



Purificación y caracterización de NaCl grado reactivo obtenido del agua de mar de Crucita

Purification and characterization of reagent grade NaCl obtained from Crucita seawater

Antonella Ferrin ¹ * ; Thalía Caicedo ² ; Segundo García ³ ; Ramón Cevallos ⁴ & Ariana García ⁵

Recibido: 05/07/2024 – Aceptado: 12/10/2024 – Publicado: 01/01/2025

Artículos de
Investigación

Artículos
de Revisión

Artículos
de Ensayos

* Autor para correspondencia.



Resumen

El presente trabajo, tiene como objetivo principal analizar y aplicar los procesos para la obtención del cloruro de sodio (NaCl) grado reactivo en muestra de agua de mar de Crucita-Manabí y llevarlo a una pureza más elevada acorde a los estándares de Farmacopea de los Estados Unidos (USP, por sus siglas en inglés). La USP establece estándares y especificaciones de calidad para una amplia gama de productos farmacéuticos, químicos y de salud. Por tanto, la investigación se desarrolló en tres etapas: la primera correspondió a la purificación del NaCl a través de la recopilación de información de fuentes bibliográficas que permitieron poder analizar los diferentes procesos industriales y artesanales para la purificación del NaCl, mediante esta investigación se pudo determinar que para llevar a cabo este proceso se aplicaron técnicas de separación, cristalización, destilación y filtración que permiten la eliminación de impurezas presentes en la muestra. La segunda etapa, correspondió al análisis establecido en base a los resultados obtenidos en el proceso de purificación; por tanto, fue fundamental evaluar las condiciones que permitieron eliminar las impurezas presentes, siendo necesario realizar pruebas físicas y químicas para determinar el porcentaje de pureza del producto final. Finalmente, la tercera etapa consistió en analizar el producto final para establecer si este cumplía con el objetivo propuesto basado en las normativas USP sobre el NaCl.

Palabras clave

Cloruro de Sodio, Purificación, Cristalización, Destilación, Filtración.

Abstract

The main objective of this work is to analyze and apply the processes to obtain sodium chloride (NaCl) in a seawater sample from Crucita-Manabí and bring it to a higher purity in accordance with the Pharmacopoeia standards of the United States (USP). USP establishes quality standards and specifications for a wide range of pharmaceutical, chemical and health products. Therefore, the research was developed in three stages: the first corresponded to the purification of NaCl through the compilation of information from bibliographic sources that allowed investigating the different industrial and artisanal processes for the purification of NaCl, through this research it was possible to determine that to carry out this process separation, crystallization, distillation and filtration techniques were applied that allow the elimination of impurities present in the sample. The second stage corresponded to the analysis established based on the results obtained in the purification process; Therefore, it was essential to evaluate the conditions that allowed the impurities present to be eliminated, making it necessary to perform physical and chemical tests to determine the percentage of purity of the final product. Finally, the third stage consisted of analyzing the final product to establish whether it met the proposed objective based on the USP regulations on NaCl.

Keywords

Sodium Chloride, Purification, Crystallization, Distillation, Filtration.

1. Introducción

El NaCl, es un componente químico sencillo, compuesto de un ion de sodio (Na⁺) y un ion de cloro (Cl⁻), conocido como sal común o de mesa; es un sólido cristalino y soluble en agua [1].

El cloruro de sodio reactivo es una variante purificada y de calidad superior al NaCl de uso convencional. Este NaCl se emplea en laboratorios e industrias que demandan un nivel de pureza más elevado que el ofrecimiento por la sal común. Por su uso, el NaCl reactivo debe cumplir con requisitos específicos de pureza (99% - 100.5%) según las normativas USP y estar exento de impurezas que pudieran afectar los procesos químicos o biológicos en los cuales se aplique.

Este compuesto tiene una amplia aplicación en sectores como la industria química y farmacéutica, donde se utiliza como reactivo, agente tampón y en la elaboración de diversos productos químicos. Asimismo, es empleado en investigaciones científicas y en la producción de alimentos, medicamentos y cosméticos.

La presente investigación se enfocó en la obtención del NaCl grado reactivo en Ecuador, el propósito obtener este producto y llevarlo a la pureza más alta posible ya que no se ha realizado el proceso y purificación de este con anterioridad en el país a pesar de tener suficiente materia prima a disposición, a su vez realizar el estudio y análisis de los principios teóricos detrás del proceso de purificación del

¹ Universidad Técnica De Manabí. <https://orcid.org/0009-0007-5012-0632>, mferrin4180@utm.edu.ec; Portoviejo; Ecuador.

² Universidad Técnica De Manabí. <https://orcid.org/0009-0001-7103-9434>, tcaicedo6535@utm.edu.ec; Portoviejo; Ecuador.

³ Universidad Técnica De Manabí. <https://orcid.org/0000-0002-8152-3406>, segundo.garcia@utm.edu.ec; Portoviejo; Ecuador.

⁴ Universidad Técnica De Manabí. <https://orcid.org/0000-0002-8583-4674>, ramon.cevallos@utm.edu.ec; Portoviejo; Ecuador.

⁵ Universidad Técnica De Manabí. <https://orcid.org/0000-0001-6893-0843>, agarcia4908@utm.edu.ec; Portoviejo; Ecuador.



NaCl, incluyendo análisis físicos y las reacciones químicas involucradas.

Manabí, es una provincia con recursos salinos que son aprovechados para la producción de sal; sin embargo, en la actualidad la industria nacional no produce NaCl para uso reactivo y prueba de ello es que las Universidades del país se ven en la necesidad de adquirir NaCl en su grado reactivo a compañías químicas que importan el mismo para utilizarlos en diversos análisis o estudios realizados en laboratorios a nivel de universidades. En este sentido, resulta necesario realizar una investigación sobre el proceso de purificación de NaCl y analizar el mismo en muestra de agua del mar de Crucita-Manabí para determinar su grado de pureza y llevarlo a una pureza más alta según los estándares mencionados.

Para esto, se realizó un muestreo puntual del agua en la cual se obtuvo las muestras representativas y se llevó a cabo análisis físicos químicos para determinar la concentración del NaCl antes y después del proceso de purificación para luego analizar la pureza del NaCl obtenido por el método de evaporación simple evaluando la efectividad del proceso y comparar los resultados obtenidos con los estándares USP. Se evaluaron las condiciones para eliminar las impurezas presentes en el NaCl obtenido [1].

2. Materiales y métodos.

Antes de que se descubriera la composición de la materia, la palabra sal se refería a cualquier sólido soluble y no inflamable, especialmente cuando se refería a lo que se formaba como resultado de la evaporación del agua de mar. A pesar de su antigua etimología, la palabra sal sigue siendo utilizada en la actualidad con dos significados distintos. Uno es el nombre específico del compuesto químico cloruro de sodio, mientras que el otro es el nombre genérico del grupo de sustancias químicas formadas a partir de ácidos en la que los metales han reemplazado parcial o completamente los átomos del hidrógeno [2]. El proceso de purificación de la sal comienza con la deionización de la salmuera o la evaporación, donde los iones se tratan para eliminar impurezas y en ocasiones se purifican antes de la cristalización. Se produce en salinas al aire libre que favorecen la cristalización de cloruro de sodio cuando comienza la evaporación [1].

Una nueva técnica para purificar el cloruro de sodio es mediante electroforesis en gel bidimensional. La técnica permite la obtención de nanopartículas de NaCl uniformes en tamaño y de alta pureza, que podrían utilizarse en una variedad de áreas como la medicina y la catálisis [3]. En el presente trabajo se realizó un estudio que analizó cómo los parámetros operativos afectan la purificación del NaCl mediante cristalización asistida por ultrasonidos. Los resultados mostraron que esta técnica puede producir cristales de NaCl de alta pureza con un menor consumo de energía que las técnicas convencionales [4]. Se encontró una

técnica muy novedosa que explica el uso de zeolitas modificadas como adsorbentes para purificar el NaCl de aguas residuales. La técnica permitió la recuperación de NaCl de alta pureza mientras se redujo el impacto del efecto de aguas residuales en el medio ambiente [5]. De igual manera, se realizó la purificación de NaCl reactivo por evaporación, destilación simple e intercambio iónico.

A continuación, se describe el proceso detallado para la obtención del NaCl grado reactivo a partir de agua de mar. El método empleado involucra una serie de etapas sucesivas, incluyendo análisis físico-químicos iniciales, evaporación, recristalización, disolución, filtración, destilación, intercambio iónico, lavado de cristales y por último secado. El NaCl obtenido fue caracterizado mediante análisis físico-químicos para la determinación de pureza alcanzando una clasificación que se considere reactivo.

Se inició con el muestreo y análisis inicial el que consistía en la recolección de 20 litros de agua de mar a la cual se le realizó análisis físico-químicos iniciales para determinar las características del agua de mar. Luego se realizó precipitación y cristalización primaria que consistió en evaporar 12 litros de agua de mar a 100°C durante 8 horas, la evaporación provocó la precipitación de compuestos químicos disueltos, dando lugar a una cristalización primaria, se adicionaron 500 ml de agua destilada para diluir la muestra, después se realizó una filtración al vacío para eliminar los sólidos no solubles que se precipitaron a medida que la temperatura iba aumentando.

A continuación, se realizó destilación y ablandamiento en el cual se implementó una destilación simple para obtener una salmuera concentrada a la que se realizó análisis detectando una dureza elevada en la que se aplicó un intercambio iónico utilizando una resina catiónica para eliminar los iones de calcio y magnesio. Posterior a esto se aplicó recristalización fraccionada y lavado, donde la salmuera se diluyó nuevamente con 500 ml de agua destilada, se evaporó a 100°C durante 10 minutos con agitación constante, la solución se pasó por columnas de resina catiónica regenerada para eliminar los iones de calcio y magnesio (repetido 3 veces), se realizó una evaporación para obtener una recristalización fraccionada, los cristales se lavaron con 500 ml de agua destilada adicional aplicando una vez más una nueva destilación al vacío y se repitió la etapa de evaporación y recristalización. Por último, se procedió a realizar el secado y análisis final lo que consistió en llevar la muestra obtenida a la estufa a 105°C por 5 horas, una vez la muestra seca se pesó obteniendo 562,45g de NaCl y para finalizar y saber su porcentaje de pureza se realizó análisis físico-químicos donde se obtuvo 97,23% de NaCl GR.

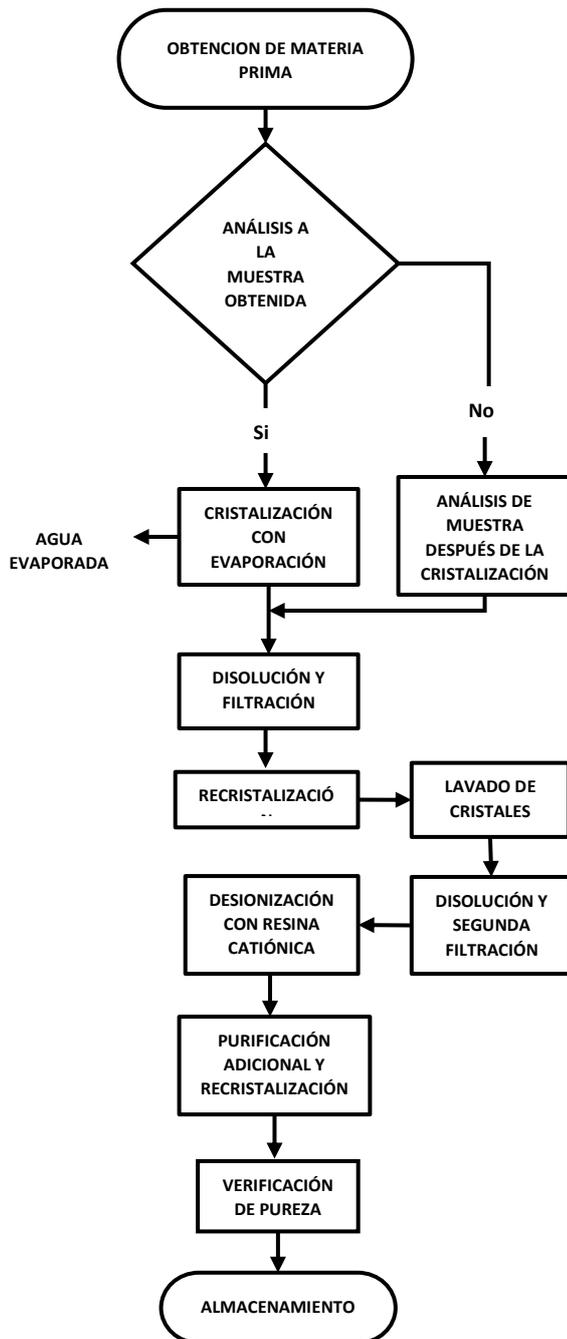


Fig. 1. Diagrama de flujo del proceso de purificación del NaCl grado reactivo

2.1. Composición del agua de mar

El agua de mar es una disolución en agua (H_2O) de muy diversas sustancias. Hasta los 2/3 de los elementos químicos naturales están presentes en el agua de mar, aunque la mayoría solo como trazas. Seis componentes, todos ellos iones, dan cuenta de más del 99% de la composición de solutos [6].

Tabla 1. Composición porcentual de solutos sólidos del agua de mar.

Aniones	%	Cationes	%
Cloruros (Cl^-)	55,07	Sodio (Na^+)	30,62
Sulfatos (SO_4^{2-})	7,72	Magnesio (Mg^{++})	3,68
Bicarbonatos (HCO_3^-)	0,41	Calcio (Ca^{++})	1,18
Bromuro (Br^-)	0,19	Potasio (K^+)	1,14
Flúor (F^-)	0,01	Estroncio (Sr^{++})	0,02

Fuente: Osorio Arias & Álvarez Silva, 2006.

Se recopiló información que nos permitió ampliar nuestro conocimiento sobre los diferentes métodos y técnicas que se pueden ejecutar en el proceso de la obtención del NaCl Grado Reactivo.

2.2. Selección de materia prima

El agua de mar seleccionada para la extracción del NaCl G.R. fue recolectada en el mar de Crucita del cantón Portoviejo provincia de Manabí, Ecuador (fig. 1). Dichas muestras fueron trasladadas al laboratorio de química de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas.



Fig. 2. Vista panorámica de la localidad del mar de Crucita.

2.3. Experimentación

El trabajo experimental inicio tomando muestra del agua de mar de la parroquia de Crucita para su respectiva caracterización físico-químico en el laboratorio antes mencionado.

Análisis físicos químicos: Alcalinidad, cloruros, conductividad, dureza, salinidad, solidos totales, pH y temperatura.

Tabla 2. Análisis físicos químicos realizado al agua muestra de mar.

Componentes	Resultados	Unidades
Alcalinidad	96	mg/L
Cloruros	20020	mg/L
Conductividad	64000	us/cm
Dureza	4764	mg/L
Salinidad	0,14	%
Solidos Totales	1380	mg/L
pH	6,27	
Temperatura	27,5	°C

Los principales métodos aplicados durante la experimentación fueron gravimétricos y volumétricos: en el método volumétrico se determinó cuantitativamente el ion contenido en un producto determinado; por medio de la medición de volumen de una solución de concentración conocida o solución patrón que reacciona con una cantidad de solución conocida que contiene el elemento en estudio y método gravimétrico que está basado en la medición precisa y exacta de la masa que se determina, la cual fue separada del resto de los componentes de la muestra siendo este el NaCl. Aunque la mayoría de las sustancias se encontraron en muy baja concentración, hubo dos sustancias importantes que se extraen comercialmente del agua de mar: el cloruro de sodio (sal de mesa) y el magnesio [7].

Los diferentes análisis físicos realizados al agua muestran fueron obtenidos mediante el equipo multiparámetro (BLE-9909).

Alcalinidad: La alcalinidad del agua de mar juega un papel crucial en la amortiguación del pH del océano frente a la acidificación causada por el CO₂. La alcalinidad del agua de mar está determinada principalmente por dos componentes: iones carbonatos e iones borato. Estos iones neutralizan los iones de hidrogeno producidos por la disolución del CO₂, lo que limita la disminución del pH [8].

La alcalinidad consiste en la capacidad de neutralizar ácidos y es la suma de todas las bases titulables, evita que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado ácidos o básicos dando origen a los carbonatos y bicarbonatos en el agua de mar [9].

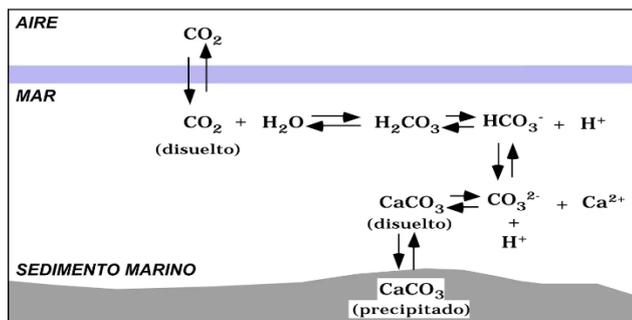


Fig. 3. Origen de bicarbonato y carbonato en el ambiente marino.

Dureza: Aunque el agua de mar es un recurso esencial para la vida en la tierra, su alta salinidad y dureza impiden su consumo humano o riego agrícola. La eliminación de la sal del agua de mar o proceso de desalinización se ha convertido en una tecnología cada vez más importante. La capacidad del agua del mar para disolver un jabón se mide por su dureza. La presencia de iones de magnesio y calcio es la principal causa. La dureza del agua de mar en el Océano Pacífico oscila entre 200 y 400 mg/L CaCO₃, con valores más altos en las áreas costeras y más bajos en mar abierto [10]. La dureza puede ser temporal o permanente; el agua puede contener bicarbonato de calcio y de magnesio, hierro o magnesio. Se caracteriza porque su ablandamiento se logra con la ebullición, que consiste en que el bicarbonato se precipita desprendiendo dióxido de carbono y disminuyendo el valor del pH por las formaciones de ácido carbónico [11].

El análisis de la Dureza total por titulación con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), permitiendo cuantificar los iones de Ca y Mg y su posterior conversión a dureza total expresada como CaCO₃ se llevó a cabo de la siguiente manera:

Se tomaron 10 ml del agua muestra en un matraz, se añadió 1 ml de solución Buffer pH 10 y como indicador se utilizó una pizca de negro de eriocromo T (ENT), lo mismo que tiene como finalidad formar una mezcla de color púrpura; para proceder a titular con EDTA; hasta la aparición de color azul.

Reacciones:



Durante la titulación se consumió 56.2 ml de EDTA 0,01M donde 53,5 ml correspondió a los MgCO₃ y 2,7 ml para CaCO₃.

Dureza cálcica: Con el Buffer pH 10 se determinó la concentración total de la dureza de la muestra como son Ca y Mg. Para determinar la concentración de calcio presente en la muestra se añadió 1 ml de Buffer pH 10 a la muestra y luego se añadió 20 gotas de KOH, para regular el pH 10 a pH 12. El objetivo fue precipitar el Mg y poder determinar la cantidad de Ca que se tiene en la muestra diluida. A este resultado, se restó el total de la dureza obteniendo el valor de la concentración del Mg.

Consumo = 2,7 ml de EDTA 0,01M en CaCO₃.
Consumo = 53,5 ml de EDTA 0,01M en MgCO₃.

$$\text{CaCO}_3 = \frac{C * M * pM * 1000}{Vm} \quad (1)$$

$$Ca = \frac{2,7 * 0,01M * 100 * 1000}{10} = 270 \frac{mg}{L}$$

$$MgCO_3 = \frac{53,5 * 0,01M * 84 * 1000}{10} = 4494 \frac{mg}{L}$$

$$(270 + 4494) \frac{mg}{L} = 4764 \frac{mg}{L} \text{ Dureza total}$$

$$Ca = \frac{2,7 * 0,01M * 20 * 1000}{10} = 54 \frac{mg}{L}$$

Dureza total: 4764 mg/L – Dureza cálcica: 270 mg/L = 4494 mg/L de Mg
MgCO₃ = 4494 mg/L

Se determinó que la dureza presente en la muestra se encontró en mayor porcentaje en el Mg.

Sulfatos (SO₄²⁻): Con una concentración promedio de alrededor de 2,7 g/L, el sulfato es uno de los aniones inorgánicos más presentes en el agua de mar. Juega un papel importante en la química del agua de mar tiene un gran impacto en la vida marina. El proceso complejo del ciclo del sulfato en el Océano Pacífico implica una variedad de interacciones físicas, químicas y biológicas [12]. Los sulfatos son minerales cuya unidad estructural son los grupos (SO₄²⁻), los cationes de Al, Na, Ca, K, Mg, Fe, y otros se pueden enlazar a los sulfatos. Entre ellos se encuentran la anhidrita y el yeso, que son bastante comunes en la corteza terrestre [13].

Tabla 3. Datos de absorbancia y concentración para sulfato

Absorbancia	Concentración
280,904	0,481
281,455	0,486
284,789	0,487

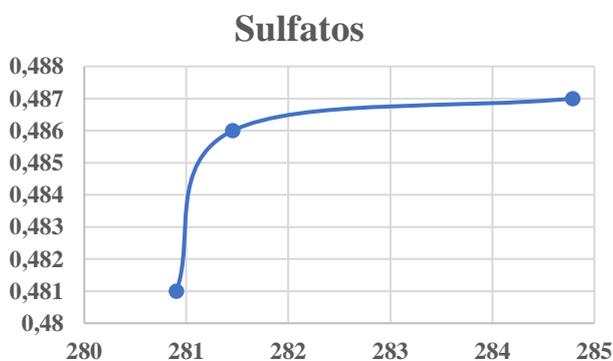


Fig. 4. Curva de calibración de ion sulfato.

La linealidad obtenida experimentalmente en la curva de calibración para el ion sulfato presenta un coeficiente de

correlación $r^2=0,991$ (fig.3). La curva se preparó con cinco niveles de concentración y un blanco en el ámbito de concentración 48,000-312,000 ppm.

Cloruros: Con una concentración promedio de alrededor de 19,4 g/L, el cloro es el anión inorgánico más presente en el agua de mar. Tiene un papel fundamental en la química del agua de mar con gran impacto en la vida marina. El ciclo de los cloruros en el Océano Pacífico es un proceso complejo que involucra una serie de interacciones [14]. Su análisis y determinación de concentración se puede realizar por varios métodos; en el presente trabajo, se empleó el método de Mohr el cual involucra la determinación cuantitativa de iones cloruro, bromuro o cianuro por medio de la titulación con una solución estándar de nitrato de plata utilizando Na₂CrO₄ o K como indicador químico de fin valoración [15].

Se tomó 5 ml y se diluyó en 95 ml de agua destilada; de esta dilución, se utilizó 10 ml, se añadió 3 gotas de K₂CrO₄ como indicador de punto final debido a que el AgCl es menos soluble que el Ag₂CrO₄ dado que no puede formarse este último hasta que el Cl reaccione totalmente. Existen tres maneras para determinar el punto final de la reacción: cuando se produce un precipitado, cambio de coloración y desaparición de turbidez.

Cuando se produjo el cambio de color, el titulante AgNO₃ realizó un consumo de 20 ml, luego se realizó el cálculo de cloruro:

$$Cl^{-1} = \frac{C * N * mEq * 100}{Vm} \quad (2)$$

$$Cl^{-1} = \frac{20 * 0,0141 * 0,0355 * 100}{0.05} = 20,02g Cl^{-1}$$

$$\begin{aligned} 100 \text{ ml M} & \text{-----} 2,002 \text{ g Cl}^{-1} \\ 1000 \text{ ml M} & \text{-----} x = 20,02 \text{ g Cl}^{-1} \end{aligned}$$

Interpretación:

Por cada 100 ml de muestra hubo 2,002g de Cl⁻¹

Extracción del cloruro de sodio (NaCl): El agua, es un líquido, inodoro, incoloro e insípido; tiene un tinte azulado y solo se puede detectar en capas muy profundas. A presión atmosférica, el punto de congelación del agua es 0°C y el punto de ebullición es 100°C. el agua alcanza su máxima densidad a los 4°C y se expande como se congela, reduciendo así su densidad, lo mismo ocurre cuando la temperatura aumenta a partir de los 4°C [16].

La evaporación del agua que se aplicó en el proceso de extracción de NaCl fue la del punto de ebullición, en el cual se evaporó 12 L de agua de mar (fig.4); en el transcurso de 8 horas; formándose una primera cristalización.



Fig. 5. Proceso de evaporación.

Posteriormente, se realizó la disolución de NaCl en agua destilada para separar los sólidos insolubles que se precipitaron durante el proceso de evaporación; a esta solución se aplicó proceso de filtración al vacío.

Filtración al vacío: es una técnica instrumental utilizada en laboratorios para separar sólidos de líquidos o soluciones. Este tipo de filtración se utiliza cuando nos interesan los sólidos o cuando la filtración por gravedad se ralentiza mucho; además, es una técnica esencial en los procesos de recristalización [17].

Recristalización: es una técnica de purificación común para el NaCl, donde se disuelve una solución impura de NaCl en un solvente adecuado, se deja evaporar lentamente para aumentar la concentración de NaCl y luego se induce la precipitación de cristales puros. El estudio de Li et al. (2023) propone un nuevo proceso de recristalización de NaCl mediante evaporación controlada lo cual consiste en sistema de control optimizado y diseño de recipiente optimizado [18]. Se realizó por medio de una destilación simple (fig. 5); este es el procedimiento más utilizado para la separación y purificación de líquidos, y es el que se realiza siempre pretendiendo separar un líquido de sus impurezas [19].



Fig. 6. Proceso de destilación simple.

Cuando se obtuvo la primera recristalización se procedió a realizar los análisis de cloruros para determinar el porcentaje de pureza de la muestra obtenida; aquí se

disolvió 0,5g de muestra con humedad en 95 ml de agua destilada obteniendo el siguiente calculo:

$$\%NaCl = \frac{V * N * mEq * 100}{Pm} \quad (3)$$

$$\%NaCl = \frac{51 * 0,0142 * 0,0585 * 1000}{0,5} = 8,4734$$

100 ml ----- 8,413g NaCl
1000 ml -----x = 84,13g NaCl

Obteniendo una pureza de 84,13% de NaCl.

Intercambio iónico: Según Degremont (1979), el intercambio iónico es una reacción química reversible, que tiene lugar cuando un ion de una disolución se intercambia por otro ion de igual signo que reencuentra unido a una partícula sólida inmóvil. En si los intercambiadores iónicos, son un proceso que consiste en aprovechar la capacidad que tiene las resinas de intercambiar iones entre una fase sólida y una fase líquida en forma reversible, es decir que regresa a su estado original y sin cambio permanente en la estructura del sólido. Generalmente, la gran utilidad del intercambio iónico descansa en el hecho de usar una y otra vez los materiales de intercambio iónico puesto que el material intercambiador puede ser regenerado ya que el cambio que sufre en la "fase de la operación" no es permanente.

Resina catiónica de ácido fuerte: Aunque es abundante, el agua de mar no es adecuada para el consumo humano ni para numerosos usos industriales debido a su alta concentración de sales disueltas, incluidos los iones de Ca y Mg, que hacen que esta tenga dureza.

El intercambio iónico con resina catiónicas se ha convertido en un método efectivo para eliminar estos iones, ablandando el agua del mar y volviéndolo útil para una variedad de aplicaciones [20]. El agua de mar contiene iones de Ca y Mg que forman sales y aumentan la dureza del agua; para ello, se empleó la resina catiónica de ácido fuerte con su abreviación SAC que se utiliza en forma de sodio (Na⁺), la cual realiza un intercambio iónico permitiendo eliminar la dureza del agua producido por el Ca y Mg y cuando se satura con dureza permite su regeneración con NaCl.

La reacción que se presenta es la siguiente:



Produciendo un equilibrio.

La dureza del agua disminuyó de 39,6 ml de consumo de EDTA como una dureza muy elevada; posteriormente luego

de la acción con la resina el consumo fue de 2,1 ml de EDTA, presentando altos resultados en la eliminación de la dureza de nuestra muestra:

Dureza sin resina:

$$Dureza = \frac{C * M * pM * 1000}{Vm} \quad (4)$$

$$dureza CaCO_3 = \frac{1,9 * 0,01M * 100 * 1000}{10} = 190 \frac{mg}{L}$$

$$dureza MgCO_3 = \frac{37,7 * 0,01M * 84 * 1000}{10} = 3166,8 \frac{mg}{L}$$

A 2,1 ml de consumo de EDTA 0,01 M, donde se puede apreciar la disminución de la dureza del agua muestra.

Dureza con resina:

$$Dureza CaCO_3 = \frac{0,10 * 0,01M * 100 * 1000}{10} = 10 \frac{mg}{L} \quad (5)$$

$$Dureza MgCO_3 = \frac{2 * 0,01M * 84 * 1000}{10} = 168 \frac{mg}{L}$$

Dureza total: 178 mg/L – Dureza cálcica: 10 mg/L = 168 mg/L de Mg.

MgCO₃=168 mg/L.

La dureza presente en la muestra es casi nula.

Para el análisis de cloruro en muestra obtenida se analiza el siguiente calculo:

$$Cl^{-1} = \frac{C * N * mEq * 100}{Vm} \quad (6)$$

$$Cl^{-1} = \frac{24,3 * 0,0141 * 0,0355 * 100}{0,5} = 2,432673g Cl^{-1}$$

100 ml M ----- 2,432673 g Cl⁻¹

1000 ml M ----- x=24,32673 g Cl⁻¹

La ley de Avogadro establece que "Volúmenes iguales reaccionan de igual manera siempre y cuando su concentración sea igual".

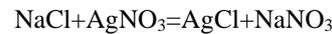
Calculo para el cloruro de sodio (NaCl):

$$V * N * mEq = g \quad (7)$$

$$100 * 0,0142 * 0,0585 = 0,0830$$

$$25 * 0,0142 * 0,0585 = 0,02076$$

Reacciones con nitrato de plata para la determinación de la pureza del NaCl mediante la titulación de la muestra obtenida.



$$\%NaCl = \frac{V * N * mEq * 100}{Pm} \quad (8)$$

Consumo: 24,3 ml de AgNO₃

$$\%Pureza NaCl = \frac{24,3 * 0,0142 * 0,0585 * 100}{0,02076} = 97,23\% \text{ de Pureza de NaCl}$$

3. Resultados.

Tabla 4. Análisis finales físicos químicos realizado al NaCl obtenido de la muestra de agua de mar.

Componentes	Resultados	Unidades
Alcalinidad	60	mg/L
Cloruros	24326,73	mg/L
Conductividad	1558	us/cm
Dureza	50	mg/L
Salinidad	0,14	%
Solidos Totales	779	ppm
pH	6,22	
Temperatura	27,5	°C

La presencia del CaCO₃, CaSO₄, NaCl, MgSO₄, KCl, MgCl₂ y MgBr₂; indica que la muestra de agua es mineralizada, es decir, contiene una cantidad significativa de sales disueltas. La pureza inicial del NaCl en la muestra fue del 84,7314%, lo que significa que había una cantidad considerable de impurezas presentes. Se observó que la muestra tenía una dureza elevada, posiblemente debido a la presencia de iones de calcio y magnesio. Estos iones pueden tener efectos negativos en diversos procesos industriales y domésticos. El intercambio iónico con resina catiónica fuerte fue efectivo para eliminar iones de calcio y magnesio, lo que permitió aumentar la pureza del NaCl. Se realizó una filtración al vacío y una recristalización para obtener cristales más puros.

Se disolvió 0,0824 g de los cristales de NaCl en 100 ml de agua destilada y se calculó la concentración de NaCl, obteniendo un valor del 97,23%. La pureza final del NaCl, 97,23%, es significativamente mayor que la pureza inicial, lo que demuestra la efectividad del proceso de purificación.

Los diferentes análisis y técnicas empleadas se realizaron con el propósito de obtener el mayor grado de pureza del NaCl; y poder darle uso en los laboratorios permitiendo desarrollar y mejorar las técnicas empleadas para la

purificación de NaCl grado reactivo disminuyendo el uso excesivo de químicos que puedan afectar a la composición de NaCl. Los resultados de sulfatos fueron 0,0 en la muestra final de NaCl. El mercado también está impulsado por el uso extensivo de NaCl como materia prima en la industria química para producir varios productos químicos, incluyendo cloro, hidróxido de sodio y carbonatos de sodio. Estos productos químicos tienen una amplia gama de aplicaciones, lo que está impulsando aún más la demanda de sal.

3.1. Comparación de análisis iniciales y finales.

Tabla 5. Análisis Iniciales

Componentes	Unidades
Alcalinidad	96 mg/L
Cloruros	20020 mg/L
Conductividad	64000 us/cm
Dureza	4764 mg/L
Salinidad	0,14%
Sólidos Totales	1380 ppm
pH	6,27
Temperatura	27,5 °C

Tabla 6. Análisis Finales.

Componentes	Unidades
Alcalinidad	60 mg/L
Cloruros	24326,73 mg/L
Conductividad	1558 us/cm
Dureza	50 mg/L
Salinidad	0,14%
Sólidos Totales	779 ppm
pH	6,22
Temperatura	27,5 °C

4. Discusión.

El mercado salinero cuenta con pocas empresas ecuatorianas constituidas formalmente entre las cuales se reparten el mercado local para el abastecimiento de todas las sales industriales y de consumo humano que se requiere a nivel nacional, como podemos observar a continuación:

Tabla 7. Distribución del mercado salinero.

Empresas	Productos	Producción Anual De Toneladas	Participación %	Precio Promedio De dólares
Ecuasal C.A.	Cris-Sal	150.000	76%	18.000.000.00
Famosal S.A.	Mar Y Sal	12.000	6%	1.440.000.00
Jueza S.A.	Sal Pacifico	15.000	8%	1.800.000.00
Proquipil S.A.	Delisa	20.000	10%	2.400.000.00

Total, De Ventas Y Producción En El Ecuador		197.000	100%	23.640.000.00
---	--	---------	------	---------------

Fuente: Superintendencias De Compañías. Año 2013 Elaborado por: Tammy Rodríguez Balseca [21].

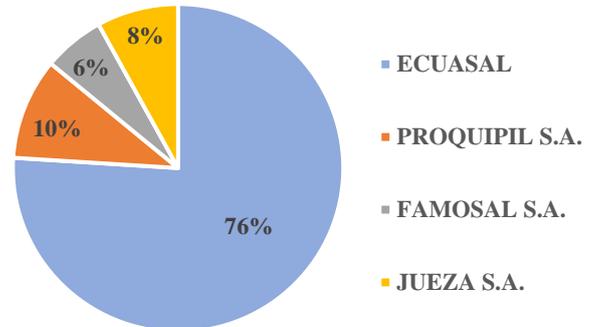


Fig. 7. Producción Anual Toneladas

Fuente: Superintendencia De Compañía. Año 2013 Elaborado por: Tammy Rodríguez Balseca [21].

La producción artesanal de sal se ha convertido en un oficio abandonado debido a que las salineras tradicionales no pueden competir con las grandes industrias productoras establecidas en el mercado. Ante tales problemas, la asociación de productores de sal de Manta, Ecuador ha desarrollado la propuesta de proceso de producción de sal refinada que contribuirá al logro de dicho objetivo. Se aporta un estudio técnico y operativo que se estructura en los componentes: caracterización del producto, diagrama de flujo del proceso de obtención de la sal, ubicación geográfica y micro ubicación, y estudio de las capacidades para la producción de sal. Se pretende que la asociación de productores de sal establezca un modelo de negocio para ingresar al mercado local y nacional [22].

El NaCl es una materia prima importante en la industria química, puesto que se le da diversos usos al mismo. En el laboratorio implicado en el estudio, se utiliza el NaCl como materia prima, para fabricar soluciones parenterales, tales como: inyección de NaCl al 0,9% e inyección de dextrosa al 5% con NaCl al 0,9% (solución mixta). Las cuales, cumplen gran importancia en el campo de la salud, son utilizadas en terapias de rehidratación en los casos de diarrea aguda y cólera., también para el traumatismo, las quemaduras, cuando los pacientes poseen un déficit de Na⁺ corporal y controlan la distribución del agua en el organismo.

Según el estudio que realizó Wang et al. (2020), un método novedoso para la purificación de NaCl de grado reactivo es mediante una combinación de destilación simple y membranas de intercambio iónico. Esta técnica combina las ventajas de esos métodos para así eliminar de manera eficaz impurezas como compuestos orgánicos, metales pesados y sales inorgánicas [23].



Se puede afirmar que las normas del NaCl grado reactivo tiene como porcentaje de 99% a 100,5% de pureza tanto para farmacopea y las que requieren porcentajes aún más altos como las ISO, sin embargo, existen normas que indican que NaCl grado reactivo pueden tener un mínimo de 95% de puranzas estas suelen ser específicas especialmente en normas locales de ciertos países las cuales pueden aceptar este nivel mínimo de pureza como las Norma Oficial Mexicana (NOM) y la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 1204.

Al realizar una comparación de estándares de pureza de NaCl establecidos por la USP, el Codex Alimentarius y la norma INEN 1234, donde se observó algunas diferencias significativas:

La USP nos indica que sus estándares son los más exigentes, en especial cuando se trata del grado de pureza, ya que estos grados se utilizan en aplicaciones donde se requiere alta pureza y fiabilidad como en la fabricación de medicamentos los grados de pureza que permite Farmacopea como mínimo es de 99,0% [24].

Los estándares del Codex Alimentarius están enfocados en la seguridad alimentaria y establecen un nivel de pureza que garantiza que el NaCl utilizado en alimentos no comprometa la salud del consumidor, el grado de pureza aceptado es de 97,0% como mínimo [25].

La norma INEN 1234 la cual es una norma nacional establece requisitos específicos para el NaCl grado industrial, que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones. El nivel de pureza requerido es menor en comparación con los estándares farmacéuticos y alimentarios en este caso permite 95% como mínimo de pureza [26].

5. Conclusiones.

La caracterización inicial que se realizó permitió obtener los valores sobre diferentes componentes presentes en la muestra a analizar y poder dar inicio a la presente investigación, con esto quedó demostrado que es posible obtener NaCl grado reactivo empleando diversas técnicas y análisis donde no se aplique excesivamente uso de reactivos ya que cambian la composición de los diversos componentes que se encuentran en la muestra.

Se logró obtener NaCl grado reactivo a partir de agua de mar de Crucita-Manabí, Ecuador, con una pureza del 97,23%, aunque no se superó los estándares internacionales USP (99% - 100.5%) quedo demostrado que si supera estándares locales lo cual permite su aplicación. El hallazgo clave de la presente investigación demuestra que el agua de mar de Crucita-Manabí presenta una composición química adecuada para la extracción de NaCl. La técnica de purificación empleada, que combina evaporación, recristalización e intercambio iónico, resultó efectiva para eliminar las impurezas presentes en el agua de mar y obtener

NaCl de alta pureza lo cual determinó que la etapa de intercambio iónico con resina catiónica fue crucial para eliminar los iones de calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua de mar, obteniendo una reducción significativa de la misma, el análisis físico-químico final del NaCl obtenido confirmó que cumple con los estándares de pureza, lo que lo hace apto para su uso en laboratorios e industrias que demandan un alto grado de pureza.

Las contribuciones del estudio del presente trabajo demuestran la viabilidad de obtener NaCl grado reactivo a partir de agua de mar ecuatoriana, lo que representa un aporte significativo para la industria local, ya que actualmente este estudio puede ser replicada para obtener NaCl de alta pureza a partir de otras fuentes de agua de mar, con potencial aplicación en diversas industrias. Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa sobre la composición química del agua de mar de Crucita-Manabí y su potencial para la extracción de NaCl, lo que puede contribuir al desarrollo de nuevas iniciativas industriales en la región. La relevancia para la industria local consta del gran impacto de poder obtener NaCl grado reactivo a partir de agua de mar ecuatoriana, ya que permite reducir la dependencia de las importaciones de este producto, lo que se traduce en un ahorro de divisas para el país. Impulsar el desarrollo de nuevas industrias e incluso industrias existentes que requieran NaCl de alta pureza, como la industria farmacéutica, cosmética y química generando nuevas oportunidades de empleo en el sector industrial y científico.

Las normativas basadas en la presente investigación son normativas internacionales de alta calidad; sin embargo, existe normativas locales en diferentes países donde se permite como mínimo de porcentaje 95,0% de NaCl grado reactivo, lo cual demuestra que el 97,23% de NaCl obtenido en el presente trabajo puede tener utilidad como uso reactivo.

En definitiva, este estudio abre nuevas posibilidades para el aprovechamiento del agua de mar como materia prima para la obtención de NaCl grado reactivo, contribuyendo al desarrollo industrial y científico del Ecuador.

6.- Author Contributions.

1. Conceptualización: Antonella Ferrin; Ramón Cevallos
2. Curación de datos: Thalía Caicedo; Ariana García
3. Análisis formal: Segundo García; Ariana García
4. Adquisición de fondos: N/A.
5. Investigación: Thalía Caicedo; Ramón Cevallos
6. Metodología: Segundo García; Thalía Caicedo
7. Administración del proyecto: Antonella Ferrin
8. Recursos: N/A.
9. Software: N/A.
10. Supervisión: Antonella Ferrin; Ramón Cevallos
11. Validación: Antonella Ferrin; Ariana García



12. Visualización: Thalía Caicedo; Ariana García
13. Redacción - borrador original: Segundo García; Ramón Cevallos
14. Redacción - revisión y edición: Antonella Ferrin; Ariana García

7.- Referencias

- [1] Y. Gómez, S. Villanueva y M. Henríquez, «Tecnología para la obtención del cloruro de sodio (NaCl) grado farmacéutico,» *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, vol. 1, n° 12, pp. 44-61, 2019.
- [2] J. L. Girón Córdón, Artist, *Estudio sobre la eliminación de los iones calcio, sulfato y carbono presentes en una salmuera preparada a partir de la sal de mar nacional*. [Art]. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA, 2010.
- [3] L. W. Y. & Y. C. Zhang, «Nanoscale purification of sodium chloride (NaCl) by bidimensional gel electrophoresis,» *Separation and Purification Technology*, vol. 222, n° 1, p. 106057, 2023.
- [4] S. & M.-P. L. Garcia-Segura, «Purification of sodium chloride (NaCl) by ultrasound-assisted crystallization: Study of operating parameters,» *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 70, n° 1, p. 102545, 2020.
- [5] W. X. T. & W. S. Peng, «Purification of sodium chloride (NaCl) from industrial wastewater by adsorption on modified zeolites,» *Chemical Engineering Journal*, vol. 1, n° 1209-1217, p. 372, 2019.
- [6] L. A. García Cavero, *Propiedades del agua de mar*, Lima: Ingeniería de Recursos Hídricos Organización para un Desarrollo Sostenible, 2012.
- [7] S. Rodríguez, Artist, *La Dureza del Agua*. [Art]. Universidad Tecnológica Nacional, 2010.
- [8] W. Cornwall, «AN ALKALINE SOLUTION,» *SCIENCE*, vol. 382, n° 6674, pp. 988-992, 1 Diciembre 2023.
- [9] R. d. P. Bojaca, *PSO Determinación de alcalinidad por potenciometría*, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2005.
- [10] L. W. Y. Z. H. & L. S. Zou, «Potential of reverse osmosis desalination for reducing seawater hardness,» *Desalination*, vol. 475, pp. 111-455, 2019.
- [11] J. Soto, «La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias,» *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 11, n° 2, pp. 167-177, 2010.
- [12] M. e. a. Jin, «Sulfate cycle in the Pacific Ocean: A biogeochemical model,» *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 36, n° 3, 2022.
- [13] R. H. Moreno , A. S. Ibáñez y J. M. Gisbert Blanquer, «Sulfatos,» Universidad Politecnica De Valencia, Valencia, 2011.
- [14] C.-T. e. a. Chen, «Chlorine cycle in the Pacific Ocean: A biogeochemical model,» *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 34, n° 12, p. e2019GB006196, 2020.
- [15] M. G. Reyes Navarrete, A. García Vargas, A. I. Alvarado De La Peña , L. S. Gonzalez Valdez y D. M. Antuna, «Cloruros totales en el agua de abastecimiento,» *Vid supra*, vol. 4, n° 1, pp. 20-21, 2012.
- [16] L. C. Valenzuela, *La química del agua*, México: Plaza y Valdés, 2014.
- [17] J. Arias Rojas y R. Arebalo Vargas, «Filtración,» Universidad de Aquino Bolivia, Bolivia, 2023.
- [18] F. Li, «Recristalización de cloruro de sodio mediante un proceso de evaporación controlado,» *Desalination and Water Treatment*, vol. 111, pp. 321-328, 2023.
- [19] J. A. Castillo y R. I. Rivero, Artists, *Manual de Prácticas Laboratorio de Química Orgánica y Aplicada..* [Art]. Universidad de Quintana Roo, 2015.
- [20] E. d. l. d. d. a. d. m. i. i. c. r. c. U. revisión, «Ghareb, R.,» *Desalination and Water Treatment*, vol. 108, n° 2, pp. 317-332, 2021.
- [21] T. R. Balseca, Artist, *PROPUESTA PARA INCREMENTAR LAS VENTAS DE LA EMPRESA ECUASAL, MEDIANTE LA DIVERSIFICACIÓN DE SUS PRODUCTOS. (TESIS OBTENCION TITULO DE INGENIERO EN CIENCIAS EMPRESARIALES)*. [Art]. UNIVERSIDAD ESPIRITU SANTO, 2014.
- [22] M. B. Vera Mendoza, A. M. Indacochea Vásquez, S. J. Reyes Solórzano y F. J. Veloz Párraga, «Estudio técnico y operacional en una asociación de productores de sal del Ecuador, Manta 2020,» *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.*, vol. 18, n° Edición Especial, pp. 1-18, 11 Marzo 2021.
- [23] L. Z. J. & L. H. Wang, «Purification of reagent-grade sodium chloride by simple distillation and ion exchange membranes,» *Separation and Purification Technology*, vol. 116827, p. 243, 2020.
- [24] C. F. d. l. E. Unidos, «USP,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.usp.org/espanol/productos/estandares-de-referencia>. [Último acceso: 2023].
- [25] C. d. C. Alimentarius, «Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Organización Mundial de la Salud (OMS),» *Codex Alimentarius*, 2024. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/>. [Último acceso: 2022].
- [26] S. E. d. Normalización, «Servicio Ecuatoriano de Normalización,» INEN 1234, 2018. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/>.