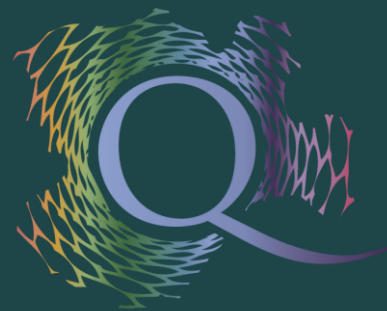
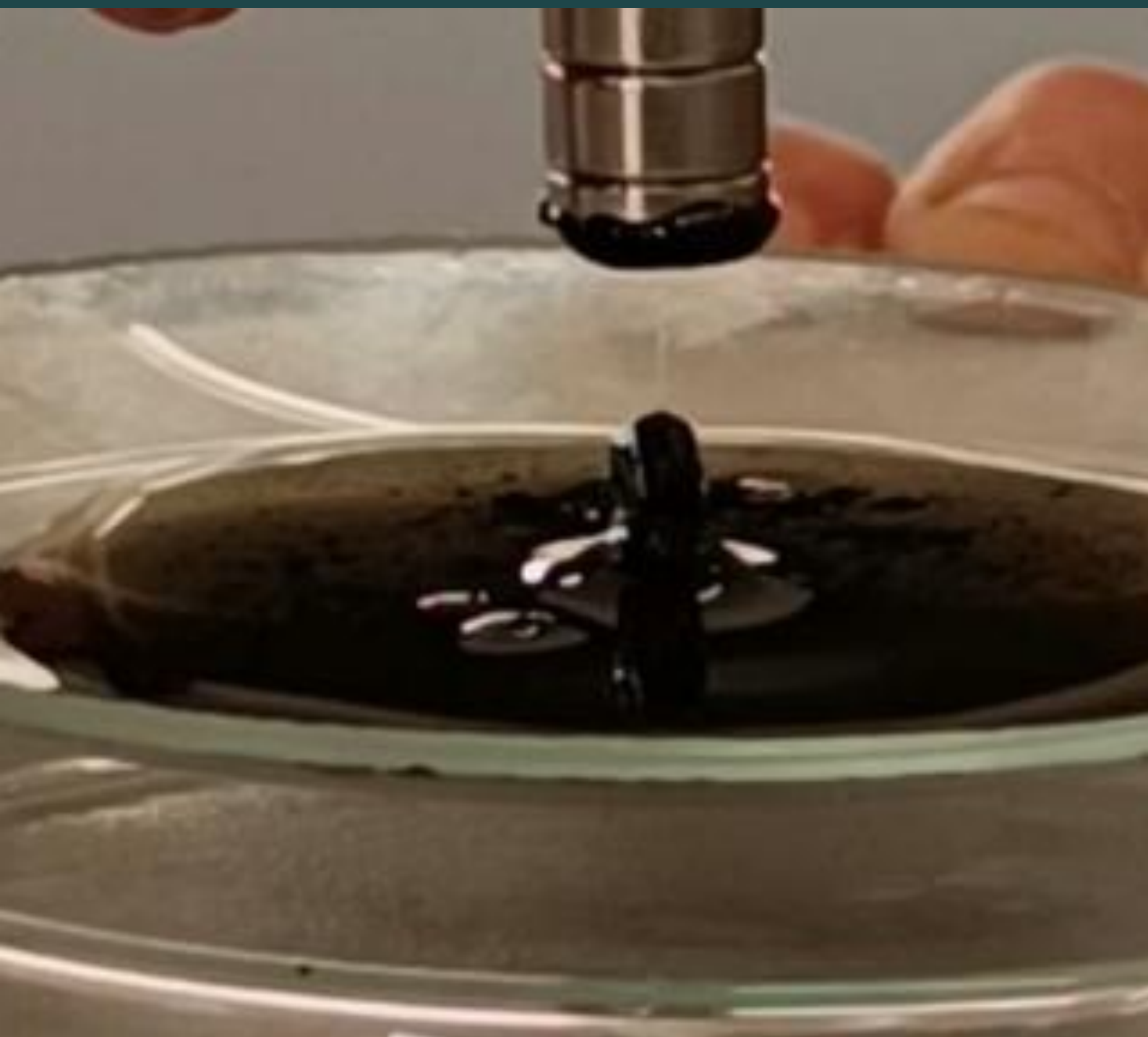


**REVISTA  
INVESTIGACIÓN  
QUÍMICA  
VICENTE GARRIDO CAPA**



**AQCyL**

ASOCIACIÓN DE QUÍMICOS DE CASTILLA Y LEÓN



*Revista nº 10 2025*

***Ferrofluido estabilizado e interacción con imanes de neodimio.***

*El arte contemporáneo como vehículo para indagar en el estudio, la síntesis y las aplicaciones de los ferrofluidos\**

*Jimena Carbayo, Yaiza García y Sara Hernández (4º ESO)*

*Profesor Carlos Javier Fernández Herrero*

*IES Venancio Blanco. Salamanca (Salamanca)*

# Índice

---

	Página
<b>Editorial</b>	5
<b>Efectos del aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico sobre los océanos</b>	7
Raquel Vázquez y Victoria Lera (2º Bachillerato) Profesor Jesús Pérez Fernández IES Octaviano Andrés, Valderas (León)	
<b>El arte contemporáneo como vehículo para indagar en el estudio, la síntesis y las aplicaciones de los ferrofluidos*</b>	15
Jimena Carbayo, Yaiza García y Sara Hernández (4º de ESO) Profesor Carlos Javier Fernández Herrero IES Venancio Blanco. Salamanca (Salamanca)	
<b>El poder de la col lombarda como indicador natural de pH</b>	27
Claudia Murillo, Pau Muñoz e Irene Río (1º Bachillerato) Profesora Ana Álvarez Díez Colegio Marista Liceo Castilla, Burgos (Burgos)	
<b>Los retos de la sequía en el futuro. Estudio de las plantas regadas con agua desalada a través de una desalinizadora solar**</b>	37
Lucía Corral y Clara Ovalle (2º Bachillerato) Profesora Alba Brasa Marqués IES Gil y Carrasco, Ponferrada (León)	
<b>Polímeros de alta cocina</b>	54
Sarai Ortega y Paula Santamaría (4º de ESO) Profesor Fernando Martínez Lara IES Valle de Arlanza. Lerma (Burgos)	
<b>¿Por qué es peligroso estar en el mar cuando hay una tormenta eléctrica?</b>	59
Laura Liaño, Maia Diego y Marta García (4º de ESO) Profesora Helena Roncero Alonso Colegio La Enseñanza. Valladolid (Valladolid)	

*\*Proyecto ganador categoría A (3º y 4º ESO, y FP Medio)*

*\*\*Proyecto ganador categoría B (Bachillerato, y FP Superior)*

# Número 10. Noviembre 2025

Asociación de Químicos de Castilla y León

C/ Ancha 13, 1º, oficina 6. 24003 LEÓN (ESPAÑA)

<http://www.quimicoscyl.org>

---

Revista Investigación Química Vicente Garrido Capa 10. Noviembre 2025  
ISSN: 2660-514

# Editorial

---

*“La ciencia no es más que un refinamiento del pensamiento cotidiano”*

*(Albert Einstein)*

La investigación escolar representa una oportunidad única para que los estudiantes desarrollen actividades trascendentales en el aula. En esta nueva edición de la revista se recoge el fruto del trabajo riguroso, la observación meticulosa y la creatividad aplicada por nuestros adolescentes motivados, en muchos casos por docentes vocacionales, en la exploración del mundo a través de la mirada científica. Las cuestiones que abordan los diferentes proyectos reflejan sus inquietudes por comprender su entorno y los problemas reales actuales.

**La revista de Investigación Química “Vicente Garrido Capa”** es una revista digital, editada por la Asociación de Químicos de Castilla y León (AQCyL), dirigida principalmente a alumnos y profesores de enseñanza medias. La revista está destinada a publicar los mejores trabajos de investigación presentados al CONCURSO DE INVESTIGACIÓN QUÍMICA “VICENTE GARRIDO CAPA” que se convoca cada año. Esta iniciativa es promovida por AQCyL en colaboración con la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León.

Esta publicación nació con el ánimo de constituir una plataforma de transmisión de la investigación científica que se realiza en los Centros Educativos, un medio propicio para la difusión, consolidación y desarrollo de nuevas ideas e iniciativas.

El principal objetivo del CONCURSO DE INVESTIGACIÓN QUÍMICA “VICENTE GARRIDO CAPA” es despertar la vocación Investigadora, la curiosidad, la creatividad y la capacidad de innovación en los jóvenes estudiantes. El concurso pretende ser también un aliciente para los docentes, pues pone de manifiesto que los conocimientos científicos se pueden comunicar de forma distinta, promover una mayor relación profesor-alumno, y divulgar todos aquellos aspectos relacionados con la química, sobre todo su enorme aplicabilidad en el día a día de cada individuo.

A la convocatoria de la X edición del CONCURSO DE INVESTIGACIÓN QUÍMICA “VICENTE GARRIDO CAPA” (curso académico 2023-2024) concurrieron 14 trabajos, con una participación de 39 estudiantes procedentes de cuatro de las nueve provincias de nuestra Comunidad Autónoma. La provincia con mayor participación fue Valladolid, seguida de León, Burgos y Salamanca. El porcentaje de trabajos de investigación correspondieron mayoritariamente a los cursos de 4º de Educación Secundaria y 2º de Bachillerato, con un 100% y 66%, respectivamente. A diferencia de la edición anterior, no se presentaron ningún trabajo de Formación Profesional. Participaron un total de 6 centros educativos. Esta edición recoge los 6 mejores trabajos valorados positivamente por el jurado.

Por último, la Asociación agradece a Vicente Garrido Capa su colaboración y apoyo desinteresado año tras año. Su nombre está indisolublemente unido a la química de nuestra Comunidad, como fundador de Lingotes Especiales, S.A., referente mundial en la fabricación de piezas de hierro para la automoción y por su talla humana, ejemplo de vida para nuestros jóvenes.

Aprovecho esta editorial para agradecer a profesores, alumnos, centros educativos, Junta de Castilla y León y jurado, por su implicación en este proyecto. A Mila Blanco, secretaria técnica de AQCyL, por la confección de la revista de Investigación Química **“Vicente Garrido Capa”**

Raquel Fernández Blanco  
*Presidenta de la Sección Técnica de Enseñanza de AQCyL*

# Efectos del aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico sobre los océanos\*

*Raquel Vázquez y Victoria Lera (2º Bachillerato)*

*Profesor Jesús Pérez Fernández*

*IES Octaviano Andrés, Valderas (León)*

Se pretende demostrar cómo el aumento de la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera, debido al consumo de combustibles fósiles, está empezando a afectar a nuestros mares y océanos y a la vida marina de numerosos organismos vivos. Tales son los corales y otros, que presentan un caparazón protector constituido por carbonato de calcio. Dado que está disminuyendo el pH del agua marina, como consecuencia de la disolución de dicho CO<sub>2</sub> atmosférico y a su consiguiente reacción con el agua.

## 1. Introducción

Las alumnas de 2º Bachillerato realizaron diferentes investigaciones sencillas sobre la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera actual y su evolución en los últimos años, el pH natural del agua en océanos y en mares, la concentración de sal marina en los mismos, la reacción necesaria para producir CO<sub>2</sub> a partir de sustancias no tóxicas y asequibles como lo son el ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) de un vinagre comercial y bicarbonato sódico y el efecto de la disminución del pH de los mares y océanos en el mantenimiento y formación de esqueletos de diferentes seres vivos marinos.

Revista Investigación Química VGC 10, 7 - 14  
ISSN: 2660-5147

Las fases del proyecto se dirigieron con un objetivo claro, que no fue otro sino observar los efectos de un aumento de la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico en la vida de las distintas especies marinas que poseen una capa protectora

calcárea, como son los moluscos y crustáceos, el zooplancton en general y los corales, a través del estudio del efecto de la disminución del pH del agua marina, en la cantidad de iones carbonato disponibles para la formación de las conchas de dichas especies marinas.

## 2. Metodología

Las principales fases de este proyecto consistieron en:

- Conocer los distintos efectos de la presión parcial de un gas en su solubilidad; la disolución del CO<sub>2</sub> en el agua y su reacción química con el agua para formar iones hidrogenocarbonato y carbonato y, por último, conocer las fuentes más importantes causantes del aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera terrestre.
- Estudiar la concentración de sal en el mar; la evolución de la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico con el fin de reproducir atmósferas

con distintas concentraciones de CO<sub>2</sub> en el laboratorio.

- Investigar la composición de las conchas de moluscos, crustáceos y la estructura química de los corales; la escala de pH y las reacciones de solubilización de carbonatos, para comprobar el efecto de la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico en el pH del agua de mar y por lo tanto en la solubilización de los caparzones protectores de dichas especies marinas.
- Encontrar un método sencillo para reproducir atmósferas terrestres con diferentes concentraciones de CO<sub>2</sub>, en contacto con agua marina, para así reproducir el efecto de un aumento progresivo de la cantidad de dióxido de carbono en nuestra atmósfera terrestre, que fuese sencillo de poner en práctica en el laboratorio, con los medios básicos de los que disponíamos.
- Establecer una batería de pruebas a las que someter a unas conchas marinas de almejas, para comprobar el efecto de la disminución del pH y por lo tanto de la disponibilidad de los iones carbonato, en la disolución de estas, de cara a relacionar dicho efecto con el mantenimiento y crecimiento de especies marinas cuya protección depende de una capa de carbonato de calcio.
- Extraer una serie de conclusiones e ideas para su posible comunicación en el centro, de cara a concienciar a nuestros compañeros sobre el efecto del aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> originado por la acción del hombre, debido al consumo de combustibles fósiles.

### 3. Marco teórico

Hasta hace bien poco solo nos deteníamos a pensar en el CO<sub>2</sub> como una fuente de gases de efecto invernadero y por lo tanto en un problema de cambio climático, pero por desgracia debemos no solo mirar al cielo, sino a nuestros mares y océanos, que también están sufriendo una enfermedad silenciosa, que no es otra si no la acidificación de estos, debido a la mayor cantidad

de CO<sub>2</sub> disponible en la atmósfera para disolverse en el agua de nuestros mares y océanos.

Nos enfrentamos a un problema que no solo va a afectar económicamente a miles de personas que basan su sustento en la pesca comercial, sino en la propia vida de cientos de especies marinas que se verán y de hecho ya se están viendo afectadas por la acidificación de las aguas marinas.

Una acidificación que se traduce en una menor disponibilidad de iones carbonato para la formación de conchas y esqueletos de especies marinas que son la base alimentaria de otras especies, de modo que el efecto de la disminución del pH del agua genera un efecto dominó en el resto de los organismos marinos y por lo tanto en la riqueza y biodiversidad de nuestros mares.

Se estima que los océanos están absorbiendo aproximadamente, un tercio de todo el CO<sub>2</sub> de origen antrópico, de modo que cuando esto sucede, las moléculas de CO<sub>2</sub> atmosférico se disuelven y reaccionan con moléculas de agua del mar, dando lugar a un ácido, el ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

El ácido carbónico, como buen ácido débil, establece un equilibrio con los iones hidrogenocarbonato y los iones H<sup>+</sup>, liberando así esos protones, que son los responsables de la disminución del pH del medio en que se disuelve.

Esta acidificación del agua no solo juega un papel crucial en la disponibilidad de iones carbonato accesibles para la creación de estructuras vitales de cientos de especies marinas como los corales, sino que afectan a distintos procesos biológicos.

El carbonato de calcio es crucial para cientos de especies que necesitan calcio para construir y mantener sus esqueletos y conchas marinas en especies tan importantes como ciertos tipos de plancton.

Una disminución de la disponibilidad de carbonato de calcio influye por tanto en la cadena trófica de mares y océanos y no solo eso, si no que afecta a estructuras como los corales, que albergan y son refugio de una gran biodiversidad de especies marinas.

Luego los corales no solo se están viendo afectados por el calentamiento global, sino por el silencioso efecto de la disminución del pH del agua marina.

Se estima que tres mil millones de personas que dependen de los recursos marítimos, se verán afectadas por la pérdida de biodiversidad marina. Del mismo modo se estiman pérdidas millonarias por parte de la industria pesquera mundial.

Desde aproximadamente 1990, el pH de nuestros mares se ha venido acidificando, pero este fenómeno se ha venido incrementando debido a que el volumen de CO<sub>2</sub> atmosférico ha aumentado en torno a un 50% desde la revolución industrial.

El pH representa el grado de acidez o alcalinidad de cualquier disolución acuosa, de hecho, nos da una medida directa de la concentración de iones H<sup>+</sup> y por lo tanto de iones hidróxido (OH<sup>-</sup>) en una disolución a través de una escala logarítmica de 0 a 14, siendo 0 una disolución muy ácida con una concentración de iones H<sup>+</sup> de 1 M y en el otro extremo de la escala tenemos una concentración de iones H<sup>+</sup> de 1.10<sup>-14</sup> M.

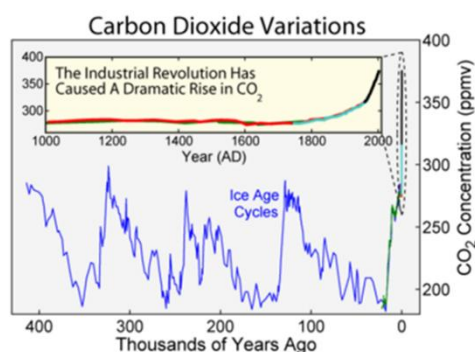
Así pues, el agua de mar tiende a ser ligeramente alcalina, de hecho, el rango de valores del pH del agua de mar oscila entre 7,5 y 8,4, siendo el valor promedio de 8,1. Según las previsiones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), a finales de este siglo, el pH se aproximará a valores de 7,8.

El efecto de la disminución del pH del agua de mar tiene dos efectos, uno sobre la disponibilidad de iones carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) para la formación de conchas y esqueletos marinos y,

por otra parte, supone un factor que favorece la disolución de los carbonatos de calcio de los que están hechos esas esqueletos y conchas marinas.

Todo ello provoca que los seres vivos marinos tendrán grandes dificultades para formar y mantener sus estructuras vitales, lo que reducirá su crecimiento, reproducción y supervivencia. Además, dicha acidificación afectará a numerosos equilibrios y procesos químicos como la fotosíntesis, la respiración de los peces, y un sinnúmero de problemas asociados a ellos.

En la gráfica siguiente se observa el claro impacto de la actividad humana en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, a través de la combustión de combustibles fósiles. En especial queda demostrado, como el inicio de la revolución industrial es el pistoletazo de partida a un aumento de dicha concentración.



Fuente: <https://es.wikipedia.org>

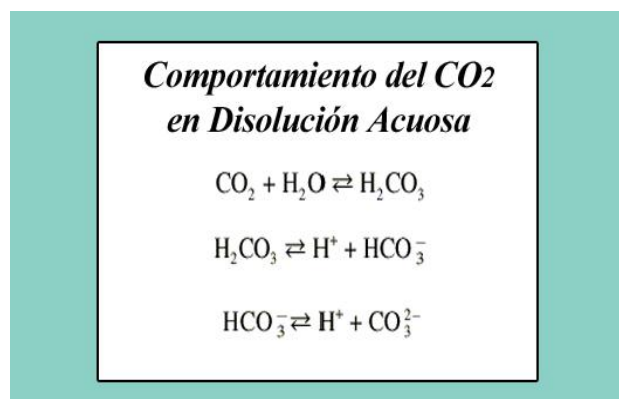
Actualmente la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico ronda los 400 ppm (partes por millón) que equivalen a un 0,04% en volumen, siendo su crecimiento anual de 2 ppm, el cual a su vez está creciendo progresivamente.

#### 4. Formulación de las hipótesis de la investigación

Se pretende demostrar que el aumento de la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico produce una disminución del pH del agua marina a la vez que dificulta la formación y el mantenimiento de la estructura protectora carbonatada de cientos de especies como los corales, crustáceos, moluscos y un largo etcétera de seres marinos

Buscamos en internet las reacciones mediante las cuales el CO2 atmosférico reacciona con el agua y genera ácido carbónico, el cual por sí mismo genera la acidificación de los mares y océanos.

Gracias a ello descubrimos los distintos equilibrios que se establecen:



Fuente: <https://cidta.usal.es>

Posteriormente, estudiamos la escala de pH para comprender mejor su relación con la concentración de iones H<sup>+</sup> y por lo tanto con el grado de acidez de una disolución acuosa. Descubrimos que dicha escala se mueve entre los valores 0 y 14, de modo que mayores concentraciones de iones H<sup>+</sup> determinan disoluciones ácidas y por lo tanto valores bajos en dicha escala de pH, mientras que valores altos de pH suponían disoluciones básicas, reservándose el valor de pH = 7, para disoluciones neutras.

Una vez conocida la escala de pH y como se veía afectado el valor de pH por la disolución del CO<sub>2</sub>, nos quedaba pendiente conocer cuál era la composición de la cubierta protectora de moluscos, crustáceos, etc., para determinar si la misma se podría ver afectada por una disminución del pH del agua marina.

Rápidamente vimos una relación directa entre la composición química de dichas estructuras con la acidificación de los océanos.

Comprobamos que dichas estructuras portantes se basaban en una sustancia muy común en la naturaleza, como lo es el carbonato de calcio. De

hecho, su cristalización en estructuras biológicas está dirigida por procesos bioquímicos en los que se depositan, de forma alternada, cristales de aragonito, calcita o nácar y una matriz orgánica construida a su vez por proteínas, quitina y polisacáridos que representa un volumen inferior al 1% de las conchas de moluscos.

El carbonato de calcio es un compuesto químico que se disuelve fácilmente en un medio ácido, que se puede obtener en el laboratorio a partir del ácido acético presente en el vinagre de nuestras ensaladas.

También nos documentamos sobre la composición actual de la atmósfera terrestre y definimos una concentración base de 400 ppm de CO<sub>2</sub> como referencia para realizar nuestros experimentos. Del mismo modo comprobamos la composición de agua marina y la reproducimos en el laboratorio simplemente empleando agua y cloruro de sodio hasta una concentración de 40 g/L de esta última, siendo este valor un dato muy común en nuestros mares y océanos.

Finalmente, estudiamos como podríamos obtener una atmosfera futura con diferentes concentraciones de CO<sub>2</sub> y resultó más sencillo de lo que pensábamos, dado que la reacción directa entre el ácido acético y el hidrogenocarbonato de sodio, más comúnmente conocido como bicarbonato de sodio, podría generar tanto CO<sub>2</sub> como quisiésemos.

### **5. Formulación de diseño de la investigación: identificación de variables y metodología a aplicar**

Una vez documentados, vimos que solo necesitábamos generar una atmósfera enriquecida con CO<sub>2</sub>, generado a partir de la reacción entre el ácido acético de un vinagre comercial y bicarbonato de sodio y ponerla en contacto con una masa de agua con cloruro de sodio (sal) que simulase nuestro océano.

Para ello se nos ocurrió conectar dos botellas de agua vacías de 1,5 litros con un tubo de goma

flexible a media altura de las botellas. En una de las botellas introducimos el agua de mar y en la otra generamos el CO<sub>2</sub> que deseábamos al mezclar, como bien hemos dicho antes, una determinada cantidad de ácido acético y bicarbonato de sodio.

Es importante destacar que era muy importante que no se pusiesen en contacto ambas disoluciones, dado que daría al traste con nuestro sencillo experimento, al modificar el pH del agua de mar, que era una de las variables críticas a estudiar, tal y como explicaremos más adelante.

Las variables con las que se trabajaron consistieron en la observación de la variación del pH del agua de mar en función de la concentración en exceso de CO<sub>2</sub> atmosférico que generábamos de forma artificial y el efecto de este en la pérdida de masa de unas conchas marinas de almejas.

La metodología que se aplicó consistió en:

- Montar hasta 4 pares de botellas de plástico vacías que eran conectadas con un tubo de goma, de modo que en una de ellas simulábamos 0,5 litros de agua de mar y en la otra generábamos el exceso de CO<sub>2</sub> pertinente, gracias a la mezcla de las cantidades correspondientes de ácido acético y bicarbonato de sodio.
- Monitorizar el cambio de pH ocurrido al cabo de 24 horas.
- Observar el efecto del agua de mar acidificada, en función de la atmósfera artificial, sobre la masa de conchas marinas de almejas al cabo de 3 semanas.

Los materiales y reactivos empleados para todo ello fueron los siguientes:

- 8 botellas de plástico de 1,5 l
- 2 m de tubo de plástico transparente de 1 cm de diámetro
- Vinagre comercial de 60
- Bicarbonato de sodio
- Sal

- Agua
- Vasos de precipitados
- Báscula de precisión
- Probetas
- Buretas
- Pipetas
- Varilla de cristal
- Embudo
- Vidrios de reloj
- Espátulas
- pH-metro
- Conchas marinas de almejas



Figura 1: Detalle del montaje de las botellas de agua.



Figura 2: Detalle del montaje de las botellas de agua junto con los reactivos empleados y demás instrumental de laboratorio empleado en el experimento.

## 6. Resultados y discusión

Básicamente, nuestro estudio se dirigió a investigar los siguientes aspectos, relacionados

con el pH del agua marina y su influencia en la masa de diferentes conchas de almejas:

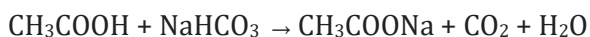
### 6.1 pH en función de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>.

Para ello recreamos en el laboratorio un set de 4 atmósferas artificiales diferentes, a partir del empleo de un ingenioso y simple dispositivo formado por dos botellas vacías de agua de 1,5 L de capacidad que se ha descrito previamente y que se puede apreciar en la figura 2. De este modo, realizamos 4 experimentos diferentes en las que variaba la cantidad de CO<sub>2</sub> que había en la atmósfera de las botellas.

Partiendo de la base de que la atmósfera actual de la Tierra contiene 0,4 g/L de CO<sub>2</sub>, decidimos aumentar un 25% la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en cada uno de los montajes, para llegar a una hipotética atmósfera terrestre en la que existiese un 100% más de CO<sub>2</sub> que en la atmósfera actual. De este modo obtuvimos 4 disoluciones de agua de mar que fueron sometidas a las siguientes concentraciones de CO<sub>2</sub>:

- Con un 100% más de CO<sub>2</sub> que la atmósfera terrestre actual, es decir, 0,8 g/L de CO<sub>2</sub>.
- Con un 75% más de CO<sub>2</sub> que la atmósfera terrestre actual, es decir, 0,7 g/L de CO<sub>2</sub>.
- Con un 50% más de CO<sub>2</sub> que la atmósfera terrestre actual, es decir, 0,6 g/L de CO<sub>2</sub>.
- Con un 25% más de CO<sub>2</sub> que la atmósfera terrestre actual, es decir, 0,5 g/L de CO<sub>2</sub>.

Para obtener el CO<sub>2</sub> en exceso empleamos la siguiente reacción, que reproducíamos en una de las dos botellas:



Con el objetivo de obtener las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el aire de las botellas empleamos las siguientes cantidades de reactivos:

REACTIVOS	EXPERIMENTO A (+100% CO <sub>2</sub> )	EXPERIMENTO B (+75% CO <sub>2</sub> )	EXPERIMENTO C (+50% CO <sub>2</sub> )	EXPERIMENTO D (+25% CO <sub>2</sub> )
CH <sub>3</sub> COOH	22,50 mL	16,87 mL	11,25 mL	5,62 mL
NaHCO <sub>3</sub>	1,89 g	1,42 g	0,95 g	0,473 g

Para obtener las cantidades de reactivos necesarios para cada uno de los 4 experimentos, se tuvo en cuenta que la densidad del ácido acético es de 1,05 g/mL, el porcentaje el volumen del ácido acético en un vinagre comercial es del 6% en volumen y que el volumen requerido de aire era de 2,5 L, dado que se preparaban disoluciones de agua de mar con sal de 0,5 L, siendo el volumen total de las dos botellas vacías de agua de 3 L.

El agua de mar se obtuvo disolviendo 20 g de cloruro de sodio en 0,5 L de agua, para obtener así una concentración de cloruro de sodio en agua de 40 g/L, que es una buena aproximación de los valores medios de sal en agua de mar natural.

Los resultados a temperatura ambiente (18 °C) fueron los siguientes:

Experimento	pH a las 24 horas
A (+100% CO <sub>2</sub> )	6,0
B (+75% CO <sub>2</sub> )	6,2
C (+50% CO <sub>2</sub> )	6,3
D (+25% CO <sub>2</sub> )	6,6

Observamos, a temperatura ambiente, un descenso acusado del pH en todas las muestras de agua de mar, siendo este mayor, cuanto mayor era el porcentaje en exceso de CO<sub>2</sub> atmosférico aplicado a la muestra de agua de mar.

Todo ello confirma nuestra sospecha inicial de disminución progresiva del pH del agua de mar,

debido a la disolución del CO<sub>2</sub> gas y su reacción con el agua, con la consiguiente producción de iones H<sup>+</sup> responsables del aumento de acidez del agua marina.

### 6.2 Variación de la masa de conchas de moluscos en función del pH del agua de mar y la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Para llevar a cabo el estudio del efecto de la disminución del pH del agua marina en la concha de moluscos, introducimos durante tres semanas cuatro conchas de almejas, una en cada una de las disoluciones obtenidas de los experimentos anteriores A, B, C y D. Una quinta concha de almeja fue introducida en agua de mar sin haber sido expuesta a un exceso de CO<sub>2</sub>.

Los resultados fueron los siguientes:

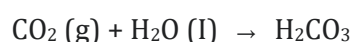
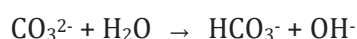
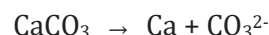
Experimento	pH inicial	Masa inicial concha	Masa final concha (g)	Diferencia de masa	% Diferencia de masa
A (+100% CO <sub>2</sub> )	6,0	1,219	1,155	0,064	-5,25
B (+75% CO <sub>2</sub> )	6,2	1,693	1,628	0,065	-3,84
C (+50% CO <sub>2</sub> )	6,3	1,456	1,399	0,057	-3,91
D (+25% CO <sub>2</sub> )	6,6	1,774	1,761	0,013	-0,73
AGUA DE MAR	8,00	1,252	1,249	0,003	-0,24



Figura 3: Detalle de las conchas de almejas empleadas en el experimento.

En esta batería de pruebas pudimos comprobar como el porcentaje de carbonato de calcio que se disolvió, proveniente de las conchas de moluscos, aumentaba al disminuir el pH del agua de mar.

Este hecho demostraba por sí mismo, como el carbonato de calcio se disolvía más en medio ácido, originado por la disolución del CO<sub>2</sub> gas, debido a las siguientes reacciones:



En las reacciones anteriores, podemos observar cómo los iones carbonato, provenientes del carbonato de calcio de las conchas marinas, se hidrolizan y forman iones hidróxido (OH<sup>-</sup>) que reaccionan con los iones H<sup>+</sup> provenientes del ácido carbónico, que procede a su vez del CO<sub>2</sub> atmosférico que se disuelve en el agua de mar. Los iones hidróxido (OH<sup>-</sup>) y los iones H<sup>+</sup> así formados, reaccionan entre sí para dar lugar a moléculas de agua, provocando todo ello como resultado final, la disolución del carbonato de calcio de las conchas de los moluscos.

## 4. Conclusiones

Las conclusiones más importantes a las que hemos llegado son las siguientes:

- El pH del agua de nuestros mares y océanos se está acidificando continuamente de forma silenciosa debido al aumento de la concentración del CO<sub>2</sub>, proveniente del consumo de combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y distintos combustibles derivados del petróleo.

- Los seres vivos marinos que presenten conchas o estructuras basadas en carbonatos de calcio están empezando a sufrir el efecto de esa acidificación de mares y océanos, lo que los hace más vulnerables al perder la capacidad de mantener y construir sus estructuras vitales a base de ese carbonato de calcio, dado que la acidez de los mares y océanos provoca que los iones carbonato estén menos accesibles a dicho tipo de organismos marinos.

## 5. Bibliografía

- Chang, Raymond. Química. 10ª Edición. Editorial McGraw Hill.2010.
- Atkins, Peter W. Química general. 5ª Edición. Editorial Omega.1999.
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Zooplancton>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Mollusca>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Arthropoda>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Coral>
- <https://www.iaea.org/es/bulletin/como-las-emisiones-de-carbono-acidifican-nuestros-oceanos>
- <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/acidificacion-oceanos-deficicion>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/PH>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_de\\_mar](https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_de_mar)
- <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/resources/translations/>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido\\_de\\_carbono\\_atmosf%C3%A9rico](https://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_carbono_atmosf%C3%A9rico)
- <https://unfccc.int/es/news/las-emisiones-mundiales-de-co2-repuntaron-en-2021-hasta-su-nivel-mas-alto-de-la-historia>
- <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/una-breve-historia-del-carbono-en-nuestra-atmosfera>
- [https://www.cibnor.gob.mx/revista-rns/pdfs/vol6num1/4\\_COMO\\_FORMA.pdf](https://www.cibnor.gob.mx/revista-rns/pdfs/vol6num1/4_COMO_FORMA.pdf)
- [https://cidta.usal.es/cursos/quimica/modulos/curso/uni\\_02/u2c2s1.htm](https://cidta.usal.es/cursos/quimica/modulos/curso/uni_02/u2c2s1.htm)
- [https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/53550/mod\\_resource/content/1/TEMA\\_8\\_ACIDO-BASE/Tema\\_8\\_Acido-base.pdf](https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/53550/mod_resource/content/1/TEMA_8_ACIDO-BASE/Tema_8_Acido-base.pdf)
- <https://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1car>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_de\\_mar](https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_de_mar)
- <https://aedyr.com/sales-mar-son-todos-mares-igual-salados/>

# El arte contemporáneo como vehículo para indagar en el estudio, la síntesis y las aplicaciones de los ferrofluidos\*

*Jimena Carbayo, Yaiza García y Sara Hernández (4º ESO)*

*Profesor Carlos Javier Fernández Herrero*

*IES Venancio Blanco. Salamanca (Salamanca)*

El trabajo de investigación surge de la observación de una instalación artística con ferrofluidos en una muestra expositiva. Fruto de lo que se ha denominado arte cinético (concepto que relaciona el conocimiento artístico con el conocimiento científico), se ha llevado a cabo este trabajo de investigación en torno a tres ejes: Estudio de ferrofluidos, síntesis y aplicaciones que vayan más allá de lo artístico. Para el estudio de ferrofluidos, se ha consultado abundante y variada bibliografía; en el caso de la síntesis, se han seleccionado dos métodos, optando finalmente por uno de ellos al ser más viable mecánica y operativamente, usando cloruros de hierro en disolución amoniacal y estabilización con aceites vegetales. En esta línea, se ha trabajado en la parte experimental la influencia de parámetros y magnitudes como la temperatura, velocidad de agitación o concentración de la disolución amoniacal. Finalmente, se ha profundizado sobre las aplicaciones que los ferrofluidos tienen en gran cantidad de campos, como son la medicina, ingeniería o materiales.

## 1. Introducción

La investigación, o, mejor dicho, una de las búsquedas esenciales del arte contemporáneo, se centra en el movimiento: hacer que las cosas se muevan, se trasladen, muten y que, al mismo tiempo, interactúen con el espectador. Es justamente el advenimiento tecnológico el que permite un adelanto sustancial y constante en esta línea, que llevó a revolucionar la escena del arte cinético.

En los últimos veinte años, aparecieron nuevas formas de expresión y soportes que se fueron superponiendo al punto que el arte cinético quedó casi exclusivamente en manos de artistas que dominan conocimientos científicos.

Tal es el caso de la japonesa Sachiko Kodama (1970), una reconocida estudiosa de literatura y ciencia.

Primero se graduó en Física, en la facultad de Science at Hokkaido University. En 1993 se matriculó en Arte en la Universidad de Tsukuba, allí mismo realizó un máster y un doctorado en arte y diseño. Por último, estudió informática y holografía. Con todas esas herramientas logró sentar las bases de una obra que es clave para

entender la escena contemporánea. Comenzó experimentando con la pintura y de a poco fue explorando la escultura hasta lograr un punto de encuentro con sus conocimientos científicos.



Figura 1. Obra artística con ferrofluidos (Sachiko Kodama)

El quiebre más importante fue la inclusión de ferrofluidos: minúsculas partículas ferrosas suspendidas en un fluido emulgente, que comúnmente es una solución orgánica o agua. Estas nanopartículas no muestran ferromagnetismo porque no retienen su magnetización cuando se interrumpe el campo magnético aplicado externamente.

Kodama descubrió que cuando un ferrofluido entra en el eje de acción de un campo magnético comienza a moverse de un modo muy extraño. Y asombrosamente plástico. El gran hallazgo de su obra fue generar este movimiento a gran escala, en un formato de escultura. Básicamente, lo que hace la artista es manipular libremente los campos electromagnéticos para que los líquidos se muevan, formen figuras y texturas.

No hay más secreto, es un procedimiento muy simple que arroja resultados increíbles. Este proyecto artístico, de claro corte científico-tecnológico, fue denominado Morpho Towers -- Torres cambiantes, Torres que mutan-- Kodama lo exhibe con dos piezas que se mueven en armonía con una composición musical instrumental. A la vista son espigas de hierro helicoidales por donde viaja el impulso electromagnético; el líquido, de color oscuro y

brillante, responde al estímulo, entonces se produce el movimiento.

El impulso electromagnético está sincronizado con la música, de acuerdo a las frecuencias sea intensificando o aminorando. Funciona en base a metadatos -información musical con la posición, ritmo, la progresión de acordes y melodía- que controlan el ferrofluido. Cada registro de datos tiene una marca de tiempo que indica el momento de la presentación. Luego todos los datos se almacenan en orden cronológico de la serie. Cuando no hay sonido, el líquido gotea adentro de la escultura.

Según explica Kodama, el líquido se mueve en forma sintética, como en la respiración humana. El líquido de la superficie trabaja en forma autónoma y compleja. El concepto es hacer chocar propiedades físicas opuestas: por un lado, la dureza del hierro, por otro la suavidad del líquido. También la restricción y la libertad, representados en la limitación insalvable de la fuerza de gravedad y en las posibilidades del diseño. "Morpho Towers surge de la transformación del material en si. A veces parece como un cuerno, a veces un abeto, y a veces, incluso, la Torre de Babel", señala.

Hay que destacar que además de conseguir un efecto visual novedoso, también está contemplado el elemento interactivo. Los espectadores tienen la posibilidad de manipular el flujo energético mediante un comando que regula la intensidad. Las figuras van tomando forma en base a toda la información que reciben. El público es potencial creador, se ubica como un engranaje más de la maquinaria Morpho Towers.

La obra de Sachiko Kodama es un compendio perfecto donde se encuentran un concepto de alto vuelo y un trabajo estético deslumbrante. Es una pieza absolutamente contemporánea, aprovecha las posibilidades de los nuevos materiales -en este caso los ferrofluidos- y cruza conocimientos de distintos planos, desde la física hasta la química, desde lo musical a lo escultórico,

siempre en base a los recursos tecnológicos disponibles. Es decir, la simple elección de los materiales, del soporte, ya está determinando con sutileza un momento histórico y una etapa evolutiva en la proyección artística de la escena contemporánea. Hay movimiento. Hay desarrollo tecnológico. Hay trabajo estético. Hay interactividad. Y todo mezclado con una variable fruto del azar que convierte la obra en un mecanismo indeterminable.

Morpho Towers ha sido presentado recientemente en el Poetry of Motion — External Exhibition Ars Electronica (Berlín, Alemania), en el Japan Media Arts Festival de Estambul (Turquía), en el Museo de arte contemporáneo de Tokio, en Silicon Dreams: Art, Science and Technology in the European Union (Tabakalera, San Sebastián) y en The Armory Show (New York, EEUU), entre otros.

Los ferrofluidos forman parte de una nueva clase de materiales magnéticos. Estos consisten en nanopartículas magnéticas coloidales dispersas y estabilizadas en un líquido portador y que presentan propiedades de fluido y magnéticas, por lo que son de gran importancia tecnológica.

Sus características especiales son como lubricante, sistema de transferencia de calor y sistema de transferencia flexible de cargas además de la característica magnética. Tiene importantes aplicaciones en técnicas médicas como resonancia magnética nuclear, así como varias aplicaciones en el área de la electrónica, ya que un ferro-fluido estable tarda algunos años en degradarse.

Se trata, por tanto, de sistemas líquido-sólido que tienen nano-partículas de compuestos ferromagnéticos en suspensión y tienen propiedades características muy interesantes en comparación con los fluidos normales (Moskowitz, 1990). Las partículas magnéticas en suspensión tienden a juntarse entre sí adquiriendo cada vez más peso, finalmente precipitándose. Para crear una suspensión de partículas paramagnéticas, que no

se precipite se emplean surfactantes y partículas tan pequeñas como de 10 nm. Concluyendo, el ferrofluido es un material que adquiere varias propiedades para aplicación en varias ramas de la ciencia (Berkowsky, 1993)

Se pueden mencionar algunas como sellos magnéticos en motores, instrumentos para memoria óptica y giroscopios. Otras aplicaciones son en instrumentos como bocinas, tintas magnéticas para cheques bancarios, unidades de refrigeración magnética, detectores de flujo de efecto hall, et. Los ferrofluidos también tienen aplicaciones en medicina, como por ejemplo, liberadores de medicinas, para restringir el flujo sanguíneo en determinadas partes del cuerpo y actúan como material opaco para el diagnóstico de imágenes usando rayos X o resonancia magnética nuclear. Adicionalmente con los ferrofluidos se pueden tratar tumores por inducción de calor, así como para la cuantificación de sustancias biológicamente activas. (Thomas et al, 2000).

## **2. Objetivos**

Los objetivos que se pretenden con este trabajo es abordar el estudio de los ferrofluidos de magnetita, su síntesis y estabilización, así como profundizar en sus aplicaciones más allá de su uso en instalaciones artísticas.

## **3. Marco teórico**

### *Las dispersiones coloidales*

Los ferrofluidos son dispersiones coloidales de pequeñas partículas magnéticas con un diámetro de aproximadamente 10 nm en líquidos portadores apropiados. Las partículas contienen un único dominio magnético y por lo tanto pueden ser tratadas como pequeños imanes permanentes térmicamente agitados. La característica especial de los ferrofluidos es la combinación de comportamiento líquido normal y cómo este comportamiento se puede cambiar mediante la aplicación de un campo magnético externo. Las nanopartículas magnéticas han

adquirido mayor atención debido a su potencial campo de aplicaciones en el campo biomédico como resultado de sus propiedades magnéticas y su habilidad para funcionar a escala celular y molecular en interacciones biológicas.

A escala nano, la magnetita es paramagnética, lo que significa que es magnética solo en la presencia de un campo magnético. Pero en la escala normal macro, la magnetita siempre es magnética.

Los ferrofluidos son utilizados para sellar el disco duro de las computadoras y otro tipo de motores giratorios, y en bocinas para disminuir las vibraciones. Se han desarrollado diversos estudios para aplicaciones médicas en diferentes campos. Separación, inmunoensayos, transporte de medicamentos, resonancia magnética para obtener análisis visuales térmicos se han podido desarrollar por el uso adecuado de nanopartículas magnéticas en forma de ferrofluido.

Debido a su poca bio-compatibilidad y baja dispersión en soluciones acuosas, nanopartículas que son utilizadas para aplicaciones biomédicas necesitan modificaciones en el área superficial. Las propiedades magnéticas de la magnetita que la hacen un compuesto ideal para ser un ferrofluido vienen de su estructura cristalina. La magnetita, sobre 120K, cristaliza en una estructura espinel inversa.

#### *La magnetita: Características y aplicaciones*

Es un mineral de hierro, forma parte de un grupo de minerales llamados óxidos; usualmente la magnetita puede ser identificada a causa de su gran magnetismo, y por su color oscuro. Debe su nombre de la ciudad griega de Magnesia. No es muy abundante, pero puede encontrarse en diferentes tipos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, hasta en algunos meteoritos. La mayoría de las rocas ígneas que se forman en las profundidades contienen una pequeña cantidad de cristales de magnetita. La magnetita también puede encontrarse en las rocas metamórficas que se formaron de las rocas sedimentarias ricas en

hierro. En la antigüedad se la conocía como piedra imán.



Figura 3. Piedra imán o magnetita

La magnetita posee en su estado natural características magnéticas; es un mineral de hierro constituido por óxido ferroso-diférrico ( $Fe_3O_4$ ) que debe su nombre de la ciudad griega conocida con el nombre de Magnesia. Es un mineral muy denso, frágil, duro y con propiedades ferromagnéticas; también es capaz de atraer al hierro y al acero junto con otros metales. Su color es pardo negruzco, con brillo metálico.

El primero en señalar sus propiedades fue Tales de Mileto (siglo VI a. de C.) Y ya, Platón (siglo IV a. de C.) conoce que su propiedad puede transmitirse al hierro. También se cree que el primero en encontrar una utilidad práctica para la piedra de imán fue el general chino Huang Ti (siglo IV a. de C.), que utilizó la piedra magnética directamente para orientarse, pero sólo en Tierra

Todo campo magnético es consecuencia de un flujo de electrones. En la magnetita, su fuerte magnetismo se debe a un fenómeno de ferromagnetismo: los momentos magnéticos de los distintos cationes de hierro del sistema se encuentran fuertemente acoplados, por interacciones anti-ferromagnéticas, pero de forma que en cada celda unidad resulta un momento magnético no compensado. La suma de estos momentos magnéticos no compensados, fuertemente acoplados entre sí, es la responsable de que la magnetita sea un imán

Como mineral unido con la hematita es una de las menas más importantes, al contener un 72% de hierro (es el mineral con más contenido en hierro). En las calderas (industrias): la magnetita es un compuesto muy estable a altas temperaturas, aunque a bajas temperaturas o en presencia de aire húmedo a temperatura ambiente se oxida lentamente y forma óxido férrico. Su gran estabilidad a altas temperaturas hace que sea un buen protector del interior de los tubos de la caldera. Es por ello que se hacen tratamientos químicos en las calderas industriales que persiguen formar en el interior de los tubos capas continuas de magnetita

En la construcción se usa como añadido natural de alta densidad en hormigones, especialmente para protección radiológica.

En los seres vivos, la magnetita es usada por diferentes animales para orientarse en el campo magnético de la Tierra. Entre ellas las abejas y los moluscos; Las palomas tienen en el pico pequeños granos de magnetita que determinan la dirección del campo magnético y les permiten orientarse. También pequeñas bacterias tienen cristales de magnetita en su interior, rodeadas de una membrana dispuestas de modo que forman una especie de brújula y permiten a las bacterias nadar siguiendo líneas del campo magnético.

#### 4. Metodología

Nuestro punto de partida en el estudio, síntesis y aplicaciones de ferrofluidos surge de la observación del comportamiento de este fluido en exposiciones varias, despertando la curiosidad por conocer más y mejor, su estructura, comportamiento y uso en otros campos

Para ello, se ha procedido al análisis y examen previo de varias publicaciones sobre el estudio de los ferrofluidos.

Con ello, se pretende además dar una visión más global de las áreas científico-tecnológicas y desarrollar el ámbito competencial vinculado al eje ciencia- tecnología y sociedad.

Para el enfoque de este punto de partida, han sido múltiples las publicaciones, literatura y bibliografía que acerca del tema se ha podido encontrar a través del buscador Google Académico, el cual nos ha aportado documentación relativa al tema y/o nos ha derivado a repositorios de universidades, facultades, laboratorios y centros de investigación de todo el mundo

Si alguna etapa de la metodología científica presenta especial importancia, esta es sin duda la fase experimental, comparativa de métodos de procedimiento, diseño, reactivos y materiales para llevar a cabo el fin concreto, resultados y conclusiones.

En este caso, los protagonistas han sido los cloruros de hierro (II) y (III) así como una disolución de hidróxido de amonio y un estabilizante de partículas.

#### 4.1 Estudios previos sobre la metodología óptima de síntesis de ferrofluidos

Los métodos para producir ferrofluidos comparten el principio básico de dispersar partículas magnéticas en un fluido cuya composición se basa en agua o aceite, y utilizar algún surfactante (moléculas con cadenas polares largas) que recubra las partículas y evite así su agregación y consecuente sedimentación. Con ello se obtiene un fluido estable con propiedades magnéticas homogéneas. En este punto es importante tener presente que no es posible obtener un líquido magnético simplemente calentando un material ferromagnético hasta su fundición (como Fe, Ni, Co), pues al calentarlo pierde el magnetismo, dado que las temperaturas de transición ferromagnética-paramagnética - también conocida como temperatura crítica o de Curie - son mucho menores que la de fusión del material.

*Obtención mecánica a través de tóner de impresora*

La bibliografía consultada establece que la obtención del ferrofluido se puede llevar a cabo en un vaso de precipitados con aceite y tóner de fotocopiadora laser, relación 1:1. Posteriormente, mezclar mediante el uso de un agitador magnético hasta obtener un fluido de color negro sin partículas en suspensión.

#### *Obtención química por reacción de cloruros de hierro*

La bibliografía consultada establece que la obtención del ferrofluido se puede llevar a cabo mediante la técnica de precipitación química, que consistió en mezclar una solución de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) y cloruro ferroso ( $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) al 0.1 M con agitación mecánica a una velocidad de 2000 rpm. La relación molar de  $\text{FeCl}_3:\text{FeCl}_2$  fue constante con un valor de 2:1. Esta solución se calienta hasta una temperatura de 70 °C, e inmediatamente se aumenta la velocidad de agitación hasta 7500 r.p.m. y agregando rápidamente una solución de hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) al 10% en volumen. Instantáneamente se formará un precipitado oscuro que son las nanopartículas de magnetita.

Este precipitado se lava varias veces con agua destilada para remover los iones cloruro y el hidróxido de amonio remanente, que inhiben la adsorción de las moléculas del estabilizador que se usará para la preparación del ferrofluido. Las nanopartículas magnetita lavadas se deben mantener en suspensión para facilitar su uso en la preparación del ferrofluido.

#### **4.2. Valoración de las técnicas de síntesis de ferrofluidos**

Se realizó una tabla con las limitaciones que en lo que respecta al trabajo emprendedor e investigador del alumnado, se pudieran presentar. Los criterios de valoración fueron los siguientes:

a) Contenidos curriculares adquiridos por el alumnado de 4º de la ESO implicado en el proyecto investigador.

b) Efectividad y sencillez, en equilibrio con unos resultados óptimos.

c) Metodología de trabajo y uso de materiales y/o reactivos de baja peligrosidad y alta seguridad para el alumnado.

d) Metodología cuyo material y/o reactivos sean los propios de laboratorios escolares y estén disponibles en los mismos, evitando la influencia de medios personales y/o materiales externos.

e) Técnica que íntegramente pueda ser diseñada, desarrollada y ejecutada en el propio centro educativo.

f) Realista, de fácil mecánica y resolutive para el alumnado al que se encuentra destinada.

g) Con contenido transversal y multidisciplinar que despierte la capacidad y el pensamiento crítico.

Por todo ello, de entre las dos técnicas señaladas anteriormente y de la valoración llevada a cabo, se ha considerado como metodología la obtención química a partir de las sales de cloruro de hierro.

#### **4.3. Formulación de hipótesis**

a) La obtención de partículas de magnetita está favorecida al ir aumentando la temperatura.4

b) La obtención de partículas de magnetita se favorece conforme de aumenta la velocidad de agitación.

c) La obtención de partículas de magnetita aumenta conforme aumenta la concentración de la disolución de hidróxido de amonio.

d) La estabilización del ferrofluido mejora con aceite de oliva frente al aceite de girasol.

e) El ferrofluido responde de forma adecuada a cualquier tipo de imán.

#### **4.4 Reactivos y material de laboratorio**

- *Cloruro de hierro (II) tetrahidrato*: Se trata de un polvo cristalino amarillo verdoso. Presenta una masa molar de 198,81 g/mol y un punto de fusión de 105-110 °C.

- *Cloruro de hierro (III) hexahidrato*: Se trata de un sólido de color amarillo anaranjado. Presenta una masa molar de 270,29 g/mol y un punto de fusión de 37 °C.

- *Disolución de hidróxido de amonio*: Disolución básica y volátil de amoníaco en agua. A menudo se utiliza como agente de limpieza y como base/complejante en el análisis inorgánico cualitativo; disponible en varios grados de reactivo para aplicaciones industriales, de laboratorio y domésticas.

- *Aceite vegetal (ácido oleico)*: Ácido graso monoinsaturado típico de los aceites vegetales. Se presenta como un líquido aceitoso de color amarillo pálido o marrón amarillento con olor parecido a la manteca de cerdo. Presenta una masa molar de 282,47 g/mol, un punto de fusión de 15 °C y ebullición 360°C.

- *Morteros para molienda*

- *Vidrios de reloj*

- *Balanzas analíticas*

- *Espátulas*

- *Vasos de precipitados*

- *Matraces aforados de 100 ml*

- *Agitadores calefactores*

- *Imanes agitadores*

- *Trompa de vacío*

- *Embudo cerámico*

- *Papel de filtro*

- *Kitasato*

- *Imanes de neodimio*

## **2.5.-Formulación, diseño, recogida de información y obtención de datos experimentales**

### **2.5.1.- Síntesis de nanopartículas de magnetita**

Para realizar la síntesis de las nanopartículas de magnetita, se han usado cloruro de hierro (III) ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) y cloruro de hierro (II) ( $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ).

En primer lugar, se ha tomado la decisión de realizar varios ensayos diferentes modificando temperaturas y velocidades de agitación, para poder contrastar y dar respuesta a las hipótesis planteadas acerca de la influencia de estos factores.

Se preparan sendas disoluciones de 100ml en concentración 0,1 M para posteriormente, proceder a la mezcla de éstas en una relación molar 2:1 en  $\text{Fe}^{+3}$  y  $\text{Fe}^{+2}$  respectivamente.

Para ello, se ha tomado una muestra de cada sal y se ha procedido a su molienda en dos morteros. Posteriormente, se ha medido en balanza analítica 1,99 g de  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  y 2,70 g de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en sendos vidrios de reloj.

A continuación, cada uno de los cloruros se depositó en un vaso de precipitados de volumen menor a 100ml y se añadió agua destilada promoviendo su disolución en sistema agitador calefactor con imanes.

Después, cada una de las disoluciones fueron portadas a dos matraces de 100ml y se enrasaron con agua destilada hasta la marca de 100ml. Se taparon y se etiquetaron convenientemente.

Una vez preparadas las dos disoluciones 0,1 M, se tomaron los 100 ml de cloruro de hierro (II) y 50 ml de cloruro de hierro (III) y se mezclaron en un vaso de precipitados en relación 2:1, llevando dicha mezcla al sistema calefactor con agitación

en condiciones de 25°C, 40°C, 55°C y 70°C y velocidades de agitación de 150rpm, 300 rpm, 450 rpm y 600 rpm

Mientras se alcanzaban las temperaturas anteriormente descritas, se prepararon disoluciones de NH<sub>4</sub>OH al 10% y al 20% a en volumen a partir de una comercial del 30%.

Una vez calentada la disolución a la temperatura de trabajo y la velocidad de agitación correspondiente, se mezcló con la disolución de NH<sub>4</sub>OH al 10%, apareciendo casi de forma instantánea y sobrenadantes en la disolución, las partículas de magnetita deseadas en forma de precipitado

La reacción química representativa de este proceso es:



### 2.5.2.-Preparación del ferrofluido

Con el fin de eliminar los iones Cl<sup>-</sup> y el exceso de disolución amoniacal, que inhiben la adsorción de moléculas de estabilizador para preparar el ferrofluido, se filtró a vacío las disoluciones con las nanopartículas de magnetita y se lavó el precipitado varias veces con agua destilada.

La preparación del fluido se llevó a cabo mediante el método de peptización, que consiste en la formación de un coloide, al romper un precipitado mediante el uso de un electrolito o agente peptizante para dispersarlo en el coloide.

En nuestro caso, la preparación del ferrofluido consistió en la preparación de una solución de magnetita y aceites vegetales, concretamente de girasol y de oliva. Las disoluciones se pusieron a calentar a unos 75°C y 600 rpm hasta que se evaporó el agua residual y se formó una pasta.

Después se añadió una solución de aceite vegetal hasta conseguir la estabilización del ferrofluido, trabajando a la misma temperatura y velocidad de agitación.

El proceso descrito fue repetido varias veces con el objetivo de dar respuesta a las hipótesis planteadas.

### 3. Resultados y discusión

Se exponen a continuación los resultados que se han obtenido en la experimentación teniendo en cuenta el ámbito, medios personales, materiales y cognitivos con los que se ha podido trabajar en un laboratorio de un centro de Enseñanza Secundaria.

Una vez obtenidas muestras suficientemente significativas de partículas de magnetita, se comprobaron sus propiedades magnéticas con el uso de varios imanes, entre ellos imanes de neodimio, de tal forma que partiendo de una disolución coloidal con partículas de magnetita, se consiguió concentrar en varios puntos dichas partículas solamente con el uso de los imanes de neodimio, lo cual da muestras del carácter magnético de dichas partículas en el seno de un campo magnético creado por estos potentes imanes.

El patrón a seguir para la comprobación fue tomar varias muestras de ferrofluido y depositarlas en vidrios de reloj. Situando en las cercanías de la superficie del ferrofluido una columna de pequeños imanes, se pudo observar la interacción del ferrofluido con el campo magnético creado por los imanes de neodimio, pero no con otros imanes de menor campo.

Finalizada toda la fase experimental y aunando los resultados de ámbito cualitativo, se hace necesaria la discusión del procedimiento experimental y la metodología investigadora.

Se han considerado como partes esenciales de dicha discusión, la comparativa de los resultados obtenidos en esta investigación con los resultados de otras publicaciones con procedimientos similares.

Fruto de esta comparativa, se han extraído las semejanzas y las diferencias, buscando con ello,

las causas probables y como fin, el replanteamiento de las hipótesis reflejadas anteriormente.

En líneas generales, la metodología utilizada para la obtención de las partículas de magnetita fue la adecuada, respondiendo las cantidades utilizadas a las condiciones óptimas de trabajo planteadas por la bibliografía.

La metodología de obtención de las partículas de magnetita a partir de la utilización del tóner de impresora no fue viable, si bien la técnica de precipitación química dio los resultados esperados.

Por otro lado, los procesos de estabilización de las partículas de magnetita y la obtención del correspondiente ferrofluido, presentó algunos problemas, aunque finalmente y después de ensayar determinadas proporciones en la solución magnetita/aceite vegetal, se pudo aislar de forma aceptable el ferrofluido, respondiendo de forma adecuada a la acción de los imanes de neodimio.

#### *Contraste de hipótesis:*

Hipótesis 1 La obtención de partículas de magnetita está favorecida al ir aumentando la temperatura.

Respuesta 1 Respecto de esta hipótesis, más que afirmar que está favorecida por el aumento de temperatura, habría que decir que hay una temperatura óptima, en torno a los 70-75°C.

Hipótesis 2 La obtención de partículas de magnetita se favorece conforme de aumenta la velocidad de agitación.

Respuesta 2 Respecto de esta hipótesis, se puede afirmar que es cierta, pues los mejores rendimientos fueron obtenidos a velocidad máxima de agitación con el instrumental del que dispone el laboratorio escolar.

Hipótesis 3 La obtención de partículas de magnetita aumenta conforme aumenta la concentración de la disolución de hidróxido de amonio.

Respuesta 3 Respecto de esta hipótesis y en la línea de la hipótesis 1, habría que hablar de una concentración óptima, que es la del 10%. Otras concentraciones mayores generan un exceso de disolución amoniacal innecesaria y que es contraproducente a la hora de abordar la fase de estabilización

Hipótesis 4 La estabilización del ferrofluido mejora con aceite de oliva frente al aceite de girasol.

Respuesta 4 Respecto de esta hipótesis, no se encontraron diferencias significativas

Hipótesis 5 El ferrofluido responde de forma adecuada a cualquier tipo de imán.

Respuesta 5 Respecto de esta hipótesis, imanes de campo magnético débil no fueron capaces de “mover” el ferrofluido, siendo los imanes de neodimio los apropiados para comprobar las propiedades magnéticas del fluido.

#### **4. Conclusiones**

Finalizada la metodología experimental, podemos concluir que la bibliografía disponible acerca de las técnicas de obtención de ferrofluidos de magnetita contrasta plenamente con los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio, en lo que respecta a la precipitación química.

Las partículas de magnetita precipitan en el seno de la disolución de hidróxido de amonio y consiguen estabilizarse de forma significativa en aceite vegetal trabajando a temperatura en torno a 75°C y velocidad de agitación elevada.

El ferrofluido consistente en una solución de magnetita/aceite vegetal presenta características

magnéticas y movilidad ante el campo magnético creado por imanes de neodimio.

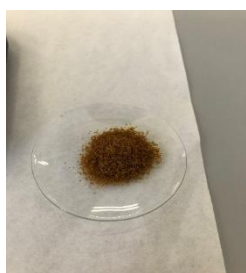
Por otro lado, y desde un punto de vista competencial y didáctico, este proyecto ha contribuido más si cabe, al grado de consecución de los objetivos y competencias de la Enseñanza Secundaria Obligatoria, haciendo hincapié en la cultura y el espíritu emprendedor, aspectos sociales y cívicos y la promoción de la autonomía personal en el contexto “aprender a aprender”.

En este sentido y retomando la justificación, el interés en un determinado montaje artístico puede ser vehículo para indagar en otros campos. El interés en montajes mediante el uso de ferrofluidos ha derivado en un proyecto basado en el estudio, síntesis y aplicaciones de estos “fluidos magnéticos”, que van mucho más allá de su propio uso en el arte, abarcando campos como: Industria automovilística; Industria de electrodomésticos; Construcción civil; Medicina y biomédica; Electrónica; Ingeniería mecánica; Tecnología en el ámbito militar; Tecnología aeroespacial; Control de gases; Técnicas de medición; Separación de materiales; Acústica, entre otros.

#### 4. Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo de la comunidad educativa del IES Venancio Blanco en general, y de la colaboración a través de la proyección multidisciplinar, del Departamento de Biología y Geología, Tecnología y Física y Química.

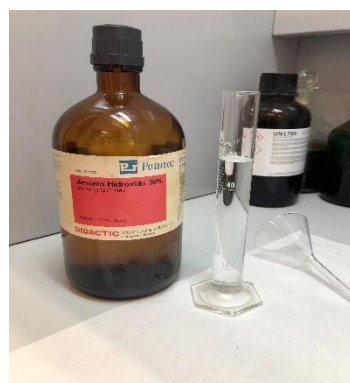
#### 5. Galería fotográfica



*Sal de  $FeCl_2 \cdot 4H_2O$*



*Sal de  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$*



*Disolución de  $NH_4OH$*



*Disoluciones de  $Fe^{+2}$  y  $Fe^{+3}$*



*Mezcla y agitación de disoluciones*



*Filtrado y lavado disolución nanopartículas*



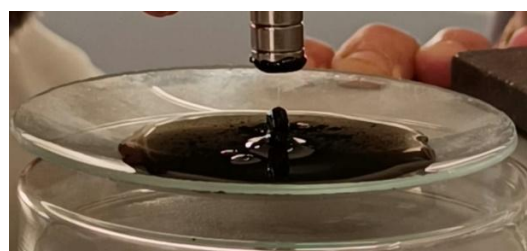
*Formación de nanopartículas de magnetita*



*Pasta de nanopartículas de magnetita*



*Montaje para filtrado a vacío*



*Ferrofluido estabilizado e interacción con imanes de neodimio*

## 6. Bibliografía

- Héctor Ismael Olmos C., Montes Marín Dulce del Carmen, Robles Santacruz Mariela, Escutia Ojeda Jaquelin Lucero. 2015. Aplicaciones diversas de los ferrofluidos. Revista naturaleza y tecnología. NO7-36-41.
- Mazo-Zuluaga, Johan. Una mirada al estudio y aplicaciones biomédicas de la magnetita. Revista EIA Escuela de Ingeniería de Antioquia, núm. 16, diciembre, 2011, pp. 207-223.
- J. P. Urquijo, A. L. Morales, H. Casanova, J. Garces. Preparación y Caracterización de un Ferrofluido. Revista Colombiana de Física, vol. 41, No. 1, Enero 2009. P 99-101.
- García Cerda, L. A.; Rodríguez Fernández, O. S.; Betancourt Galindo, R.; Saldívar Guerrero, R.; Torres Torres, M. A. Síntesis y propiedades de ferrofluidos de magnetita. Revista Superficies y vacío, vol. 16, núm. 1, marzo, 2003, pp. 28-31.
- Guliáev, A. P. Metalografía. Tomo I. Editorial Mir Moscú.
- Ordóñez Hernández, Urbano. Tecnología de los metales II. Editorial Pueblo y Educación.
- Artículo magnetita Disponible en la Web "redescolar.ilce".
- Artículo Aplicaciones de la magnetita Disponible en la Web "centros5.pntic.mec.es".
- Artículo Magnetita Disponible en la Web [www.vhfdx.info](http://www.vhfdx.info).
- Química Inorgánica Adolfo Ponjuan y Blanco Tomo II.
- Artículo Elementos. "www.lenntech.es".
- Artículo Neodimio un mineral escaso. Disponible en "www.motormagnetico.org".
- Artículo Tabla periódica de los elementos. Disponible en "es.wikipedia.org".
- Artículo Clasificación de los elementos Disponible en "www.profesorenlinea.cl".
- Artículo Neodimio. Disponible en "es.wikipedia.org"

# ***El poder de la col lombarda como indicador natural de pH***

***Claudia Murillo, Pau Muñoz e Irene Río (1º Bachillerato)***

***Profesora Ana Álvarez Díez***

***Colegio Marista Liceo Castilla, Burgos (Burgos)***

La presente investigación se enfoca en dar un doble uso a una hortaliza que utilizamos en nuestra vida cotidiana, la col lombarda. Además de ser un alimento que nos aporta nutrientes esenciales para nuestro organismo, también es un buen indicador de pH. Por ello, hemos querido aprovechar este uso menos conocido de la col lombarda ya que nos es muy útil para conocer de forma rápida y casera el pH de distintas sustancias. Concretamente, vamos a utilizar el líquido de la col para determinar el pH de distintas tierras de nuestra comunidad, Castilla y León y así conocer si estas se tratan de tierras ácidas, neutras o básicas. Pero no nos hemos quedado ahí, al investigar sobre las propiedades que dotaban a la col de esta curiosa función, hemos encontrado que otras plantas, al igual que ella, son indicadoras de pH. Se trata de las hortensias, que según la tierra en que se cultiven, florecerán de un color u otro, indicándonos así el pH de la tierra en cuestión. Además, hemos investigado y puesto a prueba distintas formas que tienen los agricultores para modificar el pH de la tierra que utilizan en sus cultivos según los fines que tengan. Una manera de hacerlo es utilizando Carbocal, un compuesto capaz de convertir una tierra ácida en básica. Gracias a todo ello, hemos podido acercarnos un poco más al terreno práctico de la química, desarrollando nuestra creatividad, juicio crítico y espíritu de equipo.

## **1. Introducción**

### **Objetivos de la investigación**

El propósito de este experimento es ver si los pigmentos naturales de la col lombarda pueden ayudarnos a determinar el PH de una disolución y el motivo de esta peculiar capacidad.

---

Revista Investigación Química VGC 10, 27 – 36  
ISSN: 2660-5147

Vamos a llevar esto a lo práctico comprobando la acidez o la alcalinidad del suelo de varios pueblos de nuestra comunidad autónoma, Castilla y León. También vamos a ver si hay otras plantas que pueden actuar como indicadores del PH, por ejemplo, las hortensias y que tienen en común ambas especies. Finalmente investigaremos las técnicas de los agricultores para modificar el PH de las tierras que trabajarán, según la necesidad de acidez o alcalinidad del cultivo.

Para ello hemos tenido en cuenta varios puntos y conceptos:

### Marco teórico

El pH fue definido en el siglo XX por el científico danés S.P.L. Sorengen como la abreviatura de potencial de hidrógeno. El cual es una escala para medir el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia. Esta escala tiene una serie de valores que van desde el 0 hasta el 14.

El pH se considera neutro cuando tiene un valor de 7, como en el caso del agua y la sangre. Si tiene un valor inferior es ácido, como por ejemplo el vinagre o el zumo de limón. Finalmente, si es superior a 7 se trata de una sustancia básica, como es el caso del bicarbonato sódico o el jabón.

Decimos que una sustancia es ácida cuando tiene una alta concentración de hidrogeniones y que es básica o alcalina cuando su concentración es escasa. Siendo los hidrogeniones átomos de hidrogeno que han perdido su electrón y que por tanto presentan una carga positiva.

La fórmula matemática a partir de la cual calculamos el pH de una sustancia es:

$$\text{pH} = -1 \log [\text{H}^+]$$

Es decir, el logaritmo negativo en base diez de la actividad de los cationes hidrógeno.

Los indicadores de pH son unas sustancias capaces de cambiar de color según el medio en el que se encuentren. Así, si la solución adquiere un tono rojizo significa que es una sustancia ácida, pero si se torna a un color amarillo-verdoso es una sustancia neutra y si cambia a un tono azulado indicará que es una sustancia básica.

Algunos de los indicadores de pH más utilizados son:

- Indicadores líquidos ácido-base, que funcionan según un rango determinado de pH variando su color. Entre ellos se encuentran: el rojo de cresol (rojo a amarillo en un rango de 0,2 a 1,8), el rojo de metilo (rojo a amarillo en un rango de 4,2 a 6,2), verde bromocresol (rosado a azul/verde de 4,2 a 5,2), y la fenolftaleína (incolora a rosada en un rango de 8,0 a 10,0).

- Papeles indicadores o tiras, entre los cuales el más conocido es el papel tornasol, éste nos ayuda a conocer si una solución líquida o gaseosa es ácida o básica según si adquiere un color rojo o azul respectivamente. Sin embargo, con un papel tornasol, no podemos saber cuál es el pH exacto o estimado de la solución.

- Los pH-metros, a través de los cuales podemos conseguir valores exactos de este parámetro, algo que no era posible con las tiras de papel ni los indicadores líquidos. Esto sucede ya que se basan en la medición del diferencial de potencial eléctrico entre el pH del electrodo y el electrodo de referencia.

Una vez sabemos lo que es el pH investigaremos por qué algunas plantas como las hortensias o la col lombarda tienen la capacidad para revelar la acidez o alcalinidad del suelo. Esto se debe a que ambas contienen una sustancia química, la antocianina, un pigmento hidrosoluble que se encuentra en las vacuolas de las células vegetales, que cambia de color dependiendo del pH del medio en el que se encuentra. En medios ácidos, la antocianina se vuelve de color rojo, en neutros se vuelve púrpura y en alcalinos, es decir, básicos, se torna verdeazulado

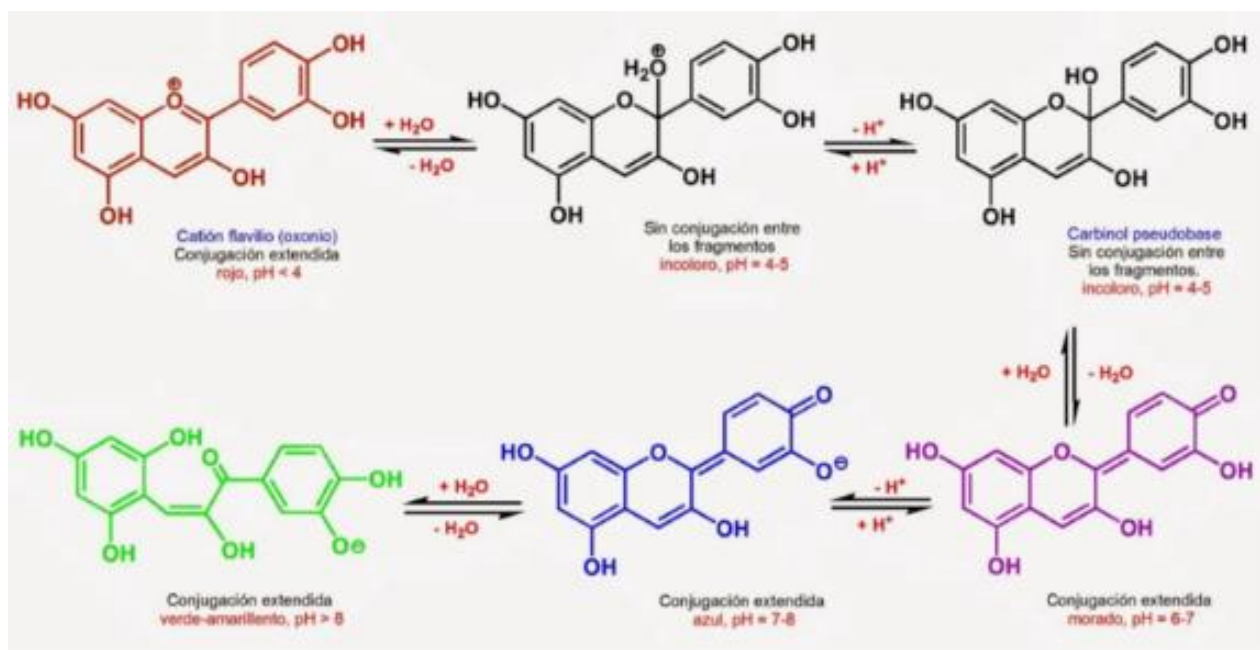


Ilustración 1. Distintas estructuras que adquieren las antocianinas en función del pH.

## Formulación de las hipótesis

Hemos planteado las siguientes hipótesis, las cuales al final del experimento confirmaremos o rechazaremos según los resultados obtenidos:

- El líquido de la col lombarda nos ayuda a determinar si una sustancia es ácida o básica gracias a la coloración que adquiere en presencia de una sustancia de un tipo de pH u otro.
- Además de la col lombarda como ejemplo de planta indicadora del pH, las hortensias también cumplen con esta misma función.
- Los agricultores pueden variar el pH del suelo utilizando diferentes métodos. Para aumentar el pH y hacer el suelo más alcalino, pueden agregar carbocal.

## 2. Metodología

### 2.1 Generación de agua destilada

Antes de comenzar nuestro experimento queremos recalcar que durante todos los apartados vamos a usar agua destilada, ya que al

tratarse de un experimento en el cual estamos tratando con sustancias de pH muy parecidos si usamos el agua del grifo pueden hacer fracasar nuestro experimento.

Para obtener agua destilada hay que pasar por un proceso de destilación, que es una técnica para separar sustancias miscibles la cual consiste en separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades (puntos de ebullición). Para ello vamos a seguir los siguientes pasos:

1. Llenar el destilador con agua hasta el nivel indicado.
2. Encender el destilador y esperar a que el agua se caliente y comience a evaporarse.
3. A medida que el agua se evapora, el vapor subirá por el destilador y luego al bajar drásticamente su temperatura en el condensador volverá a su estado líquido.
4. El agua condensada se recogerá en el recipiente de recolección.

5. Una vez obtenida la cantidad deseada de agua destilada se debe apagar el destilador y dejar que se enfríe antes de usar el agua libre de impurezas que se ha conseguido.

## 2.2. Obtención del líquido de la col lombarda

Para ejecutar nuestro experimento, necesitaremos extraer el líquido violeta resultante de cocer la col lombarda, ya que usaremos esta sustancia como indicador de pH.

Los materiales empleados son los siguientes:

- Col lombarda
- Agua destilada
- Cuchillo
- Vitrocerámica
- Vasos y jarras
- Colador

El proceso de la preparación del líquido de la col lombarda es el siguiente:

- 1- Picar la col lombarda en pequeños trozos para facilitar la salida de sus pigmentos.
- 2- Poner el agua previamente destilada en la olla y calentarla hasta que empiece a hervir



- 3- Verter la col picada en el agua hirviendo y dejarla durante 10 minutos.



- 4- Filtrar el contenido de la olla con un colador y ponerlo en una jarra para poder usarlo posteriormente en los experimentos.



## 2.3. Demostración del funcionamiento de la col lombarda como indicador de pH

Para verificar la hipótesis de que la col lombarda es un indicador de pH, hemos realizado un experimento simple. Para ello, hemos requerido de bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ), la cual es una sustancia muy básica, y vinagre ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), que es una sustancia muy ácida. Además de agua destilada para mostrar un punto dónde el pH es neutro y poder comparar las muestras del bicarbonato de sodio y el vinagre. Para el siguiente experimento vertimos el líquido previamente preparado sobre las sustancias mencionadas.



Ilustración 2: Resultado de la tinción

Como se puede observar, el vaso del vinagre se encuentra a la izquierda y el del bicarbonato de sodio a la derecha. Así queda demostrada la habilidad de la col lombarda como un buen

indicador de pH. Gracias a su tonalidad, podemos ver cómo los colores que tienden a un rojizo o rosado son debido a un pH ácido, el color morado indica un pH neutro y el color azulado es debido a un pH básico.

Además, hemos leído otros artículos que también han investigado las tonalidades que adquiere el líquido de la lombarda al añadirle sustancias de distintos pH como por ejemplo el estudio de Heredia Avalos, 2006 del cual hemos sacado la tabla de la izquierda.

#### 2.4. Comparación de tierras ácida neutra y básica

Una vez comprobado que el líquido de la col lombarda es realmente un indicador de pH vamos a llevar a cabo nuestro experimento. Que consiste en testar el nivel del pH de la tierra en distintos puntos de nuestra comunidad autónoma.

Para ello hemos hecho uso de los siguientes materiales:

- 3 matraces Erlenmeyer
- Muestra de tierra procedente de nuestro centro
- Muestra de tierra procedente de Villagonzalo, Burgos
- Muestra de tierra procedente de Abraveses de Tera, Zamora
- Báscula electrónica
- 3 relojes de vidrio
- 1 vaso de precipitados
- 1 embudo

El procedimiento seguido ha sido el siguiente:

1. Pesamos las muestras con 10 gramos para tener la misma masa de tierra en cada muestra y el experimento no se diferencia por las masas.

2. Una vez obtenidas y medidas nuestras muestras, vamos a utilizar un embudo para poner cada muestra en un matraz Erlenmeyer distinto.

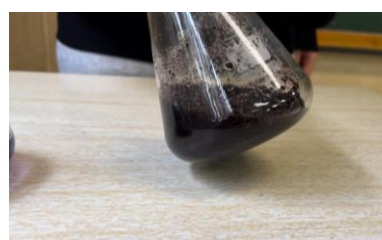
3. Una vez colocadas las muestras en cada matraz, vertemos una cantidad de líquido de col lombarda similar que cubra las muestras. Este cambiará de color según el nivel de pH de las muestras.



Muestra 1: tierra del centro



Muestra 2: tierra de Villagonzalo Pedernales



Muestra 3: tierra de Zamora

4. Para finalizar el experimento, esperamos una hora dejando tiempo para que la tierra se deposite en el fondo del matraz y así se puedan apreciar mejor los colores. El matraz de la izquierda se corresponde con la tierra de la primera muestra, la recogida en el centro y el de la derecha corresponde con la tierra de la tercera muestra de Zamora:



### 2.5. Uso de la Carbocal como base

En esta ocasión, queremos comprobar si Carbocal, una sustancia compuesta en su mayoría por carbonato cálcico, además de contener materia orgánica y elementos fertilizantes como fósforo y magnesio, sirve realmente para convertir un suelo con pH ácido a uno con pH básico, comportándose, así como un buen corrector del pH. De esta manera, puede ser muy útil para ser utilizado en los cultivos, ya que, gracias a él, los agricultores pueden refinar el azúcar obtenido de los campos de remolacha debido a que esta sustancia se obtiene como resultado de un proceso de separación de los “no azúcares” del jugo extraído en la remolacha azucarera, y restos de pulpa seca de esta planta.

	Ácido	Neutro	Alcalino
Acelga		6	7,5
Altramuz	5	7	
Apio		6	7,5
Avena	5		7,5
Almendro		6	7
Ajo		6	7
Alcachofa		6,5	8
Alfalfa		6,5	8
Berenjena	5,5	6	
Boniato	5	6	
Brócoli		6	7
Calabaza	5,5	7	
Cebolla		6	7
Cerezo		6	7
Col		6	7,5
C. Bruselas		6	7
Coliflor		6	7
Colza	5,5	7	
Centeno	5	7	
Cebada		6,5	8
Escarola		6	7
Esparrago		6	7,5
Espinaca		6	7
Fresa	5	6	
Guisantes		6	7
Girasol		6	7,5
Habas			7,5
Judías		6	7
Kiwano		6	6,5
Kiwi		6	7
Lechuga		6	7
Lenteja	5		7,5
Lino		5,5	7,5
Maíz		6	7
Manzano		5,5	7
Melocotón	5	7	
Melón		6	8
Nabo		6	7
Olivo		6	8
Pepino		6	7
Pimiento	5,5	7	
Puerro	5,5	6	
Rábano		6	7,5
Remolacha		6	7,5
Repollo		6	7,5
Tomate		6	7
Tábaco	5,5		7,5
Uvilla	5,5	7	
Vid	5,5	7	
Zanahoria	5,5	7	

Tabla 1. pH recomendado para diferentes cultivos comunes

Sin embargo, para conseguir el efecto contrario y así hacer el suelo más ácido, los agricultores pueden usar azufre o productos orgánicos como la turba o el compost.

Ambos ajustes del pH de la tierra ayudan a crear un ambiente de suelo óptimo para el crecimiento de las plantas específicas que desean cultivar.

Pero en este experimento, nos centramos en el uso del Carbocal como sustancia basificadora,

capaz de aumentar el pH de una solución. Para ello, hemos utilizado una muestra de tierra ácida, a la que previamente hemos añadido el líquido de col lombarda para que se pueda observar con claridad su color rojizo y así confirmar que se trata de un pH ácido. Posteriormente, hemos añadido una pequeña cucharada de carbocal a la solución. Finalmente, hemos removido un poco la muestra y la hemos dejado reposar unos segundos, tras este tiempo se puede observar cómo ha cambiado a una coloración más azulada, indicando por lo tanto que se trata de un pH básico, y confirmando así nuestra hipótesis inicial de que se trata de un buen elemento para basificar una solución. Este es el procedimiento:



## 2.6. La coloración de las hortensias

Sabemos que el color de la col nos puede ayudar a determinar el PH de una disolución, sin embargo, no son las únicas plantas capaces de hacerlo, ya que hemos realizado un estudio con otras: las hortensias, es decir, el género "Hydrangea". Estas plantas, que vemos a menudo ya que son muy utilizadas para decorar debido a los bonitos colores de sus flores funcionan también como indicadores del PH. Al leer varias investigaciones hemos descubierto que efectivamente esto es así ya que una misma hortensia puede cambiar el color de sus flores varias veces a lo largo de su vida dependiendo del tipo de tierra en el que esté situada. Si está en una

tierra con un pH entre 5 y 5,5 éstas tendrán un color más azulado ya que en un medio ácido le es más fácil absorber una mayor cantidad de aluminio

Si está en un medio con un pH un poco más bajo, es decir entre 5,5 y 6,5 su flor tendrá una coloración entre morada y magenta.

Finalmente, si la planta se encuentra en un medio neutro, entre 6,5 y 7 la flor será de un tono rosáceo o blanquecino. Ya que será más difícil para la hortensia absorber el aluminio de la tierra.

Ilustración 3. Formación de complejos cationicos solubles a partir de filosilicatos en pH ácido

Esto es gracias a que las hortensias tienen también una antocianina, pero en este caso es la mirtilina (delfinidina-3-O-glucósido) Que en estado libre es rosa, pero si forma complejos con aluminio ( $Al^{3+}$ ) se vuelve de color azul.

## 2.7. Estudio oficial de una muestra de tierra

Para analizar otro punto de vista, disponemos de un análisis oficial de una finca en Zamora donde se estudia la calidad de la tierra con valores exactos, para verificar estos valores, hemos comprobado el pH de esta tierra utilizando el método previamente visto del líquido de la col lombarda el informe es el siguiente:

Según los resultados del estudio, el pH tiene como resultado 8,03. A continuación se va a verificar dicho dato.

Primero se recoge la muestra con la ayuda de una pala para coger tierra de una determinada profundidad en lugar de obtenerla directamente de la superficie y así lograr una mayor precisión.

Una vez obtenida la muestra se introduce en un matraz Erlenmeyer para mezclarlo con el líquido de la col:



Al finalizar el experimento se puede observar que dicho estudio es verdadero ya que el indicador de la col nos muestra cierta alcalinidad en la tierra de la finca.

### 3. Resultados y discusión

Gracias a este sencillo experimento hemos podido verificar las hipótesis iniciales, obteniendo como resultado que efectivamente la col lombarda nos puede ayudar a determinar el PH del suelo. Esto lo vemos gracias al punto 4, donde en el resultado final se puede observar cómo los colores de las muestras mezcladas con el líquido de la col lombarda indican su pH que, gracias a la tabla previamente mostrada en la hipótesis, podemos deducir siendo el de la primera muestra en el colegio de Burgos un pH básico por su tono azulado; la segunda de Villagonzalo Pedernales un pH neutro por su tonalidad de la propia col lombarda, morada y por último la tercera muestra de Zamora un pH ácido con una tonalidad que tiende a un color rojizo.

#### Verificación de los resultados obtenidos

Para comprobar que la col lombarda efectivamente ha dado unos resultados fiables hemos empleado tres fuentes a nuestro alcance:

- 1- Pruebas con cintas de papel tornasol
- 2- Un mapa del pH del suelo de Castilla y León de la AEMET
- 3- Un estudio del suelo de una zona de Zamora previamente hecho.

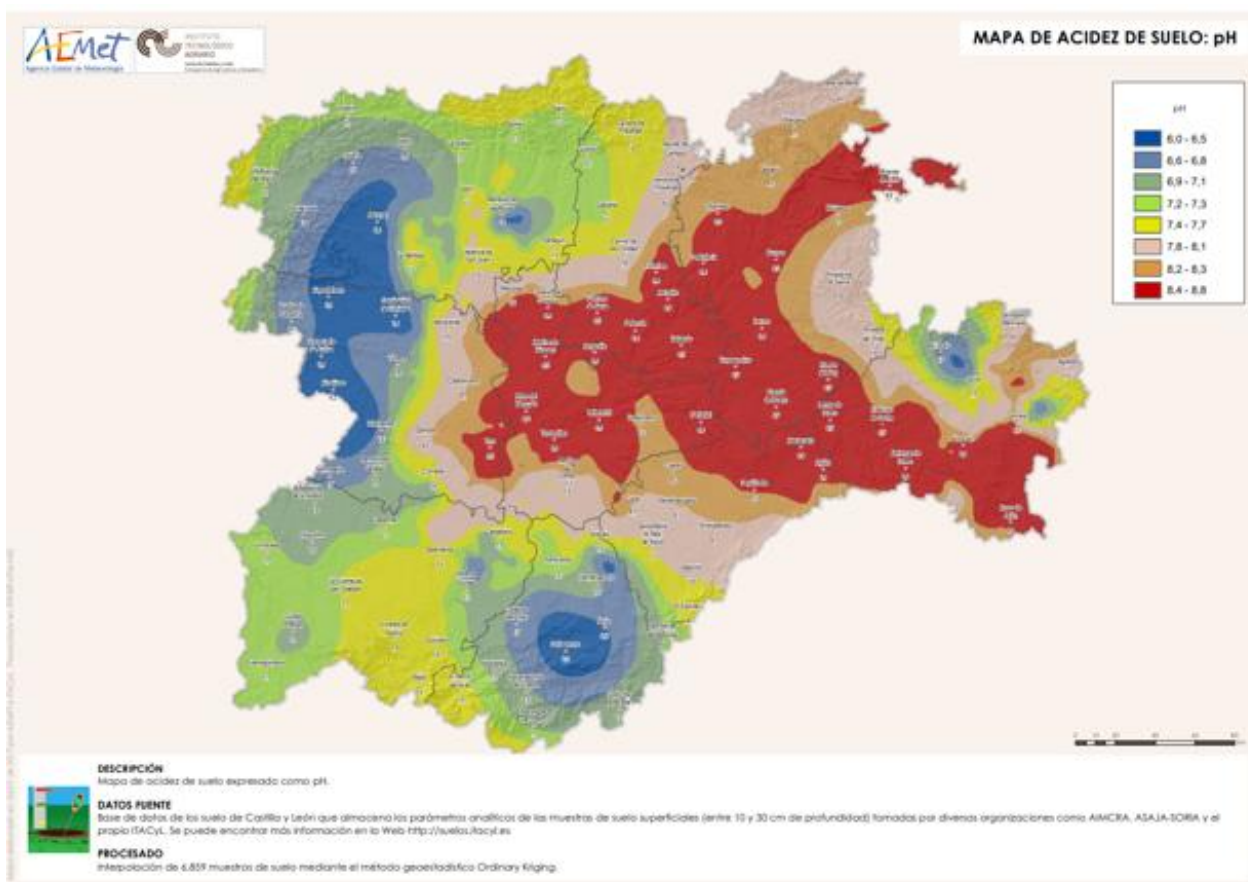
Para el primer método de comprobación, es decir el uso del papel tornasol, hemos seguido el siguiente procedimiento con ayuda de un estudio realizado por los alumnos de 4ºESO sobre la calidad de la tierra en distintas zonas de nuestro centro donde previamente se les fue explicado el concepto de pH y de indicador de pH. Gracias a este estudio verificamos que la primera muestra, la de nuestro centro, se corresponde a una tierra con un pH alcalino. Dicho procedimiento fue el siguiente:

- Llenado de recipiente, aproximadamente un dedo, con la tierra que queríamos testar
- Adición de la misma cantidad de agua destilada y mezclado.
- Reposo de la mezcla durante unos minutos, hasta que se deposite toda la tierra en el fondo del recipiente.
- Introducción de la tira de papel tornasol en la capa superior acuosa.



Es importante seguir estos pasos, ya que si no dejas reposar la mezcla el resultado no se aprecia debido a la coloración marrón del barro.

La segunda fuente mencionada, el mapa de la AEMET, lo usamos para basar nuestra hipótesis de que en Burgos encontraríamos tierra básica y en Zamora sería más acida.



Gracias al mapa previamente consultado de la AEMET hemos podido observar la acidez de la tierra en la zona de Zamora por lo que se han hecho varios estudios previos sobre la tierra gracias a una empresa privada y hemos encontrado una zona con muestras de tierra básica

#### 4. Conclusión

La col lombarda efectivamente es un indicador del pH, pero a la hora de la verdad ¿es útil esta planta como medidor del pH?

Por un lado, la col lombarda es ecológica y damos un segundo uso a algo que normalmente se desecha como es el líquido resultante de cocer la col.

Sin embargo, el líquido de la col lombarda se estropea al poco tiempo, ya que la sustancia que

le aporta esta característica de determinar el pH, la antocianina, es fotosensible y termosensible.

Utilizar el líquido de la col lombarda para determinar de forma casera el pH de muchos productos de uso cotidiano puede ser útil si se quiere obtener una idea cualitativa de él, en cambio, si queremos adquirir datos más fiables y con mayor precisión, debemos recurrir a los indicadores previamente explicados como los pH-metros.

Otro punto para tener en cuenta es la verificación, como se ha visto anteriormente en el punto 7 de la metodología, gracias a la col podemos realizar un estudio cualitativo pero rápido sobre el pH, esto nos sirve para saber si un estudio es verdadero o falso.

Por todas las razones expuestas podemos concluir que es un experimento poco relevante a nivel científico, ya que, como hemos dicho antes,

los resultados obtenidos son poco precisos. Sin embargo, consideramos que sí que es útil en el contexto de acercar la ciencia a un entorno más cotidiano, es decir, que gracias a este experimento hemos podido demostrar a los alumnos de cursos inferiores que no hace falta tener grandes materiales ni aparatos para llevar a cabo un experimento práctico sobre algo que vemos en clase de una forma muy teórica y abstracta como es el PH. Sino que si le pones ganas y tienes curiosidad puedes acceder a la ciencia estés donde estés.

### **5. Vídeo explicativo**

Para explicar con otro formato el punto 4 y 5 de la metodología, hemos realizado un vídeo explicativo donde se ven de otra forma estos experimentos.

<https://www.youtube.com/watch?v=rHqmCDwGaj0>

### **6. Bibliografía**

- Heredia Avalos, S. (2006). Experiencias sorprendentes de química con indicadores de pH caseros. Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias, 3(1),89-103.
- [https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2006.v3.i1.07](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i1.07)
- Ruíz Ulric, C. (2021). Extracción y caracterización de antocianinas mediante técnicas físico químicas para su uso en preparados de alta cocina (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Benavides, B. E. A., Coral, S. V. O., & Basante, M. N. V. (2021). EXTRACCIÓN DE ANTOCIANINAS PROCEDENTES DEL REPOLLO MORADO (BRASSICA OLERACEA) COMO INDICADOR NATURAL DE PH. CONCIENCIA Y TÉCNICA, 5(1), 56-62.
- Castillo, O. V. (2020). Estudio de sustancias naturales como indicadores de pH: Propuesta didáctica. Anales de Química de la RSEQ, (2), 88-98.
- <https://suelos.itacyl.es/mapas>
- Indicadores de pH: qué son, tipos y cómo funcionan (lifeder.com).
- Carbocal - Betalia
- <https://www.aridosodira.com/blog/ventajas-del-carbonato-de-calcio-de-sodira-en-la-agricultura>.
- Miguel Suffo-Pino, Miguel Ángel Cauqui-López, Celia Pérez-Muñoz, Daniel Goma-Jiménez, Natalia Fernández-Delgado, y Miriam Herrera-Collado: 'Biphasic Bioceramic Obtained from Byproducts of Sugar Beet Processing for Use in Bioactive Coatings and Bone Fillings'. Revista Journal of Functional Biomaterials. octubre de 2023 | DOI: 10.3390/jfb14100499.

# ***Los retos de la sequía en el futuro. Estudio de las plantas regadas con agua desalada a través de una desalinizadora solar\*\****

*Lucía Corral y Clara Ovalle (2º Bachillerato)*

*Profesora Alba Brasa Marqués*

*IES Gil y Carrasco, Ponferrada (León))*

Actualmente, la sequía es uno de los mayores retos agrícolas que España afronta y este proyecto plantea algunas propuestas de mejora para esta situación. Por un lado, se ha diseñado un desalinizador para obtener agua desalada a partir de agua marina. Además, se ha estudiado cómo influye el riego con el agua obtenida en el crecimiento y biomasa de cuatro especies vegetales (lenteja, tomate, maíz y trigo). Estos resultados se han comparado con los obtenidos regando con agua marina directamente y con agua dulce. Los resultados muestran que el prototipo de desalinizador es efectivo y que el agua desalada obtenida puede ser utilizada con éxito en algunas de las especies de vegetales. El análisis estadístico muestra que el crecimiento del maíz en agua desalada es superior al crecimiento que presenta con agua de grifo. Por tanto, se plantean futuras investigaciones que permitan corroborar los resultados obtenidos para consolidar el uso del agua marina desalinizada como una posibilidad real de agua de riego.

## **1. Introducción**

Este trabajo es un proyecto experimental realizado por estudiantes de segundo curso del Bachillerato de Investigación y Excelencia con el propósito de utilizar el método científico para analizar la sequía y su implicación en el

crecimiento de especies vegetales aptas para la alimentación.

Actualmente, debido al cambio climático, cada vez son más las épocas de sequía que afectan a nuestro país y a sus cultivos debido a la escasez de agua. Por ello, resulta interesante estudiar la influencia de otras formas de riego en la efectividad en el crecimiento de las plantas. En este caso, se propone la elaboración de una desalinizadora solar con la que obtener agua apta

para el riego a partir de una réplica de agua marina, ya que España es un país con numerosas zonas costeras de las que sería fácil obtener el agua salada. De esta forma, los cultivos siempre dispondrían de agua suficiente para crecer y se ahorraría gran cantidad de agua dulce.

## 2. Antecedentes

Los eventos meteorológicos extremos son cada vez más habituales en España. Los eventos extremos hacen referencia a las variables meteorológicas que alcanzan valores superiores o inferiores a unos valores umbral establecidos (Rico, 2015). Este auge de eventos meteorológicos extremos, entre los que destaca la temperatura, hace que su estudio se haya convertido en una línea prioritaria a la hora de analizar cómo esto afecta al territorio, cultivos, economía y sociedad española.

En relación con las consecuencias sobre el sector agrario, se encuentran algunos estudios en los que se analiza la actividad de la vegetación y su respuesta a la variabilidad climática a través de los datos de satélite, poniéndose de manifiesto la vulnerabilidad de las especies vegetales en España ante las sequías. Para cuantificar estos efectos, se utilizan las correlaciones entre índices meteorológicos de sequía (SPI, por sus siglas en inglés) y variables biofísicas extraídas de datos MODIS/EOS y SEVIRI/MSG<sup>1</sup>. Se obtiene, como conclusión, que las formaciones herbáceas son muy vulnerables a la sequía, especialmente durante la fase de crecimiento. Asimismo, la mayor parte de ecosistemas presentes en las zonas secas han mostrado una gran sensibilidad al déficit hídrico en la primavera (García-Haro et al., 2014).

Además, otros estudios realizados con AVHRR<sup>2</sup>, índices de precipitación y sistemas de información geográfica han mostrado que la estacionalidad y la localización de los terrenos en

regiones de sequía afecta al crecimiento de las especies vegetales. Especialmente, en los terrenos áridos durante las estaciones de primavera y verano, son en los que las especies vegetales tienen un menor crecimiento (Vicente-Serrano, 2007).

El abastecimiento de agua en las diferentes zonas de cultivo en España tiene cada vez más relevancia: el año hidrológico 2022-2023 ha tenido un carácter globalmente seco en el conjunto de España, lo que supuso que el 14,6% del territorio nacional se encontrase en emergencia por escasez de agua. En este sentido, otros estudios científicos exponen los efectos de la sequía en la agricultura, siendo los cultivos extensivos uno de los sectores más perjudicados al haberse reducido la producción de cereales de otoño-invierno un 40% respecto a la campaña de 2022. Asimismo, la superficie de cultivo de maíz ha sufrido una reducción del 20% debido a la menor disponibilidad de agua para riego. En la misma línea, se esperan producciones inferiores de leguminosas, principalmente lentejas. El tomate también ha sufrido una reducción en la siembra, pasando de 6600 hectáreas a apenas 1700 hectáreas (MITECO y MAPA, 2023).

Con el objetivo de dar solución a este problema, actualmente se están evaluando métodos no convencionales para el suministro del agua. En este ámbito, se ha estudiado el empleo de agua marina desalinizada (AMD) para el riego. Esta alternativa de suministro hídrico permite mantener una producción agrícola sostenible, al tratarse de un recurso abundante y constante (Martínez et al., 2019).

Es por ello por lo que el riego con AMD tiene cada vez un papel más relevante en el sector agrario, siendo considerada su implementación en diferentes países, como Egipto, Arabia Saudí, Australia o Estados Unidos (Martínez Álvarez, V.

<sup>1</sup> MODIS/EOS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), SEVIRI/MSG (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager).

<sup>2</sup> AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer).

*et al.*, 2019). En el caso de España, y tras analizar diferentes factores, como los costes, el consumo energético, etc., se concluye que el suministro de AMD en la agricultura ya es una realidad en el sureste español, al permitir disponer de mayores recursos hídricos para el riego en las regiones costeras. Actualmente, existen nueve desaladoras localizadas en las provincias de Alicante, Murcia y Almería, y que abastecen de AMD al regadío del sureste español (Martínez et al., 2019).

En relación con el empleo de AMD y cómo esta afecta a la agricultura, existen estudios que tienen como objetivo analizar las diferencias de productividad agronómica y económica del cultivo de tomate, comparando el uso de agua de pozo frente a AMD en explotaciones de Almería con suelo arenoso. Los resultados del estudio ponen de manifiesto que se ha obtenido una mayor cantidad de kilogramos totales comerciales en el tratamiento con AMD. Adicionalmente, respecto a los parámetros de calidad externa e interna, todos son favorables al tratamiento con AMD y se concluye que es rentable emplear AMD para el riego en invernaderos (Valera et al., 2016).

Además de la rentabilidad observada en el empleo de AMD para el regadío, se pueden señalar dos tipos de actuaciones frente a las condiciones de sequía: aquellas que buscan optimizar la oferta disponible de agua y las que buscan aumentar la oferta de recursos, como el empleo de AMD, que aporta volúmenes nuevos adicionales a los del ciclo hidrológico (Cantos, et al., 2000).

La generación de AMD requiere un proceso previo de desalación de agua, el cual exige aportar la energía suficiente para separar las

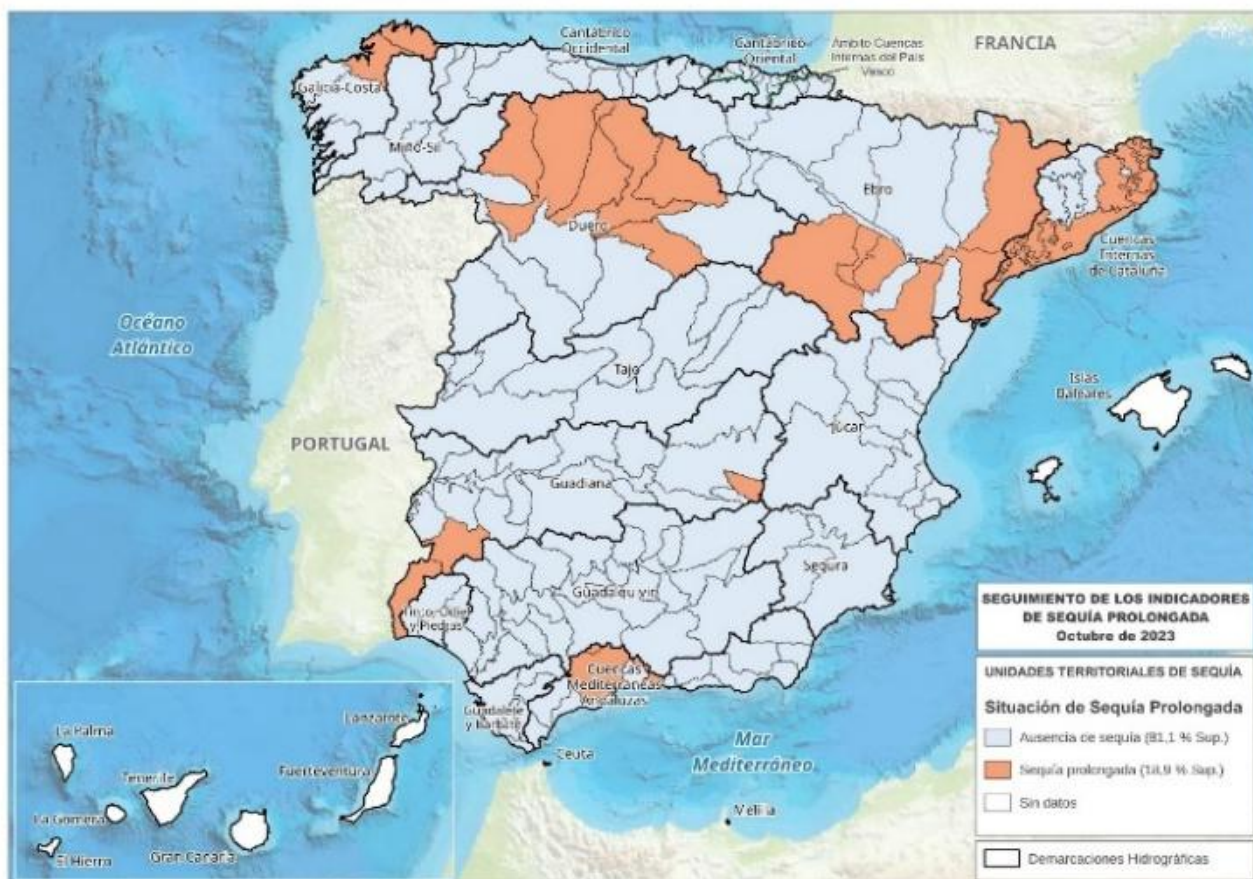
sales que contiene. Para ello, existen técnicas de desalación, que pueden clasificarse de distintas formas en función de si implican o no el cambio de estado del agua. La más importante es la destilación, la cual se basa en la separación del agua y la sal a través de la evaporación del agua y posterior condensación del vapor de agua originado. Otras técnicas importantes son la cristalización, la ósmosis inversa y la electrodiálisis. Estas técnicas y el uso de AMD en la agricultura son técnicamente viables, si bien, a nivel económico, solamente resultan interesantes si se trata de cultivos intensivos, con alta rentabilidad, pues los costes de desalar son elevados. Para poder mejorar estas técnicas y abaratar los costes sería conveniente potenciar la investigación en este tema (Puicon y Romero, 2022).

### **3. Marco teórico**

En el siguiente apartado se introducen algunos conceptos clave necesarios para la comprensión del proyecto, aportando datos y explicaciones sobre diferentes aspectos con los que se ha trabajado.

#### **3.1. Sequía y efectos sobre el riego**

La sequía se define como un periodo prologado de tiempo con valores de las precipitaciones inferiores a los normales en el área. Esto trae consigo diferentes anomalías ambientales, desde migraciones forzadas de distintas especies hasta la destrucción de ecosistemas, pasando por diferentes problemas en la producción de cultivos. Todo ello acarrea problemas económicos para el país y subida de precios de muchos productos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023).



**Figura 1.** Mapa de seguimiento de los indicadores de sequía. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

La sequía es uno de los retos a los que ha de hacer frente España, especialmente durante los meses de verano. En la *Figura 1* puede observarse un mapa en el que se representan datos de sequía prolongada obtenidos en noviembre de 2022.

En color naranja se observan las zonas con sequía prolongada, mientras que en color azul se señalan las zonas con ausencia de sequía. Las zonas en color blanco no tienen datos recogidos para esa fecha.

La información que se extrae de la *Figura 1* es que las principales zonas de sequía prolongada se encuentran en el norte de la comunidad de Castilla y León, en parte de Aragón, en Cataluña y en algunas zonas de Andalucía y Galicia.

### 3.2. Conductividad salina

La conductividad eléctrica mide la capacidad que tiene un material para conducir una corriente eléctrica. En el caso del agua de mar, esto depende del número de iones disueltos por unidad de superficie, de la temperatura y de la presión. La relación entre la conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT) depende de la composición química del agua: a medida que la cantidad de SDT, la conductividad también aumenta de manera directamente proporcional (Barrenechea, 2004). Además, uno de los parámetros más importantes a la hora de evaluar la calidad del agua de riego es la concentración de sales, medida comúnmente como conductividad eléctrica (Cepeda et al., 2007).

La salinidad (proporción de sales disueltas por volumen de agua en relación con su conductividad) es la medida utilizada para el estudio del agua marina. Cuanto más elevada es

la salinidad de un agua de riego, mayor será el esfuerzo que las plantas necesiten realizar para absorber el agua disponible.

La conductividad se determina generalmente mediante un conductímetro electrónico, el cual genera una diferencia de potencial entre dos electrodos sumergidos en agua (Barrenechea, 2004). Este parámetro se mide en S/m en el Sistema Internacional, aunque es habitual utilizar  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Además, existen otras unidades bastante frecuentes como las partes por millón (ppm, mg/kg), salinidad absoluta (g/kg) o el empleo de las UPS (Unidades Prácticas de Salinidad derivadas de la Escala Práctica de 1978, donde se dan valores adimensionales). La conductividad de agua de mar tiene un valor aproximado de 35 g/L, lo que equivale a 50 mS/cm (50000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), a una temperatura media de 20 °C. En UPS, la salinidad del agua en mar abierto se encuentra en valores comprendidos entre 33 y 37 (Zaman, et al., 2018).

### 3.3. Agua marina

La principal característica que distingue el agua marina del AMD es su salinidad, debido a la presencia de cloruro de sodio (NaCl). Así, los principales componentes sólidos disueltos en el agua del mar son el cloruro (55,1%) y el sodio (30,6%). Sin embargo, el agua de mar contiene también otros elementos minerales disueltos derivados de la corteza terrestre y de sales orgánicas que provienen de restos de plantas y de animales. Estos son  $\text{Mg}^{2+}$  (3,7%),  $\text{SO}_4^{2-}$  (7,6%),  $\text{Ca}^{2+}$  (1,2%) o  $\text{K}^+$  (1,1%) (Boards, 2018).

El agua de mar tiene una gran diferencia con otros tipos de cuerpos acuáticos. Por ejemplo, el agua de un río tiene generalmente un nivel de 0 UPS, mientras que el agua en mar abierto tiene una salinidad media de 35 UPS.

El agua del mar es evidentemente salada y esta salinidad indica la concentración de sólidos disueltos. Esta concentración varía dependiendo del espacio y del tiempo debido a las diferencias

existentes entre evaporación y precipitación, así como por la aportación de agua dulce proveniente de los continentes y los casquetes polares (Boards, 2018).

Otra característica para tener en cuenta es la temperatura del agua del mar, que sirve para diferenciar una masa de agua de otra y que origina movimientos verticales debido a las diferencias de densidad. La temperatura del agua del mar en superficie disminuye a medida que aumenta la latitud. La media anual en la zona ecuatorial es de unos 30 °C, mientras que en los polos es de unos -2 °C.

### 3.4. Desalación

El agua apta para consumo tiene unos valores concretos de distintos iones y sales minerales. Por ejemplo, el agua potable no debe tener más de 0.5 gramos de sal por litro, pero tampoco puede ser agua destilada, pues, en estos casos resultaría perjudicial para el organismo. Por tanto, para obtener agua potable a partir de agua del mar, se deben separar las sales que contiene hasta llegar al agua potable (< 0.5 gramos por litro). En esto consiste la desalación de agua de mar. La desalación es un proceso por el cual el agua del mar pasa a ser un recurso hídrico aprovechable, tanto para el abastecimiento humano, como para el riego y diferentes usos industriales (Torres, 2004).

Los principales métodos de desalación incluyen procesos de evaporación y ósmosis. El control de estos fenómenos se realiza aportando la energía necesaria para lograr la separación de las sales y el agua. Esta energía procede de forma natural del sol, una fuente de energía renovable, pero también puede ser aportada de forma artificial. El empleo de la desalación ha resuelto problemas de falta de abastecimiento de agua y actualmente se producen más de 24 millones de metros cúbicos de agua desalada en todo el mundo diariamente (Muñoz et al., 2016).

Una desalinizadora es un tipo de dispositivo que se encarga de transformar el agua salada del mar en agua apta para el consumo. Mercado y Lam (2015) indican que, para llevar a cabo el proceso de desalinización, pueden emplearse distintos procesos como:

- Destilación, en concreto empleando técnicas de destilación multietapa en las cuales se aprovecha la energía liberada por el vapor de agua.
- Cristalización, donde se separa el agua de las sales mediante la congelación de la solución salina.
- Ósmosis inversa, que consiste en invertir el sentido natural del movimiento del agua, consiguiendo el filtrado de una solución salina haciendo pasar el agua y no las sales a través de una membrana semipermeable.
- Electrodiálisis, que somete al agua salada al efecto de un campo eléctrico, dando lugar a una zona de baja salinidad entre las dos membranas.

### 3.5. Especies vegetales de estudio

Las plantas se dividen en dos grandes grupos: gimnospermas y angiospermas. Las plantas angiospermas, también conocidas como plantas con flor, son las plantas vasculares con semilla (espermatofitas) que constituyen un grupo realmente diverso y lleno de características sorprendentes en cuanto a la forma y coloración de sus flores.

A su vez, las angiospermas se dividen en dos grandes grupos: monocotiledóneas y dicotiledóneas, según como sean sus semillas (Ching, 2017). En el área de la botánica, se denomina cotiledón a las hojas primordiales de las plantas con flores, que se desarrollan con la germinación de la semilla, donde forman la primera hoja del embrión.

Los cotiledones son estructuras muy importantes en las plantas, ya que proporcionan los nutrientes

adecuados, necesarios para que las semillas consigan germinar. Además, otra de las funciones del cotiledón es absorber y reservar nutrientes que están almacenados en la semilla hasta el momento en que la plántula sea capaz de generar sus propias hojas verdaderas, capaces de llevar a cabo el proceso de fotosíntesis (Ching, 2017).

En la *Tabla 1* se observan las principales diferencias entre las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas.

**Tabla 1.** Características de las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas. Fuente: (Ching, 2017).

	<i>Monocotiledónea</i>	<i>Dicotiledónea</i>
<b>Definición</b>	<i>Semillas con un cotiledón</i>	<i>Semillas con dos cotiledones</i>
<b>Tipo de plantas</b>	<i>Herbáceas</i>	<i>Anuales y árboles</i>
<b>Raíces</b>	<i>Diámetro no varía</i>	<i>Diámetro aumenta de tamaño</i>
<b>Hojas</b>	<i>Venas paralelas</i>	<i>Venas reticuladas</i>
<b>Flores</b>	<i>Nº de pétalos igual a 3 o sus múltiplos</i>	<i>Nº de pétalos igual a 4 ó 5 y sus múltiplos</i>
<b>Ejemplo</b>	<i>Cebada y trigo</i>	<i>Tomate y lenteja</i>

En este trabajo, se utilizan plantas con una gran relevancia para la alimentación mediterránea:

dos monocotiledóneas (trigo y maíz) y dos dicotiledóneas (tomate y lenteja).

#### *Plantas monocotiledóneas: trigo y maíz*

El trigo es una planta monocotiledónea no perenne que pertenece a la familia de las poáceas. En 2020, se recogieron 7817,1 toneladas de trigo en España, siendo el cereal más recogido en nuestro país. Es por ello por lo que ha sido seleccionado para el experimento ya que resulta relevante para el consumo de la población española (Scheuer et al., 2011).

El maíz, *Zea mays*, es una especie monocotiledónea anual, perteneciente a la familia de las poáceas. A diferencia de los demás cereales, es una especie monoica, lo que significa que sus inflorescencias, masculina y femenina, se ubican separadas dentro de una misma planta, lo que determina que su polinización sea fundamentalmente cruzada. El maíz es utilizado tanto en alimentación humana como animal, pudiendo obtenerse numerosos productos a partir de las distintas variedades cultivadas. Concretamente, en 2020, se recogieron 4214,1 toneladas de maíz en España, siendo uno de los cereales más cultivados en el país (Agama-Acevedo. et al., 2011).

#### *Plantas dicotiledóneas: tomate y lenteja*

El tomate de ensalada, *Lycopersicon esculentum*, es una planta dicotiledónea, herbácea y perenne (cultivada anualmente) que pertenece a la familia de las solanáceas. En 2020, se recogieron 675,56 toneladas de tomate (Fornais, 2007). A pesar de que la cantidad recogida es menor que la de las otras especies comentadas, se considera importante incluir el tomate en este estudio por su amplio consumo y la multitud de beneficios de este para la salud.

Por último, se ha incluido en el experimento la lenteja, una planta de cultivo anual y de porte erecto, perteneciente a la familia Fabaceae y al género *Lens*. Existen dos especies: *Lens culinaris*

y *Lens nigricans*. De lenteja, en 2020, se recogieron 46,4 toneladas. Esta cifra, junto con la del tomate, resulta considerablemente menor en relación con la producción anual de las dos monocotiledóneas de estudio. Sin embargo, ambas han sido elegidas para el experimento por su importancia en la dieta mediterránea y, consecuentemente, su valor en la agricultura (Arroyave, 2004).

#### **4. Hipótesis y objetivos**

En el presente trabajo se proponen dos hipótesis iniciales, así como varios objetivos. Por un lado, se plantea un objetivo general, que podría atajarse desde diferentes puntos de vista y, por otro lado, varios objetivos específicos, con propósitos más concretos que se desarrollarán en este proyecto.

##### *Hipótesis*

En este proyecto se pretenden probar dos hipótesis muy diferenciadas con un propósito común: combatir la sequía. La dos hipótesis iniciales de trabajo son:

- El dispositivo ideado para desalar agua marina funciona.
- El riego con agua de distinta concentración salina influye en el crecimiento de las especies vegetales de estudio.

##### *Objetivos generales*

Como objetivos generales de este trabajo de investigación, se plantean:

- Estudiar la situación actual de la sequía en España, relacionándola con la producción agrícola.
- Determinar soluciones sencillas para mitigar los efectos de la sequía, proponiendo soluciones al riego de vegetales en zonas con déficit hídrico.

##### *Objetivos específicos*

Para alcanzar este objetivo general, se proponen los siguientes objetivos específicos, cuya consecución asegurará:

1. Realizar un análisis bibliográfico sobre la situación actual de la sequía en España.
2. Diseñar un modelo sencillo, reproducible y escalable de un desalinizador solar para obtener agua desalada a partir de agua marina para el riego.
3. Analizar especies vegetales de estudio con relevancia en la dieta mediterránea.
4. Estudiar y comparar el crecimiento y la biomasa de las especies vegetales regadas con las distintas soluciones de riego (agua marina, agua de grifo y AMD).

## 5. Metodología

En el siguiente apartado, se recoge toda la información relativa a la formulación y ejecución del diseño del experimento, la recogida de información, la obtención de datos experimentales y el tratamiento de los mismos.

### 5.1 Materiales y Software

El material utilizado para la elaboración de los desalinizadores incluye:

- Recipiente de plástico.
- Papel para forrar libros.
- Tubo para realizar un canalón (palo de fregona).

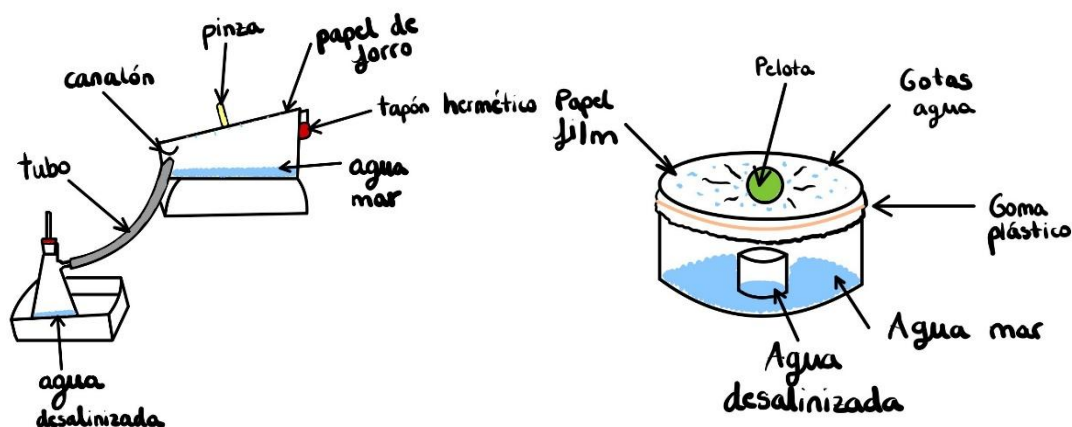
- Tubo elástico.
- Matraz Kitasato.
- Recipientes de cristal.
- Pelota de golf.
- Papel film.
- Goma.

El material utilizado para el experimento de crecimiento y biomasa comprende los siguientes elementos:

- Tierra.
- Macetas.
- Agua del grifo.
- Agua desmineralizada.
- Agua de mar (Playa de San Lorenzo, Gijón).
- Cloruro de sodio, NaCl.
- 90 semillas de cada especie (trigo, maíz, lenteja y tomate).
- Conductímetro.
- Regla graduada.
- Balanza de precisión.
- Programas informáticos utilizados: DataStudio y Geogebra.

### 5.2 Diseño y montaje del desalinizador

Para el proyecto se utilizaron dos modelos caseros de desalinizadora, cuyos detalles pueden observarse en las *Figura 2*. Estos desalinizadores se fueron modificando y comparando hasta dar con uno en el que tanto la evaporación como la recogida del agua fuera posible.



A. Primer modelo de desalinizadora.

B. Modelo definitivo de desalinizadora.

**Figura 2.** Modelos de los desalinizadores. Fuente: elaboración propia.

El primer modelo (A) constaba de una caja de plástico cubierta por papel film, cuyas paredes laterales tenían una cierta inclinación. En el fondo se encontraba el agua salada que, al evaporarse, se condensaba en el film, se deslizaba sobre este por gravedad y las gotas de agua eran recogidas por un canalón que lo sacaba a una botella. Este modelo estuvo en funcionamiento durante tres semanas.

El segundo modelo (B) constaba de un recipiente de cristal transparente en el que se colocaba el agua a evaporar. Dentro de este, se incluía un segundo recipiente de menor tamaño donde se recogería el agua desalinizada. Ambos recipientes se encontraban cubiertos por papel film y cerrados herméticamente con ayuda de una goma. Esto permite aumentar la temperatura en su interior y evitar que se perdieran gotas de agua por evaporación. Se fabricaron tres dispositivos siguiendo este modelo, para analizar simultáneamente la desalación del agua marina, del agua de grifo y de un agua desmineralizada. Los diferentes tipos de agua se evaporaban debido a la elevada temperatura de su interior, al llegar al papel film se formaban las gotas que eran conducidas hacia el centro colocando un peso en este punto. Más tarde, por gravedad caían al recipiente de menor tamaño donde se

almacenaba el agua obtenida. El proceso de desalado se mantuvo durante siete días.

En ambos casos, se plantea medir la salinidad del agua antes de introducirse en el recipiente y una segunda vez tras el proceso de desalado.

### 5.3 Preparación de las disoluciones

#### *Disoluciones para utilizar en el desalinizador*

Para preparar las disoluciones, en primer lugar, se recogió agua de mar en la playa de San Lorenzo de Gijón (Asturias). Esta muestra se mantuvo en refrigeración a 4°C hasta llegar al laboratorio, donde se dejó atemperar y se procedió a tomar la medida de conductividad. Para ello, se utilizó un conductímetro y la aplicación DataStudio que permitió medir la conductividad del agua marina de Gijón. Además de no tener agua de mar fácilmente accesible para realizar el experimento, esta contiene microorganismos y otras sustancias que pueden interferir en el crecimiento de las especies vegetales. Por ello, se realizará agua marina sintética teniendo en cuenta exclusivamente el valor de conductividad (44000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). El agua marina sintética se preparó utilizando agua del grifo a la que se añadió la masa suficiente de NaCl hasta obtener los valores de conductividad deseados. Esta agua

marina sintética, junto con las aguas de grifo y desmineralizada, fueron las empleadas para el experimento. Se vertió el mismo volumen de agua en distintos recipientes utilizados para desalinizar el agua. A partir del agua desalinizada obtenida, se volvió a utilizar el conductímetro para determinar los valores de conductividad de cada una de ellas. Con este procedimiento, se probó la efectividad de los modelos de desalinizadora realizados.

#### *Disoluciones para utilizar como agua de riego*

En cuanto a la preparación de las disoluciones de riego, se observó que las aguas de grifo y desmineralizada no presentaban diferencias tras haber sido desalinizadas, por lo que no fue necesaria la creación de réplicas. En cambio, el agua marina desalinizada presentaba notables diferencias respecto al agua marina sin desalinizar, por lo que nuevamente, utilizando el conductímetro, se midió su conductividad y se replicó el agua desalinizada añadiendo sal al agua del grifo hasta alcanzar los mismos valores de conductividad que el agua obtenida en el desalinizador.

#### **5.4 Diseño experimental para el estudio del crecimiento y la biomasa**

Las 90 semillas de cada tipo de planta se dividen en tres grupos de 30 semillas cada uno en función del riego al que se las sometería: agua marina desmineralizada, agua de grifo y agua marina sintética.

Antes de plantar, y con el ánimo de favorecer su germinación, se colocaron las 30 semillas de cada grupo en algodones, como se muestra en la *Figura 3*, y se regaron con las diferentes disoluciones de riego, asegurándose de que estaban empapadas de agua durante cinco días.

Una vez finalizados los cinco días estimados para la germinación, las semillas se plantan en macetas con tierra. Se llenan tres cuartos de la maceta con tierra antes de plantar las semillas,

tratando de que estas queden separadas a la misma distancia, dejando espacio suficiente para el crecimiento.



**Figura 3.** Semillas divididas por grupos. Fuente: elaboración propia.

Las 30 semillas de cada grupo se distribuyen en dos macetas con 15 semillas en cada una y cada una de las macetas se coloca en una cubeta de plástico. Se riega dos veces por semana (martes y viernes) durante 15 días en las cubetas de cada grupo, de modo que la absorción del agua de riego tenga lugar a través de los agujeros de la maceta.

Tras este tiempo, se tomaron las medidas de la longitud de los tallos y de las raíces (por separado) de las plantas germinadas utilizando una regla graduada, tal y como se muestra en la *Figura 4 (A)*. Posteriormente, como puede verse en la *Figura 4 (B)*, se midió su biomasa empleando una balanza de precisión. Para ello, se eliminó la tierra que se encontraba en las raíces, asegurando, así, la correcta medida de este parámetro.



**A.** Regla graduada para medir el crecimiento del tallo. Fuente: elaboración propia.

**B.** Balanza para medir la biomasa. Fuente: elaboración propia.

**Figura 4.** Instrumental utilizado en la fase de medida.

## 5.5 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos para el crecimiento de la raíz y del tallo, así como la biomasa, se analizan a través de inferencia estadística. Las medias obtenidas para el crecimiento y la biomasa podrían mostrar diferencias entre los tres grupos de estudio, debidas a la salinidad de la disolución de riego utilizada o simplemente al azar. Para determinar si las diferencias observadas son significativas y no se deben únicamente al azar, se utiliza la prueba t de Student para muestras independientes.

Esta prueba se fija para un nivel de confianza del 95 %, lo que lleva a establecer un nivel de significación de 0,05. La prueba compara medias de dos poblacionales ( $\mu_1$  y  $\mu_2$ ), siendo las desviaciones estándar de ambas poblaciones desconocidas. Se asumen varianzas iguales y se establecen dos hipótesis:

- Hipótesis nula  $\rightarrow H_0: \mu_1 = \mu_2$
- Hipótesis alternativa  $\rightarrow H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

El estadístico asociado a la prueba t de Student se calcula del siguiente modo (ecuación 1):

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (1)$$

donde  $X_1$  y  $X_2$  son las medias de cada una de las poblaciones,  $n_1$  y  $n_2$  se refieren al tamaño de cada muestra y  $s_1$  y  $s_2$  son sus desviaciones estándar. El valor de este estadístico t se relacionará con un valor de significación (p) de 0,05.

Con el nivel de significación tomado, se considera que un valor de p inferior a 0,05 rechazará la hipótesis nula y planteará la posibilidad de que la hipótesis alternativa sea válida. Por otro lado, si el valor p obtenido tiene un valor superior a 0,05, no se puede descartar que las medias de las dos poblaciones estudiadas sean iguales. Para la realización de este análisis estadístico se ha utilizado una calculadora en línea (Geogebra, 2023).

## 6. Resultados y discusión

Una vez descritos tanto los materiales como la metodología empleados para elaborar este proyecto de investigación, se exponen, a continuación, los resultados más relevantes y su discusión correspondiente.

### 6.1 Desalación

En primer lugar, se mide el agua de mar obtenida en la playa de San Lorenzo en Gijón, que da valores entre 431640 y 44676  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Por simplicidad experimental, se considerará que la conductividad es de 44000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

El desalinizador mostrado en la *Figura 2* (A) resultaba efectivo en cuanto a la evaporación, pero se presentó un problema en la recuperación del agua evaporada puesto que, al condensarse, las gotas se reincorporaban de nuevo al agua a desalinizar, por lo que este dispositivo no resultó útil para obtener agua desalada y no fue posible obtener el volumen mínimo necesario para comprobar la eficacia del proceso de

desalinización. Este problema no se apreció con el dispositivo B, por lo que se decidió recurrir a este modelo que, además, resultaba más sencillo.

En este segundo modelo (B), sí se obtiene agua desalada, por lo que es el escogido finalmente para el experimento. Una vez obtenida la cantidad suficiente, se mide la conductividad resultante de las aguas obtenidas en el proceso de desalinización, que se recogen en la *Tabla 2*. Los intervalos obtenidos se refieren al valor más alto y más bajo obtenidos durante una medida para cada agua tras la estabilización del conductímetro.

**Tabla 2.** Intervalos de los valores de conductividad obtenidos experimentalmente con DataStudio. Fuente: elaboración propia.

Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		
Agua destilada	Agua de grifo	Agua marina
490-580	340-590	14060-14070

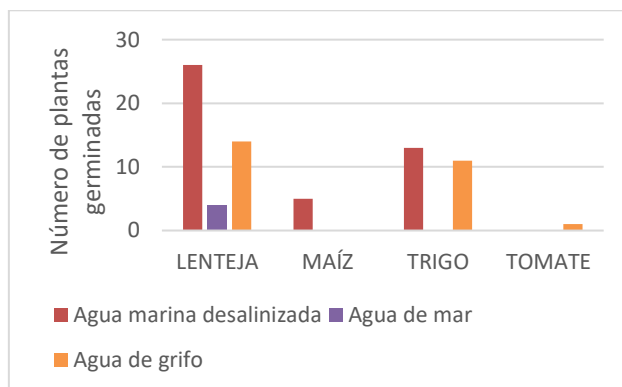
Como puede apreciarse en la *Tabla 2*, los valores de conductividad obtenidos en las aguas de grifo y destilada son muy similares, encontrándose dichos valores en el intervalo de (340-590), lo que indica una escasa conductividad, como cabía esperar antes del proceso de desalinización. Sin embargo, los valores de agua marina desalinizada son superiores y, aunque ha funcionado el proceso de desalado (pasando de valores de 446760  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 14060  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), el agua obtenida sigue teniendo unos valores de conductividad apreciables. Por tanto, para el estudio del crecimiento y la biomasa se utilizarán tres disoluciones de riego:

- Agua marina con conductividad 44000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (réplicas), de ahora en adelante, **agua marina**.
- Agua marina desalada con conductividad 14000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (réplicas), de ahora en adelante **AMD**.

- Agua de grifo, que se utilizará como control.

## 6.2 Estudio de la germinación

En la *Figura 5* puede observarse el número de semillas germinadas para cada una de las especies durante los cinco días que se encuentran en los algodones para favorecer la germinación.



**Figura 5.** Número de plantas germinadas de cada especie para las diferentes soluciones de riego.

El agua de mar desalinizada permite la germinación de casi todas las semillas de lenteja, mientras que el maíz y el trigo germinan en menor medida. Las semillas de tomate no germinan durante los cinco días en AMD.

En el caso del agua marina sintética, únicamente se observa la germinación de cuatro semillas de tomate. Sin embargo, como se verá en el siguiente apartado, finalmente estas plantas no crecen más.

Por último, el agua de grifo que se utiliza para comparar permite la germinación de trigo y lenteja (esta última en menor medida que en el AMD), mientras que el maíz no germina y en el tomate solo lo hace una semilla.

Con esto, podría decirse que, para el caso de la germinación de la lenteja durante el periodo de estudio, el AMD resulta más eficaz, mientras que en el resto de los casos no se observan excesivas variaciones con respecto al agua de grifo. Sí se aprecia que el agua marina sintética no permite

la germinación salvo en el caso de la lenteja, durante el periodo de estudio.

### 6.3 Estudio del crecimiento

Una vez finalizado el estudio de crecimiento, se constata que no ha germinado ninguna planta regada con agua marina, sin tener en cuenta la especie y a pesar de que se había registrado la germinación de algunas de las semillas regadas con esta agua en la fase de germinación. Con esto se puede concluir que el agua marina sintética empleada en este experimento no permite el crecimiento de las plantas estudiadas. De aquí en adelante, los resultados del agua marina no se mostrarán.

En la *Tabla 3* se muestra el número de plantas de cada especie que han crecido al ser regadas con AMD y agua de grifo.

**Tabla 3.** Número de plantas con crecimiento regadas con AMD y agua de grifo. Fuente: elaboración propia.

AMD				Agua de grifo			
Len	M	Tri	Tom	Len	M	Tri	Tom
22	29	21	22	20	12	19	11

Los datos expuestos en la *Tabla 3* confirman la hipótesis sobre la relación de la conductividad del agua y el crecimiento de las plantas, observándose un mayor crecimiento en las especies regadas con AMD, de acuerdo con el estudio realizado por Valera et al., (2016) donde también se obtiene mayor número de plantas totales en el tratamiento con AMD. Por tanto, se sostiene la tesis de Martínez et al., (2019) sobre la posibilidad de mantener una producción agrícola sostenible mediante el riego de los cultivos con AMD, al contar esta con una concentración de sales compatible con el crecimiento vegetal.

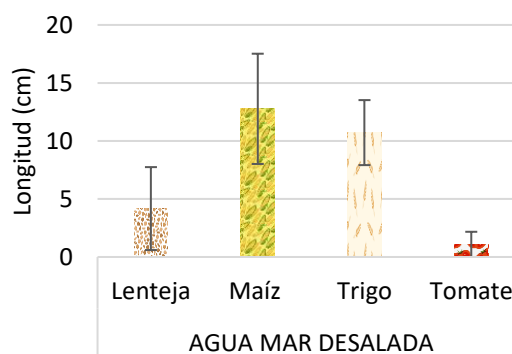
En tres de las especies herbáceas estudiadas (maíz, trigo y tomate) se observa una mayor diferencia en el crecimiento en comparación a la

lenteja, por lo cual se puede concluir que el empleo de AMD colabora en el crecimiento de las formaciones herbáceas, las cuales, como expone García-Haro et al., (2014) son muy vulnerables a la sequía, especialmente durante la fase de crecimiento.

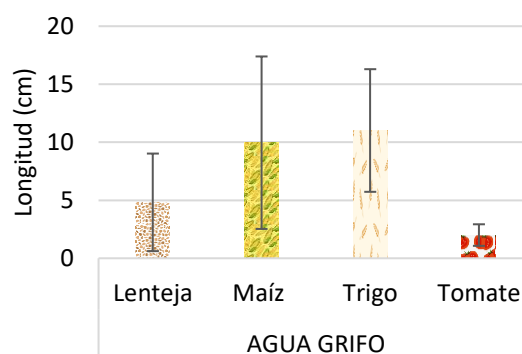
Además, a partir de los resultados obtenidos se concluye que mediante el uso de AMD se aumenta la producción de maíz, cuya superficie de cultivo se ha reducido en un 20% debido a la escasez de agua (MITECO y MAPA, 2023) y de tomate, que ha sufrido reducciones en la siembra (MITECO y MAPA, 2023).

#### Crecimiento de la raíz

En las *Figuras 6 y 7* se muestran los resultados del crecimiento de la raíz de las diferentes especies al ser regadas con AMD y agua de grifo.



**Figura 6.** Crecimiento de longitud de raíz en plantas regadas con AMD



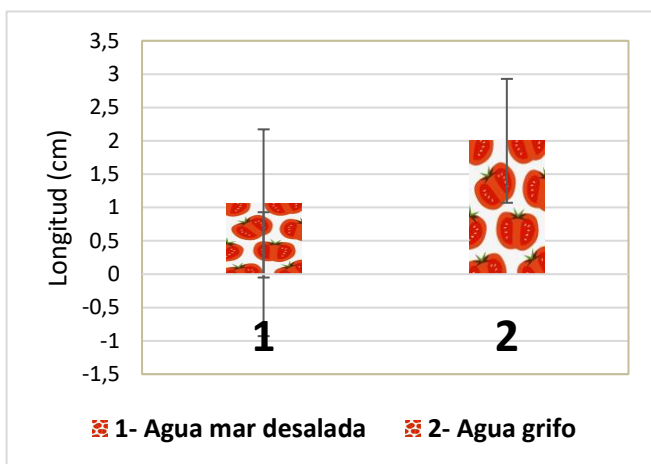
**Figura 7.** Crecimiento de longitud de raíz en plantas regadas con agua de grifo.

Como puede observarse, las especies regadas con agua de grifo presentan un mayor crecimiento de la raíz, a excepción del maíz, donde el crecimiento de la raíz se ve favorecido con el riego de AMD.

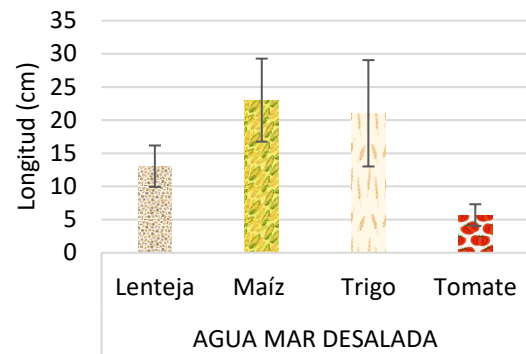
Además, como puede observarse, la diferencia en el crecimiento de la raíz en las especies en el que este se ve favorecido por el uso de agua del grifo es muy pequeña, a excepción del tomate, que se observa con mayor detalle en la *Figura 8*. Además, el análisis estadístico realizado para el crecimiento de la raíz del tomate muestra que existe una diferencia significativa en función de si este es regado con AMD o con agua de grifo, siendo la media poblacional mayor en el segundo caso. No obstante, debido a que el interés alimentario del tomate está en el fruto, sería interesante comparar si los resultados obtenidos para la raíz del tomate se trasladan a estados futuros de la planta, cuando el fruto ya está presente.

*Crecimiento del tallo*

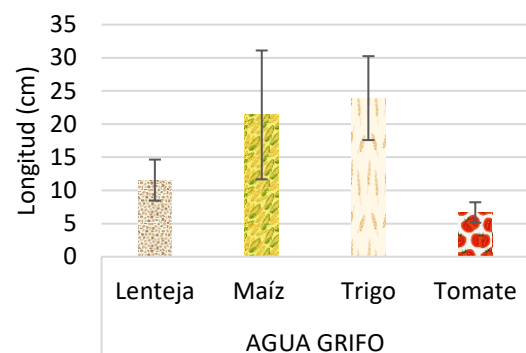
Se presenta en las *Figuras 9 y 10* los datos respectivos al crecimiento del tallo de las diferentes especies estudiadas según estas hayan sido regadas con AMD o agua de grifo.



**Figura 8.** Comparación del crecimiento de la longitud de raíz del tomate.



**Figura 9.** Crecimiento de la longitud del tallo en plantas regadas con AMD

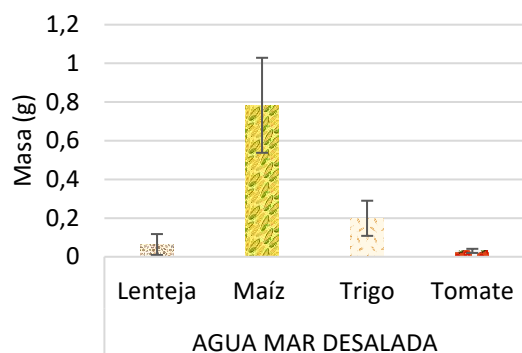


**Figura 10.** Crecimiento en longitud del tallo en plantas regadas con agua de grifo.

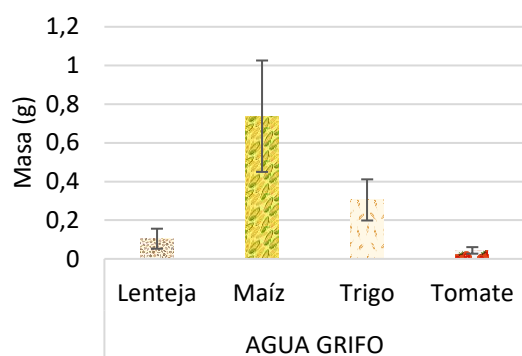
El crecimiento del tallo en todas las especies estudiadas es similar en función del agua de riego y el análisis estadístico no muestra diferencias entre las dos poblaciones. Esto resulta interesante, pues las especies que se estudian son de fruto aéreo, presente en la zona del tallo. Por tanto, se plantea realizar más estudios para comprobar si el crecimiento del fruto tampoco se vería afectado en un riego con AMD, lo que sería un avance interesante para mitigar los efectos de la sequía en zonas que carecen de agua dulce.

*Biomasa*

Los resultados de la biomasa de las diferentes especies respecto al empleo de AMD y agua del grifo se representan en las *Figuras 11 y 12*. No se han obtenido datos de biomasa respecto al agua de mar pues no ha crecido ninguna de las especies regadas.



**Figura 11.** Biomasa final en plantas regadas con AMD.



**Figura 12.** Biomasa final en plantas regadas con agua de grifo.

Observando los valores obtenidos, se puede concluir que el empleo de agua de grifo favorece en mayor medida el aumento de biomasa vegetal, algo que ha sido verificado con el análisis estadístico para lenteja, trigo y tomate. En estos tres casos, el riego con agua de grifo permite que la población obtenga una biomasa mayor. En el caso del maíz, no se observan diferencias entre las dos disoluciones de riego utilizadas. Resultaría de interés realizar de nuevo este experimento y dejar que las plantas crezcan durante varios meses hasta conseguir frutos comestibles. De este modo, se comprobaría si la biomasa de los frutos también es diferente o si, por el contrario, las variaciones en la biomasa son más sensibles a las etapas iniciales del crecimiento de las plantas.

Por último, cabe destacar que el análisis estadístico no ha mostrado diferencias entre las especies monocotiledóneas y dicotiledóneas respecto a los parámetros de estudio.

## 7. Conclusiones

En relación con los objetivos planteados en este trabajo, se exponen las siguientes conclusiones:

- La revisión bibliográfica muestra que España sufre una importante sequía que afecta a la mayoría del país debida a las escasas precipitaciones.
- El modelo de desalinizador escogido tras comparar dos modelos resulta óptimo para convertir el agua salada en agua desalinizada y utilizarla para el riego. Dicho modelo es reproducible y escalable.
- El estudio planteado permite observar a el crecimiento de raíz, tallo y el cálculo de biomasa de las especies analizadas.
- Las especies regadas con agua marina no llegaron a germinar ni dieron lugar a raíz y tallo; en cuanto a las especies regadas con agua marina, aunque fue mayor el número de ellas que llegaron a germinar y dar lugar a raíz y tallo, su crecimiento fue menor que las de las especies regadas con agua del grifo.
- El agua con alta concentración de sales no permite la germinación ni el crecimiento de las semillas. El agua con baja concentración de sales favorece el número de semillas que germinan y crecen, en cambio, el agua con menor concentración de estas facilita el crecimiento del tallo y las raíces, así como su biomasa.
- A partir de este trabajo se pueden plantear más investigaciones similares tanto con estas plantas, como con otras especies, comprobando su crecimiento a largo plazo y experimentando con disoluciones de distinta salinidad, así como empleando otras sales diferentes al NaCl.

## 8. Bibliografía

- Agama-Acevedo, E., Salinas-Moreno, Y., Pacheco-Vargas, G., & Bello-Pérez, L. A. (2011). Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(3), 317-329.
- Arroyave, M. D. P. (2004). La lenteja de agua (Lemna minor L.): una planta acuática promisoría. *Revista eia*, (1), 33-38.
- Bedoya, E., & Chaparro, E. (2022). Utilización del agua destilada de mar con energía solar para el cultivo de hortalizas. *revista ciencia y tecnología-Para el Desarrollo-UJCM*, 5(1), 108-114.
- Boards, W. (2018). Folleto Informativo conductividad eléctrica/salinidad. *California: Division of Water Quality*.
- Cepeda-Guzmán, A., Valdez-Aguilar, L. A., Castillo-González, A. M., Ruiz-Torres, N. A., Robledo-Torres, V., & Mendoza-Villarreal, R. (2014). Respuestas de lechuga a la conductividad eléctrica con riego superficial y subirrigación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5.
- Ching, A. V. W. (2017). Adaptaciones y usos de las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas. Taller Multimedial I de la Maestría en Tecnología Educativa, UNED, Costa Rica.
- Fornais, G. J. (2007). *Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate*. Universidad de Puerto Rico.
- García, S. G. (2022). La protección cuantitativa del agua: un breve repaso a lo más esencial ante el reto de la escasez y la sequía en España. *REGAP: Revista galega de administración pública*, 1(63), 59-79.
- Garcia, J. C. (2016). *Proceso de desalación de agua de mar mediante un sistema de osmosis inversa de muy alta conversión en tres etapas con recirculación de permeado y doble sistema de recuperación de energía* [Tesis doctoral, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea].
- Gracia-Gasca, A., Gío-Argáez, R., & Caballero, A. G. (2007). El agua marina. *Revista Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 58(3), 45-54.
- García-Haro, F. J., Campos-Taberner, M., Sabater, N., Belda, F., Moreno, A., Gilabert, M. A., ... Meliá, J. (2014). Vulnerabilidad de la vegetación a la sequía en España. *Revista de Teledetección*, (42), 29-38.
- Martínez Álvarez, V., Maestre-Valero, J. F., Martín Gorriz, B., & Gallego Elvira, B. (2019). Caracterización del suministro de agua marina desalinizada para riego en el sureste español. In *Actas del XXXVII Congreso Nacional de Riegos, Don Benito (Badajoz), 4-6 de Junio de 2019*. Asociación Española de Riegos y Drenajes y la Universidad de Extremadura.
- Mercado, C., & Lam, E. (2015). Evaluación de un sistema de desalinización solar, tipo concentrador cilíndrico parabólico de agua de mar. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 6(4), 19-28.
- Muñoz, R., Hernández, A., Ventura, S., & Christoph, R. (2016). Prototipado rápido de componentes para sistema de estudio de desalinización solar mejorada. *Nanotecnica: Boletín Mensual Divulgativo*.
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico (s.f.) *¿Qué es la sequía?* <https://www.miteco.gob.es/>
- Páez, A. L., & Castro, Y. S. (2019). Interpretación de calidad de agua para casos con potencial intrusión salina. *Tecnología en Marcha*, 32(5), 82-96.
- Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (2022). *The ocean we want: inclusive and transformative ocean science*. Institut de Ciències del Mar, CSIC, Barcelona.
- Penas Ríos, C. G. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de mar de la zona litoral de chorrillos y puerto chico-Barranco.
- Puicon Garcia, J. A., & Romero Simeon, K. M. (2022). *Técnicas de desalinización de agua marina en la producción de agua potable* [Tesis doctoral, Universidad César Vallejo].
- Rico, M. T. (2015). *Análisis de extremos de temperatura y precipitación en la Península Ibérica en escenarios de cambio climático* [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid].

- Scheuer, P. M., FRANCISCO, A. D., MIRANDA, M. D., & Limberger, V. M. (2011). Trigo: características e utilização na panificação. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 13(2), 211-222.
- Torres, M. (2004). La desalación de agua de mar y el vertido de la salmuera. *Ambienta*, 35, 27-33.
- Valera, D. L., Marín, P., Camacho, F., Belmonte, L. J., Molina-Aiz, F. D., & López, A. (2016). El Agua Desalada en Los Invernaderos de Almería: Tecnología de Regadío Y Efecto Sobre El Rendimiento Y Calidad de Cultivo de Tomate. In // *Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola: Almería, Spain*.
- Vicente-Serrano, S. M. (2007). Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, semi-arid region. *Natural Hazards*, 40, 173-208.
- Zaman, M., Heng, L. & Shahid, S. A. (2018) *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Springer International Publishing.
- Zapata, A., Martínez, J., Reça, J., & Callejón, J. L. (2000). Uso de agua desalada en el riego de cultivos intensivos. *Vida rural No. XIV*. Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Almeida, Portugal

## 9. Anexos

### ANEXO I. Imágenes experimentales



Figura I. Modelo experimental del primer desalinizador.

# Polímeros de alta cocina

*Sarai Ortega y Paula Santamaría (4º ESO)*

*Profesor Fernando Martínez Lara*

*IES Valle de Arlanza. Lerma (Burgos)*

Actualmente las esferificaciones son un elemento estrella en populares programas televisivos de cocina. Desafortunadamente, en esos programas no se explica por qué se forman estas llamativas esferas. Por este motivo, dos alumnas de cuarto de secundaria de un centro rural, decidimos dar una explicación. Con ayuda de nuestro profesor realizamos nuestro primer proyecto de investigación. Siguiendo una metodología previamente diseñada, se comprueba que las fuerzas intermoleculares son las responsables de este fenómeno y que podemos gelificar todos aquellos alimentos que contienen calcio, como por ejemplo el yogurt.

## 1. Introducción

En la asignatura de Física y Química estudiamos la importancia de las interacciones entre las moléculas. Gracias a estas interacciones, el agua es capaz de formar puentes de hidrógeno y convertirse en uno de los líquidos más importantes de nuestras vidas. Múltiples programas de cocina, muestran cómo alimentos que contienen calcio junto con el polímero, alginato de sodio, toman formas esféricas.

La hipótesis que formulamos es que, las interacciones entre moléculas son las responsables de la formación de las esferificaciones. Sin estas interacciones creemos que sería imposible formar las esferas finales.

## 2. Metodología

Los materiales que vamos a utilizar para comprobar nuestra hipótesis son los siguientes:

- Matraz aforado
- Espátulas
- Cristalizador
- Vaso de precipitados
- Báscula
- Agitador calefactor
- Cuentagotas
- Colorantes
- Alginato de sodio
- Cloruro de calcio

Estos materiales son los que emplearemos en el laboratorio para hacer esferificaciones, pero si se van a realizar en la cocina de casa se pueden usar utensilios parecidos (cambiar material de cristal por recipientes de plástico).

En primer lugar, preparamos una disolución de alginato de sodio, en nuestro caso con una concentración 2 g/0,5 l (4 g/l). Para preparar la disolución, primero pesamos el reactivo (2 g de

alginato) en una báscula con un vaso de precipitados adecuado. Posteriormente vertemos un poco de agua, menos de 0,5 l y removemos con una espátula hasta que quede bien mezclado.

Intentamos preparar la disolución en un matraz aforado, pero el alginato es extremadamente viscoso y nos complicó el trabajo en el laboratorio. Al no utilizar un matraz aforado, tenemos que decir que la concentración aproximada (no añadimos exactamente 500 ml).

La disolución preparada es incolora, por lo que añadimos colorantes para que cogiera color (en principio, los colorantes no afectarán al resultado final. Lo comprobaremos más adelante).



Imagen 1: Disolución de alginato de sodio (con colorante verde). También se preparó otra de color azul.

Una vez preparada, con un cuentagotas, se echaron sobre un cristalizador con agua (solo agua) y se comprobó que no se formaba ninguna esfera.

Hemos comprobado que si no hay calcio (iones calcio,  $\text{Ca}^{2+}$ ) en el cristalizador, no se forman las esferas. No hay interacción entre el polímero y el ion del metal.

Para comprobar si las esferas se forman en presencia de calcio preparamos una disolución 1M de  $\text{CaCl}_2$ . Para preparar la disolución, primero

pesamos 111 g de cloruro cálcico en una báscula con un vaso de precipitados adecuado. Posteriormente vertemos un poco de agua, menos de 1 l y removemos con una espátula hasta que quede bien mezclado (comprobamos que es un proceso exotérmico, se libera energía en forma de calor). Vertemos la mezcla en un matraz aforado de un litro y enrasamos (lo hacemos poco a poco para no pasar la línea de enrase).



Imagen 2: Disolución 1M de  $\text{CaCl}_2$

Vertemos la disolución de cloruro de calcio a un cristalizador y, con cuentagotas, añadimos gota a gota disolución de alginato coloreado.

Al añadir la primera gota, vemos que se forma una esfera (no se disuelve como cuando pusimos agua sola). En este momento comprobamos que estamos haciendo esferificaciones y que para que se formen es necesario que este el alginato y el calcio.

Cuanto más tiempo se dejan las esferas en la disolución de cloruro de calcio, más duras se vuelven. Para que se utilicen en la cocina es necesario que el interior quede líquido, por lo es imprescindible que controlar el tiempo.



Imagen 3: Esferificaciones

Los resultados los fuimos apuntando en el cuaderno de laboratorio y tomamos varias fotografías para poder enseñar los resultados a nuestros compañeros. Además, pensamos en una metodología alternativa: usar alimentos con calcio para ver si esterificaban (esferificación inversa). Para ello seguimos los siguientes pasos:

1. Preparación de disolución del alginato de sodio igual que el proceso anterior (sin colorantes).
2. Disponer de un cristizador con la disolución de alginato.
3. Introducción cuidadosa de cucharadas de yogurt en el cristizador con la disolución la disolución de alginato.

Si el alimento tiene calcio se pueden formar esferas. Probamos con leche, pero no salió bien. El alimento tiene que ser más viscoso para que se puedan recoger las esferas.

### 3. Discusión y resultados

En este apartado vamos a hablar de los resultados obtenidos a lo largo de la práctica. Las fotos que hemos hecho a lo largo del proyecto son estas:

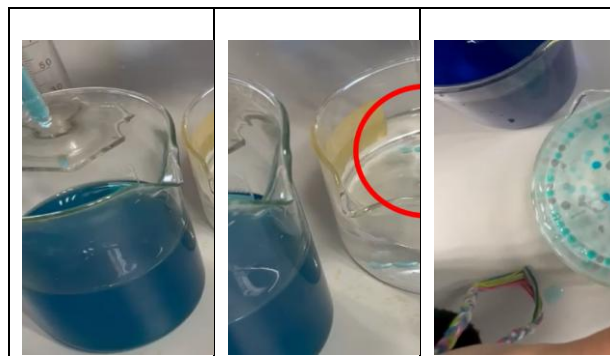


Imagen 4: Preparación de las esferas

Es importante añadir la disolución de alginato poco a poco para que se formen esferas perfectas (cuanto más cerca de la disolución de cloruro de calcio se viertan, más redondas serán y se deformarán menos).

Probamos con una disolución de alginato incolora (de normal no tiene color) pero las esferas que se formaban no se apreciaban en las fotos por ser incoloras.

El colorante es un elemento que no afecta a la formación de las esferas, solo permite que se vean mejor y que sean más bonitas.

Si se añade el alginato directamente a la disolución de calcio se pueden formar "gusanos"



Imagen 5: Gusano "esferificado"

Con mucho cuidado conseguimos hacer un gusano de casi dos metros:



Imagen 6: Gusano de casi dos metros.

Por último, juntamos todas las esferas en un vidrio de reloj:



Imagen 7: Esferas de varios colores.

Pero... ¿por qué se forman las esferas?

El alginato de sodio es un polímero que cuenta con grupos  $-COONa$  (vienen de un grupo ácido carboxílico). El tipo de enlace entre el oxígeno (no metal) y el sodio (metal) es de tipo iónico y en disolución acuosa tendremos  $COO^-$  y  $Na^+$  (se conserva la carga neutra del polímero).

Cuando el  $Ca^{2+}$  interacciona con los grupos  $COO^-$  desplaza al catión sodio (mayor afinidad por el calcio ya que es capaz de interactuar con varios grupos del polímero) y forma una interacción ión-ión (mucho más fuerte que los puentes de hidrógeno).

En la siguiente imagen subida a ResearchGate (encontrada por el profesor) por Minna Hakkarainen se puede ver como el calcio forma interacciones (no enlaces) con dos grupos  $COO^-$  (el catión calcio ha perdido dos electrones, por lo que es lógico que interactúe con dos cargas negativas  $\rightarrow$  mayor estabilidad). Esto provoca el efecto que vemos en el laboratorio y en la televisión, la formación de un gel.

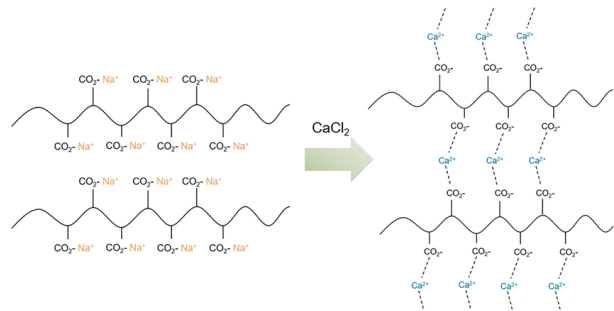


Imagen 8: Polímero con iones calcio.

#### 4. Conclusiones

Como principal conclusión de este proyecto de investigación podemos concluir que hemos comprobado la veracidad de la hipótesis planteada, el alginato al estar en contacto con cationes calcio gelifica permitiéndonos elaborar esferas de distintos colores.

Las esferificaciones pueden utilizarse en nuestros platos para darles un toque de intenso sabor y un emplatado elegante y fino.

Hemos comprobado que tanto el alginato como el catión calcio son esenciales para que tenga lugar la "magia" y que el colorante no afecta al resultado final.

También hemos visto que se pueden emplear alimentos que ya tengan calcio, como el yogurt.

Gracias a este trabajo de investigación hemos podido poner en práctica los siguientes temas de la asignatura de Física y Química:

- Cálculos de concentraciones.
- Fuerzas intermoleculares.
- Preparación de disoluciones.
- Manejo de material de laboratorio y normas de seguridad.

Asimismo, este proyecto también nos ha ayudado a entender mejor estos conceptos y la importancia que tiene la Química en nuestra vida cotidiana, y como, sin saberlo, las personas que

participan en programas de televisión utilizan esta ciencia (aunque creemos que se deberían explicar estas técnicas de una forma más científica).

## **7. Bibliografía**

- Directo al paladar
- Cocina facilito
- Laboland
- Oloro tierra
- ResearchGate
- Firefly de Adobe

# ¿Por qué es peligroso estar en el mar cuando hay una tormenta eléctrica?

Maia Diego, Marta García y Laura Liaño, (4º ESO)

Profesora Helena Roncero Alonso

Colegio La Enseñanza. Valladolid (Valladolid)

Nuestro proyecto de investigación se centra en analizar y comparar la conductividad eléctrica en diferentes tipos de agua, como salada, destilada y del grifo. Nos llamó la atención el hecho de que cuando se avecina una tormenta eléctrica, en las playas, se toman diversas medidas de precaución, entre ellas, que la gente salga del mar. Sin embargo, esto no sucede en lagos o ríos.

En este documento hemos detallado todos los pasos de nuestra investigación, desde su hipótesis y planificación, hasta la obtención de resultados, reportaje fotográfico y conclusiones.

## 1. Introducción

### ¿Qué vamos a investigar?

Nosotras hemos decidido investigar sobre la conductividad de la electricidad en distintas aguas, porque, nos hemos dado cuenta que, cuando vamos de vacaciones a la playa y hay una tormenta eléctrica, los socorristas siempre piden que la gente salga del mar. Sin embargo, nunca hemos visto que se tomen este tipo de precauciones en ríos o lagos. Así que nos preguntamos: ¿el agua conduce mejor la electricidad cuando hay una mayor concentración de sal, o son otros solutos igualmente conductores?

### Investigaciones previas.

Desde los inicios de la ciencia experimental, la conductividad del agua ha intrigado a muchos investigadores. Stephen Gray, en sus primeras observaciones, ya notó cómo ciertos materiales podían permitir el paso de la electricidad, facilitando futuros descubrimientos en este campo. Posteriormente, William Nicholson y Anthony Carlisle descubrieron que cuando ciertas sustancias se disolvían en agua, la conductividad eléctrica de esta cambiaba. Este descubrimiento condujo a investigaciones más profundas sobre cómo y por qué ocurre esto.

En el siglo XIX, con la evolución de la electroquímica, los científicos comenzaron a entender mejor la naturaleza iónica de las soluciones acuosas. Michael Faraday, uno de los pioneros en este campo, demostró la relación entre la presencia de iones y la conductividad eléctrica. Su trabajo fue crucial para entender

cómo sustancias como la sal común, al disolverse, liberan iones que facilitan la conducción eléctrica.

El siglo XX trajo consigo tecnologías avanzadas y técnicas de medición más precisas, permitiendo a los investigadores estudiar en detalle la conductividad en diferentes tipos de agua, desde agua destilada hasta agua de mar. Estos estudios han revelado que factores como la temperatura, la presencia de gases y otros contaminantes también pueden influir en la conductividad del agua.

Hoy en día, la investigación en este campo continúa, enfocándose no solo en entender mejor los fundamentos de la conductividad del agua, sino también en encontrar aplicaciones prácticas para este conocimiento, desde la desalinización del agua hasta la generación de energía a través de gradientes de salinidad.

## 2. Hipótesis y objetivos.

Los objetivos de este trabajo son demostrar que la sal hace que se conduzca mejor la electricidad en el agua, y que, otro soluto como el azúcar, no facilita el paso de la corriente eléctrica.

Por lo tanto, la hipótesis final es: El agua salada conduce mejor la electricidad que el agua dulce o destilada.

## 3. Fundamentación teórica.

El agua químicamente pura no conduce la electricidad, ya que su molécula no tiene carga eléctrica libre. Por lo tanto, cuando se dice que el agua (del grifo) conduce la electricidad, es por las sales iónicas que contiene (magnesio, calcio, sodio, cloruros...).

La sal es una sustancia formada por el enlace iónico del cloruro de sodio (NaCl), en la que se produce un intercambio de electrones. En sólido no conduce la electricidad, sin embargo, al disolverse en el agua (o también fundido), se descompone en sus correspondientes iones, que

podrán moverse en la disolución. Ese movimiento de cargas es el que produce la corriente. Esto ocurre gracias a que este soluto es un electrolito, que quiere decir que es una sustancia que al disolverse en dicho líquido permite pasar la corriente eléctrica.

Este tipo de conducción recibe el nombre de iónica o electrolítica: aquella que se produce cuando la electricidad pasa por una disolución o por sales fundidas. En estos casos, la corriente no es transportada por los electrones, sino por los iones con un cierto margen de movimiento.

Como sabemos, el agua del mar es salada porque contiene una gran cantidad de NaCl, más concretamente entre 33-37 g/l, que, comparándolo con la concentración del agua dulce (5g/l) es mucho más.

Sin embargo, el azúcar, está formado por un enlace covalente:  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , en la que todos los elementos son no metales que comparten electrones, y por esta razón no se disocia en iones al mezclarse con el agua y es incapaz de conducir la electricidad.

En nuestro experimento, también utilizaremos papel de aluminio (para no tener que poner los cables directamente en el agua –más explicado en el apartado: procedimiento-). Nos servirá como material conductor ya que el aluminio está formado por un enlace metálico, que forma iones y una nube de electrones con libre movimiento.

Como hemos dicho, el agua no conduce la electricidad, sino los iones disueltos en ella. Por esta razón, si se aumenta la temperatura del líquido, se disuelve mejor la mayoría\* de los iones sólidos que contiene y así aumenta la conductividad, ya que los sólidos que se depositan en el fondo del recipiente no contribuyen al paso de la corriente.

\*hay algunos compuestos que tienen solubilidad inversa a la temperatura.

#### 4. Fases de experimentación.

##### 4.1. Materiales y reactivos.

Los materiales e instrumentos que vamos a necesitar para llevar a cabo la experimentación son:

- Un amperímetro.
- Una batería de 9V.
- Cinta aislante.
- Palos de madera.
- Papel de aluminio.
- Cables.
- Vaso de precipitado.
- Sal (50g).
- Azúcar (50g).
- Agua destilada -contenido de sales inferior a 5mg/l- (1,5 l).
- Agua del grifo (600ml).
- Agua desionizada (500ml).
- Placa calefactora.
- Guantes.
- Termómetro.
- Dos pinzas de madera.
- Espátula.
- Vidrio de reloj.
- Varilla agitadora.

##### 4.2. Procedimiento

1. Toma de medidas del disolvente.
2. Toma de medidas del soluto.
3. Mezclado de soluto y disolvente hasta que se encuentre totalmente disuelto.
4. Disposición de la solución obtenida en un vaso de precipitados.
5. En caso de que la solución se vaya a calentar, el recipiente con la disolución se pone encima de una placa calefactora y se introduce un termómetro para medir la temperatura hasta llegar a los 60°C.

6. Conexión de cada extremo de la pila a una punta de contacto del amperímetro y comprobación de la intensidad de corriente.

7. Colocación y fijación de cada palo de madera, previamente envueltos en papel de aluminio, en el vaso de precipitados. Se disponen de tal manera que no toquen entre si y con ayuda de unas pinzas.

8. Unión del cable rojo y el extremo positivo de la batería. Por otro lado, unión del extremo de uno de los palos y cable negro.

9. Conexión del extremo contrario del otro palito y el extremo negativo de la batería.

10. Se introducen los palitos en el agua y se comprueba la intensidad de corriente.

11. Registro de los resultados y se muestran en una tabla para compararlos y comprobar si nuestra hipótesis se cumple.

Utilizaremos 200 mililitros de disolvente en cada variación de este experimento. Estos disolventes serán agua de grifo, agua desionizada y agua destilada.

Utilizaremos diferentes medidas de soluto, estas serán 7 g (ya que la cantidad de sal que se encuentra en 100ml de agua de mar es de 3,5 g, por lo que añadiremos el doble), 5,4 g y 10 g de los diferentes solutos, que serán azúcar y sal.

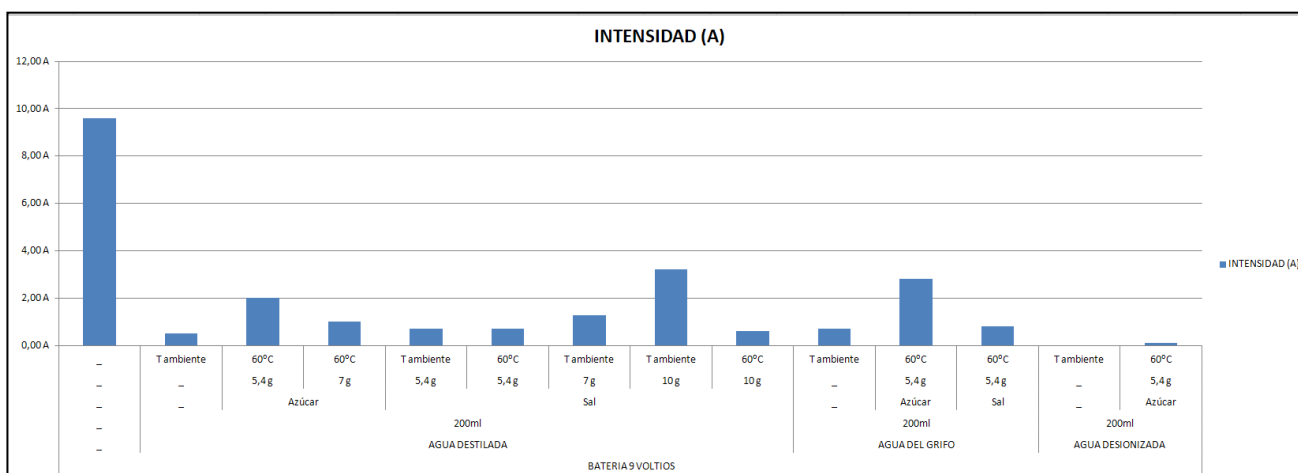
Utilizaremos dos temperaturas diferentes, que serán temperatura ambiente y 60°C.

#### 5. Resultados y discusión

Los resultados de la intensidad son los que obtuvimos los últimos días al poner los cables del amperímetro directamente en la disolución. Los primeros días conectábamos dichos cables a los palos envueltos de aluminio, por lo que el circuito estaba cerrado sin tener que pasar por el agua, provocando que todos los resultados fueran

aproximadamente 9 V. La siguiente tabla y gráfico muestran los resultados obtenidos:

BATERÍA (V)	DISOLVENTE	CANTIDAD DE DISOLVENTE	SOLUTO	CANTIDAD DE SOLUTO	TEMPERATURA DE LA DISOLUCIÓN	INTENSIDAD (A)
9V	-	-	-	-	-	9,58 A
	Agua destilada	200ml	-	-	T ambiente	0,5 A
			Azúcar	5,4 g	60°C	2 A
			Azúcar	7 g	60°C	1 A
			Sal	5,4 g	T ambiente	0,7 A
			Sal	5,4 g	60°C	0,7 A
			Sal	7 g	T ambiente	1,28 A
			Sal	10 g	T ambiente	3,2 A
			Sal	10 g	60°C	0,6 A
	Agua del grifo	200ml	-	-	T ambiente	0,7 A
			Azúcar	5,4 g	60°C	2,8 A
			Sal	5,4 g	60°C	0,8 A
	Agua desionizada	200ml	-	-	T ambiente	0 A
			Azúcar	5,4 g	60°C	0,1 A



Tras experimentar, hemos podido observar los distintos resultados a los que hemos llegado utilizando agua destilada, agua del grifo y agua desionizada, todas ellas con sal, azúcar y sin nada.

Nuestra hipótesis era que el agua salada conducía mejor la electricidad y el agua dulce no facilitaba el paso de la corriente eléctrica.

Pero después de nuestra primera experimentación, no llegábamos a los resultados

imaginados; el agua dulce conducía mejor la corriente eléctrica que el agua salada.

Decidimos utilizar el agua desionizada y probar otro método para medir la intensidad de la corriente con el amperímetro. Todo este tiempo conectábamos los cables del amperímetro con los palos recubiertos de aluminio que estaban conectados a la pila, y de esta manera, cogíamos directamente la energía de la pila y no la energía de la pila después de pasar por el agua.

Después de cambiar este proceso, y poner los cables del amperímetro en el agua, vimos que daban resultados más coherentes.

Además, empezamos a utilizar el agua desionizada, que no conduce la electricidad, y pudimos comprobar que el agua salada conducía más que el agua dulce y que cuando no añadimos ninguno de los dos solutos anteriores, no conducía.

A continuación, después de ver que de esta manera nos salían las cantidades esperadas, volvimos a medir la conductividad con el agua de grifo y con el agua destilada.

Medimos la conductividad del agua destilada, que es mal conductor y nos dio una medida entendible, pero al añadir el azúcar nos salía demasiado y con la sal muy poco. Añadimos más cantidades de ambos solutos, pero el azúcar iba a menos y aunque la sal iba a más, al añadir la mayor cantidad de sal (10g), nos daba una intensidad de 0'6A a 60° y de 3'2A a temperatura ambiente.

Normalmente, al aumentar la temperatura, la conductividad aumenta también, pero en este caso, a temperatura ambiente la conductividad era menor. Pensamos que podría ser por una contaminación de los palitos con el agua dulce o que estos estuvieran ya quemados (en el proceso de diluir los solutos a 60°), otra opción sería que no medimos bien la intensidad, ya sea porque el amperímetro estaba mal colocado o que no la

¿Por qué es peligroso estar en el mar cuando (...)

medimos donde lo llevábamos haciendo todo este tiempo; o bien porque la pila iba perdiendo intensidad y las medidas no eran las mismas cuando la pila tenía toda su carga al principio de la experimentación, que después de haberla utilizado varias veces.

Esto mismo nos pasó con el agua del grifo, al medir su intensidad, nos daba casi lo mismo que al echarle sal, y cuando le echamos azúcar nos daba demasiado.

Aunque con la experimentación no hemos podido llegar a los resultados que queríamos y no hayamos podido confirmar la hipótesis, tenemos algunas ideas de qué podríamos hacer en una próxima experimentación y fallos que no repetiríamos para poder llegar al resultado que queremos, por ejemplo, asegurarnos de que los materiales no están contaminados o dónde hay que colocar el amperímetro para medir la intensidad.

## 6. Conclusiones

Después de este experimento hemos llegado a varias conclusiones:

La primera es que mientras el agua desionizada no conduce nada, el agua destilada conduce menos que el agua de grifo, todo esto se debe a la cantidad de sal que contienen.

La segunda es que nuestra investigación previa tal vez no ha servido para que anticipáramos resultados, ya que decían que la sal era lo único que conducía y el azúcar no, cuando no es así. Hemos comprobado que, al añadir azúcar a los diferentes tipos de agua, su conductividad aumenta considerablemente.

Otra conclusión a la que hemos llegado es que al aumentar la cantidad de sal no tiene porqué aumentar la conductividad, como hemos visto al añadir 10g de sal al agua destilada a 60°C.

La conductividad está fuertemente enlazada con la cantidad de sal que contenga el agua, pero no es el único factor a tener en cuenta ya que el azúcar y la temperatura han demostrado que también hacen que varíen los resultados.

Por último, al no haber conseguido los resultados esperados no podemos comprobar la hipótesis y por lo tanto no hemos cumplido el objetivo.

## 7. Bibliografía

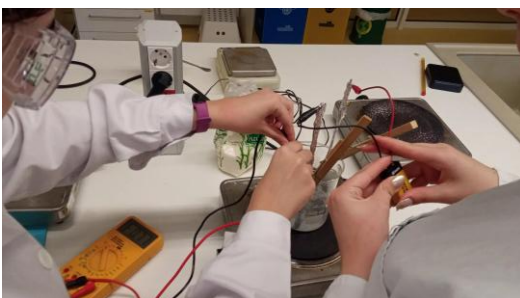
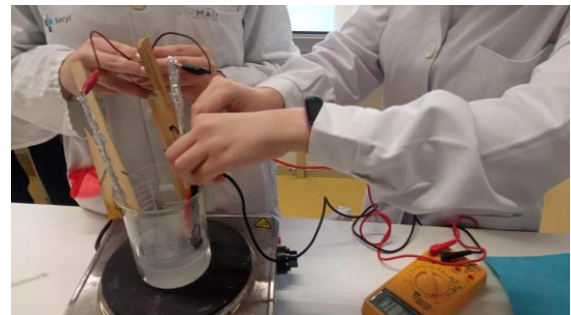
- [https://www.murciaeduca.es/iesrectordfranciscosabatargarcia/sitio/upload/Solucionario\\_QUIMICA\\_t-8\\_acido-base.pdf](https://www.murciaeduca.es/iesrectordfranciscosabatargarcia/sitio/upload/Solucionario_QUIMICA_t-8_acido-base.pdf)
- [https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/100-preguntas-100-respuestas/las-sales-conducen-la-corriente/#:~:text=Porque%20son%20electrolitos%2C%20sustancias%20que,\(cloruro%20de%20sodio%20NaCl\).](https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/100-preguntas-100-respuestas/las-sales-conducen-la-corriente/#:~:text=Porque%20son%20electrolitos%2C%20sustancias%20que,(cloruro%20de%20sodio%20NaCl).)
- [https://es.quora.com/C%C3%B3mo-fluye-la-electricidad-a-trav%C3%A9s-del-agua#:~:text=Para%20que%20la%20electricidad%20fluya,contenedor%20\(donde%20el%20estado%20de](https://es.quora.com/C%C3%B3mo-fluye-la-electricidad-a-trav%C3%A9s-del-agua#:~:text=Para%20que%20la%20electricidad%20fluya,contenedor%20(donde%20el%20estado%20de)
- [https://www.ugr.es/~laboratoriodequimica/practicas\\_II/6\\_6\\_practica.htm#:~:text=La%20conducci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20la%20realizan,qu%C3%ADmica%3A%20esto%20es%20la%20electrolisis.](https://www.ugr.es/~laboratoriodequimica/practicas_II/6_6_practica.htm#:~:text=La%20conducci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20la%20realizan,qu%C3%ADmica%3A%20esto%20es%20la%20electrolisis.)
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Salinidad#:~:text=El%20sabor%20salado%20del%20agua,menor%20de%205%20g%20FL.>
- [https://food.cirdy.com/9955/que-conduciria-mejor-la-electricidad-agua-caliente-o-agua-fria.html#google\\_vignette](https://food.cirdy.com/9955/que-conduciria-mejor-la-electricidad-agua-caliente-o-agua-fria.html#google_vignette)
- <https://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/14002996/helvia/aula/archivos/repositorio/0/235/html/historia.htm#:~:text=1%20El%20fen%C3%B3meno%20de%20la,pasado%20del%20vidrio%20al%20corcho.>
- <https://concepto.de/ley-de-faraday/#:~:text=El%20enunciado%20de%20dicha%20ley,el%20circuito%20mismo%20como%20borde%E2%80%9D.>

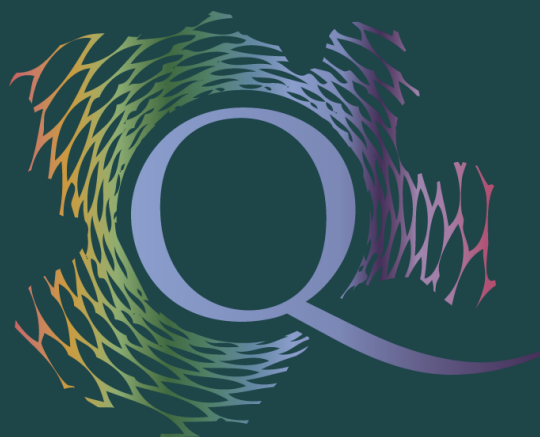
- [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_la\\_electricidad](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_electricidad)
- [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_la\\_electroqu%C3%ADmica](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_electroqu%C3%ADmica)
- <https://www.globalseafood.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte-1/#:~:text=El%20agua%20conduce%20la%20electricidad,mayor%20concentraci%C3%B3n%20de%20iones%20totales.>
- <https://www.cienciamx.com/index.php/derribando-mitos/7402-el-agua-es-conductor-de-electricidad>
- <https://elrincondelaciencia.video.blog/2019/02/14/experimentos-3/>
- <https://www.experimentoscientificos.es/conductividad/conductividad-del-agua/>
- <https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/descubrimientos/electrolisis-del-agua/#:~:text=Los%20descubridores%20de%20la%20electr%C3%B3lisis,aparec%C3%ADa%20en%20la%20otra%2C%20ox%C3%ADgeno.>
- [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3lisis\\_del\\_agua#:~:text=La%20primera%20electr%C3%B3lisis%20del%20agua,el%2020%20de%20marzo%20de](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3lisis_del_agua#:~:text=La%20primera%20electr%C3%B3lisis%20del%20agua,el%2020%20de%20marzo%20de)
- [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Anthony\\_Carlisle#:~:text=En%201800%20descubri%C3%B3%20junto%20a,la%20Royal%20Society%20en%201804.](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Anthony_Carlisle#:~:text=En%201800%20descubri%C3%B3%20junto%20a,la%20Royal%20Society%20en%201804.)
- <https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/100-preguntas-100-respuestas/las-sales-conducen-la-corriente/>
- [https://hmn.wiki/es/Electrolysis\\_of\\_water](https://hmn.wiki/es/Electrolysis_of_water)

-

## 8. Anexo

Imágenes de la experimentación





AQCyL

ASOCIACIÓN DE QUÍMICOS DE CASTILLA Y LEÓN