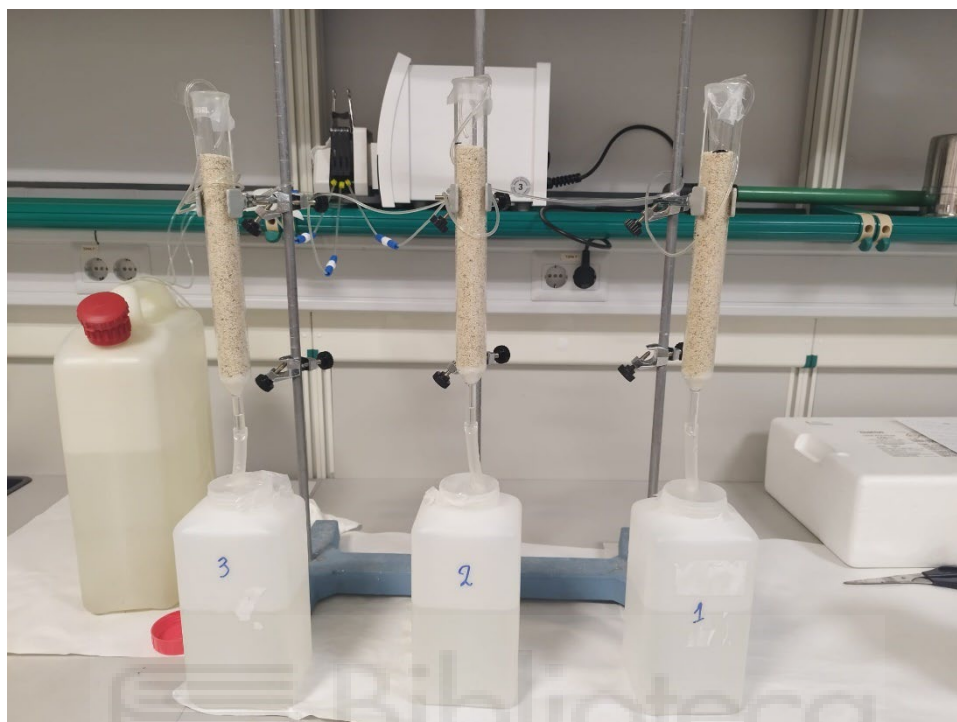


UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE  
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES  
GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES  
2023-2024



## EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RESIDUOS COMO MATERIALES FILTRANTES PARA REDUCIR LA SALINIDAD DEL RÍO VINALOPÓ.

CAROL V. CUERO ORTIZ

TUTORAS:

- ANA PÉREZ GIMENO
- MARÍA BELÉN ALMENDRO CANDEL

DEPARTAMENTO DE AGROQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE

ÁREA DE INGENIERÍA QUÍMICA

COIR: TFG.GCA.APG.CVCO.230323



CIENCIAS AMBIENTALES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

**Resumen:**

Este trabajo de fin de grado tiene como propósito el estudio de la calidad del agua del río Vinalopó en su recorrido por el Campus de la Universidad Miguel Hernández en Elche, mediante el análisis de diversos parámetros indicadores de contaminación relacionados con la salinidad. Para ello, se utilizan distintos materiales como medios filtrantes para observar su influencia en los parámetros de calidad del agua. Los materiales escogidos para los análisis fueron grava, compost de lodo de depuradora y restos de poda de palmera debido a que a día de hoy generan una gran cantidad de residuos. Los resultados analíticos muestran diferencias significativas entre los distintos materiales filtrantes sobre la calidad del agua, especialmente en términos de conductividad eléctrica, cloruros y nitrógeno total. Esto indica que la elección de uno u otro podría afectar la calidad de las aguas en cuanto a su contenido en sales disueltas y su idoneidad para su uso en regadío de más especies vegetales distintas a la palmera.

**Palabras clave:** agua, calidad, residuos, salinidad.

**Abstract:**

The aim of this study is to analyse the water quality of the Vinalopó River as it runs through the Campus of the Miguel Hernández University in Elche, by analysing various parameters that indicate pollution related to salinity. For this purpose, different filtering materials were used to observe their influence on water quality parameters. The chosen materials for the analyses were gravel, sewage sludge compost, and palm tree pruning remains, as they currently generate a large amount of waste. The analytical results show significant differences between the different filtering materials on water quality, especially in terms of electrical conductivity, chlorides, and total nitrogen. This show that the choice of one or other material could affect the quality of the water in terms of its dissolved salt content and its suitability for irrigation of other plant species aside than the palm tree.

**Keywords:** Water, quality, residues, salinity.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
1.1 <i>El agua</i> .....	3
1.2 <i>Calidad de las aguas.</i> .....	4
1.3 <i>Salinidad de las aguas</i> .....	6
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	8
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	9
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	9
4.1. <i>Columnas de lixiviación</i> .....	9
4.1.1. Grava.....	10
4.1.2. Compost.....	10
4.1.3. Restos de poda de palmera.....	11
4.2. <i>Metodología</i> .....	12
4.2.1. Método de muestreo.....	12
4.2.2. Parámetros físico-químicos.....	12
4.2.3. Análisis estadístico .....	22
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	22
5.1. <i>Conductividad eléctrica (25°C)</i> .....	23
5.2. <i>pH</i> .....	24
5.3. <i>Turbidez</i> .....	25
5.4. <i>Alcalinidad</i> .....	26
5.5. <i>Cloruros</i> .....	27
5.6. <i>Nitrógeno total</i> .....	28
5.7. <i>Nitratos</i> .....	28
5.8. <i>Amonio</i> .....	30
5.9. <i>Fósforo total</i> .....	30
5.10. <i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i> .....	31
5.11. <i>Fosfatos</i> .....	32
5.12. <i>Macroelementos (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>)</i> .....	32
<b>6. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA</b> .....	36
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	37
7.1. <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b> .....	37
7.2. <b>RECURSOS DE INTERNET</b> .....	39

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 *El agua*

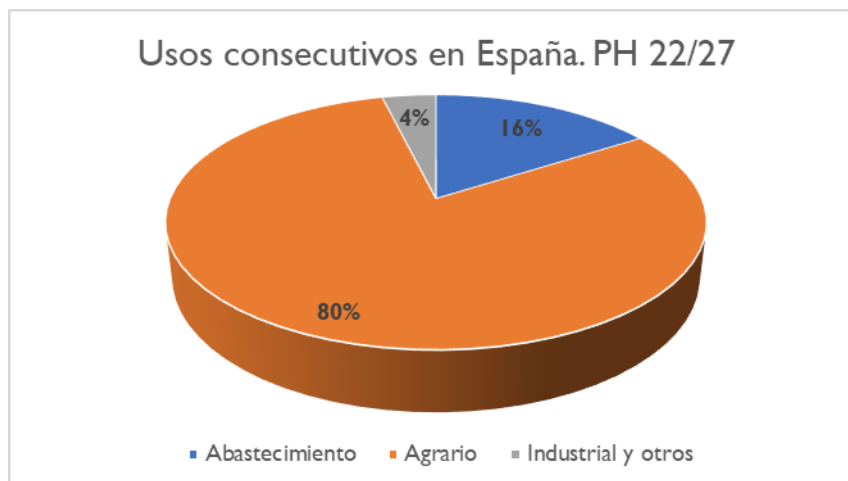
En su primer informe del 2003 sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua para todos, Agua para la vida; las Naciones Unidas catalogó el agua como un recurso esencial para la vida, dado que todos somos conscientes de su necesidad para beber, producir alimentos, así como mantener nuestra salud y dignidad (UNESCO-WWAP, 2003). A pesar de ello, se da por supuesta la disponibilidad del agua con demasiada frecuencia, como si esta se encontrara en abundancia sin darnos cuenta de que, de hecho, tanto la disponibilidad como el acceso al agua potable forman parte de uno de los problemas más frecuentes a los que se enfrenta el mundo junto con la escasez (UNESCO-WWAP, 2003).

El desarrollo de las civilizaciones que fueron la base del mundo actual ha ido ligado a la disponibilidad del agua con objeto, por un lado de atender a sus necesidades vitales y por otro, de disponer del suficiente recurso líquido para la irrigación de cultivos de los que dependía su existencia (Seoánez Calvo, 1999).

Con el aumento de la población a nivel mundial de 2.500 millones a 8.000 millones en el siglo XX, el agua de uso agrícola ha aumentado también para satisfacer las crecientes demandas de alimentos y fibras (Tanji y Yaron, 1994).

Este uso desmesurado del agua lleva consigo que el balance hídrico mundial se encuentre bajo presión, dando como resultado el primer indicio de escasez debido al aumento de las extracciones y consiguiente disminución del nivel freático de las aguas (Food and Agriculture Organization of the United Nations, s.f).

De acuerdo con la Confederación Hidrológica del Júcar (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022), como describe en su memoria - anejo 3, hay que entender los diferentes usos del agua como las distintas clases de utilización del recurso, así como cualquier otra actividad que tenga consecuencias significativas en el estado de las aguas. El sector agropecuario debido a la gran cantidad de volumen de recursos utilizados (en torno al 80% de la demanda total) (figura 1), da una idea de la dificultad que supone su gestión y control (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022).



**Figura 1.** Distribución de la demanda estimada para los principales usos consecutivos en España. Plan Hidrológico 2022/2027. Fuente: (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2023).

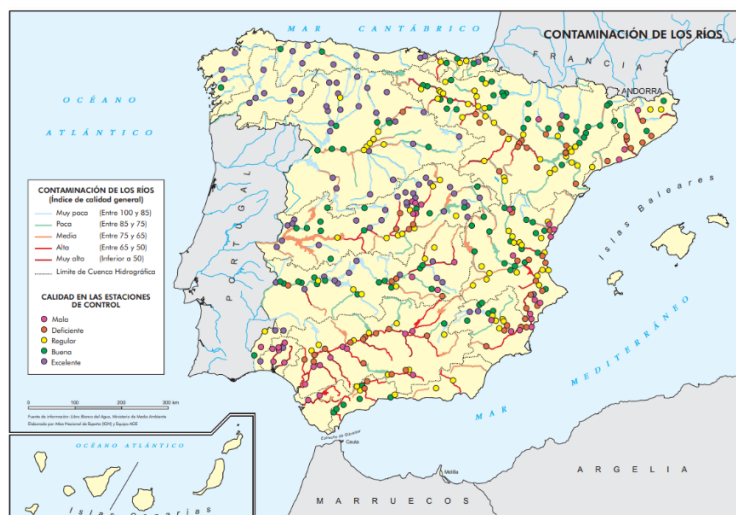
### 1.2 Calidad de las aguas.

“La contaminación consiste en una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural” (Orozco Barrenetxea, et al., 2002).

De esta definición de contaminación, o cualquier otra que pudiéramos escoger, hay que destacar tres aspectos importantes (Orozco Barrenetxea et al., 2002):

- Origen del agua: En lugar de empezar con agua completamente pura, nos enfocamos en la calidad o composición del agua natural como punto de partida.
- Uso del agua: La contaminación se evalúa en relación con el propósito específico para el que se destina el agua. Es decir, dependiendo de cómo planeemos usar el agua, medimos el nivel de contaminación.
- Causa humana: Se clasifica como contaminación aquella que es causada por la actividad humana, ya sea de manera directa o indirecta. En otras palabras, cualquier impacto negativo en la calidad del agua provocado por las acciones humanas se considera contaminación (figura 2).

## EVALUACIÓN DE RESIDUOS FILTRANTES PARA REDUCIR LA SALINIDAD DEL RÍO VINALOPO



**Figura 2.** Contaminación de los ríos. Fuente: (Instituto Geográfico Nacional, s.f.).

La calidad del agua se puede analizar desde dos perspectivas diferentes. En primer lugar, desde una perspectiva funcional se evalúa la capacidad inherente del agua para cumplir con los diversos usos que se le pueden dar. Por otro lado, según la definición de la Directiva Marco del Agua (Directiva 60 de 2000), la calidad del agua se considera también desde un punto de vista ambiental. En este enfoque, se analizan las condiciones necesarias en el agua para mantener un equilibrio en el ecosistema y alcanzar ciertos objetivos predefinidos de calidad (Ministerio de Medio Ambiente, 2000).

En España la mayor parte del agua es usada para la agricultura de regadío, la cual puede ser tanto causa como víctima de la contaminación. Cuando se habla de contribución a la contaminación de fuentes no puntuales de las aguas superficiales y subterráneas se hace referencia a la influencia negativa que la actividad agrícola tiene en la calidad del agua. La intensificación de la agricultura, que implica un aumento en la producción agrícola, a menudo conlleva problemas ambientales. Por ejemplo, se observa un aumento en la erosión del suelo, un incremento en la salinidad del agua y una mayor carga de sedimentos en los cuerpos de agua (Food and Agriculture Organization of the United Nations, s.f.).

El agua usada para riego en agricultura es normalmente clasificada de acuerdo con una serie de parámetros y normas, ya que esto nos permite determinar su calidad y las consecuencias que su uso puede tener en el sistema suelo-planta. Por consiguiente, es necesario el conocimiento de la composición del agua de riego, y para esto, principalmente se valoran 4 aspectos en un agua (Gómez, et al., 1992):

1. Salinidad: La salinidad del agua de riego está estrechamente relacionada con la conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica está influenciada por la presencia de sales disueltas en el agua, como cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de diversos cationes como sodio, calcio, magnesio, potasio. Controlar la conductividad eléctrica es importante para evitar problemas de salinidad en los suelos y en los cultivos, ya que niveles altos de salinidad pueden afectar negativamente el crecimiento y desarrollo de las plantas (State Water Resources Control Board, s.f).
2. Sodicidad: Evalúa la concentración de sodio en el agua, en relación con otros cationes. Un elevado contenido de sodio en el agua de riego puede derivar en diversos problemas como degradación de la estructura del suelo, problemas de infiltración, toxicidad de sodio en las plantas
3. Toxicidad específica: Producida por los iones presentes en el agua de riego, como cloruros, bicarbonatos, boro y metales pesados
4. Otros factores: Tiene en consideración las manchas de sales en los cultivos, infiltración de nitratos en los acuíferos subterráneos, obstrucción de goteros, etc.

### *1.3 Salinidad de las aguas.*

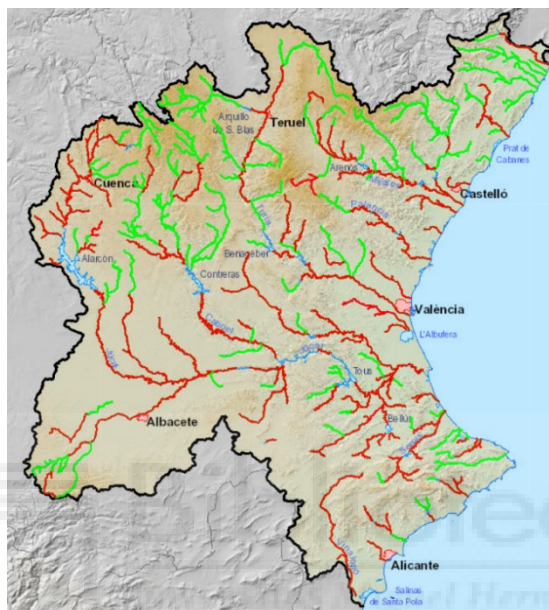
La salinidad es uno de los problemas más significativo en cuanto a contaminación del agua se refiere, siendo más notable en zonas áridas y semiáridas. En zonas donde las precipitaciones son escasas, el problema de la salinización se presenta de una manera más asidua. La mala gestión del agua de riego conlleva a que este problema se vea favorecido, ya que la concentración de sales aumenta debido a la elevada evaporación, la inundación en zonas bajas, la transpiración de las plantas, así como la cercanía a las aguas subterráneas que pueden alcanzar la superficie y salinizarse (Torrijos, 2015).

La producción agrícola, así como el desarrollo de las especies vegetales se ven afectados por la salinidad y la sequía, que son dos de los factores limitantes ambientales. Esto acarrea un riesgo para la salud humana, generando también un importante coste medioambiental y económico. El cambio climático y el consumo elevado de agua pueden hacer que esta situación se agrave (Mullor Real, 2017).

La salinización de las aguas puede ocurrir de dos formas:

## EVALUACIÓN DE RESIDUOS FILTRANTES PARA REDUCIR LA SALINIDAD DEL RÍO VINALOPÓ

- Origen antropogénico, generada por vertidos industriales y domésticos, ciertas actividades como la minería, los residuos generados por la industria agrícola y ganadera (figura 3).
- Origen natural, debido al carácter salino de por sí en el agua por los aportes o las condiciones del sustrato.



**Figura 3.** Mapa de evaluación de riesgos en masas de aguas superficiales del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar 2022-2027. Fuente: Confederación Hidrográfica del Júcar, s.f.

La antropización ha dado lugar a un aumento de las áreas salinizadas conforme se han ido incrementando las zonas de regadío con el desarrollo de grandes proyectos hidrológicos, los cuales han sido causa de los cambios en la composición de sales en el suelo. La salinidad del agua de riego es un factor crucial que puede influir en la salinización de los suelos agrícolas. El uso de aguas salobres de baja calidad puede aumentar el riesgo de salinización, ya que las plantas principalmente absorben agua del suelo, dejando la mayoría de las sales en el mismo. Conocer la composición de las sales presentes en el agua de riego es fundamental para planificar adecuadamente el riego y garantizar un lavado suficiente de sales del suelo.



Estas razones son bastante relevantes para poder comprender la importancia que tiene conocer el estado de calidad ambiental de las masas de agua mediante el análisis de estas, ya que si estas están destinadas para su uso en riego es de vital importancia conocer sus características debido a las afecciones que puede tener sobre el rendimiento de los cultivos, su fertilidad y las características del suelo (Mullor Real, 2017).

Por lo tanto, un agua con una concentración elevada en sales y, en particular sodio, no será apta para su uso en agricultura, dependiendo entre otros factores, del tipo de cultivo al cual va destinada y si estos admiten una mayor o menor salinidad del agua de riego.

## **2. ANTECEDENTES**

El río Vinalopó afronta problemas graves que lo han llevado a degradarse e incluso desaparecer en algunas áreas de su cauce. Estos problemas, en su mayoría de origen antropogénico, incluyen la contaminación por residuos urbanos y agrícolas, sobreexplotación de los acuíferos y amenazas a los hábitats de especies ecológicamente valiosas que alberga. Para empeorar la situación el río se ve afectado por la extracción excesiva de agua para su uso en regadío, las pocas precipitaciones en la región y la descarga de aguas residuales e industriales a lo largo de su recorrido, lo que da lugar a su elevada salinidad (Gómez, 2021).

El Vinalopó es importante para tres comarcas en la Comunidad Valenciana (Alto, Medio y Bajo Vinalopó), está canalizado en varias localidades y sus aguas no llegan directamente al Mediterráneo, sino que se distribuyen a través de azarbes hacia zonas agrícolas, siendo un ejemplo, el Palmeral Histórico de Elche o el Campus de la Universidad Miguel Hernández en Elche que se riegan con las aguas del Vinalopó (Gómez, 2021).

Respecto a la geología, destacan formaciones del Cuaternario, así como margas y arcillas triásicas en facies Keuper. Los tramos del río Vinalopó de Benejama – Villena, así como el tramo Elche – La Hoya, se relacionan hidrogeológicamente con este tipo de formaciones y son considerados como muy mineralizados (Instituto Geológico y Minero de España, 2009).

### 3. OBJETIVOS

El TFG se enfoca principalmente en la salinización del río Vinalopó, debido al uso agrícola que se le da en el campo ilicitano, las consecuencias que tiene en las partidas rurales por las que sigue su cauce, así como la necesidad de mejorar su calidad para que se pueda utilizar en el regadío de otras especies de vegetación aparte de las arecáceas (palmeras). Cabe recalcar también la importancia de los parques naturales el Hondo de Elche-Crevillente y las Salinas de Santa Pola, ya que ambos abarcan una gran zona húmeda y los cultivos agrarios que lo circundan, conocidos antiguamente como la "Albufera de Elche". Por esa razón, la calidad de las aguas del río Vinalopó en su tramo final tienen una enorme influencia desde el punto de vista ambiental.

A raíz de lo anterior, este trabajo de fin de grado tiene dos grandes objetivos, por un lado, conocer la calidad de las aguas del río Vinalopó a su paso por el Campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández de Elche; para ello se recurre a diferentes análisis de laboratorio que son indicadores de contaminación.

Por otro lado, estudiar el uso como sistemas de filtración de ciertos residuos y su influencia en varios parámetros indicadores de calidad del agua.

### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.1. Columnas de lixiviación

Para llevar a cabo los análisis, se usaron tres columnas de lixiviación de 2,57 cm de Ø medio, de vidrio (figura 4). En la base de la columna se puso gasa que se encargaba de soportar el peso del material en el interior de esta.

El sistema estaba provisto de una bomba peristáltica, la cual se encargaba de aportar el agua de análisis a las columnas, además de asegurar un flujo regular a través de estas. Las columnas fueron rellenadas con el material de filtración seleccionado hasta completar una altura de 20 cm, dejando así un espacio entre las gomas de la bomba y el material para evitar posibles contaminaciones por encharcamiento debido a la permeabilidad del material empleado.

El lixiviado salía por la parte inferior de la columna al pasar a través del material filtrante y la gasa. Las aguas de lavado se recogieron en un recipiente de 2 litros de capacidad cubierto con parafilm tal y como se muestra en la figura 4.



**Figura 4.** Montaje columnas de lixiviación. Fuente: Elaboración propia.

Los materiales empleados como lecho filtrante fueron: grava, compost de lodo de depuradora y restos de poda de palmera. La bomba se programó para trabajar a un flujo de 1,4 ml/min durante 24h de manera ininterrumpida. Cada tratamiento se realizó por triplicado.

#### 4.1.1. Grava.

La grava usada estaba tamizada a 2 mm de luz (figura 5) y se encontraba en el Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente de la UMH ya que había sido empleada anteriormente en otros experimentos. Se compró en un almacén de materiales de construcción.

#### 4.1.2. Compost.

El compost usado procede de la EDAR de Aspe. Durante el proceso de compostaje se mezcla con serrín para favorecer la aireación y disminuir la humedad, además de aportar carbono. El tiempo de residencia del compost es aproximadamente

de 40 días. La aireación se realiza inyectando aire por el lecho del túnel. El compost posteriormente para su uso en experimentos se tamizó a 2 mm de luz (figura 6).



**Figura 5.** Grava caliza. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 6.** Compost de la depuradora de Aspe. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3. Restos de poda de palmera.

Los restos de palmera provienen de la poda de las palmeras del campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández de Elche, y se utilizaron tamizados a 2 mm de luz (figura 7).



**Figura 7.** Restos de poda de palmera. Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. Metodología

### 4.2.1. Método de muestreo.

La toma de muestra de agua se realizó en una de las acequias que están en el Campus, con las siguientes coordenadas geográficas UTM Huso 30: X= 702.130'192 m Y= 4.239.161'597 m.

La muestra se conservó refrigerada a  $5 \pm 3^{\circ}\text{C}$  a fin de mantener las condiciones óptimas para su posterior análisis en el laboratorio y se comenzó el proceso experimental inmediatamente, para realizar el análisis de los parámetros físico-químicos.

El muestreo se realizó evitando zonas de escasa profundidad, para no arrastrar sedimentos, residuos y partículas (figura 8).

### 4.2.2. Parámetros físico-químicos.

Se eligieron una serie de parámetros físico-químicos, que son indicadores de la calidad del agua.

A continuación, se describen los parámetros seleccionados que fueron analizados según los métodos oficiales de análisis del *Standard Methods* (American Public Health Association, 2023). Los parámetros fueron los siguientes:



**Figura 8.** Pértiga telescópica para toma de muestras de agua (izquierda). Recipiente de toma de muestras (derecha). Fuente: Elaboración propia

### CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (25°C)

La conductividad eléctrica (C.E.) es un parámetro que mide la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, debido a la presencia de iones disueltos. El valor establecido recomendado en aguas naturales es entre 100 y 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , aunque en algún momento puede aumentar de forma natural (Mullor Real, 2017).

Se determinó la C.E. a 25°C mediante un conductímetro Crison GLP 31 (figura 9), basado en el método 2510 B del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

### pH

La medida del pH es esencial en la química del agua, ya que muchos parámetros como la precipitación, la coagulación, las reacciones ácido-base, entre otros dependen de éste. Además de esto, el pH permite la estimación de la basicidad o acidez de una solución (American Public Health Association, 2023).

Se determinó con un pH-metro Crison GLP 21, siguiendo el procedimiento establecido en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 4500-H<sup>+</sup> B.



**Figura 9.** Determinación C.E. (25°C). Fuente: Elaboración propia.

## TURBIDEZ

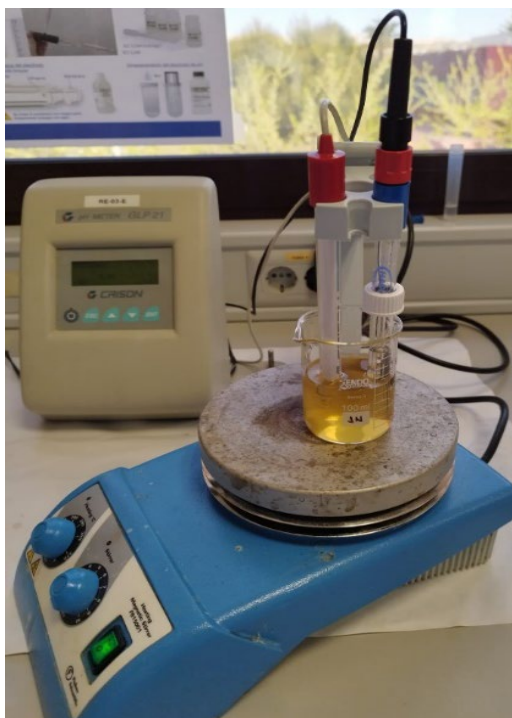
La turbidez del agua ocurre cuando la presencia de pequeñas partículas sólidas en suspensión hace que el agua pierda transparencia. Estas partículas insolubles pueden ser tierra, materiales industriales o barro y pueden llegar al agua por varias razones como la erosión del suelo, la contaminación urbana o industrial y otros procesos naturales (Orozco Barrenetxea, et al., 2002).

El análisis se realizó con un turbidímetro Hanna HI 93703-11 siguiendo el procedimiento del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 2130 A.

## ALCALINIDAD ( $CO_3^{2-}$ y $HCO_3^-$ )

Los bicarbonatos influyen en la dureza y alcalinidad del agua. En las aguas naturales pueden estar presentes debido a la disolución y meteorización de las rocas, o por aportes industriales. Aguas con un valor de pH entre 6,5 y 8,5 indica la presencia de bicarbonatos (Mullor Real, 2017).

La alcalinidad se realizó con un pH-metro Crison GLP21 y ácido sulfúrico 0,02 N hasta llegar a un pH 4,5 (figura 10), conforme el procedimiento 2320 B del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.



**Figura 10.** Determinación alcalinidad por el método potenciométrico.

Fuente: Elaboración propia.

## CLORUROS ( $\text{Cl}^-$ )

El cloruro es uno de los principales aniones presentes en el agua. Es uno de los indicadores de contaminación por aguas residuales domésticas cuando no hay intrusión marina (Martínez Moya, 2017). Un alto contenido en cloruros produce la corrosión de estructuras metálicas, así como ser nociva para el crecimiento de las plantas (American Public Health Association, 2023).

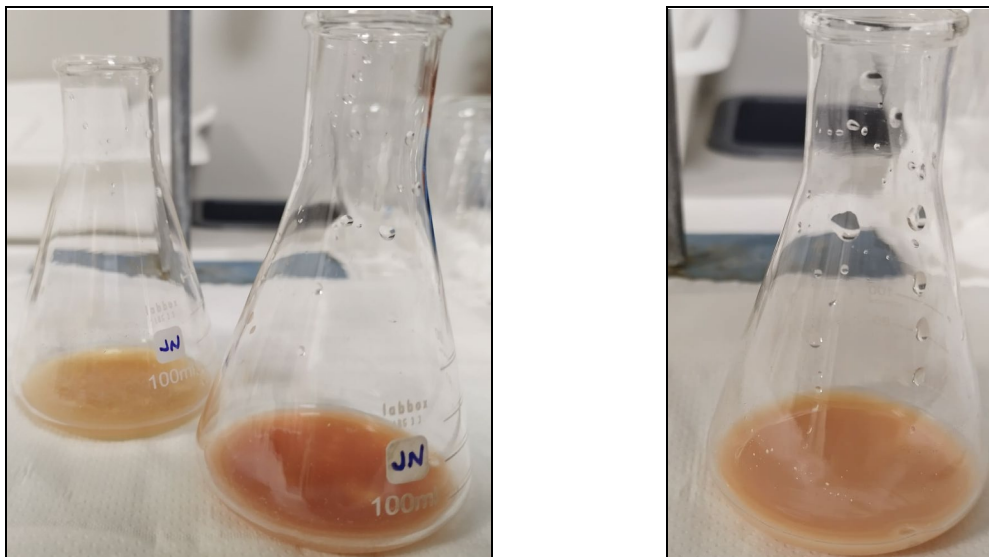
Se determinaron mediante titulación con nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) estandarizado previamente con cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) (figura 11), tal y como viene descrito en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 4500- $\text{Cl}^-$  B.

## NITROGENO TOTAL (N)

El nitrógeno oxidado total, es la suma de los aniones nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), encontrado en concentraciones mínimas en las aguas superficiales, pero puede alcanzar niveles elevados en algunas aguas subterráneas y se puede determinar mediante la digestión oxidativa de todas las formas de nitrógeno digeribles (American Public Health Association, 2023).



## EVALUACIÓN DE RESIDUOS FILTRANTES PARA REDUCIR LA SALINIDAD DEL RÍO VINALOPÓ



**Figura 11.** Determinación de cloruros por argentometría. Fuente: Elaboración propia.

El análisis se realizó siguiendo las instrucciones aportadas por el proveedor, primero se realizó una digestión con un termostato Hannah HI839800-02 a 105 °C (figura 12), basado en el método del persulfato potásico 4500-N C del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, y se utilizó un fotómetro multiparamétrico Hannah HI83399-02, para determinar el nitrógeno total.



**Figura 12.** Determinación de nitrógeno total. Fuente: Elaboración propia.

### NITRATOS ( $NO_3^-$ ),

Los nitratos pueden ser causantes de la contaminación del agua, dando lugar sobre todo a la eutrofización de las aguas superficiales cuando su concentración es elevada, lo que conlleva a un deterioro de la calidad del agua (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.). El nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, siendo en algunos casos como el nutriente limitante del crecimiento (American Public Health Association, 2023).

Se midieron siguiendo las instrucciones del fabricante, usando un colorímetro Aquafast AQ3700 (figura 13). Se basa en el método 4500- $NO_3^-$  B del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, usando ácido cromotrópico que produce un complejo coloreado y posterior medida espectrofotométrica.



Figura 13. Determinación de  $NO_3^-$ . Fuente: Elaboración propia.

### AMONIO ( $NH_4^+$ )

El amonio, junto con los nitratos, es una de las principales fuentes de aporte de nitrógeno a las aguas superficiales, siendo también causa de los procesos de eutrofización (Junta de Castilla y León, s.f.).

Se determinó de acuerdo con las instrucciones aportadas por el fabricante usando el colorímetro Aquafast AQ3700 y el kit correspondiente al amonio, que consiste en el empleo de salicilato, produciendo una reacción colorimétrica que permite medir a una longitud de onda de 600 nm (figura 14).



Figura 14. Determinación de Amonio. Fuente: Elaboración propia.

### FÓSFORO TOTAL (P)

El fósforo se encuentra en las aguas naturales mayoritariamente como fosfatos, clasificándose en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y otras polifosfatos) y fosfatos unidos orgánicamente (American Public Health Association, 2023).

Se mide con un fotómetro multiparamétrico HANNA HI83399-02, siguiendo el procedimiento del fabricante. El método usado es una adaptación del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 4500-P E. Método del ácido ascórbico (figura 15).

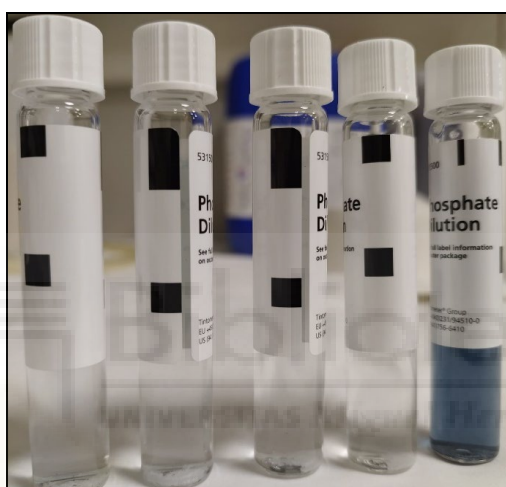


Figura 15. Determinación de fósforo total. Fuente: Elaboración propia

### FOSFATOS ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Los fosfatos que se encuentran en el agua pueden tener diferentes orígenes, como minerales naturales, detergentes, fertilizantes utilizados en la agricultura y otras actividades humanas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).

Se determinó de acuerdo con las instrucciones del fabricante usando el fotómetro Thermo Scientific Orion Aquafast AQ3700 y el kit correspondiente a los fosfatos que se basa en la utilización de ácido ascórbico (figura 16).



**Figura 16.** Determinación ortofosfato. Fuente: Elaboración propia

### DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la medida de la cantidad de sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas, que pueden ser oxidadas por un oxidante fuerte como es el ion dicromato que se reduce a ion crómico ( $\text{Cr}^{3+}$ ). La cantidad de oxidante utilizado se indica en términos del oxígeno necesario para llevar a cabo esa oxidación (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).

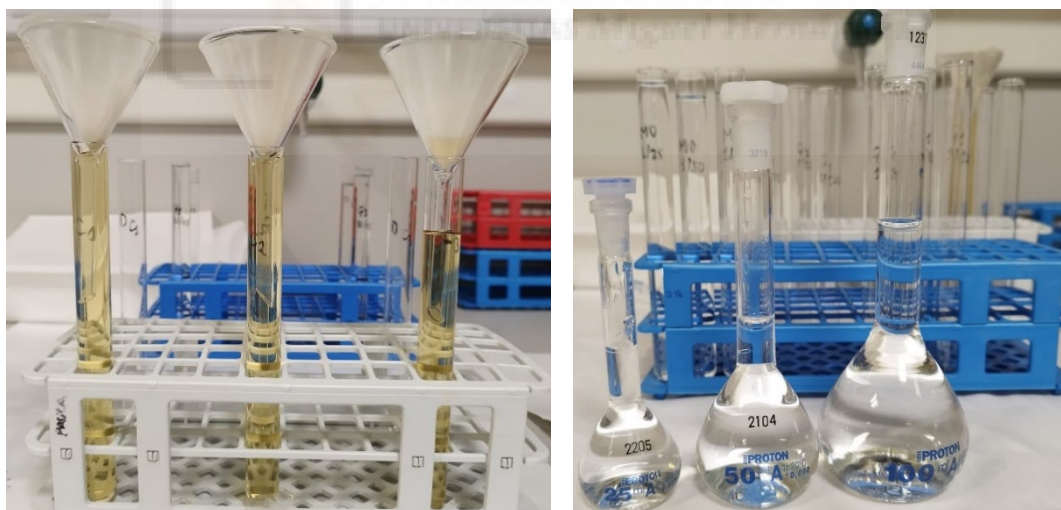
Se empleó un termorreactor HANNA HI839800-02 para realizar la digestión de la materia orgánica a  $150 \pm 2^\circ\text{C}$  durante 2 horas. Para medir la DQO se usó un fotómetro multiparamétrico HANNA HI83399-02, siguiendo una adaptación del método

410.4 aprobado por USEPA para la determinación de la DQO en aguas superficiales y residuales (USEPA, 1993).

### MACROELEMENTOS ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ )

En aguas destinadas para uso agrícola, la calidad del agua se determina por la presencia de iones específicos como sodio ( $\text{Na}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Un alto contenido de sales en el agua de riego aumenta la presión osmótica en el suelo, lo que dificulta la absorción de agua por parte de la planta, estas sales además de afectar directamente el crecimiento vegetal, también alteran la estructura y permeabilidad del suelo (Quinteros Carabalí, et al., 2019).

Se determinaron mediante espectrometría de absorción atómica, previa filtración del agua a analizar y preparación de una serie de diluciones (figura 17). Basado en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 3111.B método de llama directa de aire-acetileno para la determinación de metales sodio, potasio, magnesio y llama nitroso-acetileno para la determinación de calcio.



**Figura 17.** Preparación muestra para medida de macro (Izquierda. Filtrado muestra. Derecha. Preparación diluciones). Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados analíticos de los parámetros que se han analizado, se puede calcular algunos criterios que son los más utilizados para la determinación de la calidad del agua de riego. Los que se han considerado para este trabajo son:

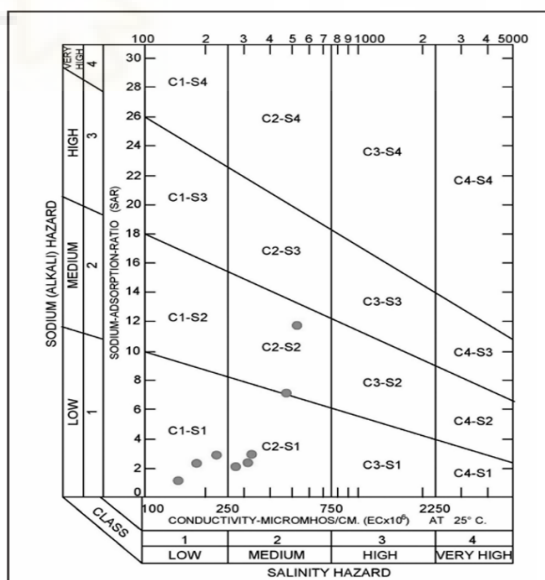
EVALUACIÓN DE RESIDUOS FILTRANTES PARA REDUCIR LA SALINIDAD DEL RÍO VINALOPÓ

- Sodicidad: Índice de relación de adsorción de sodio (R.A.S) (figura 18); cuanto mayor sea el valor del índice peor será la calidad del agua para riego (Orozco Barrenetxea et al., 2002).

RAS	Clase de agua	Recomendaciones
0 - 10	Baja alcalinidad	Se puede usar en casi todos los suelos
10 - 18	Alcalinidad media	Puede dar problemas en suelos arcillosos
18 - 26	Alcalinidad alta	Se puede usar en suelos bien drenados y ricos en materia orgánica y yeso
26 - 30	Alcalinidad muy alta	No se pueden utilizar, salvo que los suelos tengan una salinidad baja y se realice el enyesado

**Figura 18.** Clasificación de las aguas según RAS expresado en meq/l y recomendaciones generales para su empleo. Fuente: La salinidad del agua de riego y del suelo (Ruiz, 2008.).

- Salinidad: Normas de Riverside (figura 19). Se mide el riesgo o peligro de salinidad del suelo mediante un índice de salinidad del agua que se relaciona con la conductividad eléctrica de la misma (Orozco Barrenetxea et al., 2002).



**Figura 19.** Normas de Riverside para la clasificación del agua de riego. Fuente: Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada de Togllahuayco (Quinteros Carabál et al., 2019).

#### 4.2.3. Análisis estadístico

Una vez obtenidos los resultados de la parte experimental, se realizó un análisis estadístico para saber si existía diferencias significativas o no entre los . Con la ayuda del programa Excel, se organizaron los datos y se hicieron los respectivos cálculos asociados a los experimentos realizados. Además, para tratar los datos, se ha usado la prueba de análisis de varianza (ANOVA) de un factor para el conjunto de datos.

La prueba ANOVA plantea dos hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): las medias de los datos experimentales son iguales, a un 95% de confianza.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Una de las medias es diferente, a un 95% de confianza.

Se realizó un análisis ANOVA para cada parámetro y así poder saber si hay diferencias significativas o no entre los distintos materiales que se usaron para la filtración.

Para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula según el grado de significancia, se necesitaba conocer el  $p$ -valor. Por tanto, si el  $p$ -valor es  $\geq 0,05$  no existen diferencias significativas y se acepta la hipótesis nula, mientras que si el  $p$ -valor es  $\leq 0,05$  existen diferencias significativas y se rechaza la hipótesis nula.

Esta prueba estadística tiene ciertas limitaciones, una de ellas es que no nos deja saber cual de los datos es diferente, así que para saberlo se compararon las medias entre sí para examinar dónde se producían las diferencias e identificar los subgrupos homogéneos que no se diferenciaban realizando una prueba post-hoc con el método de TUKEY.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

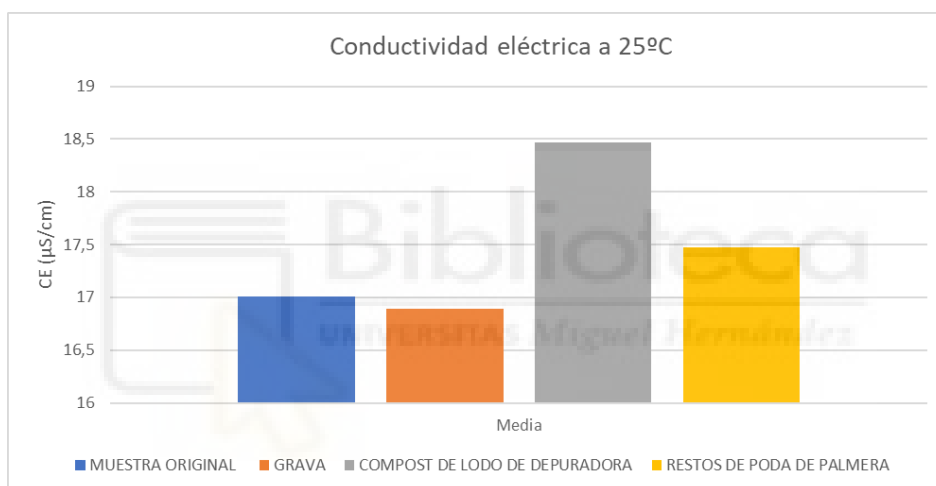
En este apartado vamos a discutir los resultados obtenidos. En las gráficas que se presentan se llama:

- Muestra original: agua recogida de la acequia para realizar los experimentos.
- Grava: agua de lavado procedente de la columna rellena con grava.

- Compost de lodo de depuradora: agua de lavado procedente de la columna rellena con compost.
- Restos de poda de palmera: agua de lavado procedente de la columna rellena con restos de poda de palmera.

### 5.1. Conductividad eléctrica (25°C)

En los resultados obtenidos en la medida de la conductividad eléctrica, se evidencian diferencias significativas ( $p$ -valor 0,0002) en los distintos materiales usados, por lo que se rechaza la hipótesis nula (figura 20).



**Figura 20.** Efecto del material filtrante sobre la conductividad eléctrica del agua a 25°C. Fuente: Elaboración propia.

Después de usar el método de TUKEY para ver qué medias diferían entre sí, se observó que las medias de la C.E. de las muestras que atravesaron los lechos rellenos con grava y compost, al igual que las de compost y palmera tenían diferencias significativas en comparación con la de la muestra original. Estas diferencias entre los lixiviados recogidos de cada material filtrante es debido posiblemente a las propiedades que tiene cada uno, así se ve cómo influyen en el aumento o disminución de la C.E. con respecto a la muestra original.

Teniendo en cuenta los valores promedios de la C.E. tanto de la muestra original como del agua una vez filtrada a través de cada material (Tabla 1), podemos utilizar las Normas de Riverside para saber el riesgo de salinidad del suelo (Tabla 2):



**Tabla 1.** Valores promedios de la CE de las muestras. Fuente: Elaboración propia.

Original	Grava	Compost	Restos de poda
17008 $\mu\text{S/cm}$	16892 $\mu\text{S/cm}$	18472 $\mu\text{S/cm}$	17472 $\mu\text{S/cm}$

**Tabla 2.** Índices de salinidad del agua según conductividad. Normas de Riverside. Fuente: Contaminación ambiental. Una visión desde la química (Orozco Barrenetxea et al., 2002).

De acuerdo, a las Normas de Riverside vemos que el riesgo de salinidad del

Índice de salinidad del agua	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )	Riesgo de salinidad del suelo
1	100-250	Bajo
2	250-750	Medio
3	750-2.250	Alto
4	>2.250	Muy alto

suelo es muy elevada, independientemente de que material se use para filtrar el agua.

## 5.2. pH

Los resultados obtenidos evidencian diferencias significativas ya que el  $p$ -valor  $< 0,05$ , por lo que se rechaza la hipótesis nula. Al aplicar el método de Tukey, se observa que existen diferencias significativas en las medias de cada material filtrante con respecto a la muestra original.

Se observa que los materiales filtrantes que más influyen en este parámetro son el compost de lodo de depuradora que hace que el pH del agua disminuya (figura 21). Mientras que los restos de poda de palmera reduce el pH, debido posiblemente a que es un residuo vegetal con una elevada cantidad de materia orgánica.

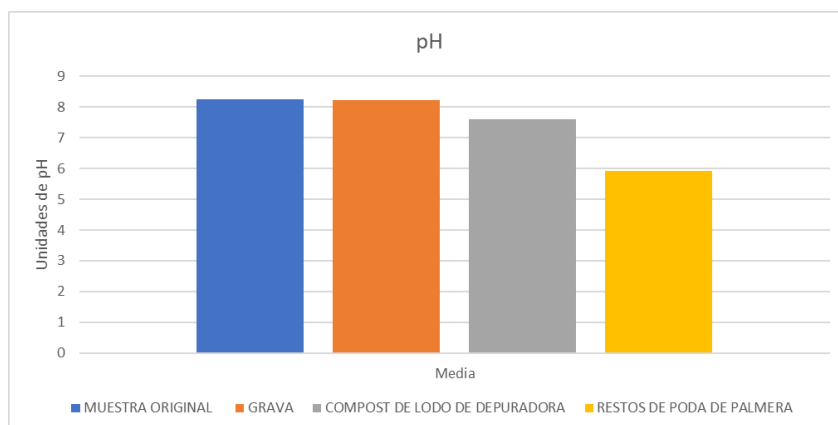


Figura 21. Efecto de cada material filtrante sobre el pH de la muestra de lixiviado recogido.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3. Turbidez

En los resultados obtenidos encontramos diferencias significativas, ya que el  $p$ -valor  $< 0,05$ , por lo que se rechaza la hipótesis nula. Al realizar el método de TUKEY, también existen diferencias significativas, lo que nos aporta información de que los métodos experimentales difieren entre sí debido a las características de cada material.

Como se puede observar en la figura 22, la grava sería el material filtrante con mayor rendimiento para disminuir la turbidez del agua, que puede ser debido a la retención de partículas en los poros de este material, mientras que los restos de poda son los que, por el contrario, producen un aumento en este parámetro, posiblemente debido a la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos típicos de la materia vegetal en descomposición proporcionando al agua una fuerte coloración anaranjada y, por consiguiente, afecta a la turbidez haciendo que esta sea mayor.

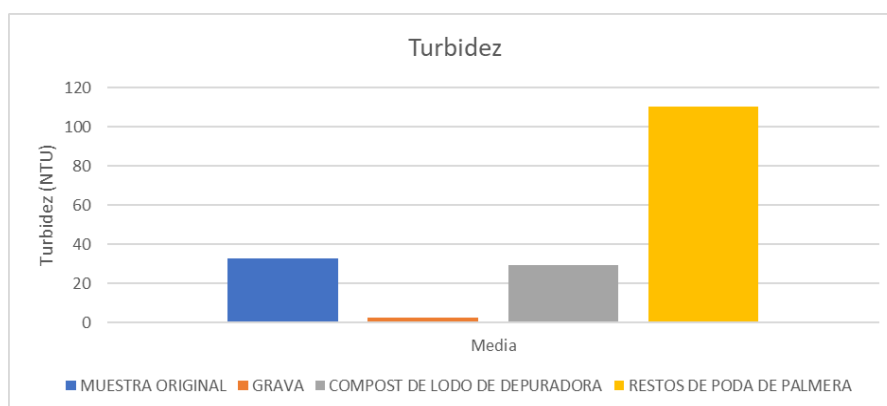
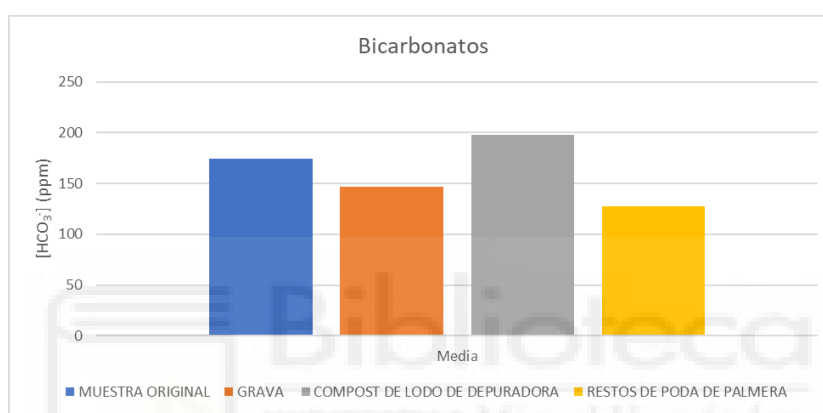


Figura 22. Efecto de cada material filtrante en la turbidez del agua. Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4. Alcalinidad

La reacción de equilibrio del sistema Carbonato-Carbónico se desplazará hacia un sentido o hacia otro en función de la concentración de las especies presentes, y dichas concentraciones están determinadas por el pH del medio (Orozco Barrenetxea et al., 2002).

Los valores medios obtenidos para cada material filtrante son superiores a los 100 ppm (Figura 23). Se observaron diferencias significativas entre los materiales con respecto a la muestra sin tratar ya que el p-valor < 0,05.

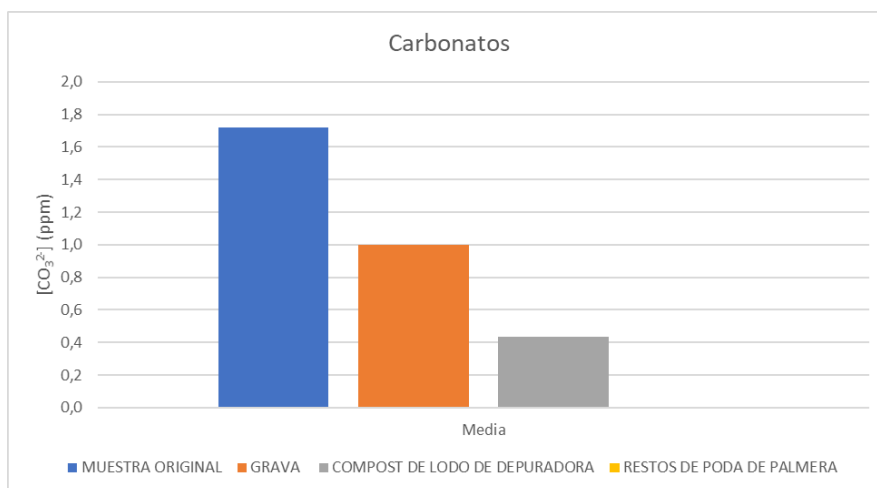


**Figura 23.** Efecto de cada material filtrante en la alcalinidad del agua. Fuente: Elaboración propia.

A partir de un pH de aproximadamente 7, la especie predominante en el medio será el bicarbonato. Teniendo en cuenta que el valor medio de pH del agua filtrada a través de compost es 7,59, como se puede ver en la figura 23, es mayor la concentración de bicarbonatos en este medio en comparación con la muestra original. Mientras que el agua filtrada a través de los restos de poda de palmera con un pH medio de 5,92, se observa que la concentración de bicarbonatos disminuye por la acidificación del medio.

En la figura 24, se observa que los carbonatos en el agua filtrada a través de restos de poda de palmera han disminuido hasta casi su completa desaparición debido a que el pH de este agua es ligeramente ácido, ya que los ácidos orgánicos provenientes de la descomposición de materia vegetal y el contenido en ácidos húmicos y fúlvicos son las principales fuentes naturales de un aumento de acidez en

las aguas (Orozco Barrenetxea et al., 2002). Conforme va disminuyendo el pH, va disminuyendo la concentración de carbonatos presentes en el agua.

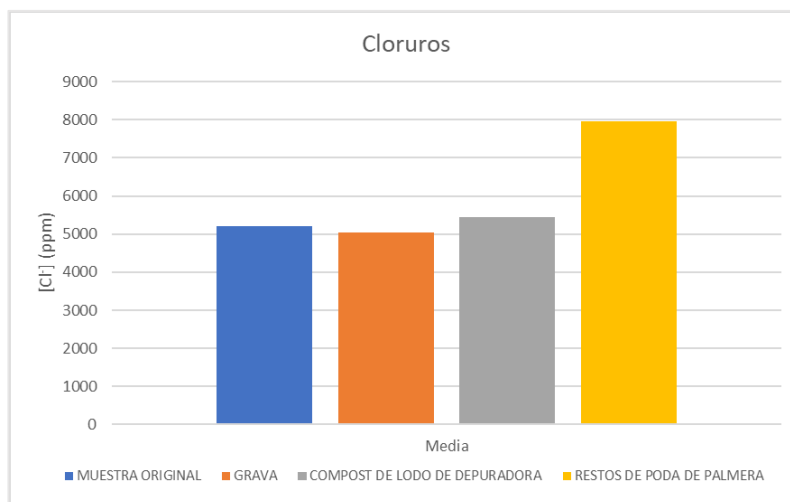


**Figura 24.** Efecto de cada material filtrante en la alcalinidad del agua. Fuente: Elaboración propia.

### 5.5. Cloruros

Los resultados de la prueba ANOVA muestran que hay diferencias significativas entre la concentración de cloruros en los lixiviados obtenidos de cada tratamiento ( $p$ -valor < 0,05); mientras que los resultados con el método de TUKEY indican que no hay diferencia significativa entre la comparación de medias de la grava y el compost, pero si diferencias significativas entre la grava y la poda de palmera, así como el compost y los restos de poda.

De acuerdo con la figura 25, se puede observar que la muestra original posee una elevada concentración de cloruros lo cual es debido a aportes de agua provenientes de la Acequia del Rey y la Laguna de Villena. Como se puede observar, los restos de poda de palmera contribuyen a que los cloruros en el agua aumenten considerablemente, haciendo así que sea un agua más salina, esto podría ser debido a que son plantas resistentes a la salinidad por lo que presentan una acumulación de sales al ser regadas usualmente con aguas procedentes del Vinalopó.



**Figura 25.** Efecto de cada material en la concentración de cloruros del agua. Fuente: Elaboración propia

### 5.6. *Nitrógeno total*

Los resultados ANOVA evidencian la existencia de diferencias significativas entre las medias de los materiales empleados para la filtración ya que el p-valor < 0,05. Mientras que el método de TUKEY indica que no hay diferencias significativas entre las medias experimentales de la grava y los restos de poda de palmera, pero si diferencias entre el compost de lodo de depuradora con la grava y los restos de poda. Observando la figura 26, el compost de lodo de depuradora hace que el contenido en nitrógeno total del agua aumente, debido posiblemente a su elevado contenido en nitrógeno, lo que lo hace viable para su uso como enmienda del suelo o incluso como fertilizante (Mesguer, 2016). Los restos de poda de palmera también hacen que la concentración de nitrógeno aumente debido a sus componentes como aminoácidos, proteínas, clorofila, etc., ya que el nitrógeno es el principal componente de estos.

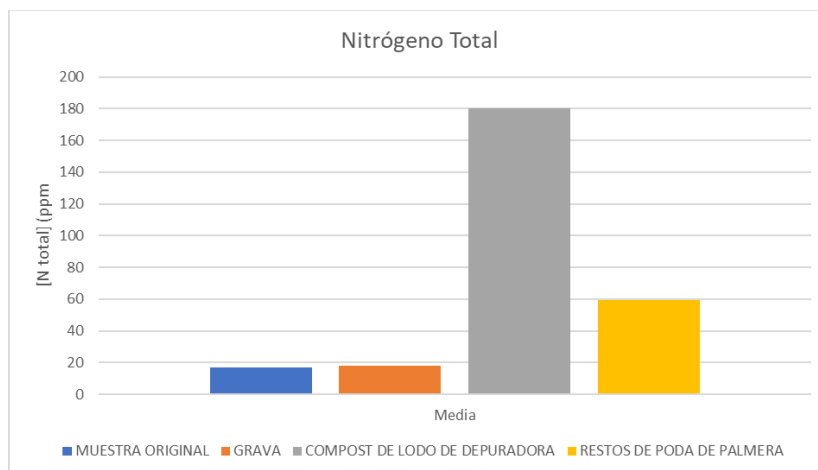
### 5.7. *Nitratos*

En los resultados obtenidos, no se encontraron diferencias significativas entre los distintos materiales experimentales (p-valor 0,323).

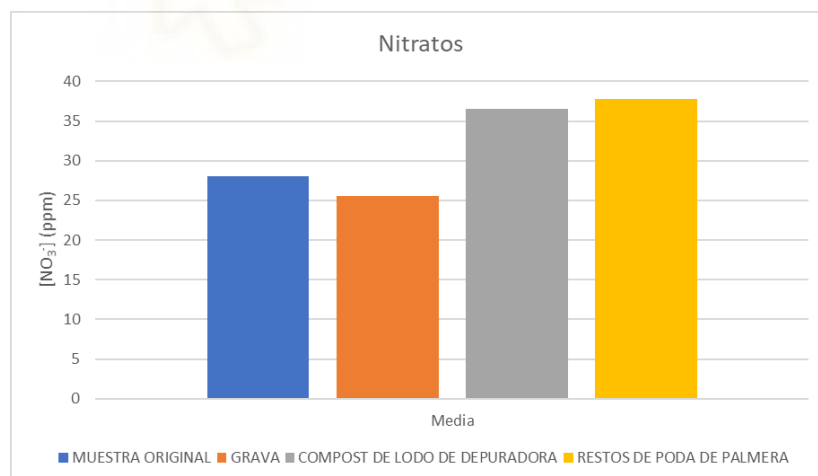
En la figura 27 se puede observar como el compost y la poda de palmera, dan lugar a un aumento de la concentración de nitratos en los lixiviados, lo cual puede llegar a contaminar las aguas por eutrofización. La concentración media del compost de lodo y de los restos de poda es 36,50 y 37,83 ppm respectivamente, si se tiene en

## EVALUACIÓN DE RESIDUOS FILTRANTES PARA REDUCIR LA SALINIDAD DEL RÍO VINALOPO

cuenta el RD 47/2022 de 18 de enero sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias (Real Decreto 47, 2022), considera que son aguas afectadas por nitratos aquellas con una concentración superior a 25 mg/l, de conformidad con su artículo 6.



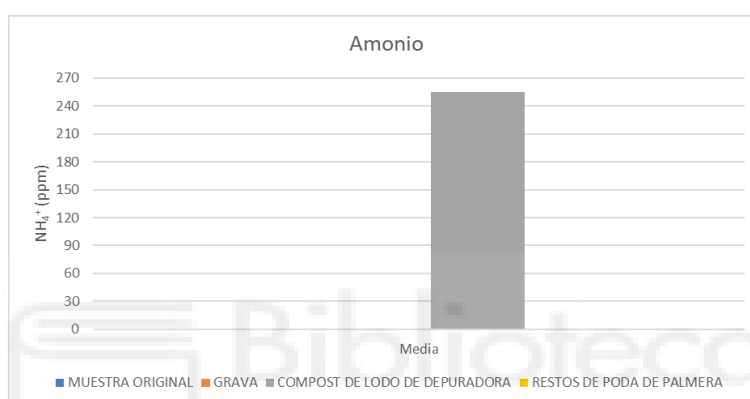
**Figura 26.** Efecto de cada material en la concentración de nitrógeno total en las aguas de lavado. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 27.** Efecto de cada material en la concentración de nitratos de las aguas de lavado. Fuente: Elaboración propia.

### 5.8. Amonio

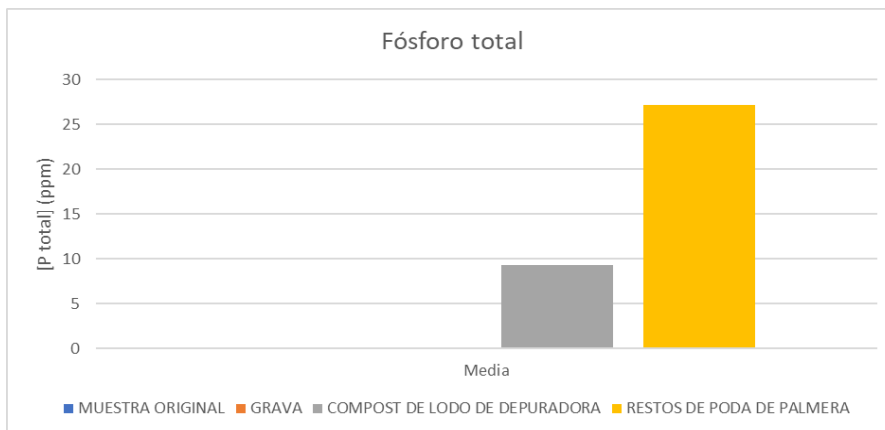
Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas entre las medias de los distintos materiales empleados para la filtración ( $p$ -valor  $< 0,05$ ). Al aplicar el método de TUKEY como prueba post-hoc, se encontraron diferencias significativas con respecto a la muestra original entre las medias de los tratamientos con grava y compost, así como las de compost y restos de poda; mientras que no había diferencias significativas entre las medias de grava y restos de poda. De acuerdo con la figura 28, el compost es el que mayor cantidad de amonio aporta a los lixiviados.



**Figura 28.** Efecto de cada material filtrante en la concentración de amonio en las aguas de lavado. Fuente: Elaboración propia.

### 5.9. Fósforo total

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas, ya que el  $p$ -valor  $< 0,05$ . Al realizar el método de TUKEY, se obtuvo como resultado que las medias experimentales tienen diferencias significativas, por lo que los materiales empleados influyen de manera diferente en la concentración de fósforo total en el agua en relación con la muestra original. En los ríos no alterados, las concentraciones de fósforo total no suelen alcanzar los  $25 \mu\text{g P/l}$ . Como se observa en la figura 29, los restos de poda hacen que la concentración de fósforo total en el agua aumente, esto puede ser debido posiblemente a la descomposición natural de estos restos vegetales, que liberan gradualmente nutrientes al agua. Puede deberse también al uso de fertilizantes que se han acumulado en la planta.

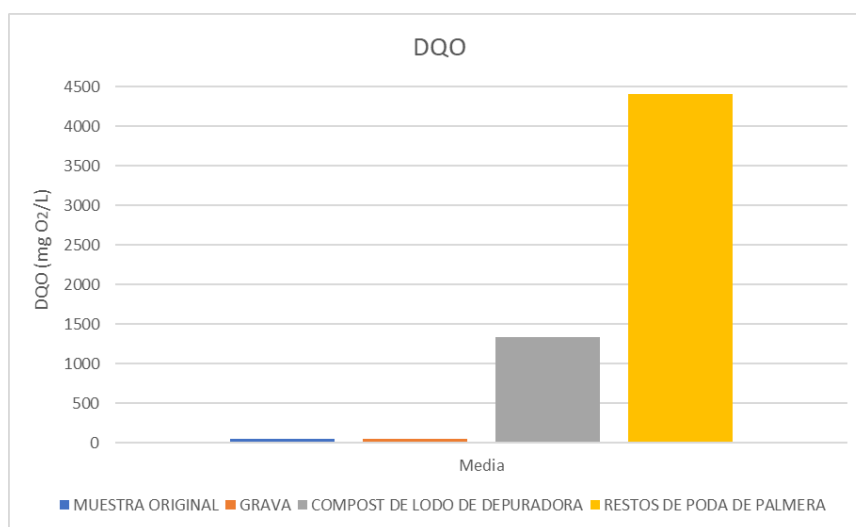


**Figura 29.** Efecto de los materiales filtrantes en la concentración de fósforo total en las aguas de lavado. Fuente: Elaboración propia.

### 5.10. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Los resultados obtenidos en la prueba ANOVA indican diferencias significativas ( $p$ -valor  $6,33 \cdot 10^{-12}$ ), al igual que el método de TUKEY evidencia diferencias significativas entre las medias de los distintos materiales filtrantes con respecto a la muestra original.

Tal y como se observa en la figura 30, los restos de poda de palmera, así como el compost hacen que la DQO del agua aumente, debido a su elevado contenido en materia orgánica, comparado con la muestra original.

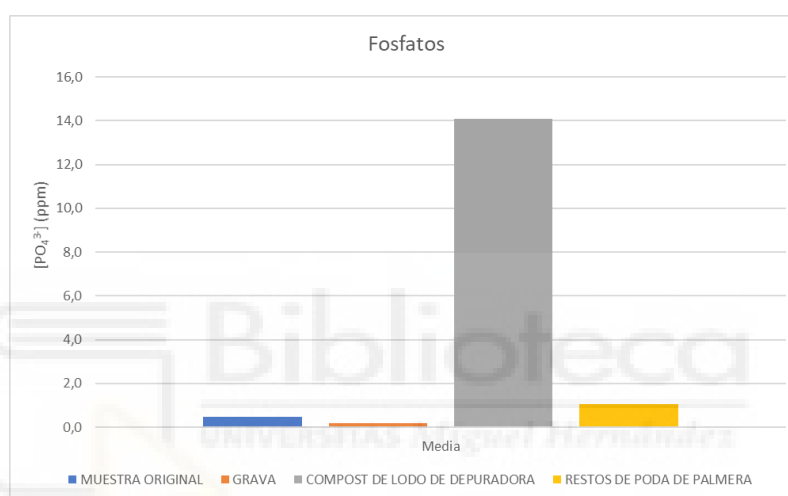


**Figura 30.** Efecto de cada material filtrante en la Demanda Química de Oxígeno. Fuente: Elaboración propia.



### 5.11. Fosfatos

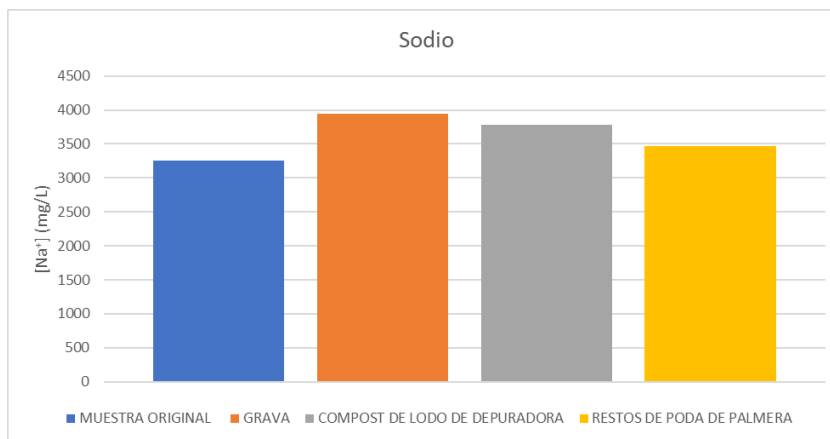
Se observan diferencias significativas en la prueba ANOVA ya que  $p$ -valor  $< 0,05$ . Mientras que con el método post-hoc (TUKEY), se observaron diferencias significativas con respecto a la muestra original entre las medias de los tratamientos con grava y compost, así como el del compost y los restos de poda; pero no había diferencias significativas entre las medias de los tratamientos con grava y restos de poda. Como se observa en la figura 31, el compost de lodos de depuradora hace que la concentración de fosfato en agua aumente.



**Figura 31.** Efecto de cada material filtrante en la concentración de fosfato de las aguas de lavado. Fuente: elaboración propia.

### 5.12. Macroelementos ( $Na^+$ , $K^+$ , $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ )

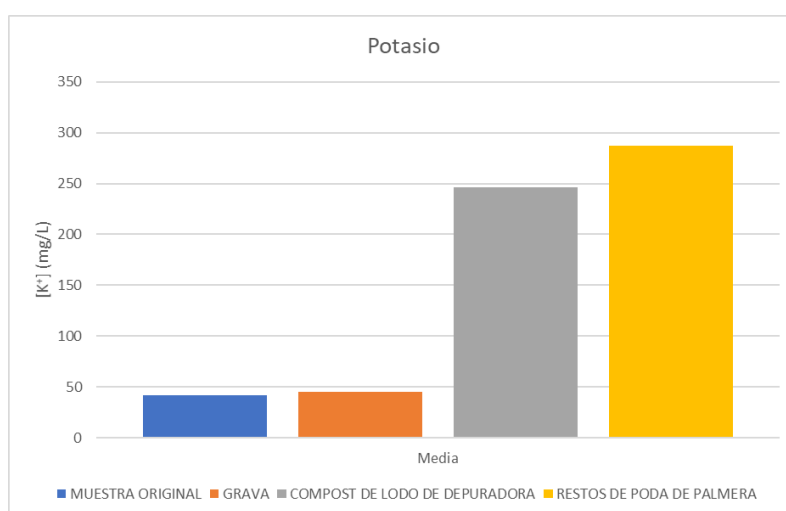
Los resultados del sodio, evidencian que no existen diferencias significativas ( $p$ -valor 0,232) entre los distintos materiales filtrantes con respecto a la muestra original. En la figura 32, se observa como todos los materiales filtrantes aumentan la concentración de sodio en el agua; el compost de lodo de depuradora enriquecido en sales puede aportar salinidad al agua, y los restos de poda de palmera pueden retener iones sodio en sus tejidos al ser una planta tolerante a la salinidad.



**Figura 32.** Efecto de cada material filtrante en la concentración de  $Na^+$  en las aguas de lavado.  
Fuente: Elaboración propia.

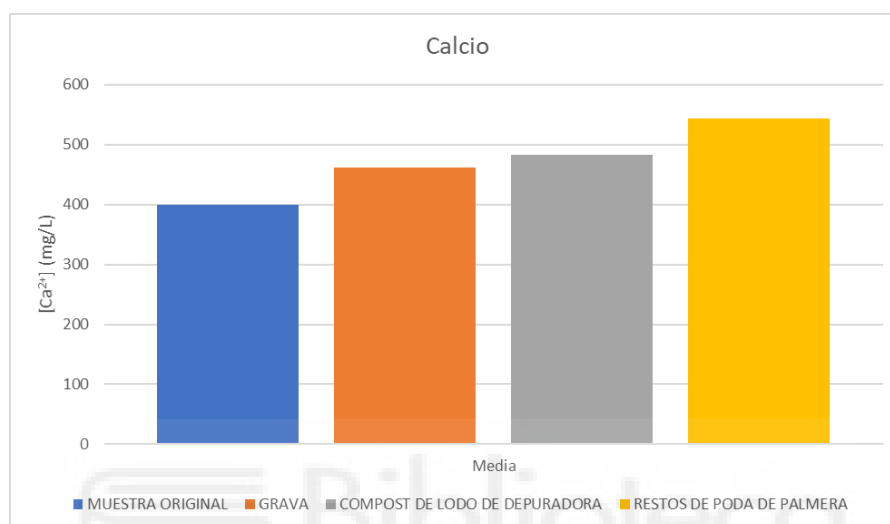
Uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas es el potasio, el cual mediante el empleo de fertilizantes es agregado a los cultivos. Un exceso de los fertilizantes NPK, puede dar lugar a la contaminación de las aguas superficiales, y, por ende, a un incremento de la salinización (Mullor Real, 2017).

Se observaron diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) entre los distintos materiales usados para filtrar el agua. Con el método de TUKEY se encontraron diferencias significativas en la comparación de medias entre los lixiviados procedentes de los tratamientos con grava, compost y restos de poda con respecto a la media de la muestra original (figura 33).



**Figura 33.** Efecto de cada material filtrante en la concentración de  $K^+$  en las aguas de lavado.  
Fuente: Elaboración propia.

Se observaron diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) entre los diferentes materiales filtrantes (figura 34). El método de TUKEY proporciona información sobre las diferencias significativas existentes entre la comparación de medias de la grava y los restos de poda, así como del compost y los restos de poda con respecto a la muestra original; sin embargo, no hay diferencias entre la grava y el compost.

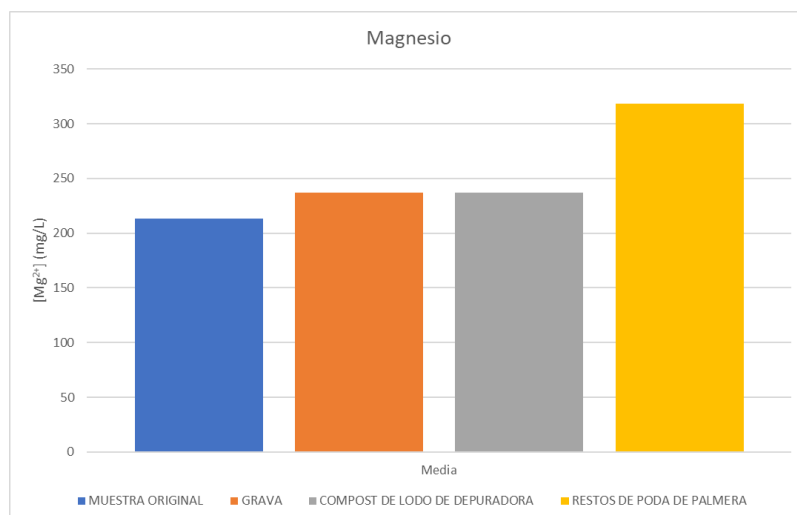


**Figura 34.** Efecto de cada material filtrante en la concentración de Ca<sup>2+</sup> en las aguas de lavado. Fuente: Elaboración propia.

El incremento del catión calcio debido a la grava como material filtrante es debido a la naturaleza caliza de la grava. Por otro lado, el compost de lodo de depuradora constituye una fuente importante de elementos esenciales para las plantas como calcio y, por último, los restos de poda posiblemente al tener un alto contenido en hojas tiene un mayor contenido nutritivo, aportando más calcio al agua.

Al igual que el calcio, el magnesio también influye en la dureza del agua. Se encuentra de manera natural debido a la meteorización de las rocas que contienen este elemento en su composición química (Mullor Real, 2017). Se observaron diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) entre los distintos materiales usados para la filtración. Los resultados obtenidos para el magnesio (figura 35) indican que los restos de poda de palmera producen un aumento en la concentración de magnesio debido a que este elemento forma parte de la molécula de clorofila, esencial para realizar la fotosíntesis.

## EVALUACIÓN DE RESIDUOS FILTRANTES PARA REDUCIR LA SALINIDAD DEL RÍO VINALOPÓ



**Figura 35.** Efecto de cada material filtrante en la concentración de Mg<sup>2+</sup> en las aguas de lavado. Fuente: Elaboración propia.

El RAS de un suelo viene determinada por la ecuación:

$$RAS = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca+Mg]}{2}}}$$

**Tabla 3.** Conductividad y RAS de los materiales filtrantes. Fuente: Elaboración propia.

Material	RAS meq/L	CE (25°C) μS/cm
Original	141,57	17008
Grava	171,76	16890
Compost	164,35	18472
Poda de Palmera	150,77	17473

En relación con los resultados obtenidos del RAS, se observa como con todos los elementos este parámetro sigue siendo elevado, ya que los cationes analizados aumentaron en comparación con la muestra original, posiblemente al aporte de cada material filtrante a las aguas de lavado. De acuerdo con la figura 19, un RAS entre 26-30 nos indica que los problemas de salinización en el suelo pueden ser serios si ya de por sí son suelos salinos.

La clasificación de Richards es uno de los sistemas más usados en España para determinar el riesgo de salinización del suelo basándose en la medida de la conductividad eléctrica y el RAS (Ratio de Adsorción del Sodio) (Quinteros Carabalí et al., 2019). Teniendo en cuenta los resultados de conductividad y de sodio de los distintos materiales usados para filtrar la muestra, se puede clasificar el agua de tipo C4S4 que indica que es un agua regular-mala para su uso en regadío (figura 20).

## 6. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA

De acuerdo con los resultados obtenidos se pueden extraer varias conclusiones:

- Los diferentes materiales filtrantes utilizados tienen un impacto en la calidad del agua según los distintos parámetros analizados. Por ejemplo, se encontró como los restos de poda de palmera pueden disminuir el pH del agua, así como aumentar la salinidad debido a su alto contenido en materia orgánica.
- Los distintos materiales filtrantes afectan significativamente a la conductividad eléctrica, lo que indica que la elección del material influye en la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica.
- El pH del agua varía en función del material a través del cual se filtre, siendo más alta la concentración de bicarbonatos a pH neutro o ligeramente alcalino y disminuyendo conforme desciende el pH.

Como conclusión final se puede decir que, los materiales filtrantes pueden afectar de manera significativa a los distintos parámetros analizados, lo que sugiere que la elección de uno u otro material influye en la calidad de agua y su idoneidad para diferentes usos, como el riego agrícola. Y las diferencias significativas observadas en los resultados de los análisis estadísticos realizados, indica que la grava, el compost de lodo de depuradora y los restos de poda de palmera tienen efectos diferenciados, lo que puede ser relevante para determinar la viabilidad de su uso como lechos filtrantes en procesos de depuración de aguas o en procesos de restauración de suelos degradados.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

### 7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22nd ed.).

Directiva 60 de 2000. Por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. 23 de octubre de 2000. DOCE núm. 327.

Gómez, I., Navarro-Pedreño, J. y Mataix, J. (1992). *Agua de riego: análisis e interpretación*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alicante.

Instituto Geológico y Minero de España. (2009). *Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 4: Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Demarcación Hidrográfica 081 Júcar. Memoria Resumen*. Ministerio de Ciencia e innovación y Ministerio de Medio ambientes y Medio Rural y Marino. [https://info.igme.es/SidPDF/148000/10/148010\\_0000001.pdf](https://info.igme.es/SidPDF/148000/10/148010_0000001.pdf)

Martínez Moya, S. (2017). *Estudio de la minimización de la presencia de cloruros y sulfatos en el agua tratada de la EDAR del Valle del Vinalopó (Alicante)*. [Trabajo Fin de Máster, Universidad de Alicante]. Repositorio de la Universidad de Alicante.

Meseguer, M. L. (2016). *Valorización de residuos de palmera y lodos de depuradora mediante co-compostaje*. [Trabajo Fin de Máster, Universidad Miguel Hernández de Elche]. <http://hdl.handle.net/11000/2727>

Ministerio de Medio Ambiente. (2000). *Libro blanco del agua en España*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente. <https://ceh.cedex.es/web/documentos/LBA/LBA.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). *Plan hidrológico de la demarcación hidrográfica del Júcar. Memoria - Anejo 3. Usos y demandas de agua. Ciclo de planificación hidrológica 2022-2027*. <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan-Hidrologico->

[cuenca-2021-2027/PHC/Version%20Final/PHJ2227\\_Anejo03\\_UsosYDemandas\\_2023\\_01\\_24.pdf](#)

- Mullor Real, C. (2017). *Estudio de la salinidad de las aguas de escorrentía en el entorno agrícola de los ríos Segura-Vinalopó*. [Trabajo Fin de Grado, Universidad Miguel Hernández de Elche]. <http://hdl.handle.net/11000/4297>
- Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, M. N., Rodríguez Vidal, F. J. y Alfayate Blanco, J. M. (2002). *Contaminación ambiental: Una visión desde la química*. Paraninfo.
- Pérez Gimeno, A. (2021). Efecto de la utilización de filtros de compost de lodo y zahorra sobre la calidad de las aguas de riego. [Tesis Doctoral, Universidad Miguel Hernández de Elche]. <https://hdl.handle.net/11000/27502>
- Quinteros Carabalí, J. A., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiyinga, G., Burgos, C. y Carrera-Villacrés, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglhuayco. *Siembra*, 6(2), 46–57. <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>
- Real Decreto 47 de 2022 [Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática]. Sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. 18 de enero de 2022. BOE núm. 17.
- Ruiz, N. (2008). La salinidad del agua de riego y del suelo. <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/80d4684b-9ca2-4e96-9370-5ffb4e098b53>
- Seoánez Calvo, M. (1999). *Ingeniería del medio ambiente aplicada al medio natural continental. La contaminación del medio natural continental: aire, aguas, suelos, vegetación y fauna. Tecnologías de identificación, lucha y corrección*. Mundi-Prensa.
- Tanji, K. K. y Yaron, B. (Eds.). (1994). *Management of Water Use in Agriculture*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-78562-7>
- Torrijos, P. (2015). Calidad de las aguas del curso fluvial del río Vinalopó: Salinidad. [Trabajo Fin de Grado, Universidad Miguel Hernández de Elche]. <http://hdl.handle.net/11000/2721>

UNESCO-WWAP. (2003). *Agua para todos, agua para la vida: informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo; informe conjunto de los veintitrés organismos de Naciones Unidas relacionados con el agua dulce*. Ministerio de Medio Ambiente. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000149406>

## 7.2. RECURSOS DE INTERNET.

Confederación Hidrográfica del Júcar. (s.f.). *Sistema de Información del agua de la Confederación Hidrográfica del Júcar*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://aps.chj.es/siajucar/>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s.f.). *Estado de la tierra, el suelo y el agua: Escasez del agua*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/de4b9d76-34c0-4a54-ba5a-a4d84f89c3da/content/src/html/chapter-1-3.html>

Gómez, M. A. (30 de mayo de 2021). *Restauración y Recuperación Integral del Río Vinalopó*. Generalitat Valenciana. <https://gvaparticipa.gva.es/budgets/1/investments/747>

Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). *Atlas didáctico: Agua. Usos y Gestión del agua*. Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible. [https://educativo.ign.es/atlas-didactico/agua-bach/uso\\_y\\_gestin\\_del\\_agua.html](https://educativo.ign.es/atlas-didactico/agua-bach/uso_y_gestin_del_agua.html)

Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Distribución geográfica de los focos contaminantes. Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible. [https://www.ign.es/espmmap/mapas\\_ma\\_eso/MedioESO\\_Mapas\\_09.htm](https://www.ign.es/espmmap/mapas_ma_eso/MedioESO_Mapas_09.htm)

Martínez Guijarro, M. R. (26 de noviembre de 2020). *Determinación de la alcalinidad del agua: Método potenciométrico*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://media.upv.es/#/portal/video/d9e5a680-2fe3-11eb-8f29-e9ed41c37083>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). *Impacto de la eutrofización en el uso y calidad de las aguas*. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-eutrofizacion/impacto.html>



EVALUACIÓN DE RESIDUOS FILTRANTES PARA REDUCIR LA SALINIDAD DEL RÍO  
VINALOPO

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). *Impacto de los nitratos y pesticidas en el uso y la calidad de las aguas.*

<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-nitratos-pesticidas/impacto-calidad-agua.html>

State Water Resources Control Board. (s.f.). Folleto Informativo Conductividad Eléctrica/Salinidad.

[https://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf)

USEPA. (Agosto de 1993). Method 410.4, Revision 2.0: The Determination of Chemical Oxygen Demand by Semi-Automated Colorimetry.

[https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method\\_410-4\\_1993.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_410-4_1993.pdf)

