
Experimento mundial para el Año Internacional de la Química

Agua salada

Se ofrece aquí una descripción del **ejercicio sobre el agua salada**, en el contexto del Experimento Mundial que se está realizando durante el Año Internacional de la Química, 2011.

La mayor parte del agua de la Tierra es una solución de diversas sales. En este ejercicio, los alumnos podrán medir la salinidad de una muestra de agua salada. Con esta práctica aprenderán a conocer la naturaleza de las soluciones, y en particular la composición del agua de mar. Los resultados de sus análisis serán enviados a la base de datos del Experimento Mundial, contribuyendo así a una encuesta mundial sobre la salinidad.

El ejercicio puede realizarse como uno de los componentes del Experimento Mundial, o como práctica individual, que permitiría a los alumnos participar en el Año Internacional de la Química.

Índice

- Instrucciones para enviar los resultados a la base de datos mundial
- Instrucciones para realizar el ejercicio
- Hoja de resultados
- Hoja de resultados de la clase
- Notas para el profesor
- Resultados de la muestra

Envío de resultados a la base de datos mundial

Se enviará a la base de datos la información siguiente. Si los datos sobre la escuela y su ubicación han sido ya enviados en relación con otro de los ejercicios, los resultados deberán quedar vinculados al envío anterior.

Fecha de la toma: _____

Tipo de agua: _____ (agua corriente, de río, de mar, etc.)

Nombre de archivo del diagrama: _____

Nombre de archivo de la foto: _____

Eficacia del alambique: _____

Número de alumnos participantes: _____

Número de registro de la escuela/clase: _____

Investigación sobre el agua salada

El agua desempeña un papel especial en nuestras vidas. Es enormemente abundante (aproximadamente un 70% de la Tierra está cubierto por ella), y más de la mitad de nuestro propio peso es agua. En este ejercicio estudiaremos una propiedad del agua que le confiere una gran importancia: su capacidad para disolver sustancias muy diferentes. Muchas de ellas, como el azúcar o la sal, dan la impresión de desaparecer cuando se disuelven en agua, pero las apariencias engañan, y pueden ser recuperadas evaporando el agua de la solución.

En este ejercicio haremos uso de esa propiedad para medir la cantidad de sal presente en cierta muestra de agua natural. Los químicos miden la cantidad de casi todas las sustancias contenidas en las muestras de agua, y esa información nos permite comprender los procesos naturales y mantenernos sanos y a salvo de peligros.

Método - Medición de la salinidad en términos de masa

1. Obtener una muestra (no menos de 100 mL) de agua de mar, o de otro tipo de agua que contenga suficiente sal.

(La muestra podría ser la misma que la utilizada para analizar el pH en el “Ejercicio sobre el agua de nuestro planeta”).

2. Pesa el platillo con la mayor exactitud posible y anota el valor obtenido, mD, en la hoja de resultados.
3. Mide con la mayor precisión posible 100 mL de agua aproximadamente, y deposita ese volumen, VW, sobre el plato
4. Mide el peso, mD+W, del plato con el agua.

Equipo

- Plato de vidrio o de plástico poco profundo, o placa de Petri (preferiblemente despejado, para que la sal se vea fácilmente)
- Material para cubrir el plato de modo que circule el aire
- Jarra o cilindro graduado
- Balanza capaz de pesar hasta 0,1 g y en la que sea posible pesar el plato y el agua (véase el método)

Evapora el agua utilizando UNO DE ESTOS DOS métodos:

5. **Evaporación solar:** Coloca el plato al sol y, si fuera necesario protegerlo del polvo, cúbrelo con un material transparente que deje correr el aire. La evaporación puede durar un día o más, por lo que convendrá echar un vistazo de vez en cuando.
6. **Evaporación en placa caliente:** Calienta una placa a 80°C aproximadamente, y coloca el plato sobre ella. Vigila el proceso de vez en cuando, para evitar que el agua salpique al hervir.

Comprobación de punto seco - Haz esta comprobación para asegurarte de que la muestra está seca. El proceso se llama “secado hasta peso constante”.

7. Pesa el plato con la sal, y anota el valor obtenido en la hoja de resultados.
8. Coloca de nuevo el plato al sol, o sobre la placa caliente, y aguarda de 15 a 30 minutos.
9. Déjalo enfriar y pésalo de nuevo, anotando el resultado.
10. Si el peso obtenido la segunda vez es menor que el primero, repite el proceso una vez más y anota los resultados.
11. Repítelo las veces que sean necesarias hasta que el peso no varíe.
12. El peso final será la masa del plato con la sal, mD+S.

Cálculo de la salinidad

13. Calcula en primer lugar la cantidad de sal restando del valor que hayas obtenido la masa inicial del plato, mediante la fórmula:

$$\textit{masa de sal} \qquad m_S = m_{D+S} + m_D \quad (\text{g})$$

14. Calcula ahora la masa de agua salada del experimento:

$$\textit{masa de agua salada}$$

15. Por último, calcula la salinidad utilizando la fórmula:

$$\textit{salinidad absoluta} \qquad S = \frac{m_S}{m_{SW}} \times 1000 \quad (\text{g/kg})$$

Éste será el valor que comunicarás a tu profesor para contribuir al promedio de toda la clase, que será incorporado a la base de datos mundial.

Ejercicio opcional - Medición de la salinidad de otras muestras

Si haces esta prueba también con otras muestras, repite el procedimiento para medir la salinidad de cada una de ellas.

Ejercicio opcional - Medición de la salinidad utilizando un medidor de conductividad

Si dispones de un medidor de conductividad, podrás utilizarlo para obtener una medición complementaria de la salinidad. Pregúntale a tu profesor.

Hoja de resultados

Anota en la tabla siguiente los resultados del análisis de salinidad, y responde a las preguntas que figuran a continuación:

	Muestra de agua salada	Otra muestra (opcional)
Masa del plato mD (g)		
Volumen de agua salada VSW (mL)		
Masa del plato con la muestra de agua mD+SW (g)		

Secado hasta peso constante

Masa de del plato con la sal - primera prueba (g)		
Masa del plato con la sal - segunda prueba (g)		
Masa del plato con la sal - tercera prueba (g)		
Masa final del plato con la sal mD+S (g)		

Cálculo

Masa de sal (g)		
Masa de agua salada (g)		
Salinidad absoluta (g/kg)		
Densidad (g/mL)		

Opcional - Prueba de conductividad

Salinidad a partir de la conductividad (usp)		
--	--	--

Pregunta 1

Examina el plato que contiene la sal y busca en él la presencia de cristales. Los cristales brillan bajo la luz, porque tienen superficies planas que la reflejan cuando son suficientemente grandes. Generalmente, será más fácil ver los cristales con una lupa o un microscopio simple.

Describe el aspecto de la sal en el plato.

Pregunta 2

Compara el valor de la salinidad de la muestra con el promedio de la clase. ¿Puedes explicar alguno de los factores que han contribuido a la diferencia entre esos valores?

Pregunta 3

Si tu muestra era de agua de mar, compara el promedio de la clase con el valor normal, que en el agua de mar es el 3,5% de sal en peso. Indica a qué puede deberse el que el valor de la clase sea diferente del promedio.

(Si has estudiado un tipo de agua diferente, averigua los valores habituales y comenta la relación entre esos valores y los que tú has obtenido).

Pregunta 4

Cuando nadas en agua salada, ¿en qué notas que es más densa que el agua pura, cuya densidad es ligeramente inferior a 1 g/mL a 20°C?

Hoja de resultados de la clase

Anota los valores absolutos del promedio de salinidad de todos los alumnos respecto de la muestra de agua que has analizado para el Experimento Mundial (y, en su caso, respecto de otras muestras de agua - consulta las notas del profesor). Anota los datos suplementarios para enviarlos a la base de datos del Experimento Mundial.

Grupo	Muestra de agua salada	(Opcional) Otras muestras analizadas por la clase				
		A	B	C	D	E
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
Promedio						

- Lugar de obtención de la muestra: _____
- Tipo de agua: _____
- Fecha de la toma: _____
- Temperatura: _____
- Número de alumnos participantes: _____

Notas del profesor

Instrucciones para realizar el ejercicio

Las notas siguientes tienen por objeto ayudar a los profesores a dirigir el ejercicio sobre el agua salada. Convendría realizarlo conjuntamente con los demás ejercicios del Experimento Mundial, utilizando recursos locales, a fin de que los estudiantes aprendan a conocer el agua, su química y el papel esencial que desempeñan en nuestras vidas y en nuestro planeta. El ejercicio, no obstante, será también útil por sí solo, ya que dará a los alumnos la oportunidad de colaborar con colegas de otros lugares del mundo.

El ejercicio invita a los estudiantes a explorar la naturaleza de las soluciones centrándose en las sustancias disueltas: los solutos. Tanto en este ejercicio como en el del alambique solar, utilizarán el proceso de evaporación para separar los componentes de la solución. Siempre que sea posible, utilizarán agua del mar o algún otro tipo de agua salada natural, y medirán la cantidad de sal presente en el agua, es decir, su salinidad.

Elementos didácticos

Durante el ejercicio, los estudiantes:

- Explorarán las propiedades de las soluciones acuosas que contienen sales.
- Se servirán del proceso de evaporación para extraer las sales de la solución.
- Medirán la concentración de sales en una muestra de agua, para medir la salinidad y el proceso de cristalización.
- (Opcional) Explorarán otros métodos para medir la salinidad y el proceso de cristalización.

Planificación del ejercicio

El trabajo en grupos de dos suele ser un buen método para realizar este tipo de ejercicios, ya que reduce a la mitad el número de instrumentos necesarios y fomenta la ayuda recíproca entre los alumnos. El ejercicio puede realizarse durante un periodo de 1 a 2 horas si se utiliza una fuente de calor (por ejemplo, una placa caliente), o durante más de dos días si se utiliza el calor del sol para evaporar el agua.

A la hora de escoger los platos para la evaporación, aquellos que tengan mayor diámetro permitirán que el agua se evapore más rápidamente. Una placa de Petri de 15 cm de diámetro o un plato similar podrían servir. Asegúrate de que será posible medir el plato con el agua en la balanza. Cuanta más agua se utilice más precisa será la medición, pero también tardará más tiempo en evaporarse.

Realización del ejercicio

El ejercicio está estructurado en tres partes:

- En una primera etapa, los alumnos preparan el experimento, miden la masa del plato que van a utilizar, el volumen del agua salada que vierten sobre él y la masa del plato con el agua añadida. Si se desea mejorar la precisión, habrá que medir el mismo valor varias veces y ensayar previamente el vertido del agua para reducir al mínimo las pérdidas.
- El tiempo necesario para la evaporación dependerá fundamentalmente de las condiciones locales. Una prueba previa para comprobar la duración del experimento será útil para facilitar su realización.

Uno de los principales errores de medición puede deberse a que la muestra no esté completamente seca, aunque lo parezca. Por ello, se recomienda utilizar el método analítico habitual de secado hasta peso constante. Su utilización permitirá a los alumnos familiarizarse con el rigor necesario para obtener buenos resultados. Sin embargo, los estudiantes más jóvenes podrían tener dificultades, que podrán ser evitadas verificando previamente el tiempo necesario para secar completamente la muestra.

- La tercera parte consiste en efectuar el cálculo. El método aquí indicado está pensado para alumnos de enseñanza primaria y primer grado de enseñanza media, por lo que habría que adaptarlo para otros grupos. Normalmente, es recomendable repetir las mediciones para comprobar la calidad de los resultados, pero en este caso el procedimiento podría resultar tedioso, por lo que se sustituirá la repetición por la promediación de todos los resultados de la clase. Además, de ese modo todos los alumnos contribuirán al resultado que se envíe a la base de datos del Experimento Mundial.

Muestras de agua

Las muestras de agua de mar son particularmente adecuadas para este ejercicio, ya que la cantidad de sal que contienen es fácil de medir y se cifra en torno al 3,5%, de modo que los alumnos que utilicen muestras de 100 mL medirán unas masas de sal comprendidas entre 3 y 4 g. Serán apropiadas las muestras obtenidas del mar o de un estuario.

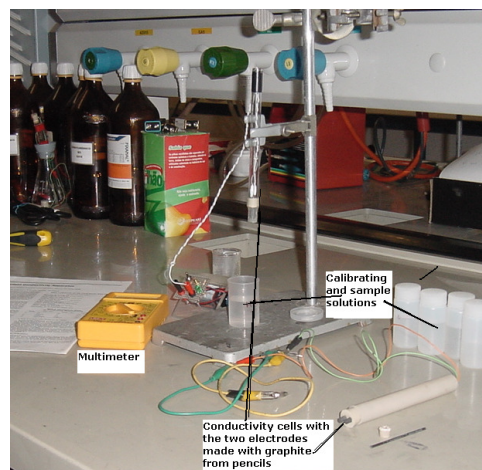
Las muestras de agua dulce tendrán un contenido de sal mucho menor. En tales casos, sería conveniente preparar un agua de mar "sintética" con 35 g de sal de mesa (cloruro de sodio) por cada litro de agua. Así, los alumnos podrán ensayar este método con el agua sintética antes de proceder a medir la muestra de agua local.

Filtrado: Cuando el agua contenga partículas visibles en suspensión, se recomienda filtrarla antes de su evaporación.

Ejercicios opcionales

Otras muestras de agua

Los alumnos podrán explorar la salinidad de otras muestras de agua para apreciar hasta qué punto varía la salinidad en diferentes líquidos de uso común, como las soluciones salinas utilizadas normalmente en medicina. Podría sugerirse a los alumnos que obtuvieran muestras de soluciones de uso común para efectuar esta práctica, en cuyo caso podrían analizar muestras diferentes y la clase tendría diversas soluciones para sacar conclusiones. (En cualquier caso, convendrá averiguar si las muestras contienen cantidades apreciables de sustancias disueltas que no sean sales).



Medición de la salinidad mediante un medidor de conductividad eléctrica

Si la escuela dispone de medidores de conductividad, los alumnos podrán obtener una serie diferente de datos de salinidad para compararla con el experimento de evaporación.

Con el material habitual en los laboratorios es fácil fabricar un medidor de conductividad cualitativo simple que permita verificar que las soluciones salinas conducen la electricidad, y que la corriente es proporcional a la concentración de sal.

Será necesario efectuar una calibración con un agua de mar de salinidad conocida o con una solución equivalente de cloruro de potasio. El valor estimado será, por consiguiente, relativo, y la

salinidad estará expresada en unidades de salinidad prácticas (USP), sin dimensiones.

Niveles didácticos

Enseñanza primaria

En las escuelas de enseñanza primaria, este ejercicio constituirá una excelente oportunidad para que los alumnos utilicen un equipo sencillo y aprendan a registrar los resultados de sus observaciones. Los cálculos deberán estar presentados de manera apropiada, según el tipo de clase.

La calidad y la disponibilidad del agua son dos de las ideas químicas importantes, que deberán estar fundamentadas en las experiencias de los alumnos con el agua potable y con las enfermedades transmitidas por el agua.

El ejercicio ayudará a los estudiantes a aprender que el agua limpia puede contener diversas sustancias útiles o nocivas en diferentes concentraciones, que pueden ser separadas utilizando los medios apropiados.

Además, tendrán la oportunidad de conocer los cambios de estado que se manifiestan en la naturaleza y de identificar procesos tales como la evaporación o la cristalización. El ejercicio ofrece también la oportunidad de tener presentes los recursos minerales que es posible obtener de los sistemas acuáticos.

Enseñanza media de primer grado

Además de los elementos didácticos indicados para la enseñanza primaria, los alumnos tendrán ocasión de utilizar sus conocimientos de álgebra para realizar los cálculos, y de explorar la proporcionalidad del volumen y de la masa para determinar las concentraciones y densidades.

El tema es también apropiado para explicar las unidades de medida del Sistema Internacional, como medio para expresar las distintas magnitudes.

Convendrá abordar los conceptos de sustancia soluble e insoluble, solución y solubilidad. Se estudiará también el proceso de formación de cristales. La práctica podrá ampliarse con una segunda disolución seguida de una nueva cristalización, como ejercicio opcional en torno al crecimiento de los cristales.

Sería conveniente analizar también los cambios de estado desde el punto de vista de la teoría de partículas, y en relación con los conceptos de calor, temperatura y presión de vapor.

Enseñanza media de segundo grado

El método cuantitativo permitirá a los estudiantes explorar los órdenes de magnitud representativos de las magnitudes medidas y calculadas.

El ejercicio podrá ser ampliado para abordar la identificación química de algunas de las especies presentes en la solución (por ejemplo, el cloruro de sodio) mediante la formulación de algunas reacciones químicas simples.

Sería conveniente introducir los conceptos de cantidad de sustancia, concentración y coeficiente estequiométrico, así como practicar el enunciado de fórmulas químicas y de ecuaciones químicas.

Se recomienda particularmente utilizar medidores de conductividad eléctrica para ilustrar diferentes métodos alternativos para la obtención de datos cuantitativos.

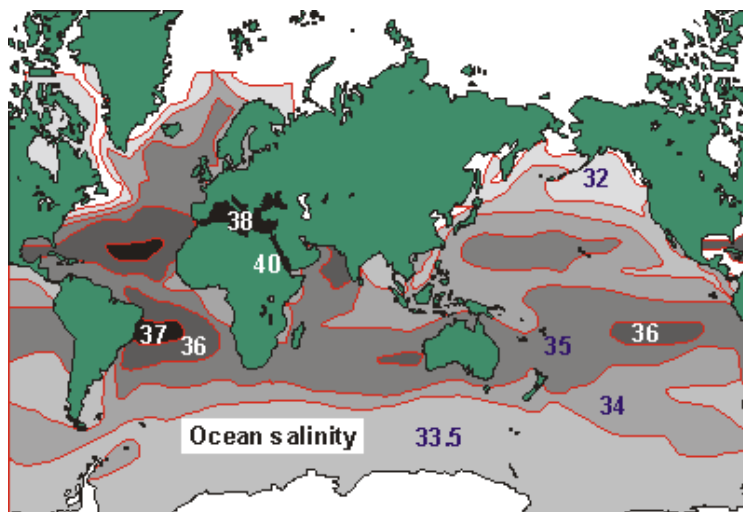
Información básica

El océano en su estado natural es salino, y contiene aproximadamente un 3,5% de sal. La **salinidad** refleja la proporción de sales disueltas en el agua, es decir, la cantidad de sales (en gramos) disueltas en 1.000 gramos (1 kilogramo). Este valor es la **salinidad absoluta, S** (g/kg) del agua de mar. Se utiliza también el símbolo ‰ (partes por millar).

La composición del agua de mar es bastante compleja, ya que contiene diversas sales en cantidades importantes. Todas las sales están constituidas por iones (por ejemplo, los iones sodio y cloruro en el cloruro de sodio). En el agua, todos los iones se separan, por lo que todos ellos existen de manera independiente en el agua de mar (Tabla 1).

Tabla 1 Concentraciones típicas de iones en el agua de mar

ión	g/kg
Cloruro Cl ⁻¹	19.345
Sodio Na ⁺¹	10.752
Sulfato SO ₄ ⁻²	2.701
Magnesio Mg ⁺²	1.295
Calcio Ca ⁺²	0.416
Potasio K ⁺¹	0.390
Bicarbonato HCO ₃ ⁻¹	0.145
Bromuro Br ⁻¹	0.066
Borato BO ₃ ⁻³	0.027
Estroncio Sr ⁺²	0.013
Fluoruro F ⁻¹	0.001



Métodos para medir la salinidad

El primer método recomendado para medir la salinidad fue el método químico Knudsen-Mohr, basado en un análisis volumétrico de los iones cloruro, Cl⁻, bromuro, Br⁻ y yoduro, I⁻. El método consiste en precipitar los iones con nitrato de plata, AgNO₃ (aq). Seguidamente, se mide la masa del precipitado y se calcula la concentración del ión cloruro.

La primera ecuación empírica que convierte este valor de clorinidad (Cl ‰) en salinidad absoluta, S ‰, data de 1902: $S = 0,03 + 1,805 (Cl)$. Sin embargo, si la clorinidad fuera igual a cero la salinidad no sería también cero, lo cual contradice el principio de las proporciones constantes. Para eliminar esta contradicción, la UNESCO propuso en 1969 una nueva relación: $S = 1,80655 (Cl)$. Una salinidad de 35 ‰ corresponde a una clorinidad de 19,374 ‰.

La conductividad eléctrica del agua puede servir también como indicador de su composición iónica y, por consiguiente, de su salinidad. El método instrumental está basado en una comparación de las conductividades de la muestra de agua y de los patrones de conductividad, presuponiendo una relación proporcional entre la conductividad y la salinidad. Como patrones de conductividad se utilizan soluciones de cloruro de potasio, KCl (aq).

En 1978, los oceanógrafos redefinieron la salinidad en términos de unidades de salinidad prácticas (usp), que miden el cociente del valor de conductividad de una muestra de agua de mar con respecto a una solución de KCl de referencia. Los cocientes no tienen unidades, por lo que el valor 35 equivale a 35 ‰. Se han determinado tipos de agua salina de conductividad conocida para utilizarlos como patrones de referencia en la calibración de salinómetros, que son medidores de conductividad especialmente diseñados para estimar la salinidad del agua de mar.

La determinación de valores de salinidad de alta calidad ha adquirido una gran importancia e interés a nivel mundial, debido al importante papel desempeñado por la salinidad en relación con los actuales problemas del medio ambiente por efecto del cambio climático mundial.

Resultados de la muestra - Hoja de resultados

Anota en la tabla siguiente los resultados del análisis de salinidad y, seguidamente, responde a las preguntas enunciadas a continuación:

	Muestra de agua salada	Salina normal
Masa del plato mD (g)	73.2	74.5
Volumen de agua salada VSW (mL)	102	97
Masa del plato con la muestra de agua mD+SW (g)	178.5	172.1

Secado hasta peso constante

Masa del plato con la sal - primera prueba (g)	78.5	75.7
Masa del plato con la sal - segunda prueba (g)	77.0	75.7
Masa del plato con la sal - tercera prueba (g)	77.0	
Masa final del plato con las sales mD+S (g)	77.0	75.7

Cálculos

Masa de la sal (g)	3.8	1.2
Masa del agua salada (g)	105.3	97.6
Salinidad absoluta (g/kg)	36	12
Densidad (g/mL)	1.03	1.01

Opcional - Prueba de conductividad

Salinidad a partir de la conductividad (usp)		
--	--	--

Pregunta 1

Examina el plato que contiene la sal y trata de averiguar si contiene cristales. Los cristales brillan bajo la luz, ya que tienen facetas que la reflejan cuando son suficientemente grandes. Será más fácil apreciar los cristales con una lupa o un microscopio simple.

Describe el aspecto de la sal en el plato.

La mayor parte del material que había en el plato era pulverulento y ligeramente marrón. En el centro del plato, una parte del material contenía partículas más grandes que brillaban al iluminarlas con una lámpara.

Pregunta 2

Compara el valor de la salinidad de tu muestra con el promedio de la clase. ¿Puedes explicar a qué se debe la diferencia entre esos dos valores?

El promedio de la clase para la muestra de agua salada era de 36,7 g/kg, ligeramente superior a nuestro valor. Sin embargo, muchos otros grupos obtuvieron cifras menos aproximadas.

Pregunta 3

Si has estado analizando una muestra de agua de mar, compara el promedio de la clase con el valor habitual del agua de mar, que es de 3,5% de sal en peso. Señala a qué podría deberse la diferencia de tu valor con respecto al promedio.

(Si has estado estudiando un tipo de agua diferente, averigua los valores habituales y comenta la relación entre ellos y tu medición).

El valor obtenido por nuestra clase indicaba que la salinidad era muy cercana al valor normal del agua de mar. La cifra obtenida era un poco más alta porque la muestra había sido tomada de una masa de agua poco profunda y a alta temperatura, por lo que se había evaporado más agua de ella.

Pregunta 4

Cuando nadas en agua salada ¿en qué notas que es más densa que el agua pura (que tiene una densidad ligeramente inferior a 1 g/mL a 20°C)?

Lo noto en que floto más en el mar que en el agua dulce.