

Influencia del Quwichar en la fertilidad de los suelos áridos de la Provincia de Trujillo, 2024

Influence of Quwichar on the Fertility of Arid Soils in the Province of Trujillo, 2024

Gian Arana Vidal ¹ ; Karen López Pacherre ² , Victor Miranda Huayta ³ ,
Carlo Pérez Landivar ⁴ , Fiorela Quispe Alayo ⁵ , Gerson Vilca Quispe ⁶ ,
Haniel Solís Muñoz ⁷ 

RESUMEN

El biochar ha sido reconocido como una enmienda orgánica eficaz para mejorar la fertilidad del suelo, debido a su capacidad para incrementar la retención de nutrientes, optimizar la estructura del suelo y promover un ambiente favorable para la actividad microbiana. La investigación tuvo como objetivo proponer una solución para mejorar la fertilidad de suelos áridos durante épocas de sequía mediante la aplicación de un abono a base de biochar y estiércol de cuy (quwichar). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, analizando los efectos del quwichar en parámetros como pH, conductividad eléctrica, humedad del suelo y crecimiento de maíz. Para validar la normalidad de los datos, se aplicó una prueba de normalidad, confirmando su distribución adecuada. Posteriormente, se realizó una regresión lineal simple para analizar la relación entre la dosis de quwichar y los parámetros medidos. Los resultados indicaron que, a medida que aumentó la dosis de quwichar, el pH del suelo se elevó ligeramente de 8.51 a 8.96, y la conductividad eléctrica mostró variaciones de 1527 a 2432 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La humedad del suelo también incrementó, alcanzando un 13.9 % en el tratamiento con mayor cantidad de quwichar. Sin embargo, dosis más altas mostraron efectos adversos en el crecimiento del maíz, como quemaduras y desarrollo de moho. En conclusión, la adición de quwichar puede mejorar la calidad del suelo en términos de pH, conductividad y retención de humedad, aunque es necesario ajustar la dosificación para evitar daños en las plantas.

Palabras clave: Biochar; suelo árido; quwichar; fertilidad.

ABSTRACT

Biochar has been recognized as an effective organic amendment for improving soil fertility due to its ability to increase nutrient retention, optimize soil structure, and promote a favorable environment for microbial activity. The research aimed to propose a solution for enhancing the fertility of arid soils during drought periods through the application of a biochar and guinea pig manure-based fertilizer (quwichar). A completely randomized experimental design was used with four treatments and three replications, analyzing the effects of quwichar on parameters such as pH, electrical conductivity, soil moisture, and maize growth. To validate data normality, a normality test was applied, confirming its appropriate distribution. Subsequently, simple linear regression was performed to analyze the relationship between quwichar dosage and the measured parameters. Results indicated that as the quwichar dosage increased, soil pH slightly elevated from 8.51 to 8.96, and electrical conductivity showed variations from 1527 to 2432 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Soil moisture also increased, reaching 13.9% in the treatment with the highest quwichar dosage. However, higher dosages exhibited adverse effects on maize growth, such as burns and mold development. In conclusion, the addition of quwichar can improve soil quality in terms of pH, conductivity, and moisture retention, although dosage adjustments are necessary to avoid plant damage.

Keywords: Biochar; arid soil; quwichar; fertility.

¹ Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. t1513702121@unitru.edu.pe

² Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. t1513700321@unitru.edu.pe

³ Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. t1053702621@unitru.edu.pe

⁴ Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. t1013701021@unitru.edu.pe

⁵ Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. t1523700321@unitru.edu.pe

⁶ Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. t1523700321@unitru.edu.pe

⁷ Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. hsolism@unitru.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

En regiones con precipitaciones limitadas, la sostenibilidad de los sistemas agrícolas enfrenta desafíos significativos debido a la escasez de recursos hídricos y la degradación del suelo. Estas limitaciones comprometen la productividad agrícola e intensifican la vulnerabilidad de los ecosistemas locales (Farid et al., 2022). El desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles en estos entornos requiere estrategias que optimicen el uso de agua y mejoren la calidad del suelo para mitigar los impactos de la aridez y asegurar la sostenibilidad productiva a largo plazo.

La aplicación de biochar se presenta como una solución sostenible y efectiva para mejorar la calidad de los suelos agrícolas. Su estructura porosa y rica en carbono reduce la densidad del suelo y aumenta su capacidad de retención de agua, favoreciendo condiciones óptimas para el crecimiento vegetal. Además, el biochar aporta nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, que promueven el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Wang et al., 2024). Estas propiedades lo convierten en una opción eficaz para enmendar suelos áridos y mejorar su productividad a largo plazo, como por ejemplo las regiones áridas del Perú, donde la evaporación supera significativamente a la precipitación, las temperaturas son extremas y los suelos carecen de nutrientes.

El interés por el biochar ha crecido significativamente a nivel mundial debido a su potencial en la mitigación del cambio climático y su amplia aplicación. En Malasia, Saharudin et al. (2024) evaluaron la sostenibilidad de la producción de biochar a gran escala mediante pirólisis lenta, destacando que este proceso es crucial para reducir costos y emisiones de CO₂. En España, Ortiz et al. (2023) demostraron que el biochar, combinado con digestato anaeróbico, mejora el rendimiento y la calidad de cultivos de melón y pimiento. En Perú, estudios como el de Palacios et al. (2023) y Leveau (2021) han explorado la producción de biochar a diferentes temperaturas y su uso en suelos agrícolas, revelando beneficios en la estabilidad del producto y en la reducción de la pérdida de nitrógeno en cultivos de maíz.

El objetivo principal de esta investigación fue determinar la influencia del Quwichar (una mezcla de biochar y estiércol de cuy) en la fertilidad de los suelos áridos de la provincia de Trujillo en 2024. Los objetivos específicos incluyeron medir los parámetros químicos del suelo después de la aplicación del Quwichar y compararlos con datos bibliográficos, así como evaluar la fertilidad del suelo a partir del crecimiento de las plantas. Este estudio busca corroborar la hipótesis de que la aplicación del Quwichar tiene una influencia significativa en la fertilidad de los suelos áridos de la provincia de Trujillo en 2024.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo de estudio

La investigación fue de tipo aplicada, ya que tuvo como objetivo dar una propuesta de solución a la problemática de los suelos áridos durante épocas de sequía (OECD, 2018). Además tuvo un enfoque cuantitativo porque se realizaron mediciones precisas y análisis estadísticos para evaluar los resultados. El diseño fue experimental porque permitió controlar la variable independiente y observar su efecto directo en la variable dependiente (Ramos, 2021). De igual manera el estudio fue transversal dado que se desarrolló en un tiempo menor al año.

2.2. Población y muestra

La población estudiada se constituyó por 12 unidades experimentales de 1,5 kg de suelo proveniente de los suelos áridos de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo, ubicada en las coordenadas 9102634N Y 715998E. El suelo se recolectó exclusivamente de zonas áridas, excluyendo suelos de jardines, asegurando que el volumen de suelo inicial fuera el mismo para todas las muestras a analizar. Las muestras se dividieron en 4 tratamientos diferentes descritos a continuación: t₁, (3 muestras de 1,5 kg de suelo), t₂ (3 muestras de 1,5 kg de suelo + 100 gramos de abono), t₃ (3 muestras de 1,5 kg de suelo + 150 gramos de abono) y t₄ (3 muestras de 1,5 kg de suelo + 200 gramos de abono).

2.3. Muestreo

El muestreo se realizó utilizando un diseño completamente al azar (4 tratamientos y 3 repeticiones) debido a que todas las repeticiones experimentales se realizaron teniendo en cuenta sólo los factores de interés anteriormente mencionados y se realizó una comparación entre los cuatro tratamientos evaluando su variabilidad.

2.4. Recolección de datos

La investigación se desarrolló en cinco etapas bien definidas. En la primera etapa, se recolectaron 15 kg de suelo árido de cinco puntos de muestreo, a una profundidad de 20 cm. Luego, se fragmentaron las partículas más grandes del suelo para facilitar su manejo. La segunda etapa se centró en la elaboración de un abono a base de biochar y estiércol de cuy. Para ello, se recolectaron ramas secas, que fueron sometidas a un proceso de pirólisis cuidadosamente controlado para producir biochar. El biochar se mezcló con estiércol de cuy (quwichar), aprovechando los microorganismos beneficiosos presentes en el estiércol para facilitar la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

En la tercera etapa, se establecieron cuatro tratamientos distintos (Tabla 1) utilizando diferentes cantidades del abono preparado. Para preparar el quiwichar se mezclaron 600 g de estiércol de cuy con 2000 g de biochar. Se humedecieron las muestras de tierra y se sometieron a un proceso de aireación durante siete días para promover la actividad microbiana y asegurar una adecuada descomposición del material orgánico.

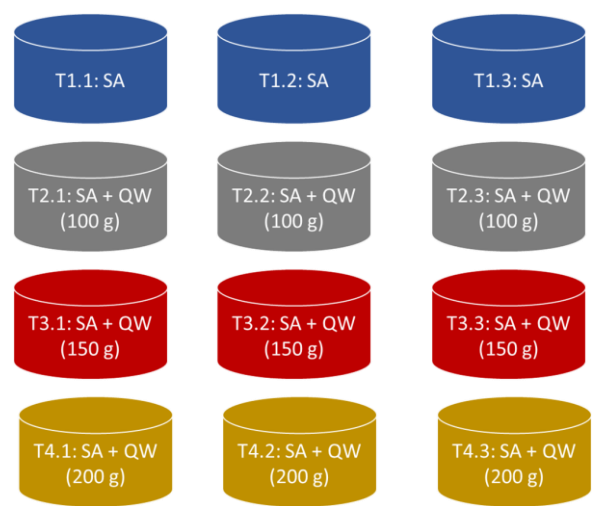
Tabla 1. Dosificación de los tratamientos

Tratamientos	Dosificaciones	Repeticiones
T1	SA: 1,5 kg	3
T2	SA: 1,5 kg + QW: 100 gr	3
T3	SA: 1,5 kg + QW: 150 gr	3
T4	SA: 1,5 kg + QW: 200 gr	3
Total de unidades experimentales		12

Nota: SA: Suelo árido, QW: quwichar

La cuarta etapa consistió en evaluar la capacidad del abono a partir de la siembra de maíz en cada unidad experimental (figura 1) dónde se midió el crecimiento del maíz a los 15, 30 días.

Figura. 1 Distribución de unidades experimentales



Finalmente la etapa 5 consistió en el análisis físico-químico del suelo, donde se recolectaron 130 gramos de suelo de cada unidad experimental, para luego ser tamizadas en rejillas de 2 mm de diámetro. Acto seguido se evaluaron las características fisicoquímicas del suelo para cada tratamiento.

Tabla 2. Procedimiento para el análisis de los parámetros físicos y químicos del suelo

Parámetros	Detalle	Medida	Metodología por unidad experimental
pH y Conductividad	Horno	und	Secado a 40°C (1 h)
	Tamiz	und	Tamizar (tamiz 2 mm)
	Muestra de suelo	g	Pesar 20 g de muestra
	Vaso precipitado	und	Añadir la muestra a un vaso de precipitados con 50 ml de agua destilada.
	Agua destilada	mL	Agitar durante 3 minutos y dejar reposar durante 15 min
	Multiparametro	und	Medir el pH en el sobrenadante
Humedad	Muestra de suelo	g	Tamizar
	Crisol	und	Pesar 10g de muestra
	Balanza analítica	und	Secado a 110°C (2 h)
	Estufa	und	Enfriamiento y pesado
Textura del suelo			Determinación de textura al tacto
		-	Método de la Jarra de Mason

2.5. Análisis de Datos

Los resultados fueron evaluados mediante una prueba de normalidad y regresión lineal simple usando Minitab y el software de análisis estadístico excel, respectivamente. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 4 tratamientos y 3 repeticiones cada uno, para corroborar de manera válida la hipótesis planteada.

2.6. Aspectos Éticos

La investigación se llevó a cabo cumpliendo con los deberes establecidos por la Resolución del Consejo Universitario N° 0247-2016/UNT, respetando los principios enmarcados en la defensa de los derechos fundamentales de las personas, la protección de los animales y el medio ambiente, así como en garantizar la veracidad de la investigación en todas las etapas, desde la formulación del problema hasta la difusión de los resultados. Además, se han respetado los derechos de autor y la propiedad intelectual de las fuentes utilizadas, promoviendo una cultura basada en valores y en principios éticos, con la finalidad de asegurar un avance en el conocimiento científico.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis del biochar

Tabla 3. Características del biochar preparado a base de ramas secas

Parámetro	Unidad	Valor
pH	-	9,76
Conductividad	mS/cm	4,84

3.2. Influencia del quwichar en los parámetros físicos y químicos del suelo

Tabla 4. Resultados de cada tratamiento respecto a los parámetros fisicoquímicos analizados

Tratamientos	pH	Conductividad	Humedad	Textura
	-	µS/cm	%	-
T1 (suelo + 0 g quwichar)	8,51	1972	8,58	Arcillo - Arenoso
T2 (suelo + 100 g quwichar)	8,75	1527	10,62	Arcillo - Arenoso
T3 (suelo + 150 g quwichar)	8,91	2139	12,49	Arcillo - Arenoso
T4 (suelo + 200 g quwichar)	8,96	2432	13,90	Arcillo - Arenoso

Tabla 5. Resultados de la evaluación del Quwichar en el desarrollo de las semillas

Tratamientos	Detalle
T1 (suelo + 0 g quwichar)	A las dos semanas, la semilla brotó; sin embargo, después de eso no se observó ningún cambio.
T2 (suelo + 100 g quwichar)	La semilla no ha brotado y presenta manchas negras, signos de aparición de moho.
T3 (suelo + 150 g quwichar)	La semilla no ha brotado y presenta daños, como quemaduras.
T4 (suelo + 200 g quwichar)	La semilla no ha brotado y ha mostrado signos de daño, como quemaduras o manchas negras.

En el tratamiento T1, donde se utilizó suelo sin Quwichar (0 g), se observó que la semilla brotó a las dos semanas, pero posteriormente no se evidenció ningún cambio adicional. Este comportamiento sugiere que el suelo por sí solo fue capaz de sustentar el brote inicial, aunque no proporcionó los nutrientes o condiciones necesarias para un desarrollo continuo de la planta. Por otro lado, los tratamientos con Quwichar (T2, T3 y T4) mostraron efectos adversos en las semillas. En el tratamiento T2 (100 g de Quwichar), la semilla no brotó y se observó la aparición de manchas negras, indicativas de moho, lo cual podría ser resultado de un exceso de humedad retenida o una descomposición inadecuada del material orgánico. Este resultado sugiere que la cantidad de Quwichar aplicada en este tratamiento pudo haber creado condiciones desfavorables para la germinación. En T3 (150 g de Quwichar), la semilla tampoco brotó, y se observaron daños visibles, como quemaduras. Estos daños pueden estar asociados a una alta concentración de nutrientes o sustancias fitotóxicas en el Quwichar, que inhibieron el crecimiento y causaron estrés a la semilla. Finalmente, en el tratamiento T4 (200 g de Quwichar), la semilla no solo no brotó, sino que también presentó signos de daño como quemaduras y manchas negras. Este resultado, similar al de T3, refuerza la hipótesis de que una mayor concentración de Quwichar en el suelo puede crear un ambiente tóxico para las semillas, afectando negativamente su desarrollo. En conjunto, los resultados indican que, mientras que el suelo sin Quwichar permitió al menos el brote inicial de la semilla, la adición de Quwichar en las cantidades estudiadas tuvo efectos perjudiciales, sugiriendo la necesidad de ajustar la proporción de Quwichar.

Prueba de Normalidad

Figura 2. Tabla de normalidad para los parámetros químicos.

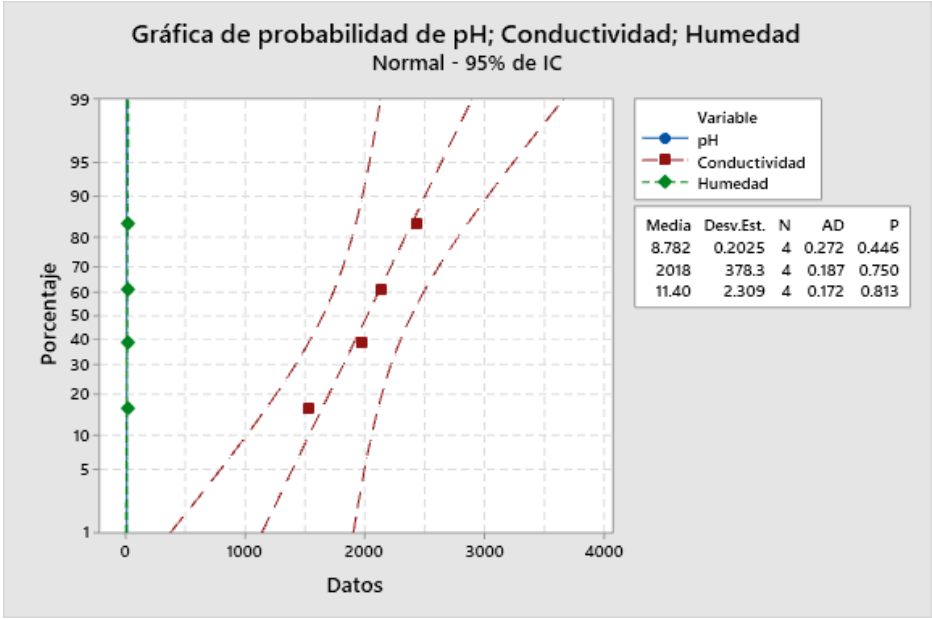


Tabla 6. Valor P de los parámetros físicos y químicos

Parámetros	Valor P	Nivel de significancia	Normalidad	Tipo de análisis a utilizar
pH	0,446	0,05	Son normales	RLS
C.E	0,750	0,05	Son normales	RLS
Humedad	0,813	0,05	Son normales	RLS

Nota: Regresión Lineal Simple

Prueba Estadística

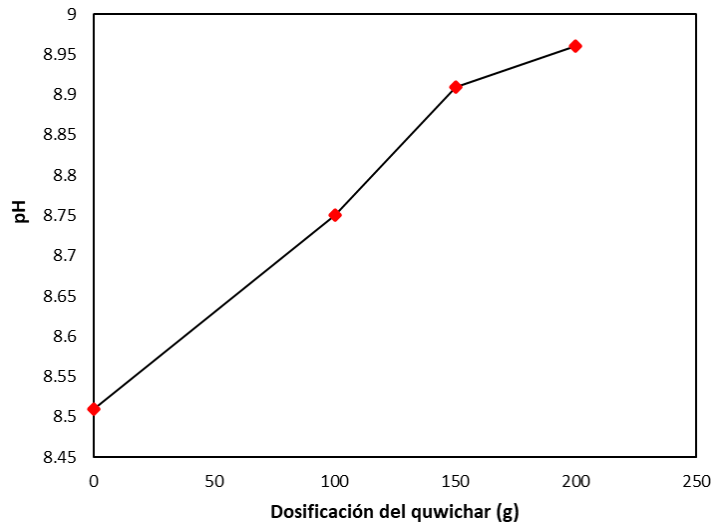
Tabla 7. Análisis de regresión para análisis de interrelación entre la dosificación de Quwichar y los valores de pH

Parámetros	Coef. correlación	Valor P	Estadístico F	Coef. Quwichar añadido
pH	0,99	0,0099	99,84	0,002348571
C.E	0,53	0,4626	0,81	2,380571429
Humedad	0,99	0,0084	117,72	0,026817143

Se analizó la relación entre las variables pH, conductividad eléctrica y humedad en relación a la cantidad de dosificación de Quwichar para 4 tratamientos diferentes. Con respecto a la variable pH, el coeficiente de correlación es de 0.99, un valor muy cercano a la unidad que indica una alta dependencia de la dosis de Quwichar. La presencia de un valor estadístico F alto y un valor p muy pequeño, sugieren que la relación entre

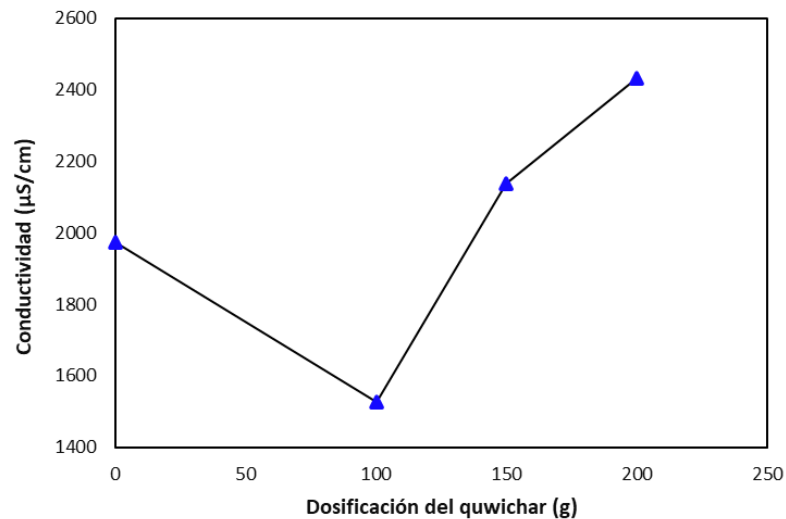
la cantidad de Quwichar añadido y el pH es significativa, del mismo modo, el coeficiente de Quwichar añadido da a conocer que por cada gramo adicional de abono añadido, el pH aumenta en aproximadamente 0.0023 unidades; mientras tanto que en el caso de la conductividad eléctrica el valor de 0.53 indica una relación positiva moderada con la variable independiente. En el caso del valor p este es 0.4626, un valor mucho mayor al nivel de significancia, lo cual indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, sin embargo al ser el estadístico F un valor bajo (0.8122) se sugiere que el modelo no se ajusta de manera adecuada a los datos. Por otro lado, en el caso de la humedad, los valores obtenidos para el análisis de correlación de este parámetro sugieren una situación muy similar al pH. Estas interrelaciones se observan en los gráficos a continuación.

Figura 3. Variación del pH del suelo en función de la dosificación del Quwichar



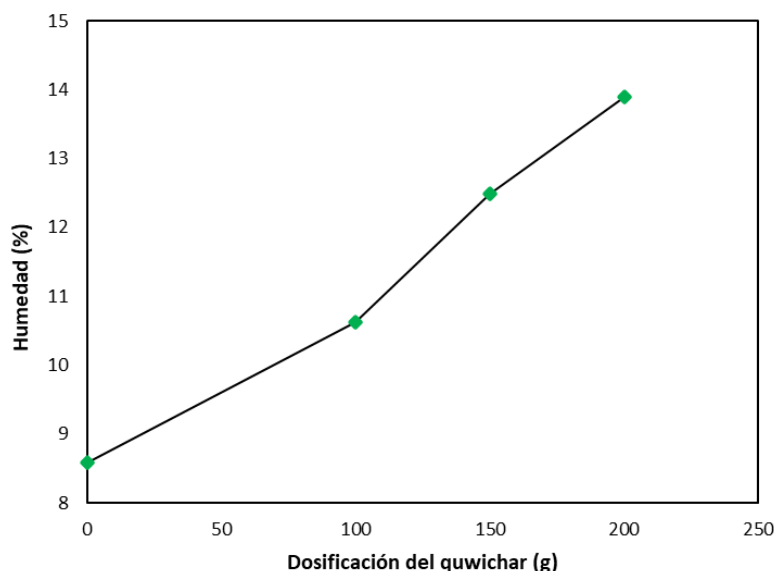
El pH observado en las muestras con biochar es considerablemente alto, alcanzando valores de hasta 8.96, lo que podría resultar excesivamente alcalino para la germinación de las semillas de maíz. Un pH tan elevado puede afectar la disponibilidad de nutrientes esenciales para la germinación y el crecimiento de las plantas. Pero también su estudio Xiong et al. 2024 expone en su estudio de investigación de cultivos de maíz y arroz, que un elevado pH puede llegar a dañar las actividades microbianas. Por otra parte Ortiz et al., (2021) expone que un pH ácido puede ayudar a que la raíz pueda absorber los nutrientes y por ende pueda haber un buen crecimiento.

Figura 4. Variación de la conductividad del suelo en función de la dosificación del Quwichar



Respecto a la conductividad eléctrica también se muestra que es más alta en las muestras con biochar. Una alta CE indica una alta concentración de sales disueltas, lo que puede crear un ambiente osmóticamente desfavorable para la germinación, causando estrés hídrico en las semillas. Los resultados muestran que el suelo con la conductividad eléctrica más baja (1.527) podría tener una menor concentración de sales solubles en comparación con las otras muestras. Por otro lado, los suelos con conductividades eléctricas moderadas (1.972 y 1.837) sugieren una concentración de sales solubles ligeramente más alta, pero no tan alta como en las muestras con conductividades más elevadas (2.139 y 2.432). Esto indica una mayor concentración de sales solubles, lo cual podría haber afectado negativamente la germinación de las semillas de maíz, como se observó.

Figura 5. Variación de la Humedad del suelo en función de la dosificación del Quwichar



El análisis del gráfico que relaciona la cantidad de Quwichar con el porcentaje de humedad en el suelo revela una tendencia clara: a medida que se incrementa la dosificación de Quwichar, la humedad del suelo también aumenta. Inicialmente, con una dosificación de Quwichar de 0 gramos, la humedad se encuentra en torno al 8.5%. Este valor representa el contenido de humedad natural del suelo sin la influencia del Quwichar. Sin embargo, al incorporar 50 gramos de Quwichar, se observa un aumento en la humedad hasta aproximadamente el 9.5%, lo que indica que incluso una pequeña cantidad de Quwichar ya empieza a afectar la capacidad del suelo para retener agua. Este patrón continúa con mayores dosificaciones: a 100 gramos de Quwichar, la humedad sube a cerca del 10.5%, y con 150 gramos, alcanza aproximadamente el 12.5%. Finalmente, con una dosificación de 200 gramos, el porcentaje de humedad se aproxima al 14%. Este aumento constante sugiere que el Quwichar actúa como un agente que mejora la retención de agua en el suelo, posiblemente debido a su composición y estructura, que pueden aumentar la capacidad del suelo para absorber y retener agua. Sin embargo, este incremento en la humedad podría también explicar los efectos adversos observados en las semillas en los tratamientos anteriores, como la aparición de moho y los daños por quemaduras, ya que un exceso de humedad puede crear condiciones desfavorables para el desarrollo de las plantas.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo ha avanzado en la comprensión del uso de biofertilizantes orgánicos en suelos áridos, aportando evidencia sobre el potencial del Quwichar para modificar desfavorablemente las propiedades del suelo. Sin embargo, también se han identificado limitaciones en cuanto a su impacto en el crecimiento de las plantas, especialmente en el caso del maíz, donde resalta la importancia de una dosificación adecuada.

Además el estudio confirmó que la aplicación de Quwichar influye significativamente en las propiedades del suelo, especialmente en el aumento del pH, la conductividad eléctrica y la retención de humedad en suelos áridos. Sin embargo, se observó que dosis elevadas de Quwichar pueden causar efectos adversos en el crecimiento del maíz, como quemaduras y desarrollo de moho, lo que subraya la importancia de una dosificación cuidadosa.

Se recomienda realizar investigaciones adicionales para afinar la dosificación del Quwichar, con el objetivo de maximizar sus beneficios sin afectar negativamente el crecimiento de las plantas. Además, sería valioso explorar su efecto en otros cultivos y en distintas condiciones climáticas, lo que podría ampliar su aplicabilidad y efectividad como biofertilizante en diferentes contextos agrícolas.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Nacional de Trujillo por proporcionar el entorno académico y los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Expresamos nuestra gratitud al Dr. Haniel Solís Muñoz por su valiosa guía y sugerencias durante el desarrollo de este trabajo. También reconocemos la colaboración y compromiso de todos los miembros del grupo, cuya participación fue clave para la elaboración de este artículo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Concilco, E., Moreno, A., García, M., Quiroga, H. M., y Ángel, O. 2018. Influencia del biocarbón aplicado al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad de avena forrajera. *Terra Latinoamericana: órgano científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, A.C, 36(3). <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.375>
- Correa, L., & Felipe, L. 2023. Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de biol a partir del estiércol de cuy.). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de biol a partir del estiércol de cuy [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, Universidad de Lima]. Repositorio institucional de la Universidad de Lima. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/18315>
- Farid, I. M., Siam, H. S., Abbas, M. H. H., Mohamed, I., Mahmoud, S. A., Tolba, M., Abbas, H. H., Yang, X., Antoniadis, V., Rinklebe, J., & Shaheen, S. M. 2022. Co-composted biochar derived from rice straw and sugarcane bagasse improved soil properties, carbon balance, and zucchini growth in a sandy soil: A trial for enhancing the health of low fertile arid soils. *Chemosphere*, 292. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.202>
- Leveau M., Dumler S., Anaya R., Alegre J. y Ladd B. 2021. Uso de biocarbón en el balance de nitrógeno en suelos aluviales de San Ramón / Chanchamayo / Perú. *Ecología Aplicada*. 20(2). <https://doi.org/10.21704/rea.v20i2.1808> 1.133389
- OECD. 2018. Manual de Frascati 2015: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264310681-es>
- Ortiz, M., Delatorre Castillo, J. P., Sepúlveda, I., Low, C., Ruiz, K. B., & Delatorre Herrera, J. 2021. Efectos de distintas concentraciones de boro y pH en el crecimiento de Zea mays var. Capia blanco, un maíz ancestral de Chile. *Idesia (Arica)*, 39(2), 111-119. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000200111>
- Ortiz, N., Zotti, M., Barquero, M., & González, F. 2023. Biochar + AD exerts a biostimulant effect in the yield of horticultural crops and improves bacterial biodiversity and species richness in the rhizosphere. *Scientia Horticulturae*, 321. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112277>
- Palacios R., Calle J., Cesaré M., Iparraguirre J. y Virú P. 2023. Physicochemical Characterization and Stability of Biochar Obtained from 5 Species of Forest Biomass in Peru. *Environmental Research, Engineering and Management*. 79(3). <https://doi.org/10.5755/j01.ere.m.79.3.33084>
- Ramos, C. 2021. Editorial: Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>

- Saharudin, D. M., Jeswani, H. K., & Azapagic, A. 2024. Biochar from agricultural wastes: Environmental sustainability, economic viability and the potential as a negative emissions technology in Malaysia. *Science of the Total Environment*, 919. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170266>
- Wang, X., Li, Y., Biswas, A., Sang, H., He, J., Liu, D. L., Yu, Q., Feng, H., & Siddique, K. H. M. 2024. Modeling soil water and salt dynamics in cotton-sugarbeet intercropping and their monocultures with biochar application. *Soil and Tillage Research*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106070>
- Xiong R, He X, Gao N, Li Q, Qiu Z, Hou Y, Shen W. 2024. Soil pH amendment alters the abundance, diversity, and composition of microbial communities in two contrasting agricultural soils. *Microbiol Spectr* 12:e04165-23. <https://doi.org/10.1128/spectrum.04165-23>

MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA INFLUENCIA DEL QUWICHAR EN LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS ÁRIDOS DE LA PROVINCIA DE TRUJILLO, 2024

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿Cuál es la influencia del Quwichar en la fertilidad de los suelos áridos de la Provincia de Trujillo, 2024?	Objetivo general Determinar la influencia del Quwichar en la fertilidad de los suelos áridos de la Provincia de Trujillo, 2024.	La influencia del Quwichar en la fertilidad de los suelos áridos de la Provincia de Trujillo, 2024 es significativa.	Variable Independiente Cantidad de Quwichar Indicadores Cantidad: 100 g 150 g 200 g	Tipo de Investigación: La investigación es de tipo aplicativo, transversal, cuantitativa Diseño de Investigación: Experimental	Población Suelos áridos de la Universidad Nacional de Trujillo Muestra Grupo de estudio establecido por conveniencia
	Objetivos específicos - Medir los parámetros químicos del suelo post-aplicación del Quwichar comparándolos con fuentes bibliográficas. - Evaluar la fertilidad del suelo a partir del crecimiento del maíz.		Variable Dependiente Fertilidad del Suelo Indicadores En base al pH, Conductividad Eléctrica, Humedad y Altura de planta		

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	FUENTES DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Quwichar (Biochar + estiércol de cuy)	El biochar es un material carbonoso que se obtiene mediante la pirólisis de biomasa, un proceso donde la materia orgánica es calentada en ausencia de oxígeno (Concilco et al., 2018). El estiércol de cuy contiene mayor cantidad de los principales nutrientes para los cultivos como nitrógeno, potasio y fósforo, en comparación con el estiércol de otros animales como vaca, cerdo o caballo (Correa y Felipe, 2022).	Cantidad de Quwichar (QW)	Dosis Quwichar	SA: 1.5 kg	Razón	Pesaje en balanza digital	Aumento en la calidad del Quwichar, a partir del enriquecimiento del biochar con estiércol de cuy.
				SA: 1.5 kg + QW: 100 g	Razón		
				SA: 1.5 kg + QW: 150 g	Razón		
				SA: 1.5 kg + QW: 200 g	Razón		
Fertilidad del suelo	Capacidad del suelo para proporcionar los nutrientes esenciales y condiciones adecuadas que permiten el crecimiento de las plantas (Cabrera et al., 2024)	Medición resultante del multiparámetro	pH	-	Intervalo	Resultados obtenidos del análisis de laboratorio	Aumento en la retención y disponibilidad de nutrientes.
			Conductividad Eléctrica	µS	Razón		Mejor capacidad de retención de agua y estructura del suelo.
		Método de secado	Humedad	%	Razón	Resultados del crecimiento del maíz	Mayor crecimiento del maíz.
		Altura alcanzada a los 15, 30	Crecimiento de maíz	Cm	Razón		

REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

Resumen de la Regresión Lineal Simple - PH

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99013151
Coefficiente de determinación R^2	0.980360407
R^2 ajustado	0.970540611
Error típico	0.034764514
Observaciones	4

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.120657857	0.120657857	99.83510638	0.00986849
Residuos	2	0.002417143	0.001208571		
Total	3	0.123075			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	8.518285714	0.031644711	269.1851294	1.38003E-05	8.382129511	8.65444192	8.382129511	8.654441918
quiwichar añadido (g)	0.002348571	0.000235051	9.991751918	0.00986849	0.001337229	0.00335991	0.001337229	0.003359914

Resumen de regresión lineal simple para conductividad

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.537413654
Coefficiente de determinación R^2	0.288813435
R^2 ajustado	-0.066779848
Error típico	390.6819313
Observaciones	4

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	123968.2571	123968.2571	0.812201606	0.462586346
Residuos	2	305264.7429	152632.3714		
Total	3	429233			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	1749.685714	355.6217401	4.920075229	0.038914718	219.5688634	3279.802565	219.5688634	3279.802565
quiwichar añadido (g)	2.380571429	2.641491972	0.901222284	0.462586346	-8.984851214	13.74599407	-8.984851214	13.74599407

Resumen de regresión lineal simple para humedad

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.991612091
Coeficiente de determinación R^2	0.98329454
R^2 ajustado	0.97494181
Error típico	0.365560235
Observaciones	4

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	15.73160643	15.73160643	117.7213343	0.008387909
Residuos	2	0.267268571	0.133634286		
Total	3	15.998875			

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	8.380571429	0.332754491	25.18544953	0.001572806	6.948844411	9.812298446	6.948844411	9.812298446
quiwichar añadido (g)	0.026817143	0.002471638	10.84994628	0.008387909	0.016182542	0.037451744	0.016182542	0.037451744