por hora. Como se observa la dureza se va reduciendo conforme aumenta el espesor de la capa de resinas hasta reducirse a 411 mg/L.

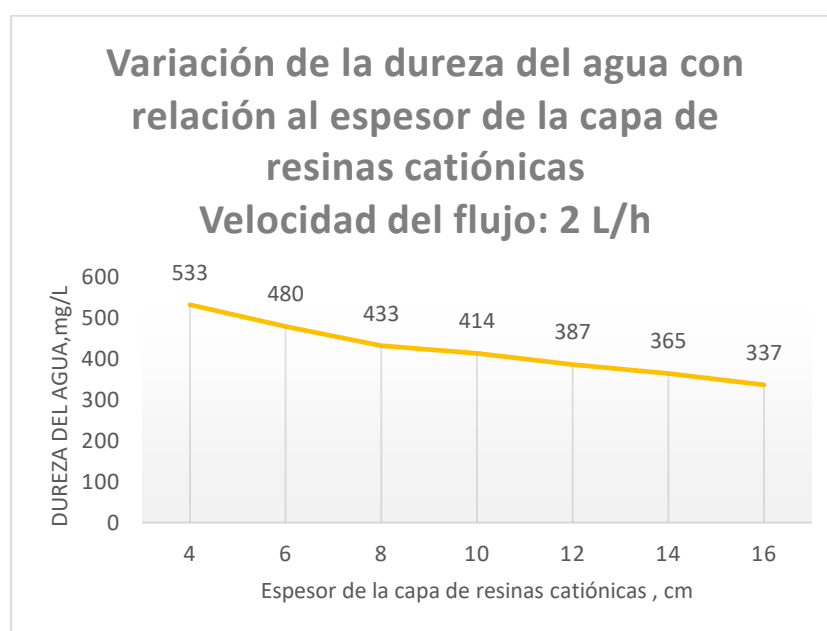
Tabla 3.8

Variación de la dureza con el espesor de la capa de resinas catiónicas
(Velocidad de flujo: 2 L/h)

N°	Espesor de la capa, cm	Dureza, mg/L
01	4	533
02	6	480
03	8	433
04	10	414
05	12	387
06	14	365
07	16	337

Fuente: Datos experimentales.

Gráfico 7



Fuente: Datos de la tabla 3.8

Interpretación: La tabla 3.8 y en el gráfico 7 muestran los resultados de la variación de la dureza del agua con respecto al espesor de la capa de resinas catiónicas en el filtro ablandador-multimedia, cuando la velocidad del flujo de agua es de 2 litros por hora. Como se observa la dureza se va reduciendo conforme aumenta el espesor de la capa de resinas hasta reducirse a 377 mg/L.

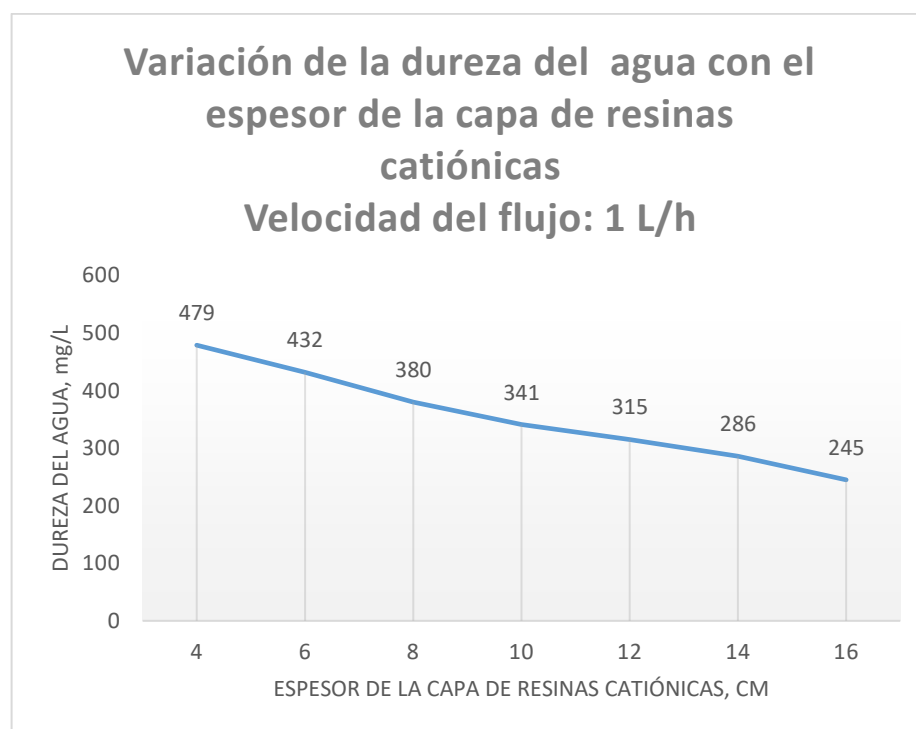
Tabla 3.9

Variación de la dureza con el espesor de la capa de resinas catiónicas
(Velocidad de flujo: 1 L/h)

N°	Espesor de la capa, cm	Dureza, mg/L
01	4	479
02	6	432
03	8	380
04	10	341
05	12	315
06	14	286
07	16	245

Fuente: Datos experimentales.

Gráfico 8



Fuente: Datos de la tabla 3.9

Interpretación: La tabla 3.9 y el gráfico 8 muestran los resultados de la variación de la dureza del agua con respecto al espesor de la capa de resinas catiónicas en el filtro ablandador-multimedia, cuando la velocidad del flujo de agua es de 1 litros por hora. Como se observa la dureza se va reduciendo conforme aumenta el espesor de la capa de resinas hasta reducirse a 245 mg/L.

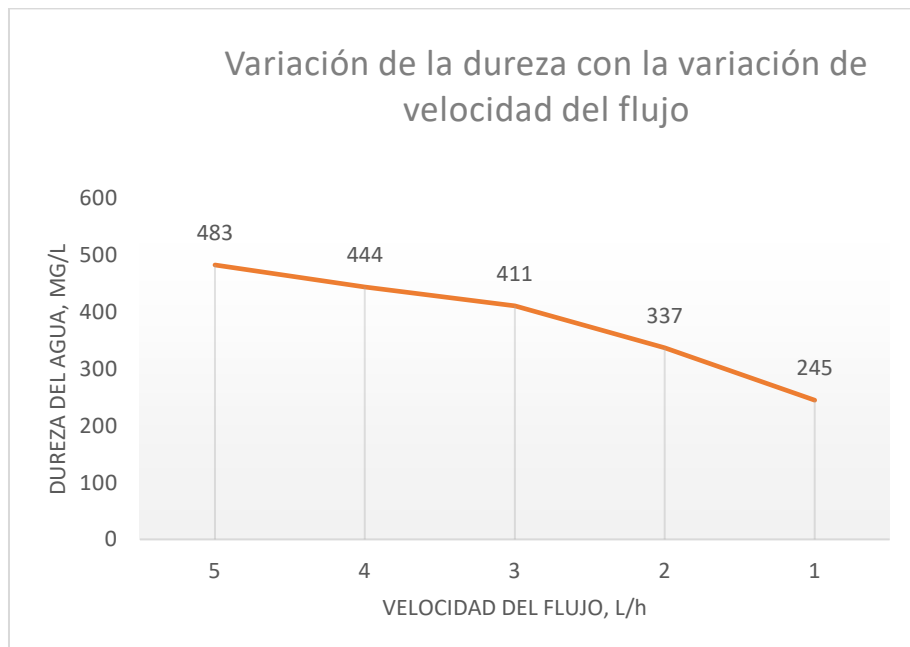
Tabla 3.10

Variación de la dureza con la variación de velocidad del flujo

N°	Velocidad de flujo, L/h	Dureza, mg/L
01	5	483
02	4	444
03	3	411
04	2	337
05	1	245

Fuente: Datos de las tablas anteriores.

Gráfico 9



Fuente: Datos de la tabla 10

Interpretación: En la tabla 10 y en el gráfico 9 se muestra la variación de la dureza del agua tratada en el filtro ablandador multimedia en relación con las diferentes velocidades de flujo, donde podemos ver como los valores de dureza varían desde 483 mg/L hasta 245 mg/L, conforme desciende el flujo de agua tratada en una capa de resinas catiónicas cuyo espesor fue de 16 cm.

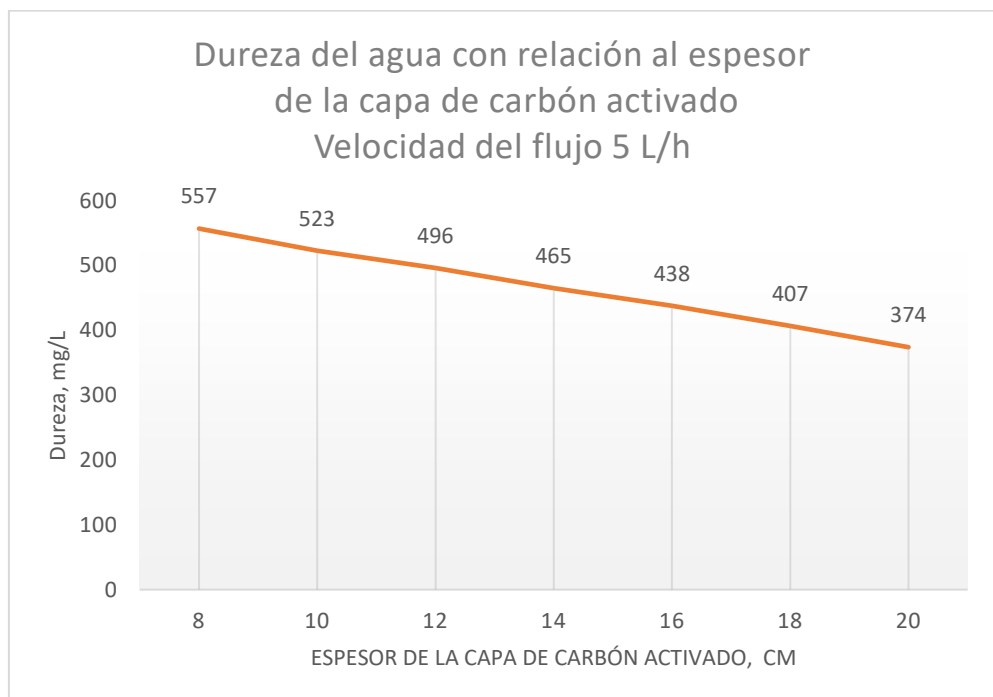
Tabla 3.11

Variación de la dureza con la variación de la capa de carbón activado
(Velocidad del flujo 5 L/h)

N°	Espesor de la capa, cm	Dureza, mg/L
01	8	557
02	10	523
03	12	496
04	14	465
05	16	438
06	18	407
07	20	374

Fuente: Datos experimentales.

Gráfico 10



Fuente: Datos de la tabla 11.

Interpretación: En la tabla 3.11 y en el gráfico 10 se muestran los resultados de la variación de la dureza del agua cuando la velocidad de flujo es de 5 L/h con relación al espesor de la capa de carbón activado, conforme esta aumenta la dureza del agua disminuye hasta alcanzar la concentración de 374 mg/L.

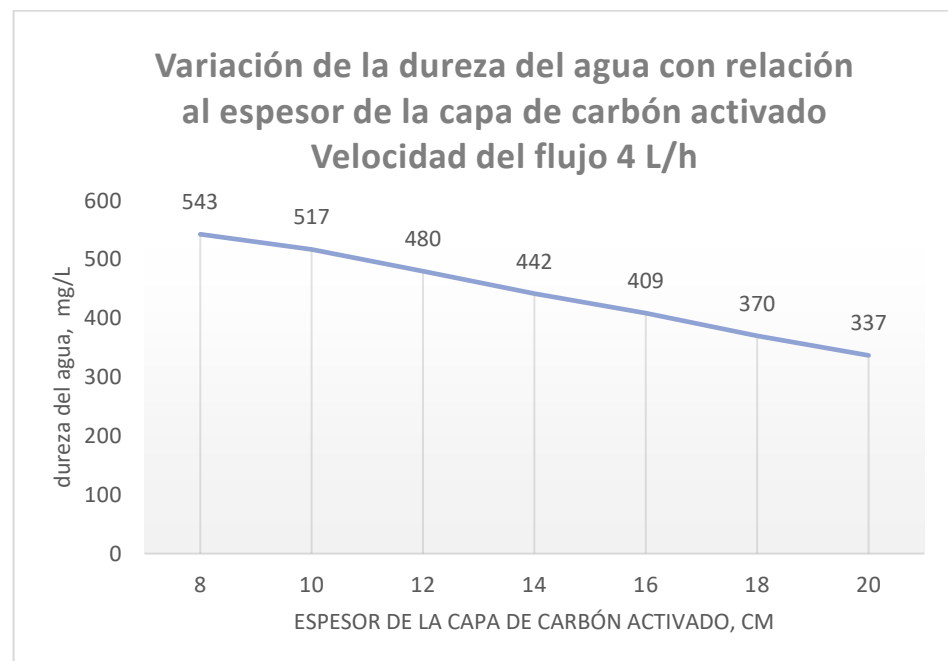
Tabla 3.12

Variación de la dureza con la variación de la capa de carbón activado
(Velocidad del flujo 4 L/h)

N°	Espesor de la capa, cm	Dureza, mg/L
01	8	543
02	10	517
03	12	480
04	14	442
05	16	409
06	18	370
07	20	337

Fuente: Datos experimentales.

Gráfico 11



Fuente: Datos de la tabla 12.

Interpretación: En la tabla 3.12 y en el gráfico 11 se muestran los resultados de la variación de la dureza del agua cuando la velocidad de flujo es de 4 L/h con relación al espesor de la capa de carbón activado, conforme esta aumenta la dureza del agua disminuye hasta alcanzar la concentración de 337 mg/L.

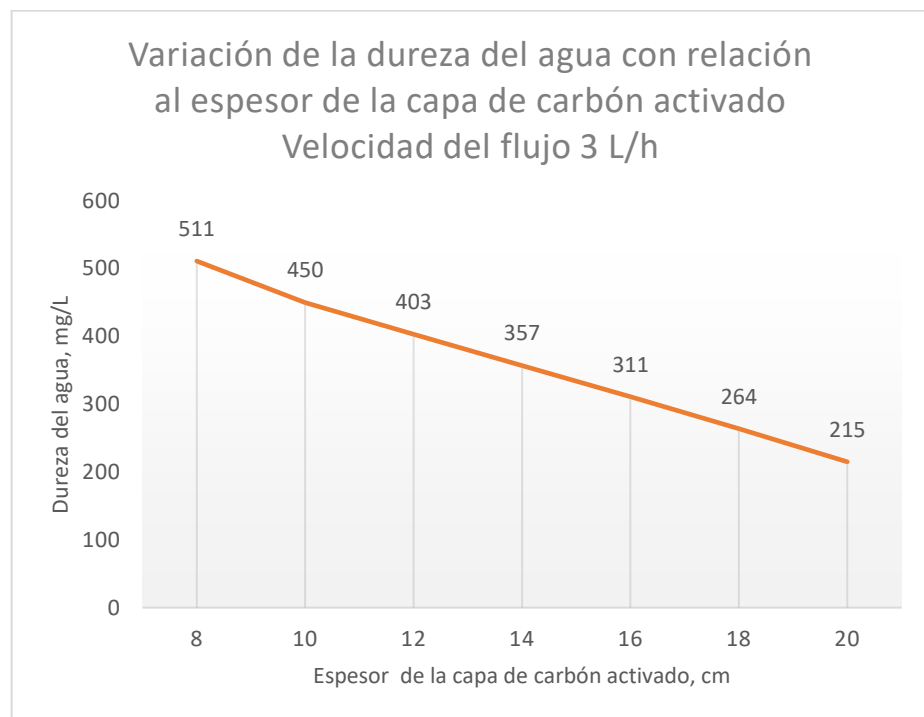
Tabla 3.13

Variación de la dureza con la variación de la capa de carbón activado
(Velocidad del flujo 3 L/h)

N°	Espesor de la capa, cm	Dureza, mg/L
01	8	511
02	10	450
03	12	403
04	14	357
05	16	311
06	18	264
07	20	215

Fuente: Datos experimentales.

Gráfico 12



Fuente: Datos de la tabla 3.13

Interpretación: En la tabla 3.13 y en el gráfico 12 se muestran los resultados de la variación de la dureza del agua cuando la velocidad de flujo es de 3 L/h con relación al espesor de la capa de carbón activado, conforme esta aumenta la dureza del agua disminuye hasta alcanzar la concentración de 215 mg/L.

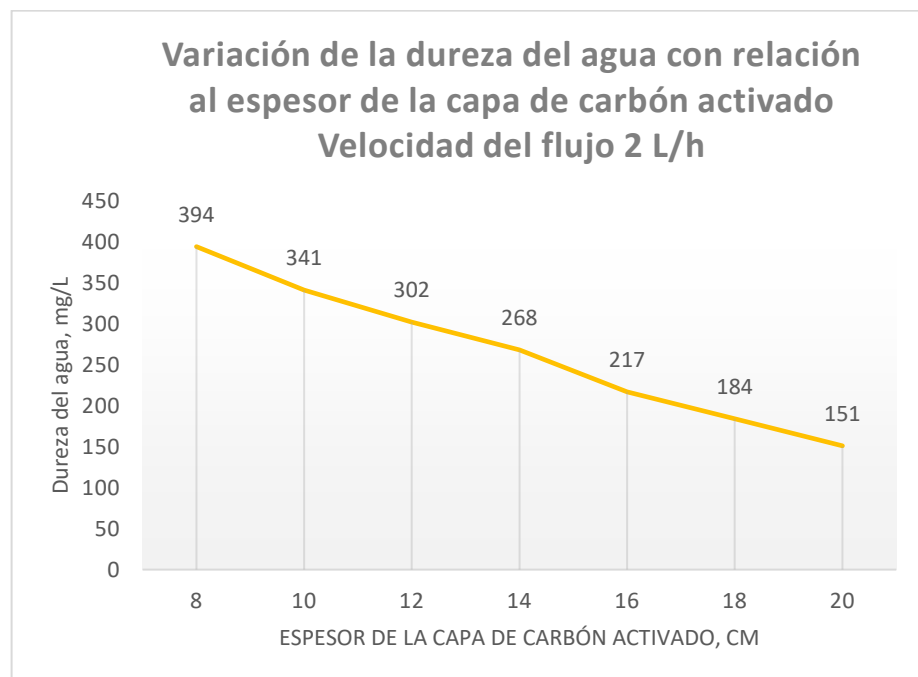
Tabla 3.14

Variación de la dureza con la variación de la capa de carbón activado
(Velocidad del flujo 2 L/h)

N°	Espesor de la capa, cm	Dureza, mg/L
01	8	394
02	10	341
03	12	302
04	14	268
05	16	217
06	18	184
07	20	151

Fuente: Datos experimentales.

Gráfico 13



Fuente: Datos de la tabla

Interpretación: En la tabla 3.14 y en el gráfico 13 se muestran los resultados de la variación de la dureza del agua cuando la velocidad de flujo es de 2 L/h con relación al espesor de la capa de carbón activado, conforme esta aumenta la dureza del agua disminuye hasta alcanzar la concentración de 151 mg/L.

Tabla 3.15

Composición química y microbiológica del agua de que abastece al Centro Poblado Casa Blanca – Distrito de Santiago – Ica – 2022-Después del tratamiento en el filtro ablandador multimedia

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	RESULTADO
pH a 20°C	-	7,1
Conductividad a 25°C	μS/cm	527
Turbidez	NTU	1
Dureza total, como CaCO ₃	mg/L	127
Sulfatos, como SO ₄	mg/L	143
Cloruros, como Cl	mg/L	112
Hierro (Fe)	mg/L	0,2
Manganeso (Mn)	mg/L	0,1
Cobre (Cu)	mg/L	0,5
Coliformes totales	NMP/100 mL	-
Coliformes fecales	NMP/100 mL	-

Fuente: Datos experimentales

Interpretación: La tabla 3.15 muestra los resultados del análisis del agua tratada en el filtro ablandador multimedia, en ellos podemos observar que la dureza del agua disminuye hasta 127 mg/L después de pasar por todas las capas del filtro incluyendo la zeolita. De la misma manera disminuyen las sales de manganeso, hierro y cobre presentes en el agua y además desaparece la carga microbiana patógena.

Tabla 3.16

Datos comparativos de los parámetros del agua de que abastece al Centro Poblado Casa Blanca – Distrito de Santiago – Ica – 2022. Antes y después del tratamiento en el filtro ablandador-multimedia

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	RESULTADOS OBTENIDOS	
		ANTES	DESPUÉS
pH a 20°C	-	9,2	7,1
Conductividad a 25°C	μS/cm	779	527
Turbidez	NTU	4,5	1
Dureza total, como CaCO ₃	mg/L	647	127
Sulfatos, como SO ₄	mg/L	213	143
Cloruros, como Cl	mg/L	198	112
Hierro (Fe)	mg/L	0,25	0,2
Manganeso (Mn)	mg/L	0,32	0,1
Cobre (Cu)	mg/L	0,9	0,5
Coliformes totales	NMP/100 mL	3	-
Coliformes fecales	NMP/100 mL	5	-

Fuente: Datos de las tablas 3.1 y 3.15

Interpretación: La tabla 3.16 muestra los resultados comparativos del análisis del agua potable muestreada en el Centro Poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica y del análisis de la misma agua, pero tratada mediante el filtro ablandador multimedia, en la cual podemos observar que la diferencia entre la dureza antes y después del tratamiento es muy acentuada, ha disminuido desde 647 mg/L hasta 127 mg/L.

3.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS PRINCIPAL.

La hipótesis principal de la presente investigación fue: “El empleo de un filtro ablandador-multimedia influye directa y significativamente en la reducción de la concentración de carbonatos presentes en el agua para consumo humano del Centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago - Ica – 2021”; según los datos obtenidos de los ensayos se ha comprobado que el uso del filtro ablandador multimedia permite reducir al mínimo la dureza del agua. Realizando el respectivo estudio de correlación entre las dos variables, se observa una correlación de 0,87 al nivel de error de 0,001 entre la variable: Empleo de un filtro ablandador multimedia y la Reducción de la concentración de carbonatos; tal como se puede ver en el cuadro 3.17, lo que quiere decir que hay un 87% de correlación entre ambas variables.

Tabla 3.17

Correlación entre empleo de un filtro ablandador multimedia (EFAM) y Reducción de la concentración de carbonatos (RCC).

		RCC	EFAM
EFAM	Correlación de Pearson	1	0,871
	Sig. (Bilateral)		0,001
	N	5	5
RCC	Correlación de Pearson	0,871	1
	Sig. (Bilateral)	0,001	
	N	5	5

P** es altamente Significativa al nivel 0,001

Fuente: Datos del autor

IV. DISCUSIÓN

4.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La parte experimental de esta investigación se realizó empleando un prototipo de filtro ablandador de pequeño tamaño, en el cual se colocaron las diversas capas de material filtrante especificadas en la parte experimental de la tesis, teniendo cuidado de alternar la capa de resinas catiónicas de ácido fuerte con la capa de carbón activado seguido de la capa de zeolita, la finalidad de esta alternancia es permitir que el carbón activado adsorba algunas sustancias orgánicas que interfieren en el intercambio iónico de las resinas, para luego exponer el agua a la zeolita que también tiene capacidad para intercambiar iones, lo cual ha quedado demostrado en el resultado final del análisis del agua filtrada en la que se reportó 127 mg/L de dureza, menor a los 151 mg/L que se logró cuando el agua pasa a través de las capas de resinas catiónicas y carbón activado.

La dureza del agua de los pozos de la zona de Casa Blanca está relacionada con los terrenos por los cuales discurre, que de hecho son terrenos conformados por calcitas las cuales en presencia de dióxido de carbono se disuelve en el agua formando bicarbonatos, corroborando de esta manera el criterio de que las aguas subterráneas son generalmente más duras que las aguas superficiales. La dureza total, como hemos manifestado en la parte teórica de esta tesis es la suma de las concentraciones de iones calcio y magnesio disueltos y se reporta en mg/L de CaCO_3 . La dureza “permanente” del agua, se debe principalmente a los sulfatos de calcio y magnesio, solubles, y los cloruros y nitratos de otros elementos metálicos, los mismos que no pueden ser eliminados al someter al agua a calentamiento, procedimiento que, si permite precipitar los bicarbonatos de calcio y de magnesio, que son los principales constituyentes de la dureza conocida como “temporal”. Precisamente esta dureza temporal es la que se reduce en el filtro multimedia gracias a la presencia de las resinas catiónicas y a la zeolita, las cuales se emplean en el ablandamiento del agua.

La dureza del agua del sector de Casa Blanca es generalmente cálcica, y en función del contenido de las sales cálcicas, se cataloga estas aguas como duras ya que la concentración de estas sales supera los 450 mg/L expresado como carbonato de calcio. Estas aguas el carbonato de calcio lo contienen como bicarbonato soluble y al precipitar forma incrustaciones. La dureza del agua del sector en estudio según los datos reportados es de 647 mg/L, lo que indica la presencia de alto contenido de carbonatos de calcio y de

magnesio, los cuales se eliminan en el filtro ablandador multimedia por intercambio iónico en la primera capa conformada por resinas catiónicas de ácido fuerte y luego en la capa de zeolita la cual tiene propiedades de intercambio muy acentuada; finalmente el agua tratada que pasa por todas las capas del filtro incluyendo las capas de arena fina y gruesa se obtiene con una dureza de 127 mg/L.

Por otro lado el pH del agua responde a varios factores como la alcalinidad, los cloruros, sulfatos, oxígeno disuelto y la presencia de carbonatos en el agua, algunos de estos componentes del agua potable van a ser retenidos en la capa de las resinas catiónicas y en la capa de las zeolitas es decir van a sufrir intercambio iónico, de igual manera por adsorción tanto el oxígeno disuelto y algunas sales van a ser retenidos en los poros del carbón activado de tal forma que el pH que inicialmente era de 9,2 ha descendido en el tratamiento por filtración hasta 7,1, valor que está acorde con las normas nacionales e internacionales que estipulan un pH entre 6,5 y 7,5 para las aguas potables.

La variación del pH del agua tratada en el filtro ablandador multimedia depende mucho de la capacidad de adsorción del carbón activado ya que esta capacidad no depende solamente de la textura porosa sino también de la química superficial, la cual contiene los llamados heteroátomos que forman distintos grupos superficiales de carácter ácido y básico en los bordes de las capas grafémicas lo cual modifica la propiedad hidrofóbica de la superficie del carbón activo haciéndola un poco hidrofílica lo que le permite adsorber iones de metales (cobre, hierro y manganeso), sulfato y cloruros. Los grupos que contienen oxígeno (carbonilo, carboxilo, lactona, hidroxilo, etc.) proporcionan propiedades ácidas que permiten la adsorción de cationes; mientras los grupos básicos que se asocian con estructuras tipo cromeno o estructuras tipo pirona pueden ser usados como sitios de adsorción de especies aniónicas, los cuales principalmente son sustancias orgánicas. Esto explica la reducción de los sulfatos, cloruros y los metales pesados presentes en el agua analizada antes y después de ser tratada en el filtro ablandador multimedia, tal como se muestra en la tabla 3.1 de la presente tesis.

El filtro ablandador multimedia empleado en la parte experimental de la tesis funciona como un filtro lento llamado también filtro biológico o biofiltro, ya que el agua cruda circula lentamente a través de un manto poroso de arena y las otras capas. Una de las razones de este diseño es la necesidad de que las partículas sólidas suspendidas en el agua y que afecta la turbidez que inicialmente fue de 6 NTU, se reduzca lo más posible, según el reporte de laboratorio llegó a ser igual a 1 después del tratamiento. Durante la filtración las impurezas inorgánicas y orgánicas contactan con las partículas de arena quedando

retenidas en los poros que se forman entre los granos. Las partículas orgánicas retenidas se van degradando progresivamente en procesos químicos y físicos, transformándose en sustancias más simples que quedan retenidas o se disuelven en el agua.

El agua que ingresa al filtro ablandador multimedia, permanece en la parte superior, sobre las resinas catiónicas un promedio de cuatro horas, tiempo en el cual las partículas sólidas junto con el agua penetran a través de las primeras capas filtrantes conformadas por las resinas, carbón activado y zeolita para finalmente quedar retenidas en los primeros centímetros (2 a 3 cm) de la capa de arena fina, aglutinándose de tal manera que poco a poco se forma una biocapa que retiene la materia orgánica y los microorganismos como los coliformes totales y coliformes fecales. En este sector del filtro con la luz solar crecen algas que absorben dióxido de carbono junto con nitratos, sulfatos y otras sustancias nutritivas que contiene el agua para formar material celular y oxígeno, el cual al disolverse en el agua interactúa con la materia orgánica transformándola en nutrientes para los microorganismos tales como plancton, diatomeas, protozoarios, rotíferos y bacterias, que tienen como función atrapar, digerir y degradar la materia orgánica y microorganismos entre ellos los patógenos; esto explica porque en el agua tratada en el filtro ablandador multimedia no hay coliformes totales ni coliformes fecales.

V. CONCLUSIONES

1. Se ha demostrado experimentalmente que el filtro ablandador-multimedia permite reducir la concentración de carbonatos presentes en el agua para consumo humano del Centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago - Ica – 2021, de manera muy eficiente lográndose una reducción que va desde 647 mg/L antes de la filtración hasta 127 mg/L después del tratamiento.
2. La concentración promedio de carbonatos en las aguas subterráneas que se extraen para uso potable e industrial en el centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica- 2021, es superior a los 600 mg/L.
3. Las características funcionales del filtro ablandador- multimedia que se empleará para reducir la concentración de carbonatos en el agua potable del centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica- 2021, han sido determinadas como óptimas para la reducción de sales y microorganismos.
4. Considerando los resultados obtenidos del análisis del agua después de la filtración se puede concluir que el rendimiento del filtro ablandador- multimedia que se empleará para reducir la concentración de carbonatos en el agua potable del centro poblado Casa Blanca del Distrito de Santiago, Ica- 2021, es alto ya que reduce considerablemente la concentración de carbonato de calcio, de las sales y microorganismos.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar pruebas piloto en un filtro ablandador multimedia de mayor capacidad a fin de comprobar su eficiencia y poder hacer los ajustes necesarios a su estructura para finalmente usarlo en el tratamiento del agua dura a mayor escala.
2. Se recomienda hacer pruebas con carbón activado de diferente granulometría para verificar su rendimiento en la adsorción de contaminantes del agua que tiene que ver con las sales de diferentes metales entre ellos del cobre, hierro y manganeso.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] O. Gómez, “Reducción de carbonatos del agua para aplicaciones de potabilización mediante el desarrollo de tecnología sustentable”, Tesis, México, Centro de Investigación Óptica A.C. 2019.
- [2] Y. Cruz. y M. López,” Evaluación de carbonatos en el proceso de ajuste de pH para el agua tratada del Río Cauca”, Tesis, Colombia, Universidad del Valle. 2017.
- [3] A. Peraza, “Suavización del agua a través de la precipitación de carbonato de calcio obtenida por las reacciones de reducción electroquímica de protones y de oxígeno”, Tesis, México, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, 2019.
- [4] C. De Souza, “Corrosión e incrustación en el sistema de agua potable. Revisión de las estrategias de control”, Tesis, Venezuela. Universidad de Carabobo, 2017.
- [5] G. Escobedo, “Efecto de los carbonatos en equipos de plantas industriales. Guatemala”, Tesis, Guatemala, Universidad de San Carlos, 2018.
- [6] L. Ávila y M. Moreno, “Diseño, propuesta e implementación de un filtro para el tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la inspección de San Antonio de Anapoma”, Tesis, Colombia, Universidad Libre de Bogotá, 2016.
- [7] H. Huallpa, “Tratamiento químico en la reducción de la dureza de las aguas subterráneas provenientes de la Urbanización Huerta de Nievería- Chosica”, Tesis, Perú, Universidad César Vallejo, Lima, 2017.
- [8] C. López, “Cuantificación del calcio y del magnesio en agua para consumo humano y el aporte en su alimentación”, Tesis, Perú, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2018.
- [9] J. Hurtado y K. Barón, “Propuesta de tratamiento físico- mecánico de las aguas subterráneas con problemas de dureza del parque residencial Puertas del Sol del distrito de Victoria- Lambayeque”, Tesis, Perú, Universidad de Lambayeque, 2017.
- [10] E. Díaz,” Factores que influyen en la calidad del agua de manantial de Molinopampa que se usa para consumo doméstico en la Ciudad de Celendín, Cajamarca”, Tesis, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca, 2016.
- [11] S. Molina, “Consumo de agua dura en las poblaciones de las irrigaciones de la parte baja del río Chili – Arequipa – 2016”, Tesis, Perú, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, 2019.
- [12] G. Rosi, “Diseño de un purificador de agua para uso en la pequeña industria alimentaria de zonas rurales”, Tesis, Perú, Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, 2017.

- [13] C. Ladrón de Guevara, “Simulación de unidades de intercambio iónico”, Tesis, España, Escuela de Ingeniería, Universidad de Zaragoza, 2012
- [14] Viga Flow, “Filtración, desalinización, reutilización del agua”, 2020.
- [15] B. Reyna, “El intercambio iónico, su descripción y comportamiento químico industrial” Tesis, México, Instituto Politécnico Nacional, 2014.
- [16] AIQUA, Carbón Activado,” España, Catálogo, 2022.
- [17] Aguapedia, “Manual del carbón activado”, Manual, España, 2017.
- [18]** Sertex, Portal Latinoamericano de toxicología” Revista, España, N°65 Julio 21, 2020.
- [19] Alamy, Zeolitas, Imágenes de archivo, 2020.
- [20] L. Quiroz, “Incorporación de cationes de mercurio (II) y n-octilamina en la zeolita CBV 500, Tesis, España, Universidad de Oviedo, 2016.
- [21] A. Duran, “Selección práctica y aplicaciones de los equipos de trituración”, Libro, España, Fueyo Editores, 2017.
- [22] CEPIS-OPS, 1998.

ANEXO 1

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

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

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fuente: Reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S N° 031-2010-SA-MINSA.

ANEXO 2: Resultados de la caracterización del agua antes del tratamiento.



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



INFORME DE ENSAYO

Muestra : Agua para consumo humano
Provincia/Distrito/Región : Nazca/Nazca/Ica
Coordenadas UTM WGS 84 18L : 0507472E / 8361050N
Altitud (msnm) : 406
Fecha inicio muestreo : 23/01/2020
Hora de inicio de muestreo (h) : 9:00
Fecha de inicio de ensayo : 23/01/2020
Hora de inicio de ensayo (h) : 9:00
Fecha final ensayo : 24/01/2020
Hora final de Ensayo (h) : 10:00
Producto : Agua potable.
Código de la muestra : Antes del tratamiento.
Descripción del punto de muestreo : Toma de muestra en las líneas de abastecimiento de agua de la zona.

Ensayos	Unidad de medida	Limite máximo permisible D.S. 031-2010-SA	Valor Obtenido
Coliformes Totales	NMP/100 mL	0	3
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	5
Olor	---	---	Aceptable
Sabor	---	---	Aceptable
Turbiedad ⁽²⁾	NTU	5	4.5
pH	Unidad de pH	6.5 a 8.5	9.2
Conductividad (25°C)	µs/cm	1500	779
Hierro	Fe mg/L	0.3	0.25
Cloruros	Cl ⁻ mg/L	250	198
Dureza Total	CaCO ₃ mg/L	500	647
Sulfatos	SO ₄ ²⁻ mg/L	250	213
Manganeso	Mn mg/L	0.4	0.32
Cobre	Cu mg/L	2.0	0.9
Temperatura	°C	---	25.0

(1) NMP=Numero mas probable.

(2) NTU = Unidad nefelométrica de turbiedad

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA

Ing. Cesar E. Lario Martinez
PROFESOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

Fuente: Resultados de laboratorio facultad de minas y metalurgia (UNICA).

ANEXO 3: Resultados de la dureza con respecto a la variación de espesor de resinas y carbón activado



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



INFORME DE ENSAYO

Muestra : Agua para consumo humano
 Provincia/Distrito/Región : Nazca/Nazca/Ica
 Coordenadas UTM WGS 84 18L : 0 507523E / 8360958N
 Altitud (msnm) : 457
 Fecha inicio muestreo : 27/01/2020
 Hora de inicio de muestreo (h) : 9:00
 Fecha de inicio de ensayo : 27/01/2020
 Hora de inicio de ensayo (h) : 14:00
 Fecha final ensayo : 28/01/2020
 Hora final de Ensayo (h) : 10:00
 Producto : Agua subterránea
 N° Muestras : 07
 Código de la muestra : RC4-6-8-10-12-14-16 ; CA8-10-12-14-16-18-20
 Descripción del punto de muestreo: Las muestras fueron tomadas por el usuario, el laboratorio no se responsabiliza.

ENSAYO		UNIDAD	ESPESOR (cm)	RESULTADOS				
				CAUDAL (L/h)				
				5	4	3	2	1
DUREZA	(CON VARIACION DE ESPESOR DE RESINAS CATIONICAS)	CaCO ₃ mg/L	4	641	601	576	533	479
			6	614	583	548	480	432
			8	587	555	513	433	380
			10	563	529	484	414	341
			12	549	493	463	387	315
			14	511	462	449	365	286
			16	483	444	411	337	245
	(CON VARIACION DE ESPESOR DE CARBON ACTIVADO)	CaCO ₃ mg/L	8	557	543	511	394	-
			10	523	517	450	341	-
			12	496	480	403	302	-
			14	465	442	357	268	-
			16	438	409	311	217	-
			18	407	370	264	184	-
			20	374	337	215	151	-

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA

 Ing. Cesar E. López Martínez
 DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

Fuente: Resultados de laboratorio facultad de minas y metalurgia (UNICA).

ANEXO 4: Resultados de la caracterización del agua después del tratamiento.



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



INFORME DE ENSAYO

Muestra : Agua para consumo humano
 Provincia/Distrito/Región : Nazca/Nazca/Ica
 Coordenadas UTM WGS 84 18L : 0 50781E / 8359543N
 Altitud (msnm) : 406
 Fecha inicio muestreo : 23/01/2020
 Hora de inicio de muestreo (h) : 10:00
 Fecha de inicio de ensayo : 23/01/2020
 Hora de inicio de ensayo (h) : 13:30
 Fecha final ensayo : 24/01/2020
 Hora final de Ensayo (h) : 9:00
 Producto : Agua potable
 Código de la muestra : Después del tratamiento.
 Descripción del punto de muestreo : Muestra tomada por el usuario, el laboratorio no se responsabiliza.

Ensayos	Unidad de medida	Límite máximo permisible D.S. 031-2010-SA	Valor Obtenido
Coliformes Totales	NMP/100 mL	0	0
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0
Olor	---	---	Aceptable
Sabor	---	---	Aceptable
Turbiedad ⁽²⁾	NTU	5	1
pH	Unidad de pH	6.5 a 8.5	7.1
Conductividad (25°C)	µs/cm	1500	527
Hierro	Fe mg/L	0.3	0.2
Cloruros	Cl ⁻ mg/L	250	112
Dureza Total	CaCO ₃ mg/L	500	127
Sulfatos	SO ₄ ²⁻ mg/L	250	143
Manganeso	Mn mg/L	0.4	0.1
Cobre	Cu mg/L	2.0	0.5
Temperatura	°C	---	25.0

(1) NMP=Numero mas probable.

(2) NTU = Unidad nefelométrica de turbiedad

PROFESOR ENCARGADO DE LA ASIGNATURA DE INGENIERIA METALURGICA
 ING. CARLOS LUIS GONZALEZ
 (Firma manuscrita)

Fuente: Resultados de laboratorio facultad de minas y metalurgia (UNICA).

ANEXO 5: Vista del proceso de filtración y toma de muestras.



Fuente: Propia

ANEXO 6: Vista frontal del filtro multimedia utilizado.



Fuente: Propia.

ANEXO 7: Ubicación geográfica del pozo de abastecimiento de agua potable del centro poblado Casa Blanca del distrito de Santiago de la provincia de Ica.



Fuente: Google maps.

ANEXO 8: Procedimientos para determinar parámetros.

Determinación de alcalinidad

La alcalinidad es debida a la presencia de aniones: OH^- , CO_3^{2-} y HCO_3^-

Reactivos:

- 1.- Solución de H_2SO_4 0,02 N (En un matraz aforado de 1 000 mL transferir 20 mL de solución de H_2SO_4 1N, enrasar con H_2O destilada y homogeneizar)
- 2.- Solución de Fenolftaleína 0,1% en Etanol
- 3.- Solución de Heliantina 0,1% en H_2O destilada

Procedimiento

Transferir 100 ml de muestra a un Erlenmeyer de 500 mL

Agregar gotas de solución de fenolftaleína 0,1%. Si toma coloración rosada, titular con solución de H_2SO_4 0,02 N hasta desaparición de coloración (Vf)

Luego agregar gotas de solución de heliantina 0,1%. Si toma coloración amarilla, titular con la solución de H_2SO_4 0,02 N hasta cambio a color anaranjado (Vh)

Cálculos:

Si $(Vf) = 0$, hay sólo HCO_3^- Alcalinidad de $\text{HCO}_3^- = (Vh) \times N \times 50 \times 1.000/100$

Si $(Vf) > 0$ y $(Vh) = 0$, hay sólo OH^- Alcalinidad de $\text{OH}^- = (Vf) \times N \times 50 \times 1.000/100$

Si $(Vf) < (Vh)$, hay CO_3^{2-} y HCO_3^- Alcalinidad de $\text{CO}_3^{2-} = 2(Vf) \times N \times 50 \times 1.000/100$

Alcalinidad de $\text{HCO}_3^- = (Vh) - (Vf) \times N \times 50 \times 1.000/100$

Si $(Vf) > (Vh)$, hay OH^- y CO_3^{2-} Alcalinidad de $\text{OH}^- = (Vf) - (Vh) \times N \times 50 \times 1.000/100$

Alcalinidad de $\text{CO}_3^{2-} = 2(Vh) \times N \times 50 \times 1.000/100$

Si $(Vf) = (Vh)$, hay sólo CO_3^{2-} Alcalinidad de $\text{CO}_3^{2-} = 2(Vf) \times N \times 50 \times 1.000/100$

Donde:

Vf : Volumen de Solución de H_2SO_4 0,02 N utilizado en la titulación con fenolftaleína, en mL

Vh: Volumen de Solución de H_2SO_4 0,02 N utilizado en la titulación con heliantina, en mL

N: Normalidad de la solución de H_2SO_4

50: equivalente en mg de CaCO_3 de una solución de H_2SO_4 N

100: Volumen de muestra

En todos los casos las alcalinidades se expresan en CaCO_3 mg/L

Determinación de durezas

Reactivos:

- 1.- Solución Buffer de pH 10.0

(Disolver 5.7 g de NH_4Cl en 57 mL de NH_4OH más 40 mL de H_2O destilada)

2.- Indicador Negro de Eriocromo T (Triturar juntos 0,5 g de negro de eriocromo T con 100 g de NaCl)

3.- Solución de EDTA 0,01 M (Disolver 3,720 g de EDTA en 1000 mL de H₂O destilada)

Procedimiento

Dureza Total

Transferir 100 mL de muestra a un Erlenmeyer de 500 mL.

Agregar 2 mL de solución buffer de pH 10

El pH deberá estar en 10,0 -10,1

Agregar 0,1-0,2 g de indicador negro de eriocromo T

Titular con la solución de EDTA 0,01 M, hasta cambio de color rojo-violáceo a azul.

Cálculo:

Dureza total (mg/L de CaCO₃) = $V \times M \times 100 \times 1.000/100$

Donde:

V: volumen de solución de EDTA utilizado, en mL

M: Molaridad de la solución de EDTA

100: Equivalente en mg de CaCO₃ de una solución de EDTA 1M

100: Volumen de muestra

Dureza permanente

Transferir 100 mL de muestra a un Erlenmeyer de 500 mL.

Calentar y hervir durante 10 minutos. Enfriar.

Completar el volumen a unos 100 mL con H₂O destilada.

Agregar 2 mL de solución buffer de pH 10.

Continuar según el procedimiento para determinar la dureza total.

Cálculo

Dureza permanente (mg/L de CaCO₃) = $V \times M \times 100 \times 1.000/100$

Donde:

V: volumen de solución de EDTA utilizado, en mL

M: Molaridad de la solución de EDTA

100: Equivalente en mg de CaCO₃ de una solución de EDTA 1M

100: Volumen de muestra

Dureza temporaria

Corresponde a la dureza debida por el contenido de HCO_3^-

Cálculo

Dureza temporaria = Dureza total – Dureza permanente

Determinación de Ca y Mg

Reactivos:

1.- Solución de HCl aprox. 0,1 N (Diluir 8,5 mL de HCl concentrado en 1 000 mL de H_2O destilada)

2.- Solución de NaOH aprox. 0,1 N (Disolver 4 g de NaOH p.a. en 1 000 mL de H_2O destilada)

3.- Indicador Murexida (Triturar juntos 0,5 g de murexida con 100 g de NaCl)

Procedimiento

Transferir 100 mL de muestra a un Erlenmeyer de 500 mL

Neutralizar la alcalinidad agregando solución de HCl aproximada 0,1 N hasta, pH 3,0 – 4,0

Calentar y hervir unos minutos para eliminar CO_2 . Enfriar.

Agregar solución de NaOH aproximada 0,1 N hasta pH 12 – 13.

Agregar 0,1 – 0,2 g de indicador murexida.

Titular rápidamente con la solución de EDTA 0,01 M hasta cambio de color anaranjado a violeta.

Cálculos:

$$\text{Ca (mg/L)} = V \times 0,01 \times 40 \times 1\,000/100$$

Donde:

V: Volumen de solución de EDTA utilizado, en mL

M: Molaridad de la solución de EDTA

40: Equivalente en mg de Ca de una solución de EDTA 1M

100: Volumen de muestra

Dureza debido al Ca (CaCO_3 mg/L) = 2,5 x Ca (mg/L)

Mg (mg/L) = 0,243 x (Dureza total – Dureza debido al Ca)