Revista de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

Enero-Junio 2025: Volumen 15, N°19
Depósito Legal Digital: 2024-04064
e-ISSN 2224-445X

Artículo Científico
https://doi.org/10.69507/revia.1.15.19.357

EFECTO DE CENIZA DE ARROZ EN SUELO Y RENDIMIENTO EN RIOJA, SAN MARTÍN

Effect of rice husk ash on soil and yield in Rioja, San Martín

Yesenia Nerith Vinces Mori[1], José Wilfredo Zavala Solórzano[2], Carlos Hugo Egoávil De la Cruz[3]

[1]: Ingeniero en Agronomía por la Universidad Nacional de San Martín. Maestrante en Ciencias Agrícolas con mención en Agricultura Sostenible de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María. Dirección legal: Av. Universitaria s/n, Carretera central km 1.21, Tingo María, Perú. Código ORCID: 0009-0004-3959-777X. Correo electrónico: yesenia.vinces@unas.edu.pe

[2]: Ingeniero en Agronomía por la Universidad Agraria de la Selva. Magister Scientae en Suelos por la Universidad Nacional Agraria La Molina y Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible por la Universidad Nacional Federico Villareal. Dirección legal: Av. Universitaria s/n, Carretera central km 1.21, Tingo María, Perú. Docente Principal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Código ORCID: 0000-0002-2990-6290. Correo electrónico: jose.zavala@unas.edu.pe

[3]: Ingeniero en Agronomía por la Universidad Agraria La Molina. Maestrante en Suelos por la Universidad Nacional Agraria La Molina. Maestrante en Gestión Ambiental por la Universidad Nacional de San Martín. Docente Auxiliar de la Facultad de Ingeniería Agraria de la Universidad Católica Sedes Sapientiae (Rioja). Dirección Legal: Esquina Constelaciones y Sol de Oro, Urbanización Sol de Oro, Los Olivos, Lima, Perú. Código ORCID: 0000-0002-8496-7205. Correo electrónico: cegoavil@ucss.edu.pe

Recibido: 10/01/2025 **Aceptado:** 15/01/2025 **Publicado:** 20/01/2025

RESUMEN

El experimento, realizado en abril de 2019 en Posic (Rioja, San Martín), evaluó el efecto de la ceniza de la cascara de arroz en las propiedades del suelo y en el rendimiento del arroz bajo riego. Se instalaron 8 tratamientos: T1 (10 t/ha de ceniza fresca + NPK), T2 (20 t/ha de ceniza fresca + NPK), T3 (30 t/ha de ceniza fresca + NPK), T4 (10 t/ha de ceniza descompuesta + NPK), T5 (20 t/ha de ceniza descompuesta + NPK), T6 (30 t/ha de ceniza descompuesta + NPK), un testigo absoluto (T7) y un testigo con NPK (T8). La ceniza descompuesta en dosis de 30 t/ha modificó las características del suelo, mostrando diferencias en fósforo y potasio disponibles. El tratamiento T4 destacó por su rendimiento superior de 10,533 t/ha, no obstante, el mayor índice de rentabilidad lo alcanzó en el tratamiento T7 con S/. 0,608.

Palabras claves: Oryza sativa, sílice, pasivo ambiental, fósforo y potasio del suelo.

ABSTRACT

The experiment, conducted in April 2019 in Posic (Rioja, San Martín), evaluated the effect of rice husk ash on soil properties and rice yield under irrigation. Eight treatments were installed: T1 (10 t/ha of fresh ash + NPK), T2 (20 t/ha of fresh ash + NPK), T3 (30 t/ha of fresh ash + NPK), T4 (10 t/ha of decomposed ash + NPK), T5 (20 t/ha of decomposed ash + NPK), T6 (30 t/ha of decomposed ash + NPK), an absolute control (T7), and a control with NPK (T8). The decomposed ash at a dose of 30 t/ha modified the soil properties, showing differences in available phosphorus and potassium. Treatment T4 stood out with a higher yield of 10.533 t/ha, although the highest profitability index was achieved in treatment T7, with S/. 0,608.

Keywords: Oryza sativa, silica, environmental liability, soil phosphorus and potassium.

I. INTRODUCCIÓN

El arroz es el cereal más consumido a nivel mundial y una fuente clave de alimento para casi la mitad de la población, proporcionando el 27 % de la energía alimentaria y el 20 % de las proteínas en países en desarrollo (FAO, 2004). En Perú, representa el 9,50 % del PBI agrario y genera millones de empleos. Sin embargo, en la región San Martín, el rendimiento es inferior al promedio nacional, con 7,01 t/ha frente a las 8,30 t/ha a nivel nacional, lo que afecta la rentabilidad de los productores (Ministerio de Agricultura y Riego, 2017). La cáscara de arroz, que constituye el 20 % del peso del grano procesado, contiene sílice, un componente con beneficios para mejorar las propiedades del suelo y el rendimiento agrícola (Horna, 2009; Singh, 2018). En Alto Mayo, se generan anualmente 40 000 toneladas de cáscara de arroz, cuya quema produce 5 000 toneladas de ceniza, la cual se ha comenzado a utilizar en la agricultura, reduciendo costos y aumentando la rentabilidad (Rengifo, 2020; Solano, 2019). El silicio de la ceniza mejora la resistencia a enfermedades y la eficiencia en el uso de nutrientes en el cultivo de arroz (Jiménez, 2016). Por estas razones, se evaluó el efecto de la ceniza de cáscara de arroz en el suelo y el rendimiento del arroz en Rioja, San Martín.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del Experimento

La investigación se realizó en el predio "La Esperanza" en abril a septiembre de 2019, ubicado en el sector Río Negro, distrito de Posic, provincia de Rioja, departamento de San Martín, a una altitud de 824 msnm, la temperatura promedio fue de 23,32 °C, con un rango entre 21,83 y 24,16 °C. La precipitación acumulada fue de 568,60 mm, variando de 19,50 mm/mes a 171,60 mm/mes (SENAMHI, 2022).

2.2. Métodos

El material genético utilizado en la investigación fue la semilla de arroz de la variedad "HP 101-Plazas", proporcionada por la empresa Potrero. Para llevar a cabo las actividades en campo, se utilizaron diversas herramientas, incluyendo una libreta de campo, machete, palana, rastra, estacas, letreros, motocultor, bolsas de papel, cordeles, rafia, hoz y sacos. Los insumos empleados consistieron en ceniza fresca de cáscara de arroz, residuo fresco de la quema de ladrillos con un contenido de 63,2 % de SiO2, ceniza descompuesta de cáscara de arroz con un año de antigüedad y 45,2 % de SiO2, fertilizantes inorgánicos como urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio, así como fungicidas y biocidas. Además, se utilizaron equipos como una cámara fotográfica, una laptop, un determinador de humedad de granos, un vernier, y balanzas de reloj y gramera.

2.2.1. Componentes en estudio

En el experimento se evaluaron dos fuentes de abono orgánico (ceniza fresca y ceniza descompuesta de cáscara de arroz) en tres niveles de aplicación (10, 20, y 30 t/ha), junto con un testigo absoluto y un testigo con NPK. Se realizaron análisis fisicoquímicos iniciales y finales del suelo, revelando una textura franca arcillo arenosa y una fertilidad media. Las muestras de ceniza se recolectaron en una ladrillera local y se analizaron por digestión ácida nítrica-perclórica, mostrando que la ceniza fresca contenía 63.2% de SiO2, mientras que la ceniza descompuesta contenía 45,23 % de SiO2.

2.2.2. Manejo del cultivo

En el experimento se utilizó semilla certificada de la variedad HP 101-PLAZAS, con alta pureza y germinación, pretratada con fungicida e insecticida. El almácigo fue preparado manualmente, utilizando semilla pregerminada y manejando cuidadosamente el riego, deshierbo, y fertilización. El campo definitivo se preparó con limpieza, nivelación, y aplicación de cenizas de cáscara de arroz según los tratamientos establecidos. El trasplante se realizó 30 días después de la siembra en almácigo, seguido de un programa de fertilización fraccionada y control de malezas, plagas, y enfermedades. La cosecha se llevó a cabo 118 días después del trasplante, recolectando muestras para análisis en laboratorio.

2.2.3. Registro de observaciones

Las evaluaciones del experimento se realizaron siguiendo los "Protocolos para las mediciones de plantas en las plataformas de investigación" (CIMMYT, 2017), e incluyeron la medición de la altura de la planta cada 30 días, la longitud de la raíz a los 45 días del trasplante, y el conteo de macollos, panículas, y granos por panícula. También se midió la longitud de las panículas, se pesaron 1 000 g con un 14% de humedad, y se calculó el rendimiento de grano en kg/ha. Después de la cosecha, se realizó un muestreo final del suelo en cada unidad experimental para comparar los resultados con el análisis inicial y evaluar cambios en los contenidos de elementos, incluyendo el silicio total.

2.2.4. Evaluación de la calidad de molinería del grano

Las evaluaciones de la calidad molinera se realizaron siguiendo las Reglas Internacionales para el Análisis de Semillas (ISTA, 2020). Se midió el contenido de humedad de 100 g por unidad experimental. Además, se evaluó el porcentaje de granos enteros y quebrados en muestras de 25 g de semilla, clasificando los granos en dos grupos: granos enteros (incluyendo aquellos con al menos 3/4 de su tamaño) y granos partidos o quebrados (menos de 3/4, mitades y puntas). El peso de

cada grupo se determinó y los resultados se expresaron en porcentaje.

2.2.5. Evaluación de las características del suelo

Las evaluaciones del suelo se realizaron antes de la siembra y después de la cosecha siguiendo el D.S 013-2010-AG, que regula el muestreo en campo y el análisis de laboratorios. Se evaluaron las propiedades físicas del suelo, como el color, densidad aparente, y clase textural, tanto antes como después de la incorporación de ceniza de cáscara de arroz. Además, se realizaron análisis químicos iniciales y finales para medir cambios en propiedades como pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), bases intercambiables, fósforo y potasio disponible.

2.2.6. Diseño del experimento

El experimento se diseñó en bloques completamente al azar (DBCA) con tres bloques diferenciados por su proximidad al agua, y cada uno con 8 tratamientos distribuidos aleatoriamente. El modelo matemático utilizado fue $Yij = \mu + \beta j + Tj + \varepsilon ij$, donde μ representa la media poblacional, βi el efecto del bloque, Tj el efecto de los tratamientos, y εij el error. El análisis de varianza se realizó para evaluar los efectos de los tratamientos y bloques. El ensayo se llevó a cabo en un área total de 547,5 m², con 3 bloques de 32 m de longitud y 4 m de ancho, y 24 unidades experimentales de 16 m² cada una.

III. RESULTADOS Y DISCUCIÒN

3.1. Efecto de la ceniza fresca y ceniza descompuesta de cascara de arroz en las propiedades del suelo

Utilizando los reportes de los análisis de suelos, en la **Tabla 1**, se presentan los promedios ± error estándar de las propiedades del suelo. Estos incluyen los resultados iniciales obtenidos en toda el área experimental (mayo de 2019) y los valores promedio por tratamiento al finalizar la campaña de arroz (septiembre de 2019).

Tabla 1

Valores promedios de las propiedades del suelo según análisis por tratamiento

Propiedad del suelo	pH (1:1)	M.O. %	P disponible (ppm)	K	CIC	DA g/cm
Inicio (2/05/2019)	6,9	2,63	8,36	198,23	17,24	1,36
T_1	6,28±0,18a	2,760±0,26a	8,14±0,59b	211,56±12,92bc	16,31±1,15a	1,41±0,03a
T_2	6,31±0,18a	2,773±0,26a	8,90±0,59ab	226,14±12,92bc	16,77±1,15a	1,41±0,03a
T_3	6,54±0,18a	3,060±0,26a	9,61±0,59ab	242,61±12,92bc	17,86±1,15a	1,43±0,03a
T_4	6,24±0,18a	3,413±0,26a	8,96±0,59ab	221,94±12,92bc	15,80±1,15a	1,41±0,03a
T_5	6,32±0,18a	3,073±0,26a	9,89±0,59ab	263,49±12,92ab	17,13±1,15a	1,40±0,03a
T_6	6,54±0,18a	3,600±0,26a	11,37±0,59a	313,58±12,92a	19,65±1,15a	1,48±0,03a
T_7	6,41±0,18a	2,780±0,26a	7,90±0,59b	192,26±12,92c	16,74±1,15a	1,44±0,03a
T_8	6,45±0,18a	3,487±0,26a	8,56±0,59ab	210,93±12,92bc	16,44±1,15a	1,42±0,03a
CV (%)	4,91	14,24	11,06	9,51	11,66	3,23

Nota. **Reportes de análisis de suelos (2020)

Al concluir el ensayo, se observó que las propiedades del suelo se modificaron significativamente debido a los tratamientos aplicados, con mejores resultados en el tratamiento T6 (30 t/ha de ceniza descompuesta más NPK en dosis de 130-35-145 kg/ha). La ceniza contribuyó a mejorar el pH, la disponibilidad de nutrientes y la estructura del suelo, mientras que el NPK aseguró un suministro adecuado de nitrógeno, fósforo y potasio, elementos esenciales para el crecimiento del arroz. Esta combinación sinérgica de nutrientes y enmiendas orgánicas fue clave en las modificaciones observadas, optimizando las condiciones del suelo para el cultivo.

3.2. Propiedades del suelo que no son afectadas por la incorporación de ceniza de cascara de arroz

Las propiedades del suelo que estadísticamente no fueron afectadas por la incorporación de ceniza de cáscara de arroz fue el pH, la materia orgánica (MO), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y densidad aparente (DA) del suelo (Figura 1).

Figura 1

pH del suelo al finalizar la campaña de arroz

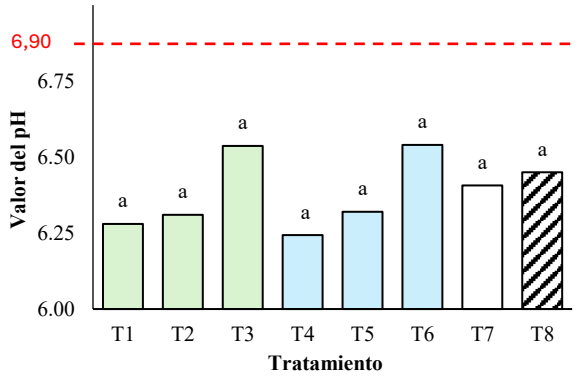


Figura 2

%M.O. del suelo al finalizar la campaña de arroz

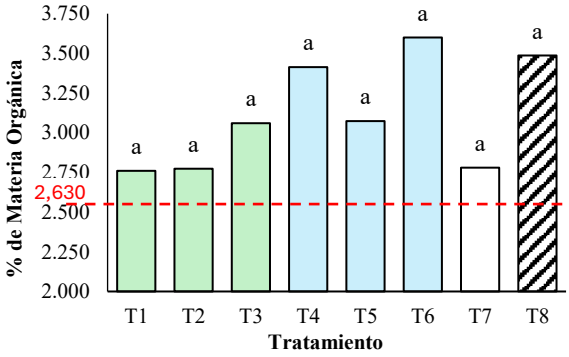


Figura 3

CIC del suelo al finalizar la campaña de arroz

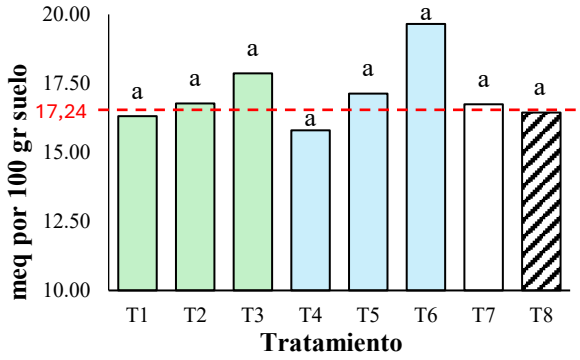
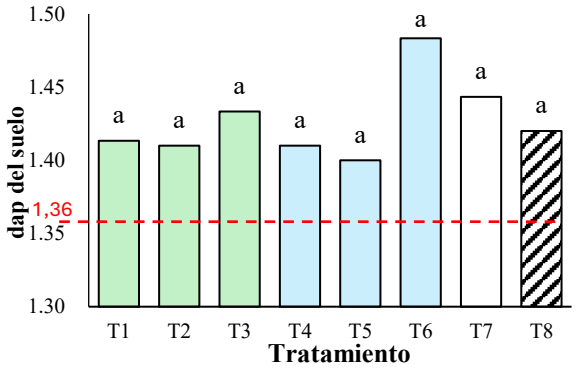


Figura 4

Densidad aparente del suelo al finalizar la campaña de arroz



Los tratamientos con la mayor dosis de CCA (30 t/ha) aumentaron el pH del suelo en 0,13 unidades **(Figura 1)** y la MO en 0,707 % en comparación con el testigo **(Figura 2)**, estos resultados coinciden con estudios previos, como el de Rivera y Pérez (1999) y Swe et al. (2021), que también observaron incrementos en el pH, MO, CIC, calcio y magnesio con el aumento de la dosis de ceniza de arroz. La acidificación del suelo podría estar vinculada al silicio presente en la ceniza, que al interactuar con el agua forma ácido monosilícico, y a la utilización de fertilizantes nitrogenados como la urea y fosfato diamónico (Ginés, 2002; Agromil, 2006). También se observa incremento en la CIC de 17,27 a 19,65 Cmol(+)/kg y la densidad aparente (DA) de 1,36 a 1,48, aunque sin alcanzar significancia estadística (**Figura 3** y **Figura 4**). Este aumento podría estar relacionado con el alto contenido de material silícico en la ceniza, que estabiliza el suelo al reaccionar con el aluminio libre, como sugieren estudios previos (Matori et al., 2009; Singh, 2018). Castro (2017) también observó que la adición de ceniza de cáscara de arroz en suelos arcillosos incrementa su capacidad de resistencia, lo cual está directamente relacionado con la densidad del material. Comparativamente, la densidad y resistencia del suelo tratado con ceniza se aproximan más a las características de suelos arenosos y rocas, que tienen un índice CBR considerablemente mayor (Phonphuak y Chindaprasirt, 2015).

3.3. Propiedades del suelo que son afectadas por la incorporación de ceniza de cascara de arroz

La observación de la **Figura 5** y **Figura 6**, muestra que la mayoría de los tratamientos aumentaron el fósforo y potasio disponible en el suelo en comparación con el valor inicial, excepto el T7 (testigo), asimismo se muestra al tratamiento T6 (30 t/ha de ceniza descompuesta) con el mayor incremento de fósforo **(Figura 5),** aunque estadísticamente similar a otros tratamientos (T2, T3, T4, T5, y T8), y superior al T7 y T1. La ceniza de arroz, que contiene aproximadamente 0,24 % de P2O5 (Águila y Sosa, 2008), es una fuente importante de fósforo, y su efecto depende del pH y del tipo de suelo, siendo más efectiva en pH de 6,0 a 7,0 (Clarholm, 1998; Erich y Ohno, 1992). Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Swe et al. (2021), quienes también observaron un incremento en fósforo disponible al aplicar ceniza de arroz, aunque sin significancia estadística.

Figura 5

ppm de Fósforo disponible en el suelo

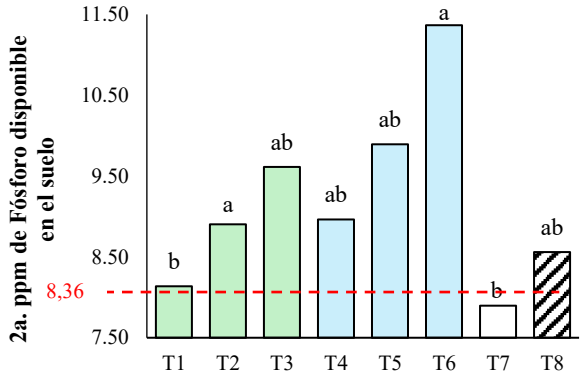
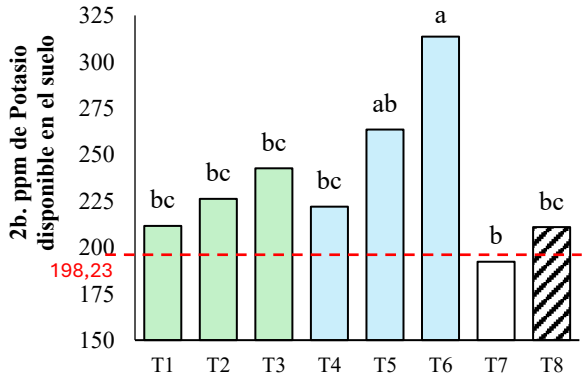


Figura 6

ppm de Potasio disponible en el suelo



El incremento en el potasio disponible en el suelo (**Figura 4**) en comparación con el valor inicial y el testigo, lo que se atribuye al aporte de la ceniza de

cáscara de arroz, que contiene 2,10 % de K2O (Varón, 2005). Según Ohno (1992), la disponibilidad de potasio depende de la cantidad aplicada y del pH del suelo. A diferencia de los resultados de Swe et al. (2021), donde el potasio disminuyó de 195 ppm a 88 ppm, en este estudio el potasio aumentó de 198,23 ppm en el suelo original a 313,58 ppm con la mayor dosis de ceniza descompuesta de cáscara de arroz.

3.4. Efecto de la ceniza fresca de cáscara de arroz y ceniza descompuesta de cáscara de arroz en el rendimiento e índice de rentabilidad (IR) de arroz bajo riego

La **Tabla 2** muestra los resultados promedio de rendimiento y el índice de rentabilidad (IR) para cada tratamiento. En cuanto al rendimiento, el tratamiento T4 (10 t/ha de ceniza descompuesta + NPK) fue el más destacado, alcanzando 10,533 t/ha, seguido de T2 con 10,360 t/ha. Sin embargo, al analizar la rentabilidad, el mayor índice de rentabilidad fue obtenido por el tratamiento T8 (testigo con NPK), con un IR de 0,588, seguido de T7 (testigo absoluto) con un IR de 0,608. Estos resultados indican que, aunque el tratamiento T4 logró el mayor rendimiento en términos de producción, el tratamiento T8 fue el más eficiente económicamente, presentando el mejor índice de rentabilidad.

Tabla 2

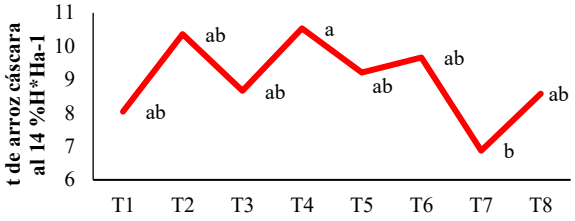
Promedio del rendimiento e índice (IR) de rentabilidad según tratamiento

Rubro	Unidad	Tratamientos							
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8
Rendimiento	t/ha	8,044	10,360	8,662	10,533	9,211	9,661	6,873	8,578
Análisis económico	IR	0,114	0,121	-0,209	0,424	0,008	-0,123	0,608	0,588

La **Figura *8*** muestra que el tratamiento T_4 tiene un rendimiento de arroz en cáscara estadísticamente superior al testigo (T_7) y semejante a la mayoría de los otros tratamientos, aunque el rendimiento del T_2 es cercano, pero no estadísticamente igual. Este aumento en rendimiento se atribuye al aporte de minerales esenciales como K, Ca, Mg y P provenientes de la ceniza, que son cruciales para el crecimiento y desarrollo del arroz. Estudios anteriores, como los realizados y Finlandia en 1930 por Someshwar (1996), han demostrado que las cenizas de fitomasa contienen importantes niveles de estos minerales, que son vitales para el arroz, especialmente el potasio, que es fundamental para la expansión celular y el desarrollo de aerénquima funcional, así como para la translocación de fotoasimilados hacia los granos (Quintero, 2018).

Figura 7

Rendimiento de arroz de cáscara al 14% de humedad según tratamiento



En las **Figura 8** y **Figura 9** se comparan los niveles de fósforo y potasio disponible en el suelo contra el rendimiento obtenido según tratamiento. Se observa que los tratamientos de ceniza de cáscara de arroz permiten incrementos en los rendimientos, según la dosis de ceniza de cáscara de arroz aplicada, frente al testigo (T_7) o al tratamiento con sólo fertilización (T_8). Por otro lado, el mayor rendimiento se obtiene con T_4 (10 t/ha de ceniza descompuesta) o con T_2 (20 t/ha de ceniza fresca), resaltadas con una flecha hacia abajo. En la investigación se demuestra que una mayor dosis de ceniza de cáscara de arroz (ceniza fresca o descompuesta) repercutirá en un mayor rendimiento; pero si en un mayor aporte de fósforo y potasio disponible en el suelo.

Figura 8

Fósforo disponible en el suelo según tratamiento versus su rendimiento

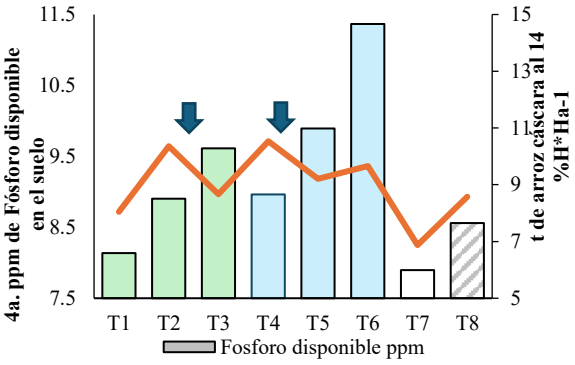
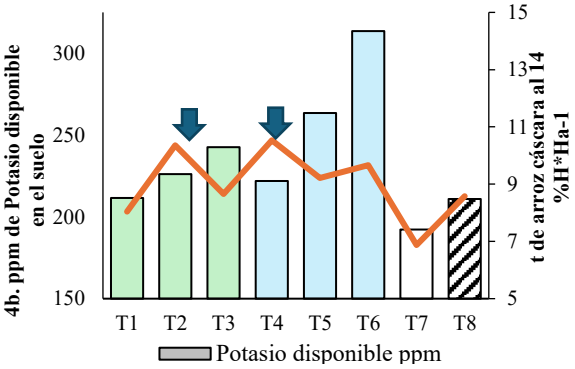


Figura 9

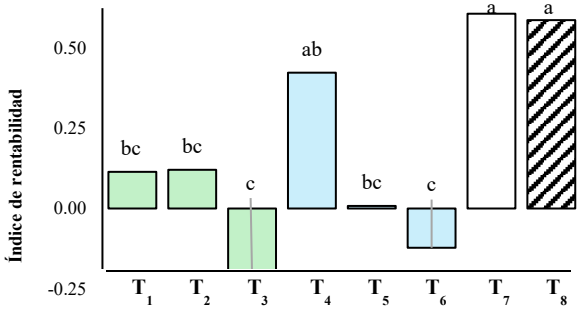
Potasio disponible en el suelo



Los resultados obtenidos en este estudio, donde el uso de ceniza de cáscara de arroz incrementó significativamente la producción de arroz, son consistentes con estudios previos realizados por Swe et al. (2021) en Birmania, Rengifo (2020) en San Martín, Perú, y Rafael (2016) en Huánuco, Perú. Aunque los rendimientos aquí obtenidos fueron superiores, alcanzando 10,36 t/ha con 20 t de ceniza fresca, en comparación con 9,48 t/ha con 30 t de ceniza descompuesta reportados por Rengifo (2020). Estos resultados respaldan la observación de que mayores volúmenes de ceniza de cáscara de arroz o silicio equivalente incrementan el rendimiento de arroz. Swe et al. (2021) también reportó altos rendimientos con la aplicación de silicio junto con la dosis recomendada de fertilización, aunque la cantidad de silicio utilizada fue significativamente menor que en este estudio, donde se aplicaron 10 t/ha de ceniza fresca, equivalente a 6,320 kg/ha de silicio. Para determinar el índice de rentabilidad (IR) de los tratamientos en estudio, se formularon los costos de producción en cada unidad experimental y al final de cada caso el análisis económico aplicado para determinar el IR.

Figura 10

Índice de rentabilidad (IR) según los tratamientos en estudio



En la **Figura 10**, sobresalen los tratamientos testigos T_7 y T_8 por arrojar un IR mayor al resto de los tratamientos, pero menor a la unidad, mientras que sólo los tratamientos con incorporación de 30 t de ceniza de cáscara de arroz muestran índices negativos (T_3 y T_6); resaltando el T_4 con incorporación de 10 t de Ceniza descompuesta. Al comparar el IR contra el rendimiento promedio **Figura 11**, se observa que según se incrementa la dosis de ceniza de cáscara de arroz (de 10 a 30 t fresca o descompuesta) el índice IR (en barras) se reduce para la ceniza fresca de 0,114 (T_1) a -0,209 (T_3) y para la ceniza descompuesta de 0,424 (T_4) hasta -0,123 (T_6); pero el rendimiento (línea roja) se incrementó para la ceniza fresca de 8,044 t (T_1) a 8,662 t (T_3), pero para la ceniza descompuesta decreció 10,533 t (T_4) a 9,661 t (T_6).

Figura 11

Comparación entre la índice rentabilidad (barras) contra el rendimiento promedio (línea roja) según tratamiento

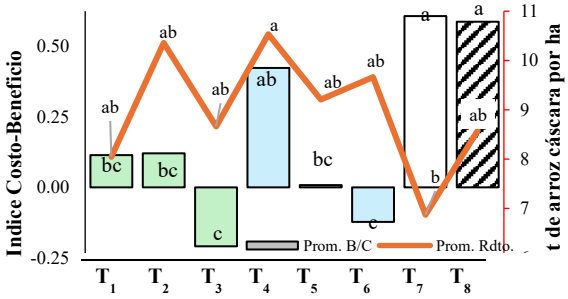
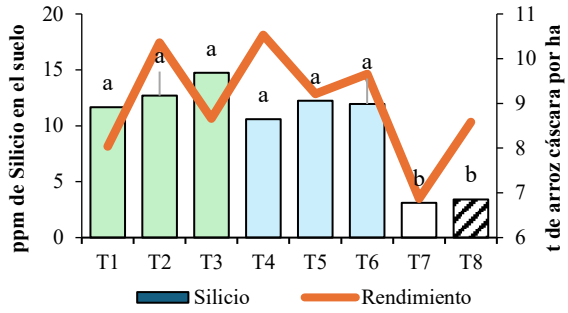


Figura 12

Contenido de silicio al final del experimento y el rendimiento según tratamiento



El estudio muestra que al aumentar de 10 a 20 t/ha la aplicación de ceniza fresca de cáscara de arroz, el rendimiento de arroz incrementa de 8,044 t/ha (T1) a 10,360 t/ha (T2), aunque el índice de rentabilidad (IR) se mantiene similar (0,114 y 0,121). al utilizar ceniza descompuesta, entre 10 a 20 t/ha reduce tanto el rendimiento de 10,533 t/ha (T_4) a 9,211 t/ha (T_5) como el IR (0,424 a 0,008). Aunque los tratamientos con ceniza de cáscara de arroz mejoran el rendimiento, pero incrementan los costos de producción, resultando en menores IR comparados con los tratamientos testigos (testigo absoluto y la fertilización NPK), que presentaron menores rendimientos, pero mayores IR (0,60 y 0,58). La ceniza fresca aporta más silicio al suelo que la descompuesta, pero la ceniza descompuesta a 10 t/ha produce un rendimiento similar al de 20 t/ha de ceniza fresca, aunque con mayor IR (0,424 vs. 0,121), en comparación con el testigo y NPK que muestran mayor IR que todos los tratamientos. Estos resultados difieren de los obtenidos por Solano (2019), quien reportó un IR mucho mayor al utilizar ceniza de cáscara de arroz activada (S/. 2,32 por sol invertido).

IV. CONCLUSIONES

La ceniza de cáscara de arroz mostró un efecto significativo en el aumento del contenido de fósforo y potasio disponible en el suelo, aunque no se mostró diferencias estadísticas en el pH, MO, CIC y DA. Su aplicación incrementó el rendimiento del arroz en

cáscara, alcanzando 10,53 t/ha en el tratamiento T4 (10 t/ha de ceniza descompuesta + NPK). Además, el mayor IR se obtuvo en el tratamiento testigo (T7) logrando S/ 0,608 por kg de arroz cáscara producido.

V. REFERENCIAS

Agromil. (2006). *Beneficio del silicio para la agricultura.* Agromil

Águila, I. & Sosa, M. (2008). Evaluación físico-químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 23*(4), 55-66.

Castro Cuadra, A. F. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional. http://hdl.handle.net/20.500.14076/10054

Clarholm, M. (1998). Wood ash to counteract potential phosphorus and potassium limitations in a Norway spruce forest subjected to air pollution. *Scandinavian Journal of Forest Research*, (2). 67-75.

Erich, M. & Ohno, T. (1992). Phosphorus availability to corn from wood ash amended soils. *Water, Air, and Soil Pollution, 64*(3-4), 475-485. https://doi.org/10.1007/BF00483357

Ginés, I., & Mariscal-Sancho, I. (2002). *Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo*. Fertiberia.

Horna, R. (2009, 16 de diciembre). *Aprovechamiento de la cáscara de Oryza sativa (arroz) para la producción de silicio orgánico*. Engormix. https://www.engormix.com/agricultura/foros/aprovechamiento-cascarilla-Oryza-sativa-t10676/

International Seed Testing Association. (2020). *International rules for seed testing 2020*: validated seed health testing methods. http://www.seedhealth.org/files/2020/02/ISTA-SH-methods-2020-7-032-opt.pdf

Jiménez Valencia, L. S. (2016). *Estudio de cinco dosis de ceniza de cáscara de arroz como fuente de silicio complementaria a la fertilización edáfica en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.)* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/13837

Matori, K. A., Haslinawati, M. M., Wahab, Z. A., Sidek, H. A. A., Ban, T. K., & Ghani, W. A. K. (2009). Producing amorphous white silica from rice husk. *Masaum Journal of Basic and Applied Sciences, 1*(3). https://www.researchgate.net/profile/Khamirul-Matori/publication/236839923_Producing_Amorphous_White_Silica_from_Rice_Husk/links/556ac2af08aeab7772212d05/Producing-Amorphous-White-Silica-from-Rice-Husk.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. [FAO]. (2004). *Arroz, perspectivas alimentarias. Diciembre, 2004.* Departamento Económico y Social del Sistema Mundial de Información y alerta sobre la agricultura y la alimentación. https://www.fao.org/3/j3877s/j3877s06.htm

Phonphuak, N. & Chindaprasirt, P. (2015). Types of waste, properties, and durability of pore-forming waste-based fired masonry bricks. En F. Pacheco-Torgal, P.B. Lourenço, J.A. Labrincha, S. Kumar & P. Chindaprasirt. (Ed.). *Eco-Efficient Masonry Bricks and Blocks: Design, properties and duranbility.* http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-305-8.00006-1

Quintero, C. E. (2018). *Fertilización para altos rendimientos de arroz*. Fertilizar

Rengifo García, F. (2020). *Efectos de fuentes de silicio en el rendimiento de arroz bajo riego (Oryza sativa L.) variedad La Conquista* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional. https://hdl.handle.net/20.500.14292/1911

Rivera, M. & Pérez, J. (1999). *Estabilidad para rendimiento de genotipos de maíz y fríjol voluble sembrados en asociación y monocultivo*. Releza II.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2022, 6 junio). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú del Ministerio del Ambiente. https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones

Singh, B. (2018). Rice husk ash. En Rafat Siddique & Paulo Cachim (Eds.). *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete* (pp. 417-460). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00013-4

Solano Limas, F. V. (2019). *Fuentes y niveles de silicio en el rendimiento de arroz (Oryza sativa L.) variedad La Esperanza, bajo riego* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional. https://hdl.handle.net/20.500.14292/1457

Someshwar, A. V. (1996). Caracterización de la madera y la combinación de cenizas de calderas de leña. *Journal of Environmental Quality. 25*(5), 962-972. https://doi.org/10.2134/jeq1996.00472425002500050006x

Swe, M. M., Mar, S. S., Naing, T. T., Zar, T. & Ngwe, K. (2021). Effect of silicon application on growth, yield and uptake of rice (Oryza sativa L.) in two different soils. *Open Access Library Journal, 8*(10), 1-15. http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1107937

Varón, J. (2005). Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cáscara de arroz. *El Hombre y la Máquina, 1*(25), 128-135. https://www.redalyc.org/pdf/478/47802513.pdf