



Efecto de la Aplicación de Biochar e Hidrolizado de Pescado para el Mejoramiento de Suelos Salinos de la Yarada Los Palos en Tacna, Perú

Effect of Biochar and Fish Hydrolysate Application on the Improvement of Saline Soils in the Yarada Los Palos, Tacna, Peru

Wilkhen Emerson Chura Tello (Autor Corresponsal)

wechurat@unjbg.edu.pe

 ORCID: 0009-0006-8685-3718

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Aceptación: 07 de mayo de 2025

Publicación: 30 de junio de 2025

Resumen

El estudio evaluó el efecto del biochar y del hidrolizado de pescado como enmiendas orgánicas para la recuperación de suelos salinos en Yarada Los Palos, Tacna, Perú. Se desarrolló una investigación experimental y se aplicó un diseño completamente aleatorizado para medir el impacto de estos tratamientos en variables físico-químicas del suelo, como el pH, la conductividad eléctrica (CE), el contenido de materia orgánica y el índice de germinación. Se recolectaron las muestras del suelo afectado por salinidad y se trataron con biochar junto con hidrolizado de pescado. El hidrolizado de pescado mostró mayor eficacia, reduciendo la conductividad eléctrica a 3.84 dS/m, estabilizando el pH en 7.18 y elevando el índice de germinación al 96.4 %. Además, mejoró la porosidad, la retención de humedad y el contenido de materia orgánica. Estos resultados evidencian el potencial de estas enmiendas, especialmente del hidrolizado de pescado, como herramientas sostenibles para la rehabilitación de suelos afectados por salinidad. Se recomienda su uso en zonas áridas o semiáridas y su evaluación a mayor escala.

Palabras clave: Salinidad, Hidrolizado, Germinación, Biochar, Tratamiento

Abstract

The study evaluated the effect of biochar and fish hydrolysate as organic amendments for the recovery of saline soils in Yarada Los Palos, Tacna, Peru. An experimental investigation was conducted using a completely randomized design to assess the impact of these treatments on the soil's physicochemical properties, including pH, electrical conductivity (EC), organic matter content, and germination index. Soil samples affected by salinity were collected and treated with biochar in combination with fish hydrolysate. Fish hydrolysate proved to be more effective, reducing electrical conductivity to 3.84 dS/m, stabilizing pH at 7.18, and increasing the germination index to 96.4%. It also improved porosity, moisture retention, and organic matter levels. These results demonstrate the potential of these amendments particularly fish hydrolysate as sustainable tools for the rehabilitation of salt-affected soils. It is recommended to use in arid or semi-arid regions, along with evaluation at a larger scale.

Keywords: Salinity, Hydrolyzate, Germination, Biochar, Treatment





Introducción

La salinización representa un gran desafío para la industria agrícola moderna, debido a las enormes áreas afectadas por la sal en todo el mundo ([Negacz et al., 2022](#)). La mayoría de suelos salinos presentan una conductividad eléctrica superior a 4 Ohms/cm y su porcentaje de sodio intercambiable es menor a 15 %. Estos valores influyen en la presión osmótica, con notables repercusiones sobre la vegetación, interfiriendo en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Las sales en el suelo se presentan como iones que se liberan por la erosión de los minerales en la tierra o a través del agua de riego ([Aimituma-Franco et al., 2023](#)). Según la [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura \(FAO, s.f.\)](#) un suelo es considerado salino cuando tiene una concentración de sales más solubles que carbonato de calcio y yeso afectando el crecimiento de las plantas.

Las razones de la salinización son diversas, entre ellas se encuentran la mala gestión del suelo, el uso excesivo o inadecuado de fertilizantes, la deforestación y la subida del nivel del mar, una capa freática poco profunda que afecta a la zona de las raíces o la filtración de agua de mar en las capas subterráneas que luego se utilizan para el riego. Sumado a ello, el cambio climático agrava la situación, sobre todo en zonas costeras, las cuales están más expuestas a la subida del nivel del mar ([Organización Naciones Unidas \(ONU, 2021\)](#)). Los sistemas agrícolas intensivos también han generado una progresiva disminución de la fertilidad del suelo, reduciendo los contenidos de carbono orgánico y las fracciones de micronutrientes, así como aumentando la susceptibilidad a la erosión hídrica, lo que limita el rendimiento de los cultivos con el transcurso de los años ([Vásquez, 2020](#)). Por ello, la salinidad del suelo se considera el estrés principal de la producción agrícola global ([Rodríguez & Dufour, 2021](#)).

Los ambientes áridos y semiáridos son más susceptibles a la salinización, debido al agua utilizada para el riego, que suele contener niveles más altos de sal. El riego en tierras áridas produce salinización, a menos que estas sales sean lixiviadas por la lluvia o se aplique agua de riego limpia. Sin embargo, en estos climas, la lluvia no es suficiente para lixiviar sales profundamente, es decir, lejos de la zona de la raíz, en el perfil del suelo. Sin intervención y manejo continuo, zonas actualmente afectadas por la acumulación de sales siguen almacenando sales en las capas superiores del perfil del suelo, donde la germinación y el crecimiento de las plantas se ven afectados. Además, no se necesitan muchos años para que los depósitos de sal se acumulen a niveles tóxicos para muchas especies de plantas ([Negacz et al., 2022](#)).

Las proyecciones sobre las condiciones climáticas futuras y sus consecuencias para los suelos son alarmantes. La disminución de las precipitaciones en zonas áridas y semiáridas, el aumento del nivel del mar y el incremento de la temperatura media global, con el consiguiente incremento de la evapotranspiración, aumentan el riesgo de que aumente la extensión de los suelos afectados por la salinización ([Paz et al., 2023](#)). Según el Mapa Global de Suelos Afectados por la Sal (GSASmap), diseñado por la ([FAO, s.f.](#)), el área global de suelos afectados por salinidad cubre 424 millones de hectáreas de capa superficial (0-30 cm) y 833 millones de hectáreas de subsuelo (30-100 cm).

Asimismo, en el informe titulado Global status of salt-affected soils (El estado mundial de los suelos contaminados por sales) realizado por la [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura \(FAO, 2024\)](#), se evidencia que casi 1,400 millones de hectáreas de tierra, es decir, más del 10 % de la superficie terrestre mundial, ya están afectadas por la salinidad y que otros 1,000 millones de hectáreas están en peligro debido a la crisis climática y la mala gestión humana. Los países más afectados por este problema son Afganistán, Australia, Argentina, China, Kazajstán, Federación de Rusia, Estados Unidos de América, Irán, Sudán y Uzbekistán, los cuales concentran el 70 % de los suelos contaminados por sales en el mundo. Además, el informe indica que con la actual tendencia de aumento de la temperatura, la zona afectada podría alcanzar entre el 24 % y el 32 % de la superficie terrestre total.

Ante este panorama, surgen diversos métodos para disminuir la salinidad en los suelos, como la aplicación de materia orgánica, que actúa directamente sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo ([Aimituma-Franco et al., 2023](#)). En ese sentido, el biochar y el hidrolizado de pescado representan una alternativa amigable con el medioambiente. El biochar es un producto orgánico derivado del carbón vegetal, capaz de reparar el suelo, por ello es utilizado para reemplazar a fertilizantes comunes ([Ramirez, 2023](#)). Mientras que, el hidrolizado de pescado es una mezcla de polipéptidos y aminoácidos libres, resultantes de la hidrólisis enzimática y química del pescado, capaz de aliviar los efectos del estrés ambiental, mejorar el crecimiento y promover la productividad del cultivo ([Sun et al., 2024](#)).



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.2

ABRIL - JUNIO
2025

Artículo Científico
223 - 232

Efecto de la aplicación de Biochar e Hidrolizado de Pescado para el mejoramiento de suelos salinos de la Yarada Los Palos en Tacna

Wilken Emerson Chura Tello

ORCID: 0009-0006-8685-3718

<https://revista.scienceevolution.com>



En el contexto peruano, la problemática de la salinidad no es ajena a la realidad nacional, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, en lugares con períodos de sequía como en lugares templados, secos y trópicos secos de la costa peruana. La mayor parte de suelo afectado por la salinización está en las regiones costeras, no obstante, no existe información actualizada sobre la cantidad real de suelos salinizados en lugares altoandinos del Perú ([Aimituma-Franco et al., 2023](#)).

En Tacna, Perú, la infiltración de agua salina en las costas de la región ha sido identificada recientemente como un problema, agravando la salinización del suelo y afectando la agricultura local y la calidad del agua subterránea, especialmente en el Distrito de la Yarada Los Palos ([Santana Flor y Turpo Carcausto, 2021](#)). Por ello, se vuelve relevante el estudio de la aplicación de biochar y microorganismos eficientes como una solución para la biorremediación de estos suelos salinos.

En ese sentido, surge como pregunta de investigación: ¿La aplicación de biochar e hidrolizado de pescado mejora las propiedades físico-químicas de los suelos salinos en la zona de Yarada Los Palos, Tacna, Perú?

Por consiguiente, se plantea como hipótesis que la aplicación de biochar e hidrolizado de pescado mejora significativamente las propiedades fisicoquímicas del suelo salino, reduciendo su conductividad eléctrica, aumentando su pH, porosidad, contenido de materia orgánica y humedad, así como el índice de germinación.

El objetivo general de este estudio es evaluar el efecto de la aplicación de biochar e hidrolizado de pescado como enmiendas orgánicas para la recuperación de suelos salinos en la zona de Yarada Los Palos, Tacna, Perú. Los objetivos específicos son: evaluar el efecto del biochar sobre las propiedades físico-químicas del suelo salino; evaluar el efecto del hidrolizado de pescado sobre dichas propiedades; comparar los resultados entre los tratamientos aplicados y el testigo y determinar el impacto de las enmiendas en el índice de germinación.

Método

Enfoque Metodológico

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, experimental y aplicado, orientado a evaluar el efecto del biochar y el hidrolizado de pescado sobre las propiedades físico-químicas de suelos salinos en la región de Yarada Los Palos, Tacna, Perú.

Diseño de Estudio

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con el objetivo de comparar el efecto de distintos tratamientos aplicados al suelo salino. Este diseño permitió establecer relaciones causales entre las variables manipuladas y los resultados obtenidos, asegurando rigurosidad estadística en el análisis.

Tipo de Estudio

El estudio fue de tipo experimental, de corte explicativo y longitudinal, ya que se evaluaron cambios en las propiedades del suelo antes y después de aplicar los tratamientos.

Población y Muestra

La población estuvo conformada por suelos salinos ubicados en la región de La Yarada, Tacna. La muestra se obtuvo a partir de suelos representativos de la zona de La Yarada Los Palos, recolectados mediante muestreo por conveniencia. Las coordenadas geográficas de la zona de estudio fueron:

- UTM Zona 19S
- Este: 336369.99
- Norte: 79787054.5



Figura 1

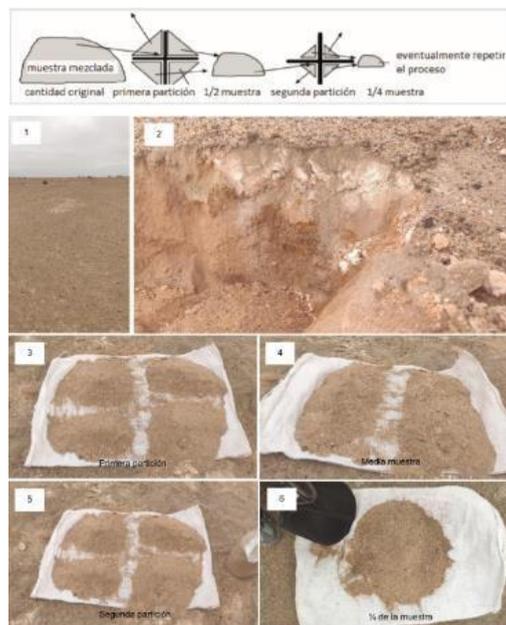
Delimitación de los puntos de muestreo



En la Figura 1 se detallan los puntos seleccionados, los cuales fueron geolocalizados para la toma de muestras. También, se limpió el área y se extrajo suelo a una profundidad aproximada de 30 cm. El material fue homogeneizado y cuarteado, eliminando piedras y material grueso.

Figura 2

Partición de muestras de suelo extraídas



En la figura 2 se observan las muestras que fueron almacenadas en recipientes herméticos y rotulados, transportadas al laboratorio bajo cadena de custodia.

Criterios de inclusión

Se incluyeron en el estudio aquellos suelos ubicados en zonas agrícolas de la región de La Yarada Los Palos que presentaban signos visibles de salinidad, como eflorescencias salinas, escasa vegetación o deterioro estructural. Asimismo, se consideraron únicamente aquellos terrenos con accesibilidad física adecuada para la recolección de muestras y la aplicación de tratamientos, y que contaban con antecedentes de uso agrícola reciente o histórico.

Criterios de exclusión

Se excluyeron del estudio aquellos suelos ubicados en áreas no agrícolas o que presentaban indicios de contaminación por residuos industriales, así como los terrenos con limitaciones físicas que impidieran el acceso seguro para el muestreo. También se descartaron las zonas expuestas a factores externos que pudieran alterar las condiciones del experimento, como proximidad a fuentes de agua residual, interferencia de actividades humanas o riesgo de inundación.

Técnicas de Recolección de Datos

Se recolectaron datos antes y después de la aplicación de los tratamientos, mediante la medición de variables fisicoquímicas del suelo: conductividad eléctrica (CE), pH, porcentaje de materia orgánica,



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.2

ABRIL - JUNIO
2025

Artículo Científico

223 - 232

Efecto de la aplicación de Biochar e Hidrolizado de Pescado para el mejoramiento de suelos salinos de la Yarada Los Palos en Tacna

Wilken Emerson Chura Tello

ORCID: 0009-0006-8685-3718

https://revista.scienceevolution.com



porosidad y el índice de germinación. La recolección se realizó tanto en laboratorio como en campo, siguiendo protocolos establecidos para asegurar la fiabilidad de los datos.

Para la elaboración del hidrolizado de pescado, se empleó la metodología propuesta por [Cardoza Ramirez et al. \(2021\)](#), donde los residuos de pescado (vísceras, cabezas y espinas) se trituran finamente hasta obtener una masa homogénea. Posteriormente, se mezclan 2 kg de este material con 1 litro de melaza y 3 litros de agua sin cloro. La mezcla se deposita en un recipiente de plástico con tapa hermética, dejando espacio para la liberación de gases. Se mantiene en fermentación anaerobia durante 15 días en un lugar fresco y sombreado, removiendo ligeramente cada tres días para facilitar la acción enzimática. Una vez concluido el proceso, se filtra el líquido resultante para separar los sólidos. El hidrolizado obtenido se almacena en botellas oscuras, rotuladas y bien cerradas, listas para su uso como bioestimulante o enmienda líquida para suelos. Se consideró la concentración líquida recomendada para este proceso en agua para riego que es de 2% a 5% (20 a 50 litros por 1000 litros de agua) y en aplicación foliar de 1% a 2% (10 a 20 mL por litro de agua), cada 15 a 20 días (20 ml/litro de agua).

Para la obtención de biochar, se empleó la pirólisis de biomasa lignocelulósica (p. ej., cáscaras de arroz, bagazo de caña, podas forestales) en atmósfera limitada de oxígeno a temperaturas de 300–700 °C, ajustando el tiempo de retención y la velocidad de calentamiento para controlar la formación de microporos, mesoporos y macroporos y maximizar el área superficial y la porosidad ([Lehmann & Joseph, 2015](#)). Tras la pirólisis, el material se sometió a activación física (vapor o CO₂) o química (ácido fosfórico, KOH) para incrementar aún más la textura porosa y funcionalizar su superficie con grupos oxigenados, mejorando su capacidad adsorbente y su aptitud para aplicaciones en tratamiento de aguas, remediación de suelos y soporte catalítico. De acuerdo con la IUPAC ([Sing et al., 1985](#)) los poros del biochar se clasifican en:

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

Para el tratamiento del suelo salino, se aplicó el biochar siguiendo una dosificación precisa. Se prepararon mezclas utilizando hidrolizado de pescado a razón de 20 ml por litro. Cada solución fue aplicada sobre 2 kilogramos de suelo salino, previamente colocado en recipientes plásticos limpios.

Tabla 1
Descripción de los Tratamientos

Tratamiento	Masa de suelo salino (Kg)	Tratamiento	Dosis
T1	2	Biochar	100 gr
T2	2	Hidrolizado de pescado	20 gr
T3	2	Control	-

Instrumentos

Para la recolección y análisis de datos se utilizaron instrumentos especializados en análisis de suelos. Se emplearon un conductivímetro para medir la conductividad eléctrica (CE), un potenciómetro (pH-metro) para determinar el pH, una balanza de precisión para el pesaje de muestras, una estufa de secado para calcular la humedad y un juego de tamices para el análisis granulométrico. Asimismo, se utilizó el software estadístico Statgraphics para procesar y analizar los datos experimentales. Para la elaboración del hidrolizado de pescado se emplearon recipientes plásticos herméticos, melaza y agua sin cloro, siguiendo protocolos de fermentación controlada. En la obtención del biochar se utilizó un horno de pirólisis para procesar biomasa lignocelulósica bajo condiciones de oxígeno limitado, con el fin de maximizar su porosidad y capacidad de adsorción.

Análisis de Datos

Los datos obtenidos antes y después de la aplicación de los tratamientos fueron analizados mediante técnicas estadísticas inferenciales. Para ello, se empleó un diseño completamente aleatorizado (DCA) y se utilizó el software Statgraphics para procesar la información. Las variables analizadas incluyeron la conductividad eléctrica (CE), el pH, el porcentaje de materia orgánica y el índice de germinación. Además, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) que permitió determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos, y luego se realizó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0.05$) para identificar qué tratamientos presentaban efectos significativamente distintos sobre las propiedades del suelo. Este procedimiento facilitó la evaluación precisa de la eficacia de las enmiendas orgánicas aplicadas y su impacto sobre las condiciones fisicoquímicas del suelo salino tratado.



Resultados

En esta sección se presentan los datos obtenidos tras la aplicación de los tratamientos propuestos al suelo salino.

Tabla 2

Resultados de las mediciones de densidad, porosidad y humedad

Repeticiones	Densidad Real (g/cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	Humedad (%)
1	2.65	1.30	50.9	12.8
2	2.60	1.25	51.8	13.5
3	2.54	1.20	52.1	14.0

En la Tabla 2 se muestran los valores de densidad real, densidad aparente, porosidad y humedad en el suelo salino antes de aplicar cualquier tratamiento. Estos valores permitieron establecer una línea base de las propiedades físicas del suelo en su estado original.

Tabla 3

Resultados de las mediciones después del tratamiento

Tratamientos	Densidad Real (g/cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	Humedad (%)
1	2.64	1.24	53.2	15.6
2	2.40	1.22	52.9	17.2
3	2.55	1.20	52.3	14.4

En la Tabla 3 se reportan los valores de densidad real, densidad aparente, porosidad y contenido de humedad del suelo, posteriores a la aplicación de los tratamientos. Estos resultados permitieron comparar los efectos físicos observados entre el suelo tratado con biochar, con biochar e hidrolizado, y el testigo.

pH

Tabla 4

Prueba de Tukey para el pH

N°	Tratamiento	Medida (C.E)	Significancia
1	T2	7.18	a
2	T3	7.20	a
3	T1	6.77	b

En la Tabla 4 se presentaron los valores de pH obtenidos para cada tratamiento. Mientras que el tratamiento 2 registró un valor de pH de 7.18, el tratamiento 3 tuvo un valor de 7.20, y el tratamiento 1 reportó un valor de 6.77. Además, se indicaron los grupos de significancia asignados por la prueba de Tukey.

Conductividad eléctrica

Tabla 5

Prueba de Tukey

N°	Tratamiento	Medida (C.E)	Significancia
1	T2	3.84	a
2	T1	4.54	a
3	T3	20.3	b

En la Tabla 5 de la Prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0.05$), referido a la C.E. del suelo salino tratado con enmiendas líquidas, se evidenció que los tratamientos 1 y 2 tuvieron una C.E. de 4.54 y 3.84 (moderadamente salino) en comparación con el tratamiento 3 (testigo) cuya C.E. fue 20.30 dS/m (extremadamente salino).



Salinidad

Tabla 6

Evaluación de la disminución del % de salinidad del suelo tratado

N°	Tratamiento	Medida (C.E)	%eficiencia	Salinidad
1	T1	4.54	79.4	Moderado
2	T2	3.84	82.6	Moderado
3	T3	30.3		Muy alto

En la Tabla 6 se documentó el porcentaje de reducción de la salinidad del suelo. El tratamiento 1 registró una disminución del 79.4 % y el tratamiento 2 alcanzó una reducción de 82.6%, en comparación con los valores iniciales de salinidad.

Índice de germinación

Tabla 7

Prueba de rango múltiple Tukey para la evaluación del índice de germinación

N°	Tratamiento	(I.G.)	Significancia
1	T2	96.4	a
2	T1	90.2	a
3	T3	12.4	b

En la Tabla 7 de la Prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0.05$), referido al índice de germinación del suelo salino tratado con enmiendas líquidas, se reportó que el índice de germinación del tratamiento 1 y 2 fue de 90.2% y 96.4% respectivamente, mientras que el índice de germinación del Tratamiento 3 (testigo) fue de 12.4%.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que la aplicación conjunta de biochar e hidrolizado de pescado produjo mejoras significativas en las propiedades fisicoquímicas del suelo salino en la zona de Yarada Los Palos, Tacna, Perú. Este tratamiento logró una reducción significativa de la conductividad eléctrica del suelo, pasando de un valor inicial de 20.30 dS/m a 3.84 dS/m, lo que lo ubica en el rango de salinidad moderada. Asimismo, se incrementó el pH del suelo hacia valores cercanos a la neutralidad (7.18), lo cual favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales. La porosidad aumentó hasta un 55.06 %, mejorando la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua. Además, el índice de germinación alcanzó un 96.4 %, frente al 12.4 % del suelo sin tratar, lo que evidencia condiciones óptimas para el establecimiento de cultivos. Estos hallazgos demuestran la eficacia de las enmiendas orgánicas aplicadas como estrategia de remediación sostenible en suelos salinos.

Wang et al. (2024) en su investigación realizada en la zona costera de China, evaluaron los efectos del biochar en suelos salino-alcálinos, centrándose en sus propiedades físico-químicas, la respuesta de la comunidad vegetal, la diversidad y estabilidad ecológica, así como los mecanismos y riesgos asociados. En cuanto a las propiedades del suelo, observaron que la aplicación de biochar generó un aumento del pH del suelo y del potasio disponible (AK) entre un 4.00 % y un 7.25 %, y entre un 3.74 % y un 170.91 %, respectivamente. Además, la materia orgánica del suelo (SOM) mostró incrementos significativos de hasta 68.78 % bajo condiciones de adición media y alta de *Spartina alterniflora* (SBC) y *Flaveria bidentis* (FBC). Sin embargo, otros indicadores como el fósforo disponible (AP), el amonio (NH_4^+-N), el fósforo total (TP) y el nitrógeno total (TN) no mostraron incrementos, salvo un aumento del 15.57 % en TP con un 5 % de FBC. La salinidad también se redujo significativamente en aplicaciones de *Juglans regia* (JBC) y FBC, destacando reducciones del 28.08 % al 46.93 %. No obstante, los tratamientos con 3 % y 5 % de SBC no presentaron cambios significativos, lo cual se atribuye a la naturaleza halófila de *Spartina alterniflora*. Esto respalda la evidencia de que el biochar es una herramienta efectiva para recuperar suelos degradados. No obstante, en su estudio se observaron limitaciones según el tipo de planta utilizada (*Spartina alterniflora*), lo que resalta que la especie vegetal también influye en la eficacia del tratamiento.



Por otro lado, en Argentina, [Milone et al. \(2023\)](#) evaluaron los efectos del biocarbón de *Guadua chacoensis* pirolizado a 700 °C sobre la germinación y el crecimiento de rúcula y rabanito en suelos salino-alcálinos. En su estudio demostraron que dosis elevadas de biochar pueden ser contraproducentes en suelos salino-alcálinos, afectando negativamente la germinación y el crecimiento de especies sensibles como la rúcula. Los efectos adversos evidenciados en su investigación se atribuyeron al aumento excesivo del pH y a la posible presencia de compuestos fitotóxicos producto de la pirólisis a alta temperatura. Esto resaltó la importancia de ajustar la dosis y tipo de biochar según las condiciones edáficas y la especie cultivada, por ello, los autores recomendaron su uso en suelos ácidos o en combinación con fertilizantes orgánicos, tal y como se realizó en el presente estudio con hidrolizado de pescado.

En el contexto peruano, [Condori-Ataupillco et al. \(2024\)](#) evaluaron en Huamanga, Ayacucho, los efectos del biochar sobre la humedad del suelo, el crecimiento de la quinua, el rendimiento del cultivo y las propiedades fisicoquímicas del suelo, con especial atención a condiciones de estrés hídrico. En relación con la humedad del suelo, encontraron que la aplicación de biocarbón a una dosis de 1 t·ha⁻¹ redujo el contenido de humedad en todas las frecuencias de riego, mientras que dosis mayores (2-3 t·ha⁻¹) permitieron recuperar los niveles de humedad. El tratamiento más eficaz fue el de riego cada cinco días combinado con 3 t·ha⁻¹ de biochar, logrando niveles similares al control. Asimismo, el biochar en dosis de 2-3 t·ha⁻¹ incrementó significativamente la humedad a saturación (SAT), la capacidad de campo (FC) y el punto de marchitez (Wp), lo cual promovió la absorción de agua por la quinua incluso por debajo del punto de marchitez. A ello se suma un aumento significativo en el porcentaje de aireación (SAT-FC), lo que indica una mejora en la estructura del suelo y su capacidad para retener y suministrar agua. Esto concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, donde el biochar también contribuyó a mejorar la retención de agua y la estructura del suelo, facilitando la absorción hídrica por parte de los cultivos.

Respecto al uso del hidrolizado de pescado, este estudio es acorde con los hallazgos de [Florez-Jalixto et al. \(2021\)](#), quien destacó que los aminoácidos presentes en este tipo de compuesto, promueven la solubilidad y absorción de micronutrientes esenciales como Fe, Cu, Zn y Mn, cuya disponibilidad suele estar limitada en suelos afectados por sales. Por ejemplo, la prolina, reconocida por su efecto quelante y acumularse en mayor concentración en plantas tolerantes a la sequía, contribuye a la mitigación del estrés oxidativo y osmótico inducido por la salinidad. En cultivos como el trigo (*Triticum aestivum* L.), la aplicación del hidrolizado de pescado ha demostrado incrementar significativamente el contenido de pigmentos fotosintéticos, incluso bajo condiciones de estrés salino. En contraste, la aplicación de hidrolizado en esta investigación contribuyó directamente al incremento del índice de germinación hasta un 96.4 %, validando su eficacia como bioestimulante.

Asimismo, [Li et al. \(2024\)](#) señalaron que el hidrolizado de pescado influye de forma positiva en la actividad enzimática del suelo, particularmente en enzimas antioxidantes vinculadas a la mitigación del estrés oxidativo. La catalasa del suelo (S-CAT), producida principalmente por la microbiota edáfica, cumple un rol esencial en la degradación del peróxido de hidrógeno (H₂O₂), uno de los principales agentes responsables del estrés oxidativo en plantas bajo condiciones de salinidad. Mientras que, la actividad de la deshidrogenasa del suelo (S-DHA) refleja la intensidad del metabolismo microbiano y la capacidad de transformación de la materia orgánica, lo que incide indirectamente en la reducción de especies reactivas de oxígeno. Asimismo, evidenciaron que la actividad enzimática antioxidante guarda una estrecha relación con la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo, elementos fundamentales para la síntesis de compuestos antioxidantes. La aplicación de hidrolizado de pescado también favoreció la reducción de la conductividad eléctrica del suelo, aumentó el pH hacia valores cercanos a la neutralidad y mejoró la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana, fortaleciendo la osmorregulación vegetal. Estos procesos son acordes a los resultados positivos observados en Tacna, donde se logró una mejora sustancial en las condiciones del suelo tras el tratamiento con hidrolizado.

Del mismo modo, [Venugopal \(2022\)](#) y [Diatta et al. \(2021\)](#) respaldan el uso de residuos pesqueros fermentados como fertilizantes líquidos estables, con capacidad para mejorar el rendimiento agrícola, reducir la salinidad y optimizar la eficiencia del uso del agua. [Venugopal \(2022\)](#), encontró que los residuos de biomasa marina (SWB) constituyen una fuente importante de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, con potencial uso como fertilizantes para suelos agrícolas. En su análisis demostró que la fermentación sólida de pescado produce fertilizantes nutritivos y los procesos de bioconversión microbiana de desechos acuícolas generan formulaciones líquidas estables, capaces de conservarse hasta seis meses a temperatura ambiente sin signos de putrefacción. Además, resaltó que los hidrolizados de proteínas de origen pesquero contienen péptidos y aminoácidos libres que actúan como bioestimulantes, favoreciendo el crecimiento vegetal y mitigando los efectos negativos de factores abióticos de estrés en cultivos hortícolas.



Por su parte, [Diatta et al. \(2021\)](#) evaluaron los beneficios en suelos áridos y semiáridos, destacando que la integración de acuicultura y agricultura representa una estrategia clave para optimizar el uso del agua y la tierra en zonas áridas y semiáridas, permitiendo reducir la dependencia de fertilizantes inorgánicos y gestionar de manera eficiente los residuos de acuicultura. Los autores mencionaron que los efluentes de pescado, ricos en nutrientes inorgánicos y orgánicos, mejoran las propiedades químicas del suelo, disminuyen el impacto ambiental, favorecen la eficiencia en el uso del agua y proporcionan un suministro constante de nutrientes. Esta práctica, económicamente viable para pequeños productores, contribuye a la sostenibilidad agrícola en contextos de recursos limitados.

Conclusiones

La aplicación conjunta de biochar e hidrolizado de pescado demostró ser una estrategia eficaz para la mejora de suelos salinos en la zona de Yarada Los Palos, Tacna. Este tratamiento redujo significativamente la conductividad eléctrica del suelo de 20.30 a 3.84 dS/m, incrementó el pH a valores cercanos a la neutralidad (7.18) y mejoró la porosidad hasta alcanzar un 55.06 %, optimizando las condiciones físicas y químicas del suelo para el desarrollo agrícola. Asimismo, se logró un índice de germinación del 96.4 %, en contraste con el 12.4 % registrado en el suelo testigo, lo cual evidencia una mejora sustancial en la capacidad del suelo para sostener cultivos.

Estos hallazgos coinciden con las investigaciones abordadas en este estudio, respaldando el uso de enmiendas orgánicas como alternativa sostenible en la remediación de suelos salinos. Se recomienda su aplicación en ensayos a mayor escala y bajo condiciones agrícolas reales, así como la evaluación de distintas dosis, tipos de biochar y frecuencias de aplicación. Además, se sugiere incorporar variables microbiológicas para comprender mejor los mecanismos de acción edáfica, y fomentar el uso de residuos orgánicos como insumo agrícola en zonas vulnerables a la salinización y al cambio climático.

Dada su efectividad, bajo costo y disponibilidad de insumos locales, esta estrategia puede ser integrada en programas de manejo sostenible del suelo y políticas públicas agrícolas, especialmente en regiones áridas que enfrentan desafíos crecientes asociados a la degradación del suelo y la seguridad alimentaria.

Se recomienda el uso del hidrolizado de pescado, solo o en combinación con biochar, como una alternativa sostenible y de bajo costo para la recuperación de suelos salinizados en zonas áridas o semiáridas. Asimismo, se sugiere realizar estudios a mayor escala y evaluar distintas dosis y frecuencias de aplicación, así como variables microbiológicas que expliquen con mayor detalle los mecanismos edáficos involucrados.

Referencias

- Aimituma-Franco, K. M., Llanqui-Ticona, S. E., & Fernández-Rojas, H. (2023). Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e388. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.388>
- Condori-Ataupillco, T., Flores-Marquez, R., Quispe, K., Quispe-Rodriguez, J., Velásquez-Mantari, J. & Solórzano-Acosta, R. (2025), Biochar-Amended Soils: A Water-Saving Strategy for Quinoa Cultivation in the Andes. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 4,(1) e70036. <https://doi.org/10.1002/sae2.70036>
- Diatta, A. A., Min, D., & Jagadish, S. V. K. (2021). Chapter Two - Drought stress responses in non-transgenic and transgenic alfalfa—Current status and future research directions. *Advances in agronomy*, 170, 35–100. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.06.002>
- Florez-Jalixto, M., Roldán-Acero, D., Omote-Sibina, J. R., & Molleda-Ordoñez, A. (2021). Biofertilizantes y bioestimulantes para uso agrícola y acuícola: Bioprocesos aplicados a subproductos orgánicos de la industria pesquera. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 635–651. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.067>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management. (2nd Edition, pp. 1–13). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203762264>
- Li, Y., Li, Z., Gong, P., He, X., Liu, H., Li, L., Wang, C., Li, P., Wei, J., & Yu, X. (2024). Enhanced irrigation volume reduces salinity and improves deep root zone soil nutrients, phosphatase activity and changes root traits of fruit trees. *Agricultural Water Management*, 302, 109001. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109001>
- Milone, J., Casas, C., & Vega, A. S. (2023). El biocarbón del bambú *Guadua chacoensis* (Poaceae, Bambuseae) afectó a especies hortícolas en suelo salino-sódico. *Ciencia del Suelo*, 41(2), 273–284. <https://ojs.suelos.org.ar/index.php/cds/article/view/811>



Negacz, K., Malek, Ž., de Vos, A., & Vellinga, P. (2022). Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture. *Journal of Arid Environments*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104775>

Organización Naciones Unidas. (2021). Los suelos salinos se convierten en un nuevo peligro para nuestra alimentación. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2021/10/1498492>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). *El manejo de suelos afectados por salinidad*. Portal de Suelos de la FAO. Recuperado el 02 de mayo de 2025, de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-afectados-por-salinidad/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). La FAO presenta su primera gran evaluación mundial en 50 años sobre los suelos contaminados por sales. <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-launches-first-major-global-assessment-of-salt-affected-soils-in-50-years/es>

Paz, A. M., Amezketa, E., Canfora, L., Castanheira, N., Falsone, G., Gonçalves, M. C., Gould, I., Hristov, B., Mastroilli, M., Ramos, T., Thompson, R., & Costantini, E. A. C. (2023). Salt-affected soils: Field-scale strategies for prevention, mitigation, and adaptation to salt accumulation. *Italian Journal of Agronomy*, 18, 2166. <https://doi.org/10.4081/ija.2023.2166>

Cardoza Ramirez, A. L., Guerra Espinoza, M. G., & Palomino Ramos, A. R. (2021). Uso de hidrolizados de pescado en la acuicultura: Una revisión de algunos resultados beneficiosos en dietas acuícolas. *Manglar*, 18(2), 215–222. <https://rnia.produce.gob.pe/wp-content/uploads/2021/09/246-1309-1-PB.pdf>

Ramírez, K. (2023). Biochar: *Una alternativa a los fertilizantes químicos que no contamina*. Divulga-Científica. <https://divulga.cientifica.edu.pe/nuestra-ciencia/biochar-una-alternativa-a-los-fertilizantes-qui-micos-que-no-contamina/>

Rodríguez, O., & Dufour, R. (2021). Suelos salinos y sódicos: Identificación, mitigación y consideraciones de manejo. NCAT, ATTRA Sustainable Agriculture Program. <https://attra.ncat.org/publication/suelos-salinos-y-sodicos-identificacion-mitigacion-y-consideraciones-de-manejo/>

Santana Flor, M. L., & Turpo Carcausto, G. A. (2021). Remediación de suelos salinos con vermicompost elaborado a partir de residuos industriales del olivo en un fundo del distrito de la Yarada-Los Palos, Tacna, 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio Institucional UNJBG. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2105>

Sing, K.S.W. (1985) Reporting Physisorption Data for Gas/Solid Systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity. *Pure and Applied Chemistry*, 57(4), 603-619. <https://doi.org/10.1351/pac198557040603>

Sun, W., Shahrajabian, M. H., Kuang, Y., & Wang, N. (2024). Amino acids biostimulants and protein hydrolysates in agricultural sciences. *Plants*, 13(2), 210. <https://doi.org/10.3390/plants13020210>

Venugopal, V. (2022). Green processing of seafood waste biomass towards blue economy. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100164. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100164>

Vázquez, J., Alvarez-Vera, M., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2020). La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 105–112. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.12>

Wang, Z., He, M., Lu, X., Meng, Z., Liu, J., & Mo, X. (2024). Biochar addition can negatively affect plant community performance when altering soil properties in saline-alkali wetlands. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1347658. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1347658>