

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES**

**GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN  
LOS SUELOS DEL PARQUE NATURAL DE EL HONDO**

**Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente**

Trabajo de fin de grado

Julio 2022

**Autora: Ana Muñoz López**

**Tutor: Jose Navarro Pedreño**

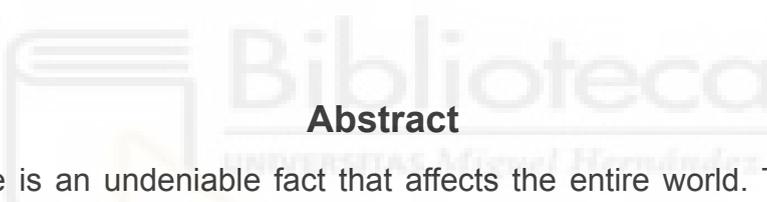
**Área de Edafología y Química Agrícola**

**Código OIR: 220602125359**

## **Resumen**

El cambio climático es un hecho innegable que afecta a todo el mundo. El incremento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico provocan el aumento de la temperatura por el efecto invernadero, haciendo que la tierra se caliente progresivamente. Por ello es importante estudiar y conocer los sumideros de carbono y como se puede hacer que almacenen carbono y no sea liberado a la atmósfera. Este estudio trata sobre los suelos de humedales como sumidero de carbono. Se estudia el contenido de materia orgánica de suelos, considerando la superficie y la capa de laboreo, para determinar la cantidad y capacidad de almacenamiento de carbono de suelos situados en el entorno del Parque Natural de El Hondo de Elche-Crevillente. Los resultados muestran que los suelos del entorno de los humedales tienen la capacidad de almacenar carbono.

Palabras clave: carbono, humedales, materia orgánica, usos del suelo.



## **Abstract**

Climate change is an undeniable fact that affects the entire world. The increase in atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations cause the temperature to rise due to the greenhouse effect, causing the earth to heat up progressively. It is therefore important to study and learn about carbon sinks and how they can be made to store carbon and not be released into the atmosphere. This study deals with wetland soils as a carbon sink. The organic matter content of soils is studied, considering the surface and the tillage layer, to determine the amount and carbon storage capacity of soils located in the surroundings of El Hondo de Elche-Crevillente Natural Park. The results show that soils in the wetland environment have the capacity to store carbon.

Keywords: carbon, land use, organic matter, wetlands.

## Índice:

<b>1. Introducción y antecedentes.</b>	<b>3</b>
<b>2. Objetivos.</b>	<b>6</b>
<b>3. Materiales y métodos.</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Descripción del área de estudio.</b>	<b>7</b>
<b>3.2 Toma de muestras.</b>	<b>9</b>
<b>3.3 Análisis de suelos.</b>	<b>11</b>
<b>3.3.1 Métodos analíticos.</b>	<b>12</b>
<b>3.3.2 Análisis estadístico.</b>	<b>15</b>
<b>4. Resultados.</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Resultados para materia orgánica.</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Estimación del contenido medio de materia orgánica del Parque.</b>	<b>24</b>
<b>5. Discusión.</b>	<b>25</b>
<b>6. Conclusiones y proyección futura.</b>	<b>30</b>
<b>7. Bibliografía.</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.

El CO<sub>2</sub>, es un gas presente en la atmósfera, pero en la actualidad se están alcanzando concentraciones atmosféricas elevadas de este gas que, junto con otros gases, provocan el conocido efecto invernadero. Este efecto impide que los rayos solares -fundamentalmente la radiación infrarroja- (AEMET y OECC, 2021) puedan salir de la atmósfera incidiendo repetidas veces sobre la superficie terrestre teniendo consecuencias, como por ejemplo, el progresivo aumento de la temperatura, favoreciendo así al cambio climático. La mayor parte de las liberaciones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera actuales tienen su origen en fuentes fósiles y la degradación de los ecosistemas (Stockmann *et al.*, 2013).

La fracción orgánica del suelo es un conjunto complejo de sustancias constituidas por restos vegetales y organismos que están sometidos a un proceso constante de transformación. Uno de los componentes de la fracción orgánica del suelo es la materia orgánica cuyo contenido depende de los residuos aportados al suelo y de la velocidad de descomposición (Lefèvre, Rekik, Alcantara y Wiese, 2017). La velocidad de descomposición se ve afectada por el tipo de textura del suelo y drenaje, relación carbono-nitrógeno de los materiales constituyentes de los restos que se van a descomponer, clima y prácticas agrícolas aplicadas, entre otros factores. En caso de que esa descomposición de la materia orgánica ocurra de forma muy rápida, la aireación del suelo, la capacidad de retención de agua y nutrientes disminuye y el carbono es liberado a la atmósfera en forma de dióxido de carbono -CO<sub>2</sub>- (McCauley, Jones y Olson-Rutz, 2017).

El carbono orgánico del suelo afecta a casi todas las propiedades del mismo. Cuando se encuentra en forma de materia orgánica, influye en propiedades físicas, químicas y biológicas actuando como indicador de calidad del suelo. Niveles altos de materia orgánica significan mayor retención de agua, reducción de la erosión, aumento de la retención de nutrientes para las plantas (el carbono orgánico del suelo contribuye al intercambio de cationes que es importante para la nutrición de las plantas y forma el complejo arcillo-húmico) y un aumento de la diversidad biológica del suelo. Además el carbono orgánico puede retener químicos orgánicos

antropogénicos pudiendo reducir la toxicidad de estos compuestos (Nilo, Bernaldo, Bertsch, Suvannang y De Hayr, 2019).

El suelo es el segundo almacén de carbono del planeta, siendo los océanos el principal almacén de carbono (Navarro Pedreño, Almendro Candel y Zorpas, 2021). Los suelos que mayor capacidad de retención pueden llegar a tener son los húmedos y fríos (Stockmann *et al.*, 2013) como los permafrost, pero con los usos del suelo actuales y el cambio climático, se degradan día a día, liberando parte del CO<sub>2</sub> que retiene. Actualmente, existen gran cantidad de estudios para determinar cambios en el almacenamiento de carbono en los suelos, como se muestra en el *Informe sobre recursos mundiales de suelos* de la FAO (2002).

En los suelos de cultivo, la labranza y el arado del suelo para la preparación de los cultivos, afecta directamente al contenido de carbono orgánico del suelo. Provoca cambios en propiedades como la humedad, temperatura y oxígeno afectando a la microbiología del suelo, acelerando la descomposición. Por ello, actualmente se está estudiando la agricultura de conservación y sus efectos en el suelo relacionados con la retención de carbono (Fabrizzi *et al.*, 2008).

En el caso de los humedales, debido a la disponibilidad de agua, tienen un alto potencial para mantener la biodiversidad y ofrecer servicios ecosistémicos (Biggs, von Fumetti y Quinn, 2017). Son zonas que albergan gran cantidad de vegetación altamente productiva (Navarro Pedreño y Rubio, 2021). Una parte de la materia orgánica que producen queda acumulada en forma de materia orgánica del suelo por la limitación de descomposición por condiciones abióticas (Osland, Gabler, Grace y Day, 2018). Esa materia orgánica se descompone lentamente reteniendo todos los componentes, entre ellos el carbono. Por este motivo, los suelos del Parque Natural de El Hondo podrían tener un papel importante en la mitigación del cambio climático siendo un reservorio de carbono evitando su liberación a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>. Como afirma Fabrizzi *et al.* (2008): “El secuestro de carbono en el suelo es una opción viable a corto plazo para mitigar el aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico” (p 1) .

Por todo lo comentado previamente, este estudio trata de estimar el contenido de carbono y de materia orgánica del suelo de la zona de humedal del Parque Natural de El Hondo, para conocer la posibilidad de almacenamiento y mitigación del cambio climático y sus efectos.



## 2. OBJETIVOS.

La finalidad general de este estudio es la estimación del contenido de materia orgánica, de la cantidad de carbono orgánico del suelo, que se puede encontrar almacenado en los suelos del Parque Natural de El Hondo.

Como objetivos específicos se pueden definir los siguientes:

- Realizar una revisión bibliográfica de la información disponible del tema a tratar.
- Realizar muestreos sistemáticos en el entorno del Parque Natural de El Hondo.
- Georreferenciar y analizar espacialmente la distribución de las muestras de suelo.
- Analizar las muestras extraídas del suelo con el objetivo de obtener información de las propiedades edáficas de las capas superficiales del suelo 0-5 y 0-20 cm de profundidad.
- Evaluar y discutir los resultados obtenidos considerando el marco ambiental y los usos de los suelos.
- Redactar el trabajo de fin de grado y la exposición de sus resultados y conclusiones.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS.**

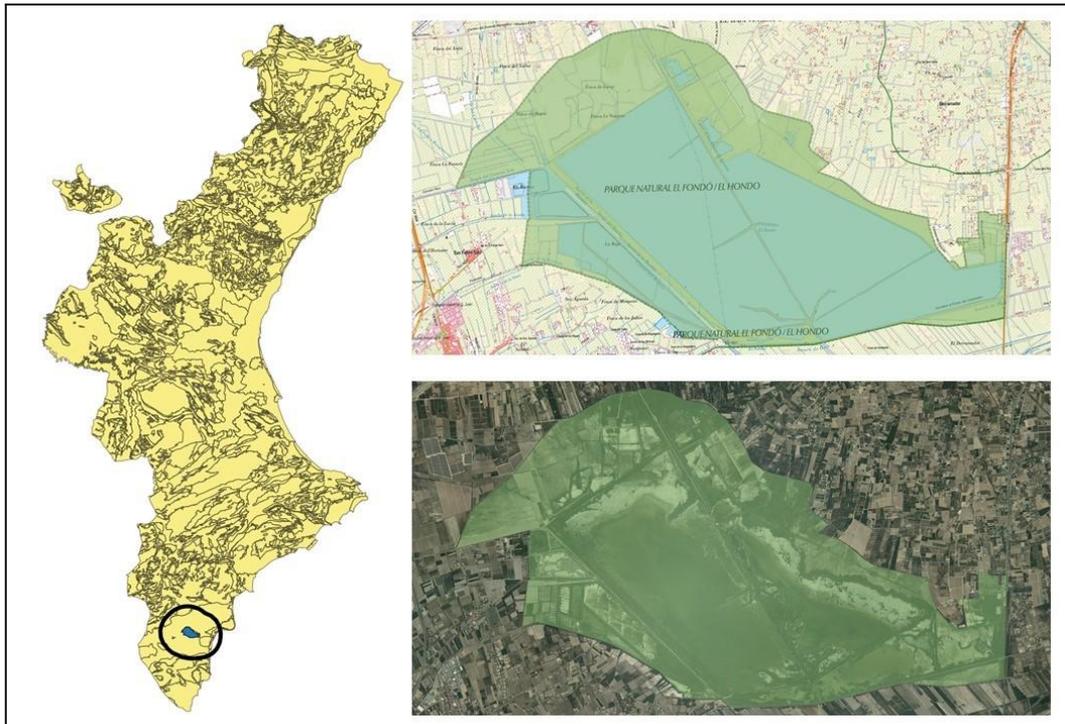
#### **3.1 Descripción del área de estudio.**

El Parque Natural de El Hondo, se sitúa al sur del Bajo Vinalopó en la provincia de Alicante (Figura 1). Está localizado en la zona más oriental de la cordillera Bética, en una depresión tectónica llamada “la Plana d’Elx” rodeado por las Sierras de Crevillente, Callosa y Orihuela (Silveriño, Segrelles, Gutierrez, Niño y Niño, 2015). El conjunto de lagunas y embalses que lo componen pertenecen a lo que antiguamente era una extensa albufera que ocupaba la depresión del Segura-Vinalopó, que progresivamente se fue reduciendo por cambios en los aportes fluviales, distintas transformaciones agrícolas y drenajes (Melendez Pastor, Navarro Pedreño, Koch y Gómez, 2009).

Actualmente, el territorio que comprende el parque consta de dos embalses de riego (Comunidad de Riegos de Levante margen izquierda), charcas naturales, carrizales, juncales, zonas de saladar y terrenos de huerta y palmeral (huertos históricos de palmeras), y práctica de ganadería en algunas zonas (Generalitat Valenciana, Decreto 187/1988).

La extensión de este espacio es de 2387 hectáreas de zona de humedal donde destacan los dos grandes embalses: el embalse de Levante con 450 hectáreas y el embalse de Poniente con 650 hectáreas sumando un total de 16 millones de metros cúbicos de agua destinada para riego.

El agua procede de escorrentías y del sobrante hídrico del río Segura. Los canales de riego distribuyen el agua que se extrae de los embalses construidos para asegurar el riego de los cultivos. El hecho de que haya agua permanente en la zona, la convirtió en un espacio de gran valor ecológico, albergando flora halófila y fauna muy características, entre ellas muchas especies de aves migratorias y en peligro de extinción. (Generalitat Valenciana, Decreto 31/2010)



**Figura 1:** Mapa localización del Parque Natural de El Hondo al sur de la Comunidad Valenciana. Origen de la imagen: elaboración propia derivada de OrtoPNOA 2021 CC-BY 4.0 scne.es.

En los embalses predomina el carrizo en aguas poco profundas alternando con juncos. Las charcas periféricas son aguas someras con cierta salinidad donde se encuentran especies vegetales típicas de saladar como *Limonium* o *Salicornia* (Institut Cartogràfic Valencià, 2022).

Por su importancia como espacio que alberga una gran biodiversidad, ha sido incluido en el Convenio RAMSAR de protección de zonas húmedas con el número 455, cobijando a casi 400 especies diferentes. Según el Servicio de Información de Sitios RAMSAR (2022), es especialmente importante para las aves acuáticas, albergando cantidades importantes a nivel internacional de garcilla cangrejera (*Ardeola ralloides*), pato cuchara invernante (*Anas clypeata*) y malvasía cabeciblanca (*Oxyura leucocephala*), esta última en peligro de extinción a nivel internacional, como figura en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), y en el catálogo nacional como especie amenazada (BOE, 1990; BOE, 2011). También están presentes importantes especies de peces, como el *Aphanius iberus* (conocido

localmente como *fartet*) en peligro de extinción y la anguila europea (*Anguilla anguilla*), en peligro crítico de extinción. Además, constituye la ZEPA ES0000484 (Zona de Especial Protección para Aves) de la Unión Europea (Natura 2000, 2022) y está incluido en la Red Natura 2000 con número de identificación ES0000058 de LIC -Lugar de Importancia Comunitaria- (BOE, 2019). Recientemente, se ha ampliado la ZEPA con la inclusión de la zona húmeda de Los Carrizales de Elche y de El Hondo de Amorós, áreas de gran importancia para las aves acuáticas.

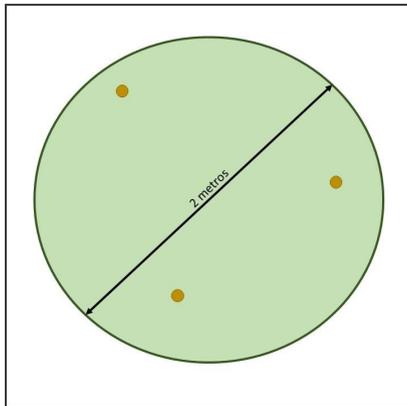
El Parque Natural de El Hondo de Crevillente-Elche, fue declarado como Paraje Natural de la Comunitat Valenciana, respectivamente, por los Decretos 187/1988, 189/1988 y 190/1988, de 12 de diciembre, del Consell, pero fue reclasificado como Parque Natural al amparo de la disposición adicional segunda de la Ley 11/1994, de 27 de diciembre, de la Generalitat, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunitat Valenciana. (Generalitat Valenciana, Decreto 31/2010)

En una Orden emitida por la Conselleria de Medio Ambiente en junio de 2000, tuvo lugar la aprobación de una revisión de las medidas cautelares en busca de una mayor protección de los espacios naturales protegidos de las Lagunas de la Mata y Torrevieja, Las Salinas de Santa Pola y Parque Natural de El Hondo (DOGV, 2000). En este documento se recalca la importancia ecológica y paisajística de estos lugares pero que, a su vez, se debe buscar la compatibilidad con las actividades antrópicas colindantes al parque como las zonas de cultivo cercanas. Por estos motivos de aumento de control de actividades realizadas dentro de la zona del parque, se tuvo que realizar una petición de permisos para poder realizar los muestreos pertinentes.

### **3.2 Toma de muestras.**

Teniendo en cuenta el documento de planificación y realización de un levantamiento de suelos de la FAO (2022) y con el objetivo de obtener muestras para el análisis del horizonte superficial (*topsoil*), se tomaron muestras inalteradas de 0-5 centímetros de profundidad para poder determinar las propiedades que posteriormente se iban a analizar; y muestras alteradas de profundidad 0-20 cm,

siguiendo el modelo propuesto para la estimación de contenido de carbono en los suelos europeos (de Brogniez *et al.* (2015)). En cada punto de muestreo, se tuvo en cuenta un área de 2 metros de diámetro (Figura 2) en el que se tomaron 3 muestras inalteradas 0-5 cm con cilindros y otra una muestra compuesta por 3 submuestras de profundidad 0-20 cm.



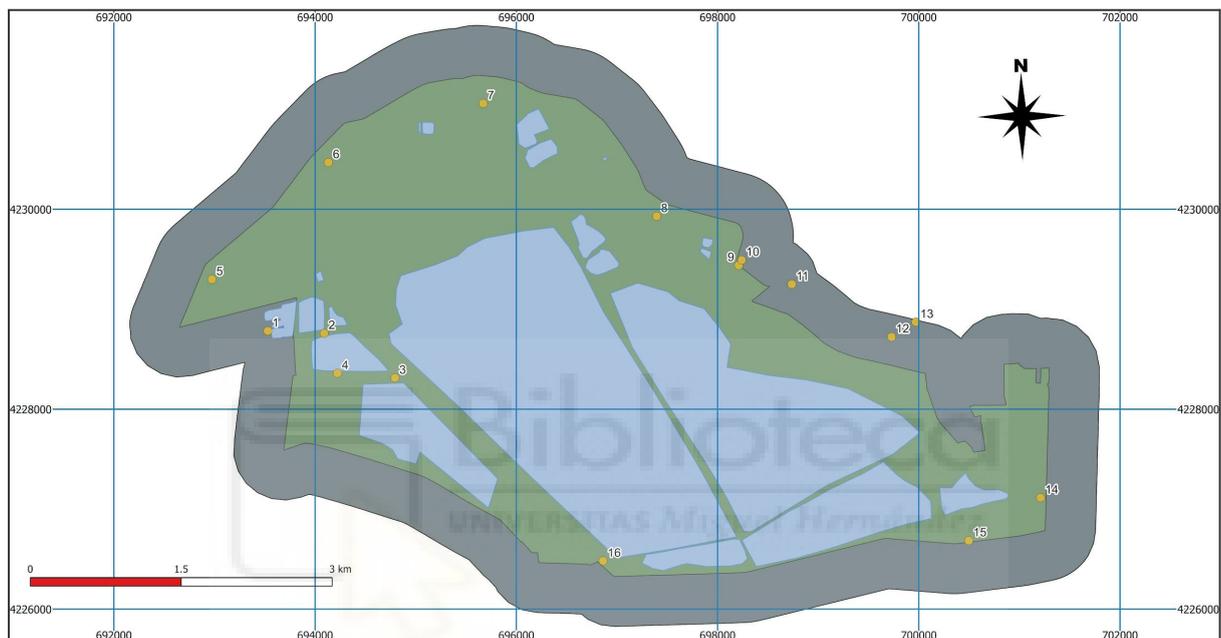
**Figura 2:** Esquema de la toma de muestras, siendo los puntos marrones las diferentes muestras 0-5 cm tomadas dentro de un área de 2 metros. Imagen de elaboración propia.

Para tomar la muestra inalterada de suelo superficial, se emplea un cilindro de 5 cm de diámetro y 5 cm de longitud, una maza y una tabla que se coloca encima del cilindro para golpear suavemente hasta que se hunda en el suelo. Una vez hecho esto, se aísla el cilindro, se coloca la tapa superior y, con la ayuda de una espátula que se introduce por debajo y se extrae el cilindro. Se coloca la segunda tapa y se enumera para su identificación. Para conseguir las muestras de 0-20 alteradas, se realizan, utilizando una azada, agujeros de 20 centímetros de profundidad mezclando todo el suelo y añadiéndolo a una bolsa para su traslado al laboratorio.

Cada punto de muestreo fue georeferenciado mediante un GPS GARMIN modelo ETREX 32x (con un error máximo de 2 metros). Dichos puntos fueron muestreados tanto dentro del parque como en zonas colindantes (área de amortiguación de impactos) con el objetivo de localizar cada uno en los distintos tipos de uso presentes en el parque y sus alrededores. Para la toma de muestras en el interior del parque era necesaria la solicitud de un permiso específico, dado por la dirección del parque, para llevar a cabo la toma de muestras.

Los puntos muestreados que quedan fuera del perímetro del parque quedan englobados por un área tampón de 500 metros (Figura 3) que hace las veces de

zona de amortiguación de impactos alrededor del parque como se establece en el Decreto 232/1994, de 8 de noviembre, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba definitivamente el Plan Rector de Uso y Gestión del Paraje Natural de la Comunidad Valenciana de El Hondo. Esta área tampón se localiza una importante actividad antrópica que influye directamente sobre el Parque Natural de El Hondo, y comparte características edafológicas con los suelos que sí se encuentran dentro del parque.



**Figura 3:** Mapa de la localización de los puntos de muestreo. En gris se muestra el área tampón de 500 metros, en verde la zona del parque natural, en azul las láminas de agua presentes durante todo el año. Origen de la imagen: elaboración propia derivada de OrtoPNOA 2021 CC-BY 4.0 scne.es.

### 3.3 Análisis de los suelos.

En este estudio se van a analizar los siguientes parámetros edáficos: densidad aparente, elementos gruesos, pH, conductividad eléctrica y contenido en materia orgánica. Principalmente interesan los resultados de materia orgánica y densidad aparente para alcanzar los objetivos de este trabajo. Para cada uno de los análisis de estos parámetros, se realizaron 3 análisis individuales por muestra. Para la realización de las mediciones, el suelo debe estar acondicionado, por lo que las

muestras pasan un periodo de secado al aire para su equilibrio con la humedad ambiental.

### **3.3.1 Métodos analíticos.**

#### **Determinación de la densidad aparente.**

La densidad aparente es la masa de suelo por unidad de volumen, volumen que ocupa en el campo con su estructura sin alterar. Aporta información interesante sobre la compactación de cada horizonte del suelo que afecta al enraizamiento y circulación del agua y aire. Para este parámetro se emplea el método del cilindro de volumen conocido, cilindros empleados para la extracción de las muestras inalteradas (Flores y Alcalá, 2010).

Para calcular la densidad aparente de las muestras (únicamente medible en las muestras 0-5, ya que las muestras que tomamos de 0-20 no mantienen la estructura), se deben secar en estufa mufla a 105°C durante un día para eliminar el todo contenido en agua que pueda retener el suelo; y conociendo el volumen total que ocupa el suelo (volumen del cilindro), ya se puede determinar la densidad. Por lo que:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Masa de suelo}}{\text{Volumen total}}$$

#### **Determinación de los elementos gruesos.**

Las determinaciones de pH, conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica, se realizan en la tierra fina, es decir, en la fracción del suelo cuyo diámetro aparente es inferior a 2 mm, siendo por encima de esta los elementos gruesos.

La muestra de suelo, en primer lugar se equilibra con la humedad de la atmósfera, dejándola secar al aire en una habitación ventilada. Y una vez seco al aire, se emplean tamices de 2 milímetros para conseguir la tierra fina. Tras el tamizado se puede obtener el peso de los gruesos presentes en cada muestra.

### **Determinación del pH.**

Se determina el pH de las muestras como parámetro que condiciona el comportamiento del suelo y de sus propiedades, que a su vez influye en el crecimiento de las plantas. Las plantas pueden vivir dentro de ciertos intervalos de pH, aunque tienen cierta capacidad de adaptación. Por otro lado, los elementos químicos o nutrientes disponibles y necesarios para las plantas y su movilidad también son dependientes del pH.

La medición se basa en el potencial eléctrico de la membrana de vidrio de un electrodo, que es función de la actividad de los iones hidrógeno a ambos lados de la membrana. La medición se realiza con un pH-metro de sobremesa GLP 22, CRISON a una temperatura de referencia de 20°C .

La medida del pH, se realiza habitualmente en una suspensión de suelo con agua desionizada con una relación de 1:2'5 (p/V). Para ello se pesan 10 gramos de suelo tamizado y se añaden 25 mL de agua destilada. Se agita durante 10 minutos en un agitador y se deja en reposo durante 30 minutos para que se equilibre la solución. Agitar la suspensión antes de entrar en contacto con los electrodos. Y anotación del resultado proporcionado por el pH-metro (Pansu y Gautheyrou, 2006).

### **Determinación de la conductividad eléctrica.**

La conductividad eléctrica del suelo (EC) es una propiedad que hace referencia a la capacidad que tiene la solución de una muestra de suelo de permitir el paso de la corriente eléctrica. Este paso estará favorecido por la presencia de iones en disolución, procedentes mayoritariamente de las sales inorgánicas disueltas. Por este motivo, se establece una relación entre la medida de conductividad eléctrica y el contenido salino de los suelos, de tal manera que ambas son directamente proporcionales.

Este parámetro depende del voltaje aplicado, del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes y de la viscosidad del medio en el que éstos han de moverse. En disoluciones acuosas, y puesto que su viscosidad disminuye con la temperatura, la facilidad de transporte iónico o conductividad aumentará a medida que se eleva la temperatura. En este caso se toman las mediciones en extractos acuosos a partir de

suspensiones suelo-agua en una proporción peso/volumen 1:5 con una temperatura de referencia de 25°C. Por lo tanto se pesan 8 gramos de suelo tamizado a 2 milímetros y se añaden 40 mililitros de agua desionizada, se agita en el agitador durante 30 minutos y se deja reposar (Vargas, Pankova, Balyuk, Krasilnikov y Khasankhanova, 2018). Una vez estabilizada la disolución, se procede a la medición con el conductímetro GLP 31, CRISON.

### **Determinación de la materia orgánica.**

Para la determinación de la concentración de carbono, útil como paso intermedio para poder hacer una estimación de la materia orgánica (MO) mediante el uso del coeficiente de Waskman (Waksman, 1936; Sierra y Dorronsoro, 2022), se determina la cantidad de este carbono que es oxidada por dicromato potásico 1 N en presencia de ácido sulfúrico. El exceso de oxidante (dicromato potásico) se valora con sulfato ferroso amónico (sal de Mohr) 0 '5 N y la cantidad de carbono orgánico oxidado se calcula a partir de la cantidad de dicromato reducido.

Para esta determinación se emplea el método de Walkey y Black basado en el método de valoración con dicromato potásico. Se pesan entre 0,1 a 1,0 gramos de suelo tamizado (dependiendo del contenido de materia orgánica), se le añade 10 mililitros de dicromato potásico y 20 mililitros de ácido sulfúrico y se deja reposar media hora. Posteriormente, se añaden 200 mililitros de agua y 10 de ácido ortofosfórico para detener la reacción. Para realizar la valoración es necesario añadir 5 gotas del indicador difenilamina y se realiza la valoración con sal de Mohr mediante una bureta (Nilo *et al.*, 2019). Los cálculos a aplicar son los siguientes:

$$\% \text{Carbono Orgánico} = \frac{(V_{\text{blanco}} - V_{\text{muestras}}) \times 0.5M \times 0.003 \times 100 \times f \times mcf}{\text{Peso de la muestra}}$$

$$f = \frac{2 \times V_{\text{blanco}}}{\text{mL sal de Mohr}} \quad \text{mcf (factor de corrección de humedad)}$$

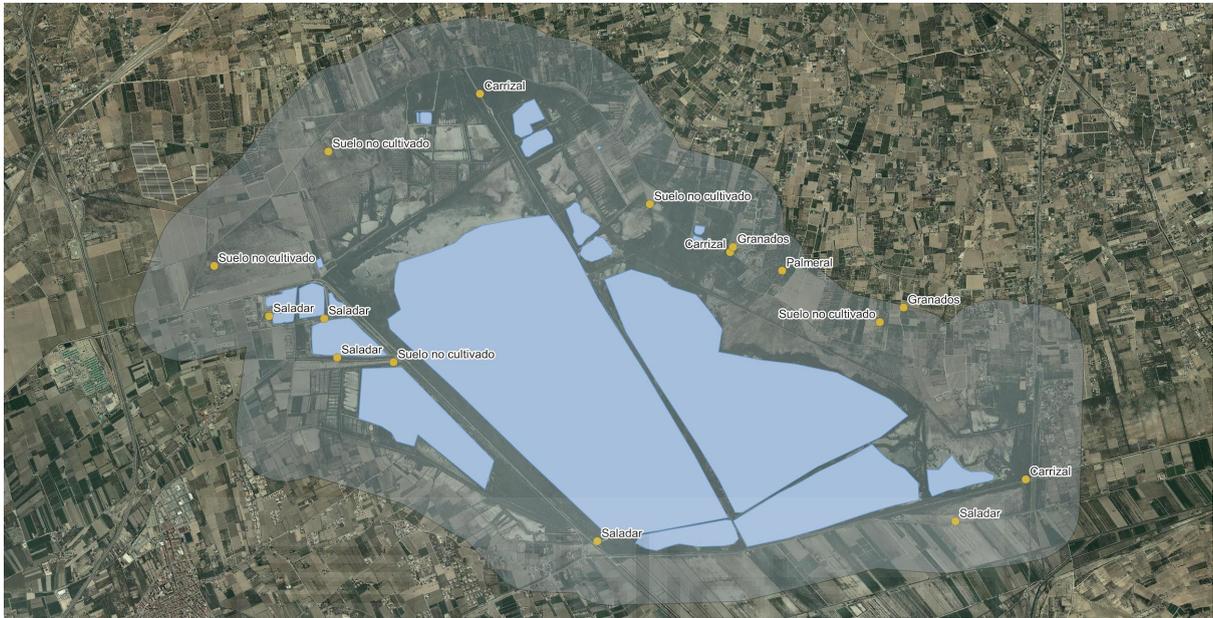
### 3.3.2 Análisis estadístico.

Para las muestras se ha realizado análisis estadístico descriptivo realizando la media y la desviación estándar (Sd). Posteriormente, para relacionar los parámetros entre sí, se han realizado regresiones lineales obteniendo el coeficiente de correlación de Pearson (Field, 2005).



#### 4. RESULTADOS.

A continuación, se presenta un mapa con los puntos de muestreo y el tipo de uso de suelo en los lugares donde fueron extraídas cada una de las muestras (Figura 4).



**Figura 4:** Mapa de distribución de los distintos usos del suelo en el entorno del Parque Natural de El Hondo. Origen de la imagen: elaboración propia derivada de OrtoPNOA 2021 CC-BY 4.0 scne.es.

Se pueden definir las distintas zonas en las que se realizó un muestreo de la siguiente forma:

- Saladar: zona de suelo salino donde no se ha cultivado (nunca o desde hace mucho tiempo).
- Suelo no cultivado: zona en la que se ha cultivado recientemente pero en el momento del muestreo carecía de él.
- Carrizal: zona con vegetación abundante dominada por el carrizo.
- Palmeral: zona de cultivo de palmeras.
- Granados: zona de cultivo de granados.

A continuación, se muestran los resultados para los parámetros edáficos analizados en los suelos de 0-5 cm (Tabla 1 y 2) y para los suelos de 0-20 cm de profundidad (Tabla 3 y 4).

**Tabla 1:** Resultados obtenidos de los análisis realizados en las muestras de profundidad 0-5 cm. Se muestran los resultados para los parámetros de carbono orgánico, materia orgánica y pH.

Uso del suelo	Muestra	Carbono orgánico (%)		Materia Orgánica (%)		pH (uds. pH)	
		Media	Sd	Media	Sd	Media	Sd
Saladar	1	2,27	0,18	3,92	0,32	8,59	0,10
Saladar	2	2,69	0,14	4,64	0,25	8,64	0,00
Suelo no cultivado	3	3,32	0,06	5,73	0,11	8,15	0,05
Saladar	4	2,30	0,27	3,96	0,47	8,99	0,02
Suelo no cultivado	5	2,46	0,11	4,23	0,19	8,43	0,09
Suelo no cultivado	6	2,89	0,02	4,99	0,03	8,52	0,03
Carrizal	7	3,70	0,26	6,38	0,44	8,33	0,02
Suelo no cultivado	8	0,86	0,15	1,48	0,25	8,20	0,02
Carrizal	9	7,03	0,52	12,12	0,90	7,73	0,07
Granados	10	3,28	0,14	5,65	0,24	8,42	0,01
Palmeral	11	4,39	0,10	7,56	0,17	8,73	0,01
Suelo no cultivado	12	3,07	0,04	5,30	0,08	8,64	0,01
Granados	13	3,09	0,27	5,33	0,47	8,75	0,01
Carrizal	14	6,05	0,35	10,44	0,61	8,48	0,02
Saladar	15	4,88	0,03	8,41	0,06	8,64	0,04
Saladar	16	3,61	0,11	6,23	0,19	8,09	0,01

**Tabla 2:** Resultados obtenidos de los análisis realizados en las muestras de profundidad 0-5 cm. Se muestran los resultados para los parámetros de conductividad eléctrica, densidad aparente y elementos gruesos.

Uso del suelo	Muestra	EC (dS/m)		Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )		Gruesos (%)	
		Media	Sd	Media	Sd	Media	Sd
Saladar	1	3,35	0,23	1,37	0,20	0,01	0,01
Saladar	2	5,14	0,25	1,20	0,02	0,00	0,00
Suelo no cultivado	3	2,60	0,10	1,32	0,08	0,01	0,01
Saladar	4	5,30	0,03	1,27	0,06	0,00	0,00
Suelo no cultivado	5	5,92	0,89	1,24	0,04	0,01	0,01
Suelo no cultivado	6	0,23	0,00	1,30	0,03	0,01	0,01
Carrizal	7	4,94	0,76	0,62	0,02	0,15	0,07
Suelo no cultivado	8	1,96	0,10	1,50	0,08	0,02	0,02
Carrizal	9	2,04	0,60	0,62	0,11	0,01	0,01
Granados	10	0,31	0,02	1,36	0,00	0,02	0,01
Palmeral	11	0,50	0,04	1,38	0,02	0,01	0,01
Suelo no cultivado	12	0,30	0,01	1,59	0,08	0,01	0,01
Granados	13	0,29	0,04	1,45	0,03	0,01	0,00
Carrizal	14	0,48	0,01	1,07	0,14	0,02	0,00
Saladar	15	4,65	0,54	1,25	0,05	0,00	0,00
Saladar	16	3,72	0,86	1,36	0,05	0,05	0,03

**Tabla 3:** Resultados obtenidos de los análisis realizados en las muestras de profundidad 0-20 cm. Se muestran los resultados para los parámetros de carbono orgánico y materia orgánica.

Uso del suelo	Muestra	Carbono orgánico (%)		Materia Orgánica (%)	
		Media	Sd	Media	Sd
Saladar	1	4,23	0,12	7,30	0,21
Saladar	2	2,71	0,03	4,67	0,06
Suelo no cultivado	3	3,20	0,07	5,52	0,11
Saladar	4	3,96	0,15	6,83	0,25
Suelo no cultivado	5	3,43	0,14	5,92	0,24
Suelo no cultivado	6	4,64	0,07	8,00	0,12
Carrizal	7	6,63	0,01	11,43	0,02
Suelo no cultivado	8	4,54	0,21	7,83	0,36
Carrizal	9	2,30	0,27	3,97	0,46
Granados	10	3,38	0,12	5,83	0,20
Palmeral	11	3,57	0,15	6,16	0,26
Suelo no cultivado	12	2,70	0,13	4,65	0,22
Granados	13	3,17	0,12	5,46	0,20
Carrizal	14	4,58	0,05	7,90	0,08
Saladar	15	5,01	0,14	8,63	0,24
Saladar	16	4,37	0,25	7,53	0,42

**Tabla 4:** Resultados obtenidos de los análisis realizados en las muestras de profundidad 0-20 cm. Se muestran los resultados para los parámetros de pH, conductividad eléctrica y elementos gruesos.

Uso del suelo	Muestra	pH (uds. pH)		EC (dS/m)		Gruesos (%)
		Media	Sd	Media	Sd	Media
Saladar	1	8,02	0,01	3,61	0,04	0,08
Saladar	2	8,18	0,01	4,95	0,02	0,05
Suelo no cultivado	3	7,91	0,00	3,83	0,02	0,06
Saladar	4	8,43	0,00	6,65	0,02	0,07
Suelo no cultivado	5	8,17	0,01	8,07	0,04	0,07
Suelo no cultivado	6	7,97	0,01	1,97	0,01	0,21
Carrizal	7	7,96	0,02	6,80	0,02	6,49
Suelo no cultivado	8	7,94	0,00	2,24	0,07	0,49
Carrizal	9	8,02	0,01	2,56	0,04	0,11
Granados	10	8,49	0,01	0,17	0,00	0,30
Palmeral	11	8,63	0,01	0,33	0,00	0,02
Suelo no cultivado	12	8,40	0,01	0,37	0,01	0,08
Granados	13	8,68	0,02	0,21	0,00	0,08
Carrizal	14	8,42	0,01	0,30	0,00	0,40
Saladar	15	8,19	0,01	4,58	0,04	0,14
Saladar	16	7,88	0,02	1,84	0,03	0,68

En las tablas de resultados 1, 2, 3 y 4, a pesar de la variabilidad de los datos obtenidos, parece que se pueden observar un destacable alto contenido de carbono orgánico, o lo que es lo mismo, materia orgánica en los suelos de carrizal.

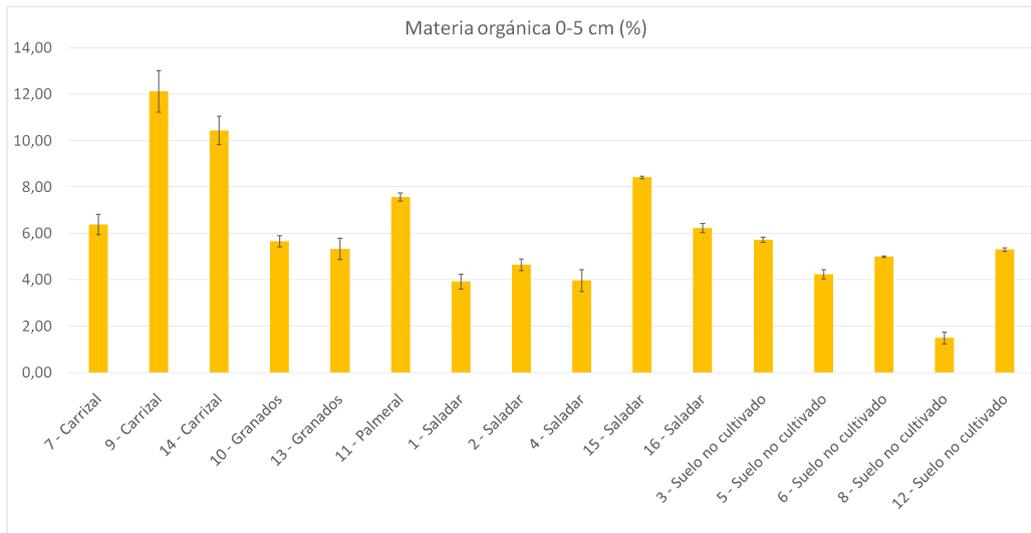
Aunque en general los valores de pH rondan entre 7.73 y 8.99, los valores más elevados pH se encuentran en suelos de saladar junto con las conductividades eléctricas más altas observables en suelos de carrizal y saladar, por el alto contenido en sales disueltas capaces de favorecer el paso de la corriente eléctrica y la presencia de especies halófilas.

En las Tabla 1 y 2, se puede observar una gran variabilidad en los valores de densidad aparente, destacando una zona de carrizal por su baja densidad aparente, en la que se da una elevada acumulación de materia orgánica poco fragmentada, similar a la que presentan muchas turberas. Normalmente aparecen altos datos de contenido en materia orgánica en las zonas de carrizal. Esto tiene sentido ya que los parámetros densidad aparente y contenido en materia orgánica son directamente proporcionales.

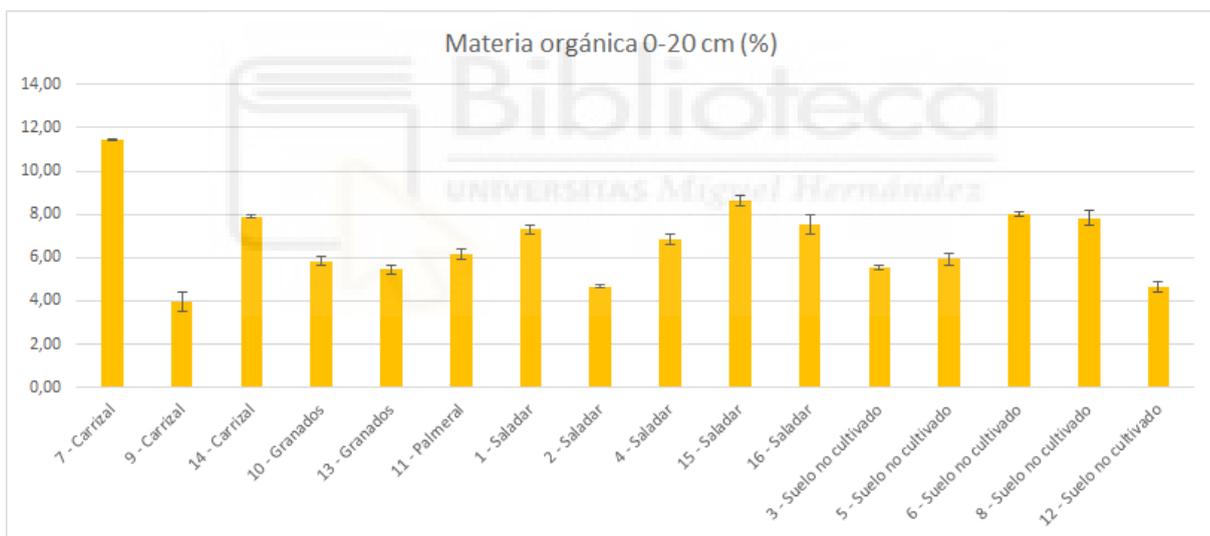
Los valores obtenidos para el contenido de elementos gruesos, observables en las tablas 4 y 2, en las muestras es muy bajo (excepto el valor de gruesos del carrizal 7 tanto en 0-5 como en 0-20 cm) que está constituido por restos de material vegetal de mayor tamaño. Esto justifica que los valores en tierra fina de materia orgánica de este punto no sean los más altos.

#### **4.1 Resultados para materia orgánica.**

A continuación, en las figuras 5 y 6, se muestra el conjunto de resultados para la materia orgánica tanto de las muestras de 0-5 centímetros de profundidad como las muestras de 0-20 cm.



**Figura 5:** Porcentaje de materia orgánica en cada punto de muestreo relacionado con el tipo de suelo del que se extrajo la muestra de 0-5 con la desviación estándar de cada una.



**Figura 6:** Porcentaje de materia orgánica en cada punto de muestreo relacionado con el tipo de suelo del que se extrajo la muestra de 0-20 con la desviación estándar de cada una.

A razón de estas figuras (5 y 6), es importante recalcar que la materia orgánica es la relativa a la fracción de suelo menor a 2 milímetros que es capaz de pasar a través de la luz del tamiz. Para los suelos de carrizal, por ejemplo la muestra 7 de profundidad 0-20 cm como se ha mencionado previamente, parte de la materia orgánica que contenían no pasa el tamiz a la hora de preparar las muestras para los análisis, se puede observar la cantidad de gruesos eliminados en la Tabla 2. Estos

elementos gruesos no llegan a tener el tamaño de 2 mm ya que se han de transformar y fraccionar con el tiempo para poder ser asimilados por los suelos.

En la profundidad de suelo 0-5 cm, los suelos con mayor contenido en materia orgánica son los carrizales 9 y 14 junto con el saladar 15 (Figura 5). Mientras que para las muestras de 0-20 cm, los suelos con mayor contenido en materia orgánica son el carrizal 7, el saladar 15 y el suelo no cultivado 8.

A continuación, en la Tabla 5, se presenta la diferencia entre la cantidad de materia orgánica entre los suelos de profundidad 0-20 respecto a los de 0-5 cm: (+) significa que hay mayor concentración de materia orgánica total en suelos de 0-20 cm que en los suelos 0-5 cm. Por el contrario, (-) significa que hay más materia orgánica total en la profundidad de 0-5 cm, en superficie. Esta diferencia se realiza con el objetivo de mostrar si hay mayor contenido de materia orgánica en profundidad 0-20, es decir, se está acumulando en el perfil del suelo, que podría significar que la materia orgánica se está acumulando en profundidad. Hay que tener en cuenta que esta materia orgánica es la referida a la fracción menor a 2mm que ha sufrido procesos de fragmentación y transformación.

**Tabla 5:** Diferencia entre la materia orgánica de 0-20 respecto a la 0-5.

Muestra	Diferencia 0-20 con 0-5
7 - Carrizal	+
9 - Carrizal	-
14 - Carrizal	-
10 - Granados	+
13 - Granados	+
11 - Palmeral	-
1 - Saladar	+
2 - Saladar	+
4 - Saladar	+
15 - Saladar	+
16 - Saladar	+
3 - Suelo no cultivado	-
5 - Suelo no cultivado	+
6 - Suelo no cultivado	+
8 - Suelo no cultivado	+
12 - Suelo no cultivado	-

A continuación, se muestran dos tablas (Tablas 6 y 7) con el objetivo de observar las relaciones entre los distintos parámetros estudiados. Se trata principalmente de mostrar si el parámetro de materia orgánica es dependiente de algún otro parámetro. Obviamente, la cantidad de materia orgánica depende de la acumulación de restos vegetales, pero una vez depositados en el suelo su transformación y acumulación dependen de las propiedades edáficas.

**Tabla 6:** Coeficiente de regresión lineal ( $R^2$ ) entre cada uno de los parámetros de las muestras de 0-5 cm de profundidad.

	<b>OM</b>	<b>pH</b>	<b>EC</b>	<b>Densidad aparente</b>	<b>Gruesos</b>
<b>OM</b>	1	-0,1276	-0,043	-0,3738	0,0017
<b>pH</b>		1	0,0014	0,2188	-0,0745
<b>EC</b>			1	-0,0966	0,0398
<b>Densidad aparente</b>				1	-0,2882
<b>Gruesos</b>					1

**Tabla 7:** Coeficiente de regresión lineal ( $R^2$ ) entre cada uno de los parámetros de las muestras de 0-20 cm de profundidad.

	<b>OM</b>	<b>pH</b>	<b>EC</b>	<b>Gruesos</b>
<b>OM</b>	1	-0,105	0,0803	0,5098
<b>pH</b>		1	-0,1615	-0,0812
<b>EC</b>			1	0,122
<b>Gruesos</b>				1

En general, se obtienen valores de  $R^2$  bajos para todas las regresiones lineales realizadas entre los parámetros.

Aunque se obtiene un valor de  $R^2$  bajo entre la densidad aparente y la materia orgánica presente a 0-5 centímetros de profundidad del suelo, este es el mayor de todos. La correlación entre materia orgánica y densidad aparente es interesante ya que a medida que aumenta la materia orgánica tiende a disminuir la densidad aparente (Salamanca y Sadeghian, 2006).

Para la relación entre la materia orgánica y los elementos gruesos de profundidad 0-20 cm, se observa un valor de 0,5. Para este resultado, parece tener un gran peso

el contenido de elementos gruesos de la muestra de carrizal número 7 (Tabla 4). No obstante, dado que no se disponen de las suficientes repeticiones analíticas, convendría afianzar este resultado con un mayor número de muestras en el futuro.

#### 4.2 Estimación del contenido medio de materia orgánica del Parque.

Con el objetivo de estimar el contenido medio de materia orgánica en el Parque Natural de El Hondo, con las limitaciones que tiene la metodología que se va a emplear, a continuación se muestran los valores promedios obtenidos a partir de los valores medios y las desviaciones estándar del conjunto de todas las muestras 0-5 cm y 0-20 cm (Tabla 8 y 9).

**Tabla 8:** Valores promedio de la media y desviación estándar de todos los datos de materia orgánica y densidad aparente de las muestras de 0-5 cm.

<b>Carbono Orgánico (%)</b>		<b>Materia Orgánica (%)</b>		<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	
Media	Sd	Media	Sd	Media	Sd
3,49	0,17	6,02	0,30	1,24	0,06

**Tabla 9:** Valores promedio de la media y desviación estándar de todos los datos de materia orgánica de las muestras de 0-20 cm.

<b>Carbono Orgánico (%)</b>		<b>Materia Orgánica (%)</b>	
Media	Sd	Media	Sd
3,90	0,13	6,73	0,22

Mediante los valores promedio calculados para materia orgánica y densidad aparente, se puede llegar a estimar la materia orgánica en la superficie total del Parque. Los cálculos que establecemos son los siguientes (Lefèvre *et al.*, 2017):

$$\text{Peso de 1 ha de suelo} = 10.000 \text{ (m}^2\text{)} \times \text{Profundidad suelo (m)} \times \text{Densidad aparente (kg/m}^3\text{)}$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta el valor promedio de la densidad aparente del suelo, el peso de una hectárea de suelo del Parque Natural de El Hondo sería de 620.000 kg por hectárea para los suelos de 0-5 cm. Dado que no se ha determinado

el valor de la densidad aparente de las muestras de 0-20 cm de profundidad, al no disponer de cilindros para dicho muestreo, utilizaremos como aproximación el mismo valor de densidad aparente. Normalmente, los horizontes inferiores suelen tener una densidad aparente mayor, con lo cual, es esperable que la densidad media fuera igual o superior a la de la zona superficial. Con estas consideraciones, se estima que la cantidad de suelo por hectárea son 2.480.000 kg para 0-20 cm.

Con la cantidad de suelo por hectárea y el porcentaje de materia orgánica promedio de las muestras se puede obtener los kilogramos de materia orgánica almacenada por hectárea.

Para saber la superficie de suelo que normalmente no se encuentra sumergida, partimos de las ortofotografías aéreas del PNOA, obteniendo las láminas de agua y el suelo seco. La superficie obtenida es, haciendo una diferencia del área tampón y la ocupada por las láminas de agua, de 1243,17 hectáreas de suelo.

A continuación, se muestra en la Tabla 10, los resultados obtenidos de la estimación de la materia orgánica en el Parque.

**Tabla 10:** Valores de la estimación de materia orgánica almacenada en los suelos del Parque Natural de El Hondo.

<b>Profundidad</b>	<b>MO almacenada (kg/ha)</b>	<b>MO almacenada total (ton)</b>
<b>0-5</b>	37,34	46,42
<b>0-20</b>	166,82	207,39

## 5. DISCUSIÓN.

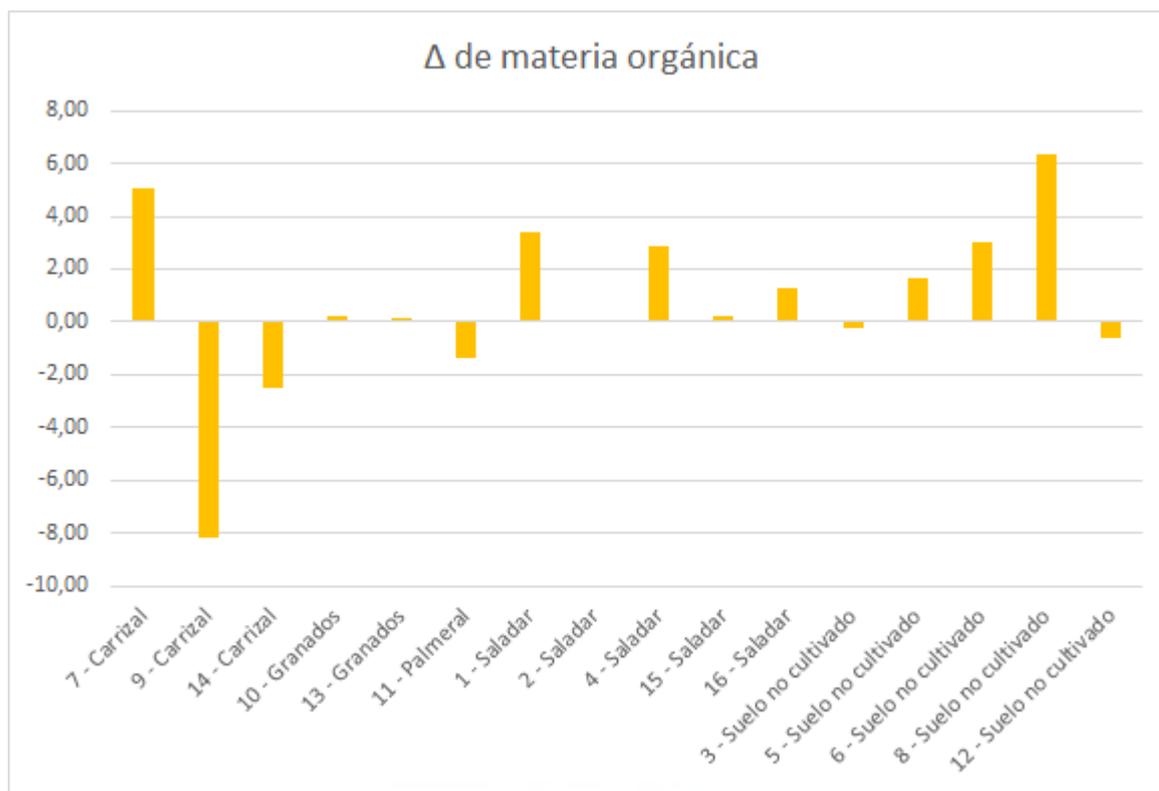
En este apartado nos vamos a centrar en reflexionar sobre los resultados obtenidos del contenido de materia orgánica. Asumiendo que desde el punto de vista metodológico, para tener un conocimiento exhaustivo de toda la zona, requeriría el desarrollo de un proyecto de investigación mucho más amplio que un trabajo de fin de grado. Sin embargo, con los datos obtenidos podemos conocer, en alguna medida, cuál es el comportamiento de esta zona húmeda relacionada con el almacenamiento de carbono orgánico.

La materia orgánica se ve influenciada por los distintos usos del suelo (Smith *et al.*, 2015; Fu, Chen, Wang, Yu y Yu, 2021). Por ello, se recomienda un estudio en profundidad con mayor enfoque en la diferenciación de los distintos tipos de usos de suelo y a lo largo del tiempo, para obtener mejores resultados.

Atendiendo a estos usos del suelo, para los resultados de materia orgánica en zonas cultivadas con granados y cultivos de palmeras, se observa un mayor nivel de materia orgánica en aquellos suelos con granados, ya que es posible que se esté realizando una fertilización con enmiendas orgánicas para favorecer los cultivos, práctica que se ha observado en el campo ilícito.

En los suelos de carrizal hay un alto contenido en materia orgánica en superficie (Figura 5). Esto puede deberse a que son zonas poco accesibles y que la materia orgánica se quede acumulada en las primeras capas del suelo. Además, el carrizo es una especie vegetal de rápido crecimiento y con alta acumulación de biomasa (Liu, Huang, Tang, Liu y Scholz, 2012). Se contempla la posibilidad de que la capacidad de almacenar materia orgánica esté relacionada con la evolución de esos suelos, que tengan una tendencia a acumular a lo largo del tiempo aunque por ahora no haya sido observado.

Siguiendo la dinámica de la Tabla 5, se muestra a continuación la Figura 7 que compara el contenido de materia orgánica en las dos profundidades de suelo muestreadas.



**Figura 7:** Incremento de la acumulación de la materia orgánica en el suelo. Compara la acumulación de los suelos de 0-20 respecto a los suelos de 0-5 cm.

En cuanto a la muestra 8 (Figura 7), un suelo sin cultivo, presenta una gran diferencia entre el contenido de materia orgánica en la superficie y la profundidad de 0-20 cm. Esto puede deberse a que lleve mucho tiempo sin cultivar, la materia orgánica se haya fragmentado y transformado y haya permitido el movimiento en profundidad de los componentes. Sin embargo, puede ser que, tras el abandono del cultivo, ya no se produzcan aportes de materia orgánica en superficie generando esa gran diferencia.

Por otro lado, entre los suelos de carrizal, destaca la muestra 7 respecto al resto. Se trata de una zona que se asemeja a una turbera, con alta humedad y mucha acumulación de materia orgánica debido al carrizo. Los carrizales 9 y 14 no presentan tanta humedad como el correspondiente al punto 7. Estos suelos pueden ser zonas de carrizales más jóvenes o que no se vean afectadas por una elevada humedad en el suelo. Es posible que con las condiciones óptimas de alta humedad, que dificulta la descomposición de los restos vegetales dando lugar a la

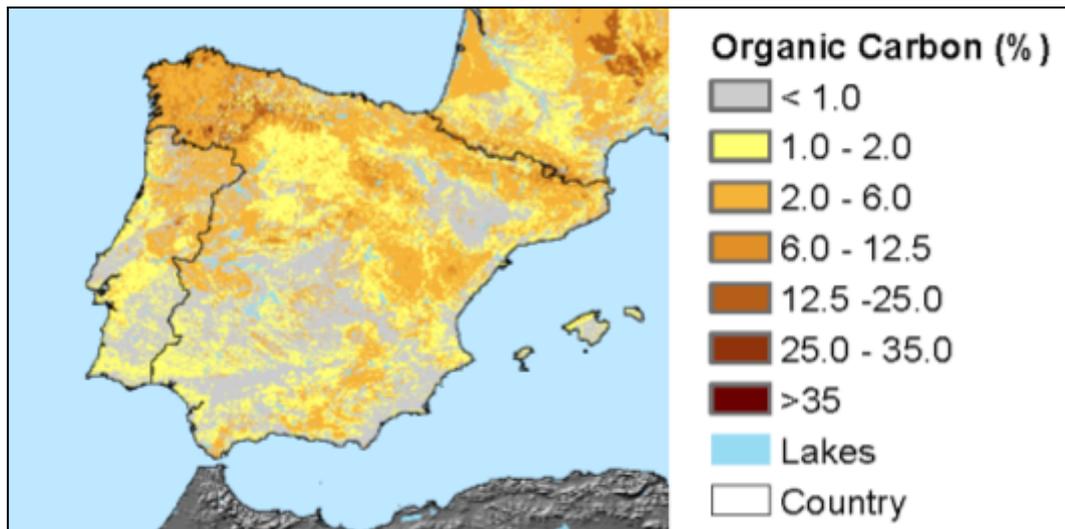
acumulación de materia orgánica, y con el paso del tiempo, se conviertan en turberas (Hribljan, Suárez, Heckman, Lilleskov y Chimmer, 2016).

Como se observa en la Tabla 5, el uso de suelo en el que se aprecia la acumulación de materia orgánica son los suelos de saladar, ya que los cinco puntos de este suelo muestran mayor contenido de materia orgánica en profundidad 0-20 cm que en profundidad 0-5 cm, aunque ocurre en cantidades pequeñas. Esto puede deberse a que son suelos no alterados antrópicamente y esto permite la paulatina transformación de los aportes que puedan haber, permitiendo así el almacenaje de carbono. Además, se debe tener en cuenta que esta materia orgánica pertenece a la fracción menor a 2 mm. Por lo tanto, estos componentes han sufrido el paso del tiempo y se han transformado en la fracción más fina del suelo.

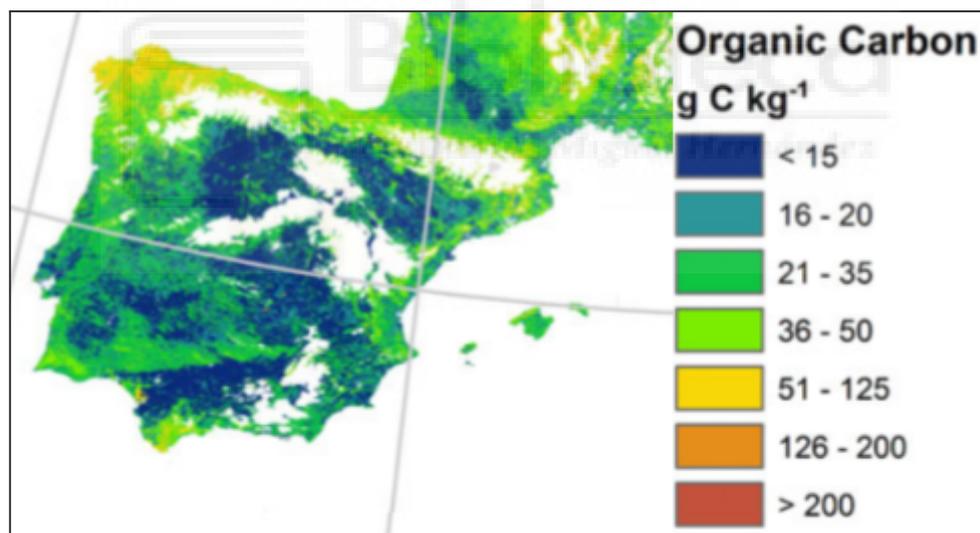
En cuanto a la estimación de materia orgánica en el Parque Natural de El Hondo y su área de influencia, dado que no se tienen datos de la densidad aparente de 0-20 cm de profundidad, se han realizado los cálculos empleando los datos de densidad aparente de 0-5 cm como aproximación a los valores que podría tener todo el horizonte superficial.

Por otro lado, el cálculo del contenido de carbono se ha realizado obteniendo el promedio de los porcentajes de los 16 puntos muestreados. Es un valor aproximado, porque no se ha realizado una ponderación considerando la superficie dedicada a cada uso del suelo en el Parque y su área de influencia. Aún así, se puede emplear este valor como referencia para entender la importancia del almacenaje de carbono.

Jones, Hieder, Rusco, Loveland y Montanarella (2005) y de Brogniez et al., (2015) realizaron mapas de Europa en los que se estima, en el horizonte superficial del suelo, el porcentaje de carbono orgánico presente (Figura 8 y Figura 9, respectivamente). La zona de estudio se sitúa en la Figura 8 en una zona con un contenido en carbono orgánico inferior a un 1 % y en la Figura 9 en una zona de entre 16 y 20 g/kg. Nuestros suelos muestran elevadas concentraciones de carbono, siendo tres veces superiores a las de la Figura 8 y más de dos veces superior a lo que se presenta en la Figura 9.



**Figura 8:** Mapa del contenido de carbono orgánico del suelo en la superficie de suelos de España (0-30 cm). Basado en: A 2004 GIS map of Soil Organic Carbon (SOC) content (%) in the surface horizon of soils in Europe, associated to a JRC internal report. (Jones, Hieder, Rusco, Loveland y Montanarella, 2005).



**Figura 9:** Mapa del contenido de carbono orgánico del suelo en la superficie de suelos españoles (0-20 cm). Basado en: Map of predicted topsoil organic carbon content (g C/kg). (de Brogniez *et al.*, 2015).

Los resultados obtenidos son positivos, corroboran como las zonas húmedas cumplen con el papel de almacenaje de carbono orgánico, pero el grado de detalle de la cartografía de estos autores puede no ser la adecuada para reflejar los resultados obtenidos en este trabajo. Los humedales juegan un papel muy importante en el ciclo del carbono (Kayranlı, Scholz, Mustafa y Hedmark, 2010). Hay

una gran correlación entre el cambio climático y los contenidos de carbono, donde el contenido de carbono orgánico decrece con el incremento de temperaturas (Kirschbaum, 1995). El incremento de las temperaturas puede afectar a los humedales favoreciendo la liberación de carbono orgánico. Se sabe que de forma general los aumentos de la temperatura y cambios en el nivel del agua son variables importantes en la producción de metano y dióxido de carbono desde los humedales (Updegraff, Bridgham, Pastor, Weishampel y Harth, 2001).

Debido al cambio climático y el aumento de la temperatura, se pueden producir cambios importantes en los flujos de carbono de las zonas húmedas pudiendo ser tanto fuentes de carbono como de sumidero. Por ello, lo ideal sería realizar un control y seguimiento a lo largo del tiempo de las variaciones de carbono orgánico que puedan ocurrir por su relación con el cambio climático.



## 6. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA.

Este estudio, que es una aproximación al conocimiento del estado del carbono orgánico de los suelos del entorno del Parque Natural de El Hondo, enseña a entender el comportamiento del suelo y los ciclos de intercambio de materia y gases puede ayudar a comprender que favorecer los procesos de acumulación de materia orgánica puede ayudar a mitigar los efectos negativos del cambio climático.

Considerando los usos del uso estudiados en el Parque Natural, se ha observado que en los suelos de saladar contienen más materia orgánica en profundidad 0-20 cm que en la profundidad de 0-5 cm. Si acumulan materia orgánica en profundidad, pueden ayudar a largo plazo al ser humano a mitigar los efectos del cambio climático. Además, los suelos de carrizal también destacan por tener altos contenidos de materia orgánica.

Teniendo en cuenta el marco ambiental y los usos del suelo, en general, los contenidos de carbono orgánico son elevados en la zona del Parque Natural de El Hondo.

Realizar más estudios de este tipo ayudarían a comprender mejor el papel de los humedales como zonas de almacenamiento de carbono. Se recomienda estudiar en profundidad las zonas de humedales, que se realicen más muestreos y los respectivos análisis que fomenten el conocimiento del ciclo de carbono. Es importante conocer su funcionamiento, sobre todo, en zonas áridas y semiáridas ya que se ven afectadas directamente por los aumentos de temperatura debidas al cambio climático.

Sería interesante realizar muestreos a lo largo del año para observar la evolución, posibles variaciones de la concentración de materia orgánica en el suelo y otros posibles cambios y realizar una mejor diferenciación entre los distintos usos del suelo y su comportamiento como fuente o sumidero de carbono.

## 7. BIBLIOGRAFÍA.

AEMET y OECC (2021). *Cambio climático: bases físicas. Guía resumida del sexto informe de evaluación del IPCC. Grupo de trabajo I*. Madrid, España: Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico.

Biggs, J, von Fumetti, S y Kelly-Quinn, M. (2017) The importance of small waterbodies for biodiversity and ecosystem services: implications for policy makers. *Hydrobiologia*, 793, 3-39.

BOE (1990). Real Decreto 439/1990, de 30 de marzo, por el que se regula el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas. Boletín Oficial del Estado, 5 de abril de 1990, núm 82

BOE (2011). Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. Boletín Oficial del Estado, 23 de febrero de 2011, núm 46.

BOE (2019). Decisión de Ejecución (UE) 2019/22 de la Comisión, de 14 de diciembre de 2018, por la que se adopta la duodécima lista actualizada de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea [notificada con el número C(2018) 8534]. Boletín Oficial del Estado, de 9 de enero de 2019, núm 7, pp. 522-611. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2019-80024>

de Brogniez, D., Ballabio, C., Stevens, A., Jones, R.J.A., Montanarella, L. y van Wesemael, B. (2015). A map of the topsoil organic carbon content of Europe generated by a generalized additive model. *European Journal of Soil Science*, 66, 121-134.

DOGV (1989). DECRETO 187/1988, de 12 de diciembre, del Consell de la Generalitat Valenciana, de declaración de Paraje Natural de la Comunidad

Valenciana de El Hondo. Diari Oficial de la Generalitat Valenciana, de 25 de enero de 1989, núm. 991. Recuperado de: [https://dogv.gva.es/portal/ficha\\_disposicion\\_pc.jsp?sig=0165/1989&L=1](https://dogv.gva.es/portal/ficha_disposicion_pc.jsp?sig=0165/1989&L=1)

DOGV (1994). DECRETO 232/1994, de 8 de noviembre, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba definitivamente el Plan Rector de Uso y Gestión del Paraje Natural de la Comunidad Valenciana del Fondo. Diari Oficial de la Generalitat Valenciana, 18 de noviembre de 1994, núm 2390. Recuperado de: [https://dogv.gva.es/portal/ficha\\_disposicion\\_pc.jsp?sig=2543/1994&L=1](https://dogv.gva.es/portal/ficha_disposicion_pc.jsp?sig=2543/1994&L=1)

DOGV (2000). ORDEN de 1 de junio de 2000, de la Conselleria de Medio Ambiente, por la que se acuerda iniciar el procedimiento de revisión y ordenación de los planes rectores de uso y gestión de los humedales del sur de Alicante. Diari Oficial de la Generalitat Valenciana, 12 de junio de 2000, núm. 3769. Recuperado de: [https://dogv.gva.es/datos/2000/06/12/pdf/2000\\_X4753.pdf](https://dogv.gva.es/datos/2000/06/12/pdf/2000_X4753.pdf)

DOGV (2010). DECRETO 31/2010, de 12 de febrero, del Consell, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Sistema de Zonas Húmedas del Sur de Alicante. [2010/1667]. Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda. de 16 de febrero de 2010, núm. 6207. Recuperado de: [https://dogv.gva.es/datos/2010/02/16/pdf/2010\\_1667.pdf](https://dogv.gva.es/datos/2010/02/16/pdf/2010_1667.pdf)

Fabrizzi, K.P., Rice, C.W., Amado, T.J.C., Fiorin, J., Barbagelata, P. y Melchiori, R. (2008). Protection of soil organic C and N in temperate and tropical soils: effect of native and agroecosystems. *Biogeochemistry* 92, 129–143. <https://doi.org/10.1007/s10533-008-9261-0>

FAO (2022, 10 de junio). Planificación y realización de un levantamiento de suelo. Recuperado de: [https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/.!33787!x6706s02.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/.!33787!x6706s02.htm)

Field, A. (2005). *Discovering statistics using SPSS*. Londres, Reino Unido: SAGE Publications Ltd.

Flores L. y Alcalá JR., (2010). *Manual de procedimientos analíticos*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Fu, C., Chen, Z., Wang, G., Yu, X. y Yu, G. (2021). A comprehensive framework for evaluating the impact of land use change and management on soil organic carbon stocks in global drylands. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 44, 103-109.

Generalitat Valenciana (2022, 12 de junio). Historia y cultura del Parque Natural del Fondo. Recuperado de: <https://parquesnaturales.gva.es>.

Hribljan J.A., Suárez, E., Heckman, K.A., Lilleskov, E.A., Chimmer, R.A. (2016). Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian páramo. *Wetlands, Ecology and Management*, 24, 113-127.

Institut Cartogràfic Valencià (2022, 16 de junio). Mapas de Parques Nacionales: Parc Natural El Fondo (escala 1:15.000). Recuperado de: <https://icv.gva.es/es/parques-naturales>.

Jones, R.J.A., Hiederer R., Rusco, E., Loveland, P.J. y Montanarella L. (2005). Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support. *European Journal of Soil Science*, 56, 655-671.

Kayranli, B., Scholz, M., Mustafa, A. y Hedmark, A. (2010). Carbon Storage and fluxes within freshwater wetlands: a critical review. *Wetlands*, 30, 111-124.

Kirschbaum M.U.F, (1995). The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic storage. *Soil Biology and Biochemistry*, 27, 753-760.

Lefèvre, C., Rekik, F., Alcantara, V. y Wiese, L. (2017). *Carbono orgánico del suelo, el potencial oculto*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.

Liu X., Huang S., Tang T., Liu X. y Scholz M., (2012). Growth characteristics and nutrient removal capability of plants in subsurface vertical flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 44, 189-198. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.03.011>

McCauley, A., Jones, C. y Olson-Rutz, K. (2017). Soil pH and Organic Matter. *Nutrient Management*, 8, 9-12.

Melendez Pastor, I., Navarro Pedreño, J., Koch, M. y Gómez, I. (2009). Multi-resolution and temporal characterization of land-use classes in a Mediterranean wetland with land-cover frantions. *International Journal of Remote Sensing*, 31(20), 5365-5389.

Natura 2000 (2022, 14 de junio). Natura 2000- Standard data form. Recuperado de: <https://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=ES0000484>

Navarro Pedreño, J., Almendro Candel, M.B. y Zorpas, A.A. (2021). The increase of soil organic matter reduces global warming, myth or reality? *Sci* 3(18), 1-14.

Navarro Pedreño, J., y Rubio, F. (2021). *Management of common reed (Phragmites australis) in Mediterranean wetlands, Spain*. En FAO and ITPS (Ed.), Recarbonizing global soils: A technical manual of recommended management practices. Volume 6: Forestry, wetlands, urban soils- Case studies. (pp.194-201). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.

Nilo, G. Bernaldo, B.G., Bertsch, F., Suvannang, N. y De Hayr, R. (2019). *Standard operating procedure for soil organic carbon. Walkey-Black method: tritiation and colorimetric method*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.

Osland M., Gabler C., Grace JB y Day R. (2018) Climate and plant controls on soil organic matter in coastal wetlands. *Global Change Biology*, 24(11), 5361-5379. <https://doi.org/10.1111/gcb.14376>

Pansu, M. y Gautheyrou, J (2006) *Handbook of soil analysis*. Berlín, Alemania. Springer-Verlag.

Robert, M. (2002) *Captura de Carbono en los suelos para un mejor manejo en la Tierra*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.

Salamanca A. y Sadeghian S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 56(4),381-397.

Servicio de Información de Sitios RAMSAR (2022, 16 de junio). El Hondo. Recuperado de: <https://rsis.ramsar.org/ris/455>

Sierra, M. y Donrroso, C. (2022, 21 de junio). Desarrollo paso a paso cómo realizar una evaluación por este sistema de Riquier, Bramao y Cornet. Recuperado de: <http://www.edafologia.net/evaluacion/tema3/riquierejemplo/riquejempl1.htm>

Silveriño, N., Segrelles, J.A., Gutierrez N., Niño I.N. y Niño J.E. (2015) Multifuncionalidad y turismo en el Parque Natural “El Hondo” de la Comunidad Valenciana. *El Periplo Sustentable*, 29, 35-56.

Smith, P., House, J. H., Bustamante, M., Sobocká J., Harper, R., Pan, G., West, P.C., Clark, J.M., Adhya, T., Rumpel, C., Paustian, K., Kuikman, P.M., Cotrufo, F., Elliot, J.A., McDowell, R., Griffiths, R.I., Asakawa, S., Bondeau, A., Jain, A.K., Meersmans, J., Pugh, T.A.M. (2015). Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology*, 22(3), 1008-1028.

Stockmann, U., Adams M., Crawford J., Field D., Henakaarchchi N., Jenkins M., Minasny B., McBratneya A., Remy de Courcelles V., Singha K., Wheeler I., Abbott L., Angers D, Baldock J., Birde M, Brookes P., Chenu C, Jastrow J., Lal R., Lehmann

J., O'Donnell A., Parton W., Whitehead D. y Zimmermann M. (2013) The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 80-99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>

Updegraff, K., Bridgham, S.D., Pastor, J., Weishampel, P., Harth, C. (2001). Response of CO and CH emissions in peatlands to warming and water table manipulation. *Ecological Applications*, 11, 311-326.

Vargas R., Pankova E., Balyuk S., Krasilnikov P. y Khasankhanova G. (2018) *Handbook for saline soil management*. Moscú, Rusia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.

Waskman, S.A. (1936). *Humus: origin, chemical composition, and importance in nature*. Baltimore, EEUU: The Williams & Wilkins Company.

