

**TRATAMIENTO DE LA SALINIDAD DEL SUELO DE LA YARADA BAJA-TACNA  
MEDIANTE HUMUS Y CARBÓN ACTIVADO  
TREATMENT OF SOIL SALINITY IN THE YARADA BAJA-TACNA AREA USING  
HUMUS AND ACTIVATED CARBON**

**Autores:** <sup>1</sup>Yanira Analhi Velásquez Silva, <sup>2</sup>Andre Fabricio Paniagua Salamanca, <sup>3</sup>Priscila Jimena Pérez Paz, <sup>4</sup>Alejandro Rayder Aarón Gonzáles Maquera y <sup>5</sup> Fernando Sebastián Achatá Galdos.

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-4209-8913>

<sup>2</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0201-6999>

<sup>3</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-2582-7122>

<sup>4</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-1064-2975>

<sup>5</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-8785-929X>

<sup>1</sup>E-mail de contacto: [yavelasquezs@unjbg.edu.pe](mailto:yavelasquezs@unjbg.edu.pe)

<sup>2</sup>E-mail de contacto: [afpaniguas@unjbg.edu.pe](mailto:afpaniguas@unjbg.edu.pe)

<sup>3</sup>E-mail de contacto: [pjperezp@unjbg.edu.pe](mailto:pjperezp@unjbg.edu.pe)

<sup>4</sup>E-mail de contacto: [araaragonzalesm@unjbg.edu.pe](mailto:araaragonzalesm@unjbg.edu.pe)

<sup>5</sup>E-mail de contacto: [fsachatag@unjbg.edu.pe](mailto:fsachatag@unjbg.edu.pe)

Afiliación: <sup>1</sup><sup>2</sup><sup>3</sup><sup>4</sup><sup>5</sup>Universidad Nacional Jorge Basadre de Tacna, (Perú).

Artículo recibido: 3 de Junio del 2024

Artículo revisado: 6 de Junio del 2024

Artículo aprobado: 7 de Agosto del 2024

<sup>1</sup>Estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre de Tacna, (Perú).

<sup>2</sup>Estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre de Tacna, (Perú).

<sup>3</sup>Estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre de Tacna, (Perú).

<sup>4</sup>Estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre de Tacna, (Perú).

<sup>5</sup>Estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre de Tacna, (Perú).

### Resumen

La investigación evaluó la eficacia del humus y del carbón activado en la remediación de suelos salinos en La Yarada, Tacna. La salinidad del suelo, causada por el uso excesivo de plaguicidas y prácticas de riego inadecuadas, es un grave problema para la productividad agrícola y la salud ambiental. Se recogieron muestras de suelo salino en La Yarada Baja y se trataron con humus, carbón activado y una combinación de ambos. Los objetivos incluyeron analizar las propiedades fisicoquímicas del suelo, como pH, conductividad eléctrica (CE), porosidad, humedad y contenido de materia orgánica antes y después de los tratamientos. El diseño experimental riguroso permitió evaluar la efectividad de los tratamientos. Los resultados mostraron que la combinación de humus y carbón activado fue la más efectiva, reduciendo la CE del suelo a un promedio de 2.5 mS/cm. Este tratamiento mejoró significativamente la

porosidad, la humedad y el contenido de materia orgánica del suelo, cruciales para la retención de agua y nutrientes. Sin embargo, la prueba de germinación no mostró mejoras, indicando que otros factores limitantes no fueron mitigados. A pesar de la reducción de la salinidad, la falta de mejora en la germinación sugiere la necesidad de estudios adicionales para abordar otros factores como la composición química del suelo y la disponibilidad de nutrientes esenciales. En conclusión, la combinación de humus y carbón activado es prometedora para la remediación de suelos salinos, mejorando varias propiedades clave del suelo. Este estudio establece una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en la agricultura sostenible, subrayando la importancia de evaluar integralmente las condiciones del suelo y los factores que afectan el crecimiento de las plantas.

**Palabras clave:** Remediación del suelo, Humus, Carbón activado.

### **Abstract**

The research evaluated the effectiveness of humus and activated carbon in remediating saline soils in La Yarada, Tacna. Soil salinity, caused by excessive use of pesticides and inadequate irrigation practices, is a serious problem for agricultural productivity and environmental health. Saline soil samples were surveyed in La Yarada Baja and treated with humus, activated carbon, and a combination of both. The objectives include analyzing soil physicochemical properties such as pH, electrical conductivity (EC), porosity, moisture, and organic matter content before and after treatments. The rigorous experimental design allowed the effectiveness of the treatments to be evaluated. The results showed that the combination of humus and activated carbon was the most effective, reducing soil EC to an average of 2.5 mS/cm. This treatment significantly improved soil porosity, moisture, and organic matter content, crucial for water and nutrient retention. However, the germination test did not show any improvement, indicating that other limiting factors were not mitigated. Despite the reduction in salinity, the lack of improvement in germination suggests the need for further studies to address other factors such as soil chemical composition and availability of essential nutrients. In conclusion, the combination of humus and activated carbon is promising for the remediation of saline soils, improving several key soil properties. This study establishes a solid foundation for future research and practical applications in sustainable agriculture, underlining the importance of comprehensively assessing soil conditions and factors affecting plant growth.

**Keywords:** Soil remediation, Humus, Activated carbon.

### **Resumo**

A pesquisa avaliou a eficácia do húmus e do carvão ativado na remediação de solos salinos em La Yarada, Tacna. A salinidade do solo, causada pelo uso excessivo de pesticidas e práticas inadequadas de irrigação, é um problema sério para a produtividade agrícola e

a saúde ambiental. Amostras de solo salino foram reconhecidas em La Yarada Baja e tratadas com húmus, carvão ativado e uma combinação de ambos. Os objetivos incluem analisar as propriedades físico-químicas do solo, como pH, condutividade elétrica (CE), porosidade, umidade e teor de matéria orgânica antes e depois dos tratamentos. O rigoroso desenho experimental permitiu avaliar a eficácia dos tratamentos. Os resultados mostraram que a combinação de húmus e carvão ativado foi a mais eficaz, reduzindo a CE do solo para uma média de 2,5 mS/cm. Este tratamento melhorou significativamente a porosidade do solo, a umidade e o teor de matéria orgânica, cruciais para a retenção de água e nutrientes. Entretanto, o teste de germinação não apresentou melhora, indicando que outros fatores limitantes não foram atenuados. Apesar da redução da salinidade, a falta de melhoria na germinação sugere a necessidade de estudos adicionais para abordar outros fatores, como a composição química do solo e a disponibilidade de nutrientes essenciais. Concluindo, a combinação de húmus e carvão ativado é promissora para a remediação de solos salinos, melhorando diversas propriedades importantes do solo. Este estudo estabelece uma base sólida para futuras pesquisas e aplicações práticas na agricultura sustentável, ressaltando a importância de avaliar de forma abrangente as condições do solo e os fatores que afetam o crescimento das plantas.

**Palavras-chave:** Remediação de solo, Húmus, Carvão ativado.

### **Introducción**

La Yarada, una zona de gran importancia agrícola en Tacna, ha sido gravemente afectada por la contaminación del suelo debido al uso indiscriminado de plaguicidas en sus cultivos. Estos compuestos químicos se acumulan en el suelo, representando un riesgo significativo para la salud humana, la biodiversidad y la productividad agrícola. Esta problemática resalta la urgente necesidad de desarrollar

tecnologías de remediación ambiental que sean eficientes y sostenibles.

En este contexto, el presente estudio propone una alternativa innovadora para la biorremediación de suelos contaminados en La Yarada mediante la combinación de compostaje y carbón activado. El compost, un producto orgánico resultante de la descomposición controlada de materia orgánica, aporta nutrientes y microorganismos benéficos que favorecen la degradación natural de los contaminantes. Por otro lado, el carbón activado, debido a su alta capacidad de adsorción, retiene los compuestos tóxicos, evitando su lixiviación hacia fuentes de agua subterránea.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la eficacia del humus y del carbón activado en la remediación de suelos salinos de La Yarada, Tacna. Los objetivos específicos incluyen analizar las propiedades fisicoquímicas del suelo salino antes y después de la aplicación de estos tratamientos y determinar el impacto del compostaje y del carbón activado en la reducción de la conductividad eléctrica (CE) del suelo.

El suelo, siendo la mayor superficie de la corteza terrestre, está formado principalmente por procesos de erosión de restos rocosos y otros cambios físicos y químicos, así como por la actividad biológica de la materia orgánica en su superficie. La salinidad del suelo, definida como la acumulación excesiva de sales solubles, afecta negativamente el crecimiento de las plantas y la productividad agrícola. Este fenómeno puede ser resultado de procesos naturales o de actividades humanas como el riego inadecuado o el uso de aguas ricas en sales.

La conductividad eléctrica es una medida crucial de la concentración de iones disueltos en el suelo y sirve como indicador del contenido de sales. Además, el pH del suelo, que indica cuán ácido o alcalino es un suelo, condiciona todas las reacciones químicas y biológicas que ocurren en él. Estos parámetros son esenciales para evaluar la calidad del suelo y la eficacia de los tratamientos de remediación.

El humus ha sido considerado durante mucho tiempo como el mejor fertilizante orgánico debido a su capacidad de mejorar la fertilidad del suelo sin alterar sus propiedades físicas y químicas. El carbón activado, por su parte, es un adsorbente altamente eficaz utilizado en diversas aplicaciones industriales, incluyendo el tratamiento de aguas residuales y la remediación de suelos contaminados.

En esta investigación, se aplicaron tratamientos de humus y carbón activado a muestras de suelo salino recolectadas en La Yarada Baja. Se llevaron a cabo análisis detallados de las propiedades fisicoquímicas del suelo, como la porosidad, la humedad, la materia orgánica y la conductividad eléctrica, antes y después de los tratamientos. Los resultados obtenidos permitirán evaluar la eficacia de estos tratamientos en la mejora de la calidad del suelo y su potencial aplicación en la agricultura sostenible.

Finalmente, este estudio busca contribuir al desarrollo de tecnologías de remediación más eficientes y sostenibles, que no solo mitiguen la contaminación del suelo en La Yarada, sino que también promuevan prácticas agrícolas que mejoren la productividad y la sostenibilidad a largo plazo.

## Desarrollo

### Suelo

El suelo es la mayor superficie de la corteza terrestre y está formado principalmente por los procesos de erosión de restos rocosos y otros cambios físicos y químicos, así como por la actividad biológica de la materia orgánica en la superficie. (Editorial Etecé, 2021)

### Salinidad del suelo

La salinidad del suelo se define como la acumulación excesiva de sales solubles, principalmente cloruro de sodio (NaCl), en el suelo, lo que afecta negativamente el crecimiento de las plantas y la productividad agrícola. Este fenómeno puede ser resultado de procesos naturales o de actividades humanas, como el riego inadecuado o el uso de aguas ricas en sales. La salinidad se clasifica en suelos salinos, sódicos y salino-sódicos, dependiendo de la composición y concentración de las sales presentes (García, 2015).

### Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad de un elemento para permitir el flujo de cargas eléctricas a través de este. También es una medida de la concentración de iones disueltos en una sustancia. (Aragón Patiño, 2021)

La conductividad eléctrica (CE) del suelo es la capacidad de conducir la corriente eléctrica, la cual depende de la cantidad de iones positivos y negativos que se encuentran en la solución del suelo, por eso la CE de la solución de suelo es un indicador del contenido de sales. La conductividad eléctrica aparente (CEa) de un suelo es aquella medida in situ y presenta correlaciones con algunas propiedades como la capacidad de almacenamiento de agua, la presencia de capas litológicas contrastantes, los tipos de suelos, el contenido de carbono orgánico, la salinidad y el drenaje, la topografía,

los manejos previos y las texturas. (Bosch et al., 2012)

**Tabla 1:** Escala para evaluar el efecto de las sales solubles

Tipo de Suelo	Conductividad Eléctrica	Efectos
Suelo normal	< 2 dS/m	Efectos despreciables de salinidad
Suelo salino	> 2 dS/m	
Salinidad ligera	2 – 4 dS/m	Los rendimientos de cultivos muy sensibles pueden verse restringidos
Salinidad mediana	4 – 8 dS/m	Los rendimientos de muchos cultivos son restringidos
Salinidad fuerte	8 – 16 dS/m	Solo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente
Salinidad extrema	> 16 dS/m	Muy pocos cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente

*Fuente: Elaboración propia.*

### Potencial de Hidrógeno (pH)

Al pH también se lo conoce como “reacción del suelo”, e indica cuán ácido o alcalino es un suelo cuando está en contacto con el agua. Es un indicador del ambiente que se genera en la solución del suelo, y condiciona todas las reacciones químicas y biológicas que en ella ocurren. Este parámetro mide la concentración del ion Hidrógeno en la solución del suelo con una escala particular que va del 0 al 14 (a mayor valor, menor concentración). De esta manera, cuando un suelo tiene un pH de 7 se lo considera neutro, con valores mayores (7 a 14) se lo considera alcalino y con valores menores (7 a 0), se lo denomina suelo ácido. (Cremona & Enríquez, 2020)

Los suelos pueden tener naturalmente un pH que varía entre 3,5 y 10. Este valor será resultado del material que origina ese suelo y de la intensidad con la que los procesos de formación de suelo (resultantes de la interacción del clima, la biota conformada por la vegetación y organismos del suelo, y el

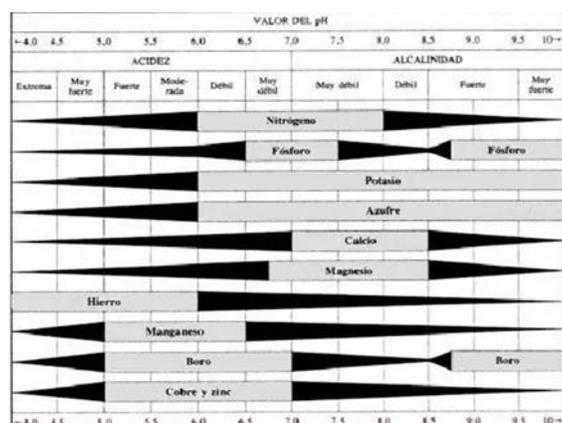
relieve, a lo largo del tiempo) actuaron sobre él. (Cremona & Enríquez, 2020)

### Factores que afectan el pH del suelo

- Producción de CO<sub>2</sub> que pasa a H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> generando Hidrogeniones (la atmósfera del suelo suele ser mucho más rica en anhídrido carbónico que la que se encuentra sobre él)
- Presencia en el suelo de ácidos orgánicos de bajo peso molecular como acético, cítrico, oxálico, etc. (los residuos de ciertos tipos de plantas suelen tener mucho que ver)
- Presencia en el suelo de ácidos fuertes como nítrico y sulfúrico desprendidos por la actividad microbiana.
- Humus que contienen grupos funcionales de tipo carboxílicos, fenólicos, etc.

### Humus

Por mucho tiempo el humus ha sido considerado como el mejor fertilizante orgánico, porque se puede almacenar durante mucho tiempo sin que sus propiedades se vean alteradas (considerando las condiciones físicas y químicas adecuadas) (Escobar, 2013).



**Figura 1:** Disponibilidad de nutrientes según el pH

*Nota. Recopilado de (Cruz, 2013)*

La mejora de la fertilidad del suelo se ha demostrado mediante investigaciones que al aplicar abonos orgánicos al suelo ayuda en la fertilidad (Canchari, 2020), además interviene en la formación de la estructura del suelo y proporciona nutrientes para las plantas y los organismos que dan vida al suelo.

### Carbón activado

El carbón activado es un adsorbente que puede ser utilizado en diversas aplicaciones industriales tales como el tratamiento de aguas residuales, la recuperación de solventes, el soporte de catálisis y en las industrias petroquímica y farmacéutica (Sultana et al, 2022).

Este material destaca por poseer alta porosidad, gran área superficial, una estructura porosa y superficie adaptable a funcionalizaciones (Muttill et al, 2023). Los poros del carbón activado siguen la clasificación de la IUPAC (Sing et al, 1985):

- Microporos: diámetro de poros menor a 2 nm.
- Mesoporos: diámetro de poro entre 2 y 50 nm.
- Macroporos: diámetro de poro mayor a 50 nm.

El carbón activado se prepara a partir de diferentes materiales con alto contenido de carbono a través de procesos de activación física o química. Los precursores que pueden usarse para la producción de carbón activado comercial a gran escala son el carbón mineral, madera, cáscaras de coco y polímeros sintéticos (Muttill et al, 2023).

No obstante, se ha estudiado la utilización de otro tipo de precursores como los neumáticos fuera de uso. Mora (2023) preparó el material sólido “carbon black” como precursor, que fue

obtenido a partir de la pirólisis de neumáticos mineros en desuso. Este material fue tamizado y desmineralizado para luego ser activado físicamente obteniendo un producto final con una alta área superficial de 997 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>.

### **Metodología**

#### **Procedencia del suelo a tratar**

El suelo que se usó en nuestra investigación se recolectó en la Yarada Baja en terreno de una extensión de 2 hectáreas donde se eligió un patrón de muestreo de zigzag y se ubicaron 13 puntos y se muestreo a 15 cm de profundidad, seguidamente se llenaron en bolsas ziploc, se rótulo y se trasladó al laboratorio (Lozano-Rivas, W. A. 2018).

#### **Preparación del suelo**

Para obtener una muestra representativa del terreno se realizó la técnica del cuarteo como se observa en la Figura hasta obtener 1.5 kg y se tamizó.

#### **Análisis del suelo antes del tratamiento**

Para el análisis del suelo se llevó a la estufa durante 15 minutos a 100°C y se dejó enfriar por 15 minutos, seguidamente se diluyó en agua destilada con una relación de 1:2 por cada 20 g de suelo se diluyó en 40 g de agua destilada y se filtró. Luego se midió la conductividad eléctrica con el Multiparametro (9310 IDS) y el pH con el medidor de pH HI-98128.

#### **Prueba del índice de germinación**

En 6 placas petri de plástico se le puso papel filtro y 15 semillas, en 3 placas se le añadió 2 ml de agua destilada y en las otras 3 se le añadió 2 ml del agua obtenida del filtrado del suelo. En primer lugar, se realizó la prueba con semillas de lechuga orgánica y luego con semillas de tomate.

#### **Método de determinación de humedad y materia orgánica**

Para determinar el % de humedad del suelo se pesó la cápsula de evaporación y se añadió 20 g de suelo y se llevó a la estufa durante 24 h. Luego se llevó a un desecador de vidrio y se pesó. Para determinar el % de materia orgánica presente se pesó el crisol y se añadió 10 g de suelo y se llevó a la mufla a 250°C. Luego se llevó a un desecador de vidrio y se volvió a pesar.

#### **Método de determinación de la porosidad**

Para determinar el % de porosidad necesitamos de la densidad real y aparente, para hallar la densidad aparente se pesó una probeta y luego se añadió suelo hasta que llegue a la línea de los 50 ml y se volvió a pesar, luego para determinar la densidad real se usó el método del picnómetro donde primero se pesó el picnómetro vacío, luego el picnómetro más agua destilada y por último el picnómetro más el suelo.

#### **Aplicación de los tratamientos**

Se pesó 250 g de suelo en 9 recipientes de plástico, en los primeros 3 se le añadió 50 g de humus, en los siguientes 3 se le añadió 50 g de carbón activado y en los últimos 3 se le añadió 25 g de carbón activado y 25 g de humus. Los recipientes se ubicaron en un lugar expuesto donde le llegaba la luz del sol y se le regó cada 2 días durante 3 semanas.

#### **Medición de parámetros post tratamiento y diseño experimental**

Finalmente se volvió a repetir la misma metodología para determinar la conductividad eléctrica, pH, % de humedad, % de porosidad, % de materia orgánica y el índice de germinación y se le aplicó un DCA en Statgraphics para interpretar los resultados.

**Resultados**

Para comparar los resultados con los tratamientos de carbón activado y humus, se mide los parámetros de pH, Conductividad

eléctrica (CE) en el suelo sin ningún tipo de tratamiento (control), como se presenta en la tabla 2.

**Tabla 2:** Resultados de las mediciones de pH y Conductividad eléctrica (CE).

<b>Tratamientos</b>							
pH	C.E (mS/cm)	pH	C.E (mS/cm)	pH	C.E (mS/cm)	pH	C.E (mS/cm)
7.7	30.1	7.78	3.84	7.79	3.5	7.76	2.53
7.7	29.7	7.7	3.61	7.86	3.34	7.75	2.84
7.61	30.4	7.73	3.65	7.76	3.656	7.74	2.52

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2, se mide las propiedades fisicoquímicas del suelo como porosidad (%),

humedad (%), materia orgánica (%), para el tratamiento en blanco (control) y el humus.

**Tabla 3:** Resultados de las mediciones de humus, porosidad, materia orgánica (MO), para el tratamiento blanco y el tratamiento con humus.

<b>Tratamientos</b>					
<b>Control</b>			<b>Humus</b>		
Porosidad (%)	Humedad (%)	MO (%)	Porosidad (%)	Humedad (%)	MO (%)
36.419	8.649	19.678	50	25	30
35.521	7.952	18.531	48.5	22.5	27.5
36.998	8.389	19.012	47.1	23	28.5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3, se mide las propiedades fisicoquímicas del suelo como porosidad (%), humedad (%), materia orgánica (%), para el

tratamiento con carbón activado y carbón activado más humus.

**Tabla 4:** Resultados de las mediciones de humus, porosidad, materia orgánica (MO), para el tratamiento blanco y el tratamiento con humus.

<b>Tratamientos</b>					
<b>Carbón Activado</b>			<b>Carbón + Humus</b>		
Porosidad (%)	Humedad (%)	MO (%)	Porosidad (%)	Humedad (%)	MO (%)
38	10	20	45	20	25
35.5	9.5	17.6	44.5	18.5	23.6
37.8	9.8	18.9	43.8	19	22.8

Fuente: Elaboración propia

Los resultados que se muestran en la tabla 5, nos indican que existe una diferencia significativa

entre los tratamientos con un  $p < 0.05$  y con un coeficiente de variabilidad (Cv) de 2.56%

**Tabla 5:** Análisis de varianza (ANOVA) de la porosidad (%) del suelo de la Yarada, Los Palos.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	312.914	3	104.305	84.28	0.0000
Intra grupos	9.90106	8	1.23763		
Total (Corr.)	322.815	11			

Fuente: Elaboración propia

Cv: 2.56

La tabla 6 indica que no existe diferencia significativa entre el control y el tratamiento con carbón (C), tampoco en el tratamiento de

carbón más humus y solo humus, pero si existe diferencia significativa entre estos 2 grupos.

**Tabla 6:** Prueba de rango múltiple Tukey  $p < 0.05$  de la porosidad (%) del suelo de la Yarada, Los Palos.

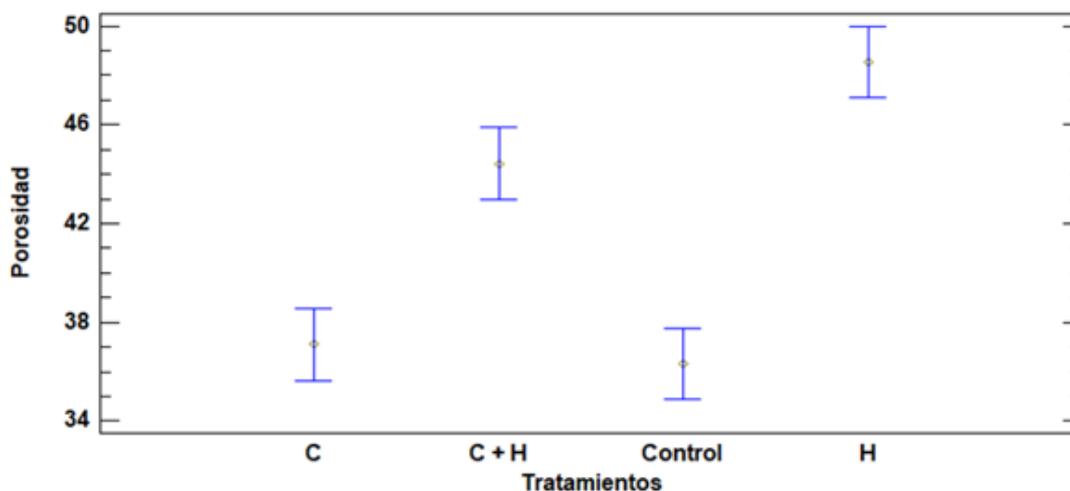
Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Control	3	36.3127	X
C	3	37.1	X
C + H	3	44.4333	X
H	3	48.5333	X

Fuente: Elaboración propia

Según el Gráfico 1 el tratamiento con carbón activado no mostró una diferencia significativa con el control siendo este el menos efectivo para

el porcentaje de porosidad del suelo de los tratamientos aplicados.

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**



**Gráfico 1:** Intervalos Tukey HSD de la porosidad (%) del suelo de la Yarada, Palos

La tabla 7 muestra los resultados del análisis de varianza sobre el porcentaje de humedad (%) del suelo indicando que existe diferencia

significativa entre tratamientos, con un coeficiente de variabilidad (Cv) de 4.41%.

**Tabla 7:** Análisis de varianza (ANOVA) de la humedad (%) del suelo de la Yarada, Los Palos.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	484.026	3	161.342	256.02	0.0000
Intra grupos	5.04146	8	0.630182		
Total (Corr.)	489.068	11			

Fuente: Elaboración propia  
 Cv: 4.41%

Existe diferencia significativa entre los tratamientos como se presenta en la tabla 8, pero cabe mencionar que con el tratamiento en

blanco (control) no existe diferencia significativa con el tratamiento del compost, pero si con los demás tratamientos.

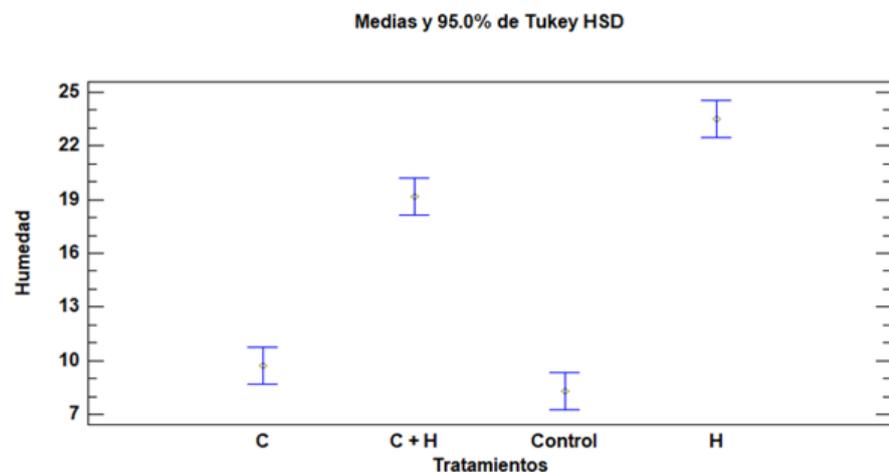
**Tabla 7:** Prueba de rango múltiple Tukey  $p < 0.05$  de la humedad (%) del suelo de la Yarada, Los Palos.

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Control	3	8.33	X
C	3	9.76667	X
C + H	3	19.1667	X
H	3	23.5	X

Fuente: Elaboración propia

Lo observable en el Gráfico 2, se indica que el tratamiento con carbón activado no mostró una diferencia significativa con el control en un promedio de 8.33% siendo este el menos

efectivo para el porcentaje de humedad del suelo y en su contraparte el tratamiento con humus fue el más efectivo con un promedio de 23.5%.



**Gráfico 2:** Intervalos Tukey HSD de la Humedad (%) del suelo de la Yarada, Palos

Los tratamientos muestran diferencia significativa con respecto al porcentaje de materia orgánica resultante, con un coeficiente

de variabilidad (Cv) de 4.51%, como se observa en la tabla 8.

**Tabla 8:** Análisis de varianza (ANOVA) de la materia orgánica (%) del suelo de la Yarada, Los Palos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	194.601	3	64.8671	56.43	0.0000
Intra grupos	9.19684	8	1.14961		
Total (Corr.)	203.798	11			

Fuente: Elaboración propia

Cv: 4.51%

**Tabla 9:** Prueba de rango múltiple Tukey  $p < 0.05$  de la materia orgánica (%) del suelo de la Yarada, Los Palos.

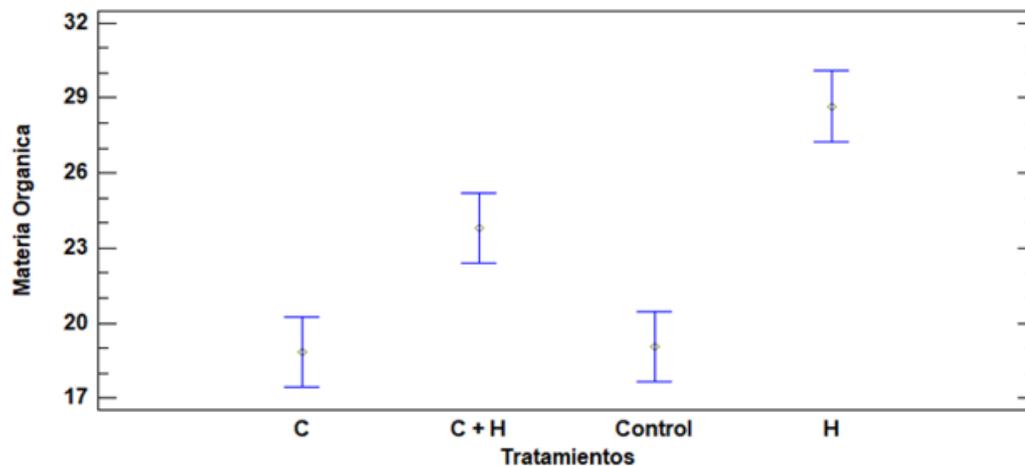
Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Control	3	18.8333	X
C	3	19.0737	X
C + H	3	23.8	X
H	3	28.6667	X

Fuente: Elaboración propia

Según el gráfico 3 el tratamiento con carbón activado no mostró diferencia significativa con el control siendo este el menos efectivo para el

porcentaje de humedad del suelo y el tratamiento con humus mostró los mejores resultados con un promedio de 28.667.

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**



**Gráfico 3:** Intervalos Tukey HSD de la materia orgánica (%) del suelo de la Yarada, Palos

Con respecto a la reducción de conductividad eléctrica en el suelo los tratamientos mostraron

diferencia significativa con un coeficiente de variabilidad (Cv) de 5.201%.

**Tabla 10:** Análisis de varianza (ANOVA) de la conductividad eléctrica del suelo de la Yarada, Los Palos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1559.6	3	519.868	7077.08	0.0000
Intra grupos	0.587664	8	0.073458		
Total (Corr.)	1560.19	11			

Fuente: Elaboración propia

Cv: 5.201%

La tabla 11 muestra que existe diferencia significativa entre todos los tratamientos y con

el control referente a la conductividad eléctrica removida en mS/cm.

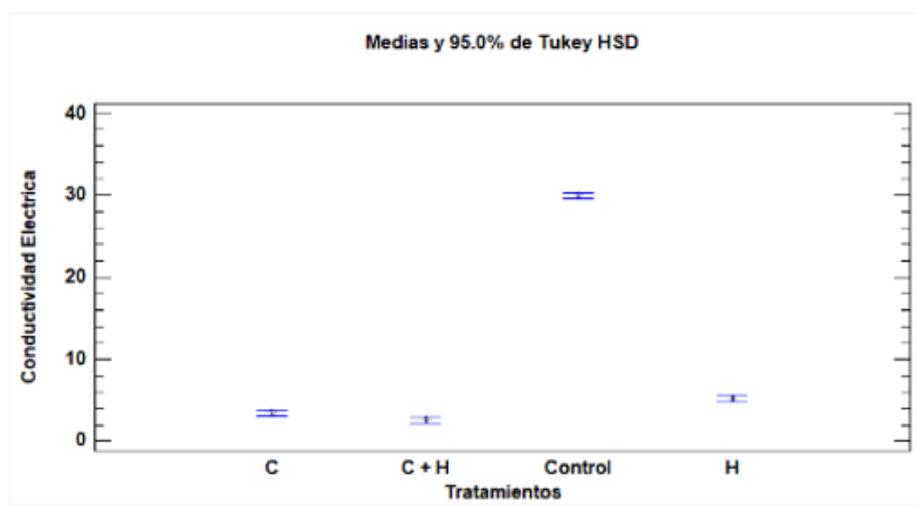
**Tabla 11:** Prueba de rango múltiple Tukey  $p < 0.05$  de la materia orgánica (%) del suelo de la Yarada, Los Palos.

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C + H	3	2.59667	X
C	3	3.49867	X
H	3	5.18333	X
Control	3	30.0	X

Fuente: Elaboración propia

Según el gráfico 4 el tratamiento con humus fue el menos efectivo para la remoción de

conductividad eléctrica con un promedio de 5.18.



**Gráfico 4:** Intervalos Tukey HSD de la conductividad eléctrica (mS/cm) del suelo de la Yarada, Palos.

Respecto al pH podemos indicar que existe alguna diferencia significativa entre los tratamientos, con un coeficiente de variabilidad

del 0.541%, teniendo unos datos muy homogéneos.

**Tabla 12:** Análisis de varianza (ANOVA) del pH del suelo de la Yarada, Los Palos.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0270667	3	0.00902222	5.11	0.0290
Intra grupos	0.0141333	8	0.00176667		
Total (Corr.)	0.0412	11			

Fuente: Elaboración propia

Cv: 0.541

Observando la tabla 13, solo existe diferencia significativa entre los tratamientos y el control;

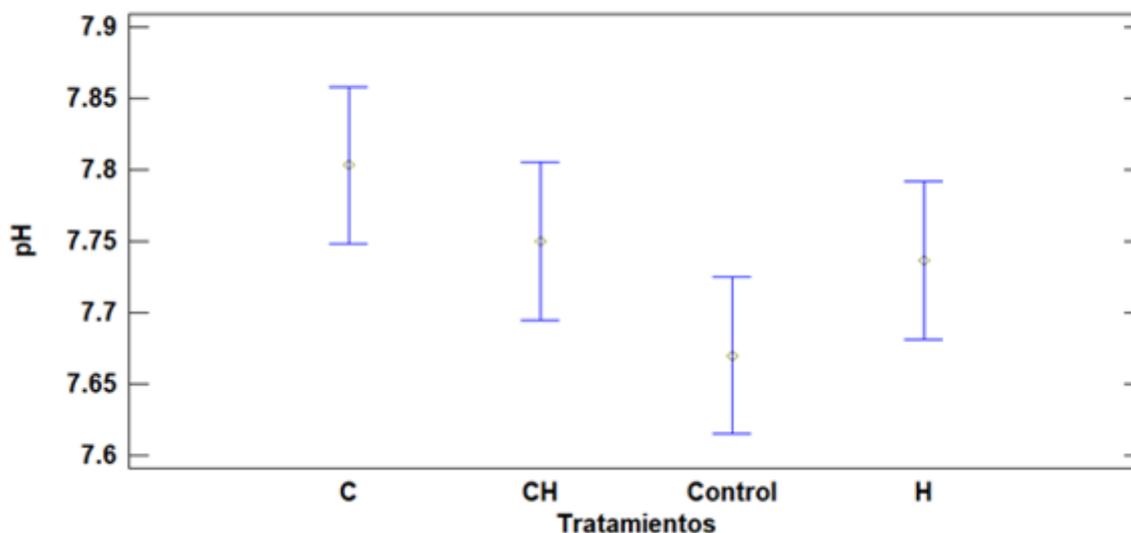
y no existe diferencia significativa entre los tratamientos.

**Tabla 13:** Prueba de rango múltiple Tukey  $p < 0.05$  de la materia orgánica (%) del suelo de la Yarada, Los Palos.

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Control	3	7.67	X
H	3	7.73667	XX
CH	3	7.75	XX
C	3	7.80333	X

Fuente: Elaboración propia

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**



**Gráfico 5:** Intervalos Tukey HSD del pH del suelo de la Yarada, Palos

La gráfica 5 nos muestra que hubo un leve incremento en el pH por parte de los tratamientos con respecto al control.

### **Discusión de resultados**

La evaluación del pH y la conductividad eléctrica (CE) del suelo mostró diferencias significativas entre los tratamientos. El análisis ANOVA del pH (Tabla 12) reveló diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), con el tratamiento de carbón activado presentando un incremento leve respecto al control (Gráfico 5). Estos resultados coinciden con estudios previos que sugieren que la adición de materiales orgánicos como el humus puede influir en la neutralización del pH del suelo (Lehmann & Joseph, 2015; Chivenge, Vanlauwe, & Six, 2011). En cuanto a la conductividad eléctrica, el análisis de varianza (Tabla 10) mostró diferencias significativas entre los tratamientos, con el humus siendo el menos efectivo para reducir la CE, lo cual concuerda con investigaciones que indican que la materia orgánica puede aumentar la CE debido a la liberación de iones solubles (Liu et al., 2018; Glaser et al., 2002). Además, la capacidad del carbón activado para adsorber iones puede ser menos efectiva en ciertos contextos agrícolas, como lo demuestran estudios que señalan su variabilidad en la eficacia (Srivastav et al., 2022).

Los tratamientos con humus y la combinación de carbón activado y humus mostraron mejoras significativas en la porosidad del suelo en comparación con el control (Tabla 4). El tratamiento con humus fue el más efectivo, lo cual es consistente con estudios que han demostrado que la adición de humus mejora la estructura del suelo y aumenta la porosidad (Six et al., 2004; Blanco-Canqui & Lal, 2004). La mejora en la porosidad es crucial para la infiltración y el almacenamiento de agua, así

como para la aireación del suelo, lo que favorece el crecimiento de las raíces y la actividad microbiana (Bronick & Lal, 2005).

Además, la humedad del suelo también mostró diferencias significativas, con el humus aumentando significativamente la capacidad de retención de agua del suelo (Tabla 6). Estos hallazgos son respaldados por investigaciones previas que indican que la materia orgánica puede aumentar la retención de agua del suelo debido a su capacidad de formar agregados estables (Mbonimpa, Aubertin, & Aachib, 2002; Arthur et al., 2011). La retención de humedad es especialmente importante en áreas áridas como la Yarada, Los Palos, donde la disponibilidad de agua es limitada.

La materia orgánica del suelo (MO) también mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 8), con el humus nuevamente mostrando los mejores resultados. Esto es consistente con estudios que demuestran que la adición de compost y otros materiales orgánicos puede aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, mejorando así su fertilidad y capacidad de retención de nutrientes (Lal, 2006; Oldfield, Bradford, & Wood, 2019). La mejora en la materia orgánica es fundamental para la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas, ya que mejora la estructura del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes (Paustian et al., 2016).

El análisis de varianza y la prueba de Tukey indicaron que el tratamiento con humus fue significativamente más efectivo que los otros tratamientos en la mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo (Tablas 5, 7, 9, 11). Específicamente, el humus mejoró la porosidad, la humedad y la materia orgánica del suelo de manera más significativa que el carbón activado

y la combinación de ambos. Estos resultados se alinean con investigaciones que sugieren que el humus, debido a su alto contenido de materia orgánica y capacidad de formar agregados, es más efectivo en la mejora de la estructura y la función del suelo (Masto et al., 2013; Sánchez-Monedero et al., 2018).

### **Conclusiones**

El estudio sobre el tratamiento de la salinidad del suelo en la zona de Yarada Baja, Tacna, mediante la aplicación de humus y carbón activado, ha revelado resultados importantes en términos de la conductividad eléctrica del suelo. Se observó que el tratamiento que combina humus con carbón activado fue el más efectivo en la reducción de la conductividad eléctrica, alcanzando un promedio de 2.5 mS/cm. Esta disminución significativa en comparación con los otros tratamientos sugiere que la combinación de humus y carbón activado tiene un gran potencial para mejorar la calidad de los suelos salinos, haciendo que esta técnica sea una opción viable para la recuperación de suelos afectados por la salinidad. La capacidad del carbón activado para adsorber contaminantes, junto con la capacidad del humus para mejorar la estructura del suelo y promover la actividad microbiana, parece ser una sinergia eficaz para mitigar la salinidad del suelo.

A pesar de los resultados positivos en la reducción de la conductividad eléctrica, la prueba de germinación no mostró resultados satisfactorios, lo cual es un aspecto crítico a considerar. La reducción de la salinidad no se tradujo directamente en una mejora en la germinación de las semillas, lo que indica que pueden existir otros factores limitantes que no fueron mitigados por el tratamiento con humus y carbón activado. Estos factores podrían incluir la composición química del suelo, la disponibilidad de otros nutrientes, o

condiciones específicas del microambiente del suelo tratado. Por lo tanto, es necesario realizar estudios adicionales para identificar y abordar estos factores, con el fin de optimizar el tratamiento para mejorar tanto la calidad del suelo como el éxito en la germinación de semillas.

### **Referencias Bibliográficas**

- Aragón Patiño, A. (2021). Desarrollo de un prototipo que por medio de una placa Arduino Uno y un conjunto de sensores compatibles, permita la medición en tiempo real, local y/o remota, del potencial de hidrógeno, turbiedad, conductividad eléctrica y la temperatura del agua. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/42634/paaragonp.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Arthur, E., Cornelis, M., Vermang, J., & De Rocker, E. (2011). Amending a loamy sand with three compost types: Impact on soil quality. *Soil Use and Management*, 27(1), 116-123. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00319.x>
- Bosch, M., Matías, Costa, José Luis, Cabria, Fabian Néstor, & Virginia Carolina. (2012). Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio del suelo. *Ciencia del suelo*, 30(2), 95-105. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672012000200003&lng=es&tlng=pt](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672012000200003&lng=es&tlng=pt).
- Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2004). Mechanisms of carbon sequestration in soil aggregates. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23(6), 481-504. <http://dx.doi.org/10.1080/07352680490886842>
- Bronick, J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>
- Cremona, V., & Enríquez, S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad

- eléctrica.  
[https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7709/INTA\\_CRPatagoniaNorte\\_EEABariloche\\_Cremona\\_MV\\_Algunas\\_Propiedades\\_Del\\_Suelo\\_Que\\_Condicionan\\_Su\\_Comportamiento.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7709/INTA_CRPatagoniaNorte_EEABariloche_Cremona_MV_Algunas_Propiedades_Del_Suelo_Que_Condicionan_Su_Comportamiento.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Canchari, G., & Mendoza, N. (2020). Condiciones ambientales y microorganismos adecuados para la obtención de humus de calidad y su efecto en el suelo agrícola. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(1).
- Castillo, B., Ruiz, J. O., Manrique, M. A., & Pozo, C. (2020). Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete. *Revista ESPACIOS*, 41(10).  
<https://www.revistaespacios.com/a20v41n10/20411011.html>
- Chivenge, P., Vanlauwe, B., & Six, J. (2011). Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis. *Plant and Soil*, 342(1-2), 1-30.  
<https://doi.org/10.1007/s11104-010-0626-5>
- Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35(4), 219-230.  
<https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4>
- Editorial Etecé. (2021, agosto 5). Suelo—Concepto, tipos, composición y características. <https://concepto.de/suelo/>
- Escobar, A. (2013). Usos potenciales del humus (Abono orgánico lixiviado y sólido) en la empresa Fertilombriz. Caldas: Corporación Universitaria La Sallista.
- Lal, R. (2006). Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation & Development*, 17(2), 197-209.  
<https://doi.org/10.1002/ldr.696>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). Biochar for environmental management: Science, technology and implementation (2nd ed.). Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9780203762264>
- Liu, Z., Dugan, B., Masiello, C. A., Gonnermann, H., Barnes, T., Gallagher, M. E., & Silberg, J. (2018). Impacts of biochar concentration and particle size on hydraulic conductivity and DOC leaching of biochar-sand mixtures. *Journal of Hydrology*, 564, 26-34.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.007>
- Lozano-Rivas, A. (2018). Suelos: Guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio. *Universidad Piloto de Colombia*.
- Masto, E., Chhonkar, K., Singh, D., & Patra, K. (2013). Soil quality response to long-term nutrient and crop management on a semi-arid Inceptisol. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 158, 24-32.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.008>
- Mora, R. (2023). Remoción de As en agua mediante adsorción utilizando carbón activado dopado con Fe, elaborado a partir de neumáticos fuera de uso. Habilitación profesional, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción.
- Muttill, N., Jagadeesan, S., Chanda, A., Duke, M., & Singh, K. (2023). Production, Types, and Applications of Activated Carbon Derived from Waste Tyres: An Overview. *Applied Sciences*, 13(11), 257  
doi:10.3390/app13010257
- Mbonimpa, M., Aubertin, M., & Aachib, M. (2002). Diffusion and consumption of oxygen in unsaturated cover materials. *Canadian Geotechnical Journal*, 39(2), 261-272. <https://publications.polymtl.ca/2597/>
- Oldfield, E., Bradford, A., & Wood, A. (2019). Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, 5(1), 15-32.  
<https://doi.org/10.5194/soil-5-15-2019-supplement>
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, P., & Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, 532(7597), 49-57.  
<http://dx.doi.org/10.1038/nature17174>

Sánchez-Monedero, M. A., Cayuela, M. L., Roig, A., Jindo, K., Mondini, C., & Bolan, N. (2018). Role of biochar as an additive in organic waste composting. *Bioresource Technology*, 247, 1155-1164. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.193>

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., & Deneff, K. (2004). A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79(1), 7-31. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>

Sing, S., Everett, D. H., Haul, A., Moscou, L., Pierotti, R., Rousquérol, J., & Siemieniowska, T. (1995). Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity. *International Union of Pure and Applied Chemistry*, 4, 603-619.

Sultana, M., Rownok, H., Sabrin, M., Rahaman, H., & Alam, N. (2022). A review on

experimental chemically modified activated carbon to enhance dye and heavy metals adsorption. *Cleaner Engineering and Technology*, 6. [doi:10.1016/j.clet.2021.100382](https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100382)

Srivastav, L., Duc, T., Izah, C., & Singh, N. (2022). Biochar adsorbents for arsenic removal from water environment: A review. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 108(7). <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03374-6>



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © Yanira Analhi Velásquez Silva, André Fabricio Paniagua Salamanca, Priscila Jimena Pérez Paz, Alejandro Rayder Aarón Gonzáles Maquera y Fernando Sebastián Acahata Galdos.

