

Potencial fertilizante de cenizas de bagazo de caña de azúcar de industrias azucareras

Potential fertilizer from sugarcane bagasse ash from sugar industries

Quirino Arias-Cedeño^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-6024-9877>

Raúl López-Sánchez² <https://orcid.org/0000-0003-0477-3572>

Luis Ricardo Sainz-Rosales² <https://orcid.org/0000-0003-0533-3076>

María Virginia Verdecia-Casanova³ <https://orcid.org/0000-0002-0943-2070>

Bettina Eichler-Löbermann⁴ <http://orcid.org/0000-0001-8306-0452>

¹Centro de Estudios de Química Aplicada, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Granma. Bayamo, Granma, Cuba

²Centro de Estudios de Biotecnología Vegetal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Granma. Bayamo, Granma, Cuba

³OSDE Grupo Azucarero, AZCUBA. Ciudad de la Habana, Cuba

⁴Instituto de Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales. Universidad de Rostock, Alemania

*Autor para la correspondencia. correo electrónico: qariasc@udg.co.cu

RESUMEN

La reutilización de residuos de procesos agroindustriales, es una alternativa ecológica que permite implementar ciclo de nutrientes en la agricultura y ahorrar fertilizantes; con esta finalidad

se evaluó el potencial de las cenizas que genera la combustión del bagazo de caña en las cinco industrias azucareras de la provincia de Granma. Los mejores potenciales de Fósforo y Potasio (mg/kg) corresponden a las cenizas de las industrias “Arquímides Colina” (380,87 y 2625) y “Bartolomé Masó” (1056,75 y 1500) con el contenido más bajo de metales pesados. La aplicación de las cenizas en el cultivo de *Lactuca sativa* L. (Lechuga) en condiciones controladas y de campo; demostró efecto positivo sobre las variables de crecimiento de las plantas y el rendimiento agrícola. Además, las cenizas restituyen las pérdidas de los macronutrientes; que unido a la disponibilidad y bajo costo de las cenizas permite su uso como fertilizante mineral natural.

Palabras clave: cenizas; bagazo; suelos; fertilización.

ABSTRACT

The reuse of residues from agroindustrial processes is an ecological alternative that allows implementing nutrient cycling in agriculture and saving fertilizers; for this purpose the potential of the ashes generated by the combustion of sugarcane bagasse in the five sugar industries of the province of Granma was evaluated. The best potentials of Phosphorus and Potassium (mg/kg) correspond to the ashes of the industries "Arquímides Colina" (380,87 and 2625) and "Bartolomé Masó" (1056,75 and 1500)) with the lowest content of heavy metals. The use of the ashes in the cultivation of *Lactuca sativa* L. (Lettuce) in controlled and field conditions; showed a positive effect on the variables of plant growth and agricultural yield. In addition, the ashes replace the losses of the macronutrients; which together with the availability and low cost of the ash allows its use as a natural mineral fertilizer.

Keywords: ashes; bagasse; soils; fertilization.

Recibido: 12/4/2021

Aprobado: 1/6/2021

Introducción

La reutilización de residuos de procesos agroindustriales para la nutrición de las plantas, constituye una alternativa ecológicamente viable para la protección del medio ambiente que, además, de ahorrar fertilizantes de alto precio en el mercado internacional, permite implementar ciclo de nutrientes en la agricultura.^(1,2)

La agroindustria azucarera genera una gran cantidad de residuos que pueden ser aprovechados y provocan efecto positivo a largo plazo sobre la calidad del suelo y el rendimiento agrícola de los cultivos.⁽³⁾ El reciclaje se produce en estos casos por el paso de los nutrientes que circulan del suelo a la caña de azúcar, luego a la biomasa recolectada, de ahí a los diversos residuos industriales que son reutilizados y regresan luego al suelo para permitir el crecimiento de los diferentes componentes del sistema agroecológico en forma eficiente.⁽⁴⁻⁶⁾

Los residuos del sector azucarero tienen la ventaja de su origen orgánico, su biodegradabilidad y su alto potencial de reutilización; que generan una alta gama de usos alternativos con abundantes perspectivas comerciales. Entre los residuos agroindustriales más significativos, de acuerdo con su procedencia se pueden agrupar⁽⁷⁾ entre otros:

Residuos de la cosecha en el campo, Bagazo, Cenizas, Cachaza, Aguas residuales de la fabricación de azúcar, Mostos o vinazas de residuos alcohólicos, Aguas residuales procedentes del proceso de producción de levadura *Torula*, Residuos del proceso de producción de dextranas.

Es significativa la enorme cantidad de cenizas que genera la industria azucarera en los hornos donde se produce la combustión del bagazo y la paja de la caña utilizados como combustible que son almacenadas en pilas a la intemperie, constituyendo un riesgo de contaminación ambiental. Estas cenizas a pesar de ser portadora de varios nutrimentos, como fósforo y potasio que se han

extraído del suelo y que no vuelven a incorporarse, actualmente poseen un uso muy limitado. Se estima que su reutilización permitiría fertilizar una gran extensión de áreas agrícolas.⁽⁸⁾

El principal y componente mayoritario de la ceniza es el óxido de silicio, seguido en proporción comparativamente pequeña por compuestos de Potasio (K), Fósforo (P), Aluminio (Al), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y microelementos como el hierro (Fe) y zinc (Zn). De gran interés resultan los residuos agroindustriales que poseen buen potencial de P disponible, elemento estratégico de gran impacto en la producción agropecuaria, esencial para el crecimiento de las plantas y sin embargo; es frecuentemente deficitario en los ecosistemas terrestres.⁽⁹⁻¹²⁾

Cenizas procedentes de industrias madereras han sido empleadas para disminuir la acidez y como fertilizante de suelos ácidos. El aporte de las cenizas produjo un aumento del pH del suelo y la fracción sólida experimentó incrementos de las concentraciones de fósforo, Calcio y Magnesio en formas asimilables, resultó importante además el incremento de las concentraciones de estos elementos en las plantas, lo que produjo aumentos proporcionales de la producción.^(1, 13, 14)

En Cuba, las cenizas generadas por el uso de bagazo de caña como combustible en la producción de azúcar poseen un uso muy limitado. El bagazo aporta entre 0,78 y 3,22 % de cenizas y la cantidad de sus constituyentes varía de acuerdo con el tipo de suelo y la variedad de la caña, entre otros factores.^(3,15) Estudios realizados con cenizas obtenidas a partir del bagazo combustionado en dos industrias azucareras de Brasil y Cuba muestran diferencias que pueden ser asociadas a los suelos en que fue cultivada la caña de azúcar.⁽¹⁶⁾ Un estudio previo de fertilización en condiciones de organopónico realizado en la provincia de Granma, reportó en las cenizas usadas un contenido de fósforo de 1,3 % .⁽¹⁾

Se estima que una zafra de 4 millones de toneladas produce alrededor de 300 mil t de ceniza con las que se puede fertilizar 40 mil ha, con un ahorro de 1,6 a 2,0 millones de USD.⁽⁸⁾ Recientemente se evaluó el efecto de cenizas procedentes de la industria azucarera en la germinación y en los primeros estadios de crecimiento del cultivo de 10 variedades de arroz. Se demostró que la aplicación de las cenizas no produjo efecto sobre las variables de germinación y que existe una dependencia lineal significativa y positiva entre las dosis de cenizas y las variables de crecimiento de las plantas evaluadas.⁽¹⁷⁾

Teniendo en cuenta los criterios anteriores y con la finalidad de evaluar el potencial fertilizante de las cenizas que generan las industrias azucareras de la provincia de Granma, fue determinada la composición de nutrientes minerales y metales pesados; así como el efecto de la aplicación de las cenizas de mayor potencial en el cultivo de *Lactuca sativa* L. (Lechuga) y en el suelo empleado.

Materiales y métodos

El estudio fue realizado en la provincia cubana de Granma. Fueron tomadas muestras de cenizas generadas en la combustión de bagazo de caña de azúcar de las cinco industrias del territorio, de forma aleatoria, en la zafra 2019. La determinación en las cenizas y suelos del contenido de los macronutrientes P, K, Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) y de los metales Sodio (Na), Zn, Cobre (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Plomo (Pb) fue realizado en laboratorios del Instituto de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales de la Universidad de Rostock, en Alemania.

Las muestras de cenizas y de suelos fueron secadas al aire y tamizadas a 2 mm. Los macroelementos fueron extraídos de las muestras con disolución de lactato de calcio ($C_6H_{12}O_6Ca \times 5H_2O$, 0,4 M) y ácido clorhídrico (HCl, 0,5 M) a pH 3,6 y determinada la concentración por espectrofotometría en un Specord 40 (Analytik Jena). La concentración de P en la disolución se midió por el método de vanadato-molibdato. ⁽¹⁸⁾ Las concentraciones elementales totales de los micronutrientes y metales pesados se determinaron, después de la digestión (150 mg con 0,7 ml de HNO₃ y 2 ml de HCl) asistida por microondas, mediante espectroscopia de emisión óptica por acoplamiento de plasma inductivo (ICP-OES; Thermo Fisher iCAP™ 7600). El pH de las cenizas y del suelo se determinó por el método ISO 10390 en extracto acuoso. Las muestras fueron antes extraídas con CaCl₂, 0,01M. ⁽¹⁹⁾ Todos los equipos usados fueron de procedencia alemana.

La evaluación del potencial fertilizante se realizó empleando cenizas de bagazo de caña de azúcar, generadas en la industria Azucarera “Bartolomé Masó” del municipio de mismo nombre, en el cultivo de la variedad de Lechuga, Black Seed Simpson, que se produce durante todo el año.

El efecto de la aplicación de las cenizas se realizó primero bajo condiciones controladas en macetas, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Granma, con tratamientos (T-1 y T-2) de cenizas de 9,6 y 14,4 g/kg de suelo respectivamente, un tratamiento con 1,13 g /kg de suelo con fertilizante NPK (T-3) y un control (T-4).

Posteriormente se desarrolló el experimento de campo en el mes de diciembre del año 2019, con un diseño experimental de bloque al azar con cuatro réplicas. Se realizaron dos tratamientos, un tratamiento con cenizas (T-1 con 1,06 Kg/m²) y uno control (T-2). La siembra se realizó de forma manual en canteros de 36 m de largo por 1,20 m de ancho. Durante todo el ciclo vegetativo se controlaron las malas hierbas manualmente, además de revisarse constantemente cada parcela para detectar ocurrencias de ataques de plagas y enfermedades, las atenciones culturales y fitosanitaria se realizaron de acuerdo a las instrucciones técnicas vigentes.

Las cenizas se comenzaron a aplicar sobre el sustrato a partir de los 7 días luego de la germinación de las plantas. Para el estudio de las variables fueron seleccionadas al azar 40 plantas por tratamiento y medidas la altura del brote, longitud de la raíz, longitud y ancho de la hoja (área foliar, cm²) con una cinta métrica y la cantidad de hojas por planta mediante el conteo visual; así como la masa (g) usando una balanza electrónica.

El procesamiento estadístico de la información recopilada se realizó utilizando el paquete Statistica versión 7.0; a todos los datos obtenidos se le comprobó la normalidad por la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de varianza según Bartlett, fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) de clasificación y comparación múltiple de medias según la prueba de Dunacan a una probabilidad 95 % de error ($p < 0,05$).

Resultados y discusión

Fueron evaluadas las cenizas generadas en las cinco industrias azucareras que posee la provincia de Granma, ubicada en la región suroriental de Cuba, cada industria pertenece a un municipio diferente del territorio, esta localización geográfica genera notables diferencias en la composición

de los principales agrupamientos de suelos presentes en sus áreas productivas, como puede observarse en la figura 1.

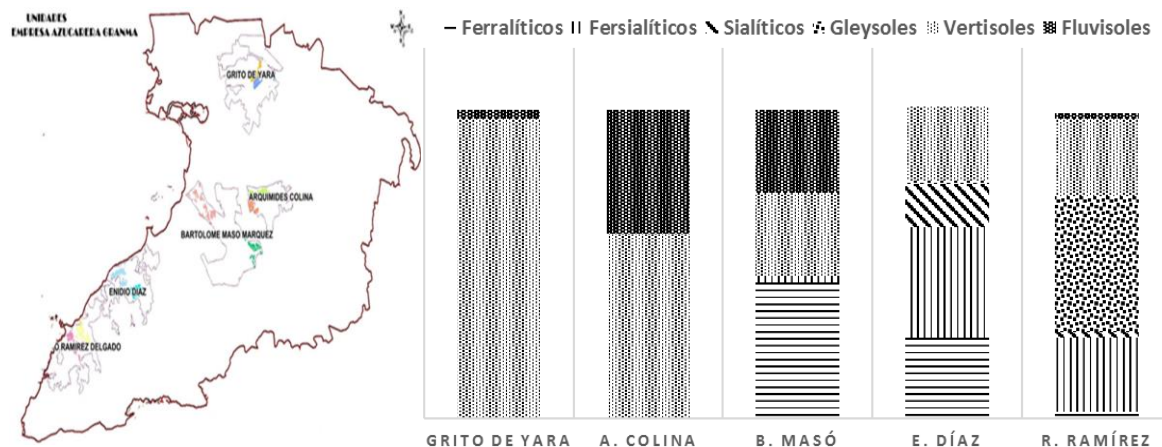


Fig. 1- Mapa de la ubicación de las industrias azucareras de la provincia Granma y los principales agrupamientos de suelos presentes en sus áreas productivas

Los principales agrupamientos de suelos productivos de las industrias azucareras en la provincia, de acuerdo con la nueva clasificación cubana ⁽²⁰⁾, poseen más del 50 % del total de tipo Vertisoles, que son los más representados en la región oriental cubana en las llanuras litorales y fluviales. Aproximadamente el 20 % son Fluvisoles que pertenecen a las industrias que se encuentran en el Valle del Cauto. En las industrias ubicadas en la zona costera del Golfo de Guacanayabo, la tipología de suelos predominantes son Fersialíticos, en la “E. Díaz” (36 %) y Gleysoles en la “R. Ramírez” (44 %). Las industrias de Granma utilizaron en el cultivo de la caña una gran diversidad de variedades de semillas, pero más del 90 % de sus áreas fueron sembradas con las mismas variedades, por lo cual deben tener poca incidencia en la composición de las cenizas. ^(15, 21)

Durante la combustión del bagazo y de la paja de la caña, se pierde casi todo el carbono y nitrógeno, con lo cual desaparece el carácter orgánico de estos materiales. La estimación del pH y el contenido de los principales nutrientes y metales pesados en las cenizas de las industrias

azucareras se exhiben en la tabla 1. Las cenizas de A. Colina resultaron prácticamente neutras, el resto son ligeramente alcalinas; estas características favorecen su uso para tratamientos de suelos ácidos.⁽¹³⁾

Tabla 1- Contenido de nutrientes, metales pesados y pH determinados en las muestras de cenizas de las empresas azucareras de Granma.

Muestras de las industrias:	pH	P mg/kg	K mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	Cr mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg
Grito de Yara	8,34	147,5	46,25	15,0	44008	16640	4900	2510
A. Colina	6,96	380,87	2625	140,4	15560	3060	1910	1420
E. Díaz	8,24	192,25	70,0	59,6	184720	35320	8630	5910
R. Ramírez	8,65	204,5	55,0	18,6	30820	11050	14550	5110
B. Masó	8,42	1056,75	1500	17,30	26090	3610	2560	4420

La tabla 1 muestra la caracterización más amplia realizada de las cenizas que generan las industrias azucareras del territorio, no se poseen reportes de estudios precedentes. El análisis comparativo de la concentración de los macronutrientes en las cenizas muestra los valores más altos para las cenizas de las industrias “A. Colina” y “B. Masó”, así como los valores más bajos de metales pesados. El mayor contenido de P y K pudiese estar asociado al mayor porcentaje de suelos de tipo fluvisoles (40 y 27 % respectivamente) que poseen las áreas productivas de estas industrias y que no poseen las industrias ubicadas en las zonas costeras de la provincia. Es significativo que las cenizas de las industrias Grito de Yara, E. Díaz y R. Ramírez poseen muy bajos contenidos de K y los más altos contenidos de metales pesados.^(16, 21)

Las cenizas contienen, además, micronutrientes como los metales Zn y Cu que son requeridos por las plantas en pequeñas cantidades, pero al igual que los macronutrientes son indispensables, pues su deficiencia ocasiona desórdenes fisiológicos en las plantas.

Las cenizas de “B. Masó” muestran el mayor contenido de P soluble en lactato encontrado, lo que tiene una importancia especial ya que es un recurso muy limitado en todo el mundo y que incide notablemente en el crecimiento de las plantas. En Cuba, los fosfatos naturales en su mayor parte, son importados para la fabricación de fertilizantes químicos o se adquieren estos mismos fertilizantes ya fabricados. El efecto fertilizante de P de las cenizas de bagazo de caña azúcar ha

sido comparable a los fertilizantes fosfatados altamente solubles, como el superfosfato triple.^(10, 15, 22)

Para evaluar el efecto de la aplicación de cenizas en el cultivo de Lechuga fueron usadas las cenizas generadas en la industria “B. Masó”, considerando además que la lechuga es una hortaliza que en su composición destaca el contenido de minerales y vitaminas, por lo que es muy exigente en potasio y es necesario equilibrar esta posible carencia al abonar el cultivo.

Tabla 2- Resultados de las variables medidas en el experimento de cultivo de Lechuga en macetas

Tratamientos	Altura del brote, (cm)	Longitud de las raíces, (cm)	Materia seca, (g)	Número de hojas	Área Foliar (cm ²)
T-1	8,20 b	2,86 b	0,28 a	4	398,17 a
T-2	8,85 a	2,95 b	0,22 b	5	393,40 a
T-3	8,88 a	3,85 a	0,30 a	5	397,40 a
T-4	5,41 c	1,87 c	0,12 c	4	287,41 b

Leyenda: T-1 y T-2 con aplicación de cenizas (9,6 y 14,4 g/kg de suelo respectivamente), T-3 con aplicación de fertilizante NPK (1,13 g /kg de suelo) y T-4, control. Diferentes letras indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$).

El experimento controlado en macetas para la evaluación del potencial fertilizante de las cenizas (tabla 2), evidenció efecto positivo de las dosis usadas de cenizas con respecto al control (T-4) en los parámetros medidos relacionados con el crecimiento de las plantas, resultado que coincide con estudios precedentes en otras especies.^(10, 17) De gran interés para este cultivo que los tratamientos de menor dosis de fertilización con cenizas (T-1) y con NPK no tengan diferencia significativa de las variables materia seca y área foliar, que, además, definen el rendimiento agrícola de la especie. Estos resultados son similares a los reportados por el estudio comparativo realizado con cenizas de madera y fertilización con NPK sobre variables de crecimiento en plantaciones de maíz.⁽¹⁴⁾

Los resultados del experimento de campo en el cultivo de lechuga, en condiciones de organopónico, se muestran en la tabla 3. La experiencia ratificó el efecto positivo sobre las variables de crecimiento de las plantas, lo que coincide con estudios realizados por otros autores y que lo relacionan con el potencial fosfórico de las cenizas.^(9, 10)

Tabla 3- Resultados de las variables medidas para el cultivo de la Lechuga en el experimento de campo, en condiciones de organopónico.

Tratamientos	Altura del brote, (cm)	Longitud de raíces, (cm)	Materia seca, (g)	Número de hojas	Área Foliar (cm ²)
T-1	9,3 a	5,95 a	0,82 a	6	706,14 a
T-2	6,0 b	5,00 b	0,55 b	6	616,96 b

Leyenda: T-1: tratamiento con aplicación de 1,06 Kg/m² cenizas y T-2: tratamiento control. Diferentes letras indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$).

Es significativo, además, el alto contenido de potasio que poseen las cenizas utilizadas en el experimento, y que incide directamente en el efecto positivo que generan en las variables estudiadas con respecto al tratamiento control.

Los resultados del análisis del suelo usado como sustrato en el experimento de campo se presentan en la tabla 4, muestran que el suelo analizado posee niveles de materia orgánica (MO) mayor de 2,8 %, que es la fuente principal de nitrógeno, aumenta la capacidad amortiguadora, y tiene gran influencia en la capacidad de intercambio catiónico del suelo, esta situación indica una gran capacidad potencial del suelo para suministrar Calcio, Magnesio y potasio a las plantas. No se generan incrementos de materia orgánica, por la casi total composición mineral de las cenizas. La aplicación de las cenizas disminuyó el pH del suelo a valor prácticamente neutro, lo que incrementa la disponibilidad de los nutrientes, favorece en especial la absorción de P y K y la actividad microbiana de los suelos.

Tabla 4- Caracterización del suelo usado en el experimento de campo antes y después de la fertilización con cenizas.

Muestras de suelos	pH	MO %	P mg/Kg	K mg/Kg	Ca mg/Kg	Mg mg/Kg	Na mg/Kg
Antes de aplicar cenizas	7,43	3,13	74,5	31,87	664,12	88,12	7,25
Después de aplicar cenizas	6,99	2,46	86,75	65,37	740,62	107,12	9,0

Leyenda: MO: materia orgánica en %.

La ceniza produjo aumentos considerables de todos los macronutrientes, similar a resultados de experimentos precedentes en cultivo de caña de azúcar. ^(3,8) El suministro de cenizas resultó en un aumento de la absorción de P en el cultivo, así como en un aumento de P disponible en el suelo.

Además, la composición química residual del suelo muestra que las cenizas, restituyen las pérdidas de los macronutrientes minerales durante el cultivo, demostrando su buen potencial fertilizante, resultado similar al reportado en estudios precedentes en Cuba de fertilización de caña de azúcar con sus propias cenizas, los autores plantean que la aplicación de las cenizas como fertilizantes minerales naturales pueden hacer perdurar su efecto en el suelo por un período de 4 o 5 años.⁽³⁾

Los estudios realizados evidencian que las cenizas de las industrias A. Colina y B. Masó poseen buenos niveles de P y K, además bajo contenido de metales pesados, por lo que pueden ser aplicadas como una valiosa vía para la reutilización de residuos de procesos agroindustriales y contribuir al desarrollo de ciclos de nutrientes en la agricultura.⁽¹⁾ La estimación del potencial de producción de cenizas para la industria “B. Masó”, tomando como base un 45,5 % de aprovechamiento de la capacidad de molienda que resulta de la media de tres de las zafras más recientes 2016-2018,⁽³⁾ permitiría la molienda de 186 204 t de caña de azúcar, generar 59 537 t de bagazo que garantiza producir una media de 1488,44 t de cenizas de gran valor como fertilizante mineral natural disponibles para su reutilización.

Conclusiones

Constituye el primer estudio de caracterización de los nutrientes de las cenizas de bagazo de caña de azúcar generadas en las cinco industrias azucareras de la provincia Granma, lo que resulta de gran utilidad para establecer la utilidad futura de las cenizas. Las cenizas de las industrias “A. Colina” y “B. Masó” de Granma, poseen un buen potencial fertilizante. Las cenizas evaluadas demostraron efecto positivo en los parámetros de crecimiento y rendimiento agrícola de las plantas (*Lactuca sativa L.*) cultivadas en condiciones controladas y en condiciones de organopónico. La composición de macronutrientes de estas cenizas, en especial el potencial fosfórico y su alta disponibilidad en el territorio favorece su reutilización para la nutrición de los cultivos, implementar ciclo de nutrientes en la agricultura y su aplicación constituye una alternativa ecológica y práctica a considerar en el control de la degradación de los suelos y el ahorro de fertilizantes minerales.

Referencias bibliográficas

1. LÓPEZ, R., PADILLA, E., BACHMANN, S., EICHLER-LÖBERMANN, B. “Effects of Biomass Ashes on Plant Nutrition in Tropical and Temperate Regions”, *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. 2009, **110**, (1), 51-60. ISSN 2363-6033.
2. LAUREIRO SALABARRÍA, J A., VERA CABEZAS, M. “Metodología de producción más limpia en la industria azucarera”. *Centro Azúcar*. 2009, **36**(2): 50-54. ISSN: 0253-5777
3. DÍAZ, B. *et al.* “La aplicación de fertilizantes orgánicos y minerales naturales en el cultivo de la caña de azúcar (parte II): efecto a largo plazo sobre el rendimiento y la calidad del suelo”, *Centro Azúcar*. 2010, **37** (1), 35-42. ISSN: 0253-5777
4. ALEGRE, J.; GARCÍA, S.; VEGA, R.; ARÉVALO, Y. Manual de reciclaje de nutrientes en sistemas agroforestales. [en línea] [10.03.2015]. Disponible en.
<https://www.researchgate.net/publication/323839692>
5. ACEVEDO, I., SÁNCHEZ, A., MENDOZA, B. “Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. II. Calidad del suelo. *Bioagro*, 2021. **33**(2): 127-134. ISSN 1316-3361
6. ANDRADE LINAREZ, K., CASTILLO COAQUIRA, I., ROSSEL BERNEDO, L. “Quality of Agricultural Soils in the Interior Bay of Puno, Peru–2018”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2020, **29**(2): 42-52, ISSN -1010-2760.
7. BASANTA, R.; GARCÍA DELGADO, M. A.; CERVANTES MARTÍNEZ, J. E.; MATA VÁZQUEZ, H.; BUSTOS VÁZQUEZ, G. Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 2007, **5**(4), 293-305. ISSN 1135-8122.
8. VIDAURRE FOX, M. “Efecto de la aplicación de ceniza y otras prácticas alternativas a la fertilización química en la caña de azúcar y en la fertilidad de los suelos Ferralíticos Rojos”. Tesis presentada en opción al grado científico de Máster en Ciencias Agrícolas. UCLV. 2011. 50 p. Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/2304>.

9. FÜZESI, I., HEIL, B., KOVÁCS, G. “Effects of Wood Ash on the Chemical Properties of Soil and Crop Vitality in Small Plot Experiments”. *Acta Silv. Lign. Hung.* 2015, **11**(1): 55–64. ISSN: 0717-3644
10. SCHIEMENZ, K.; EICHLER-LÖBERMANN, B. “Biomass ashes and their phosphorus fertilizing effect on different crops”, *Nutr Cycl Agroecosyst.* 2010, **87**, 471–482. ISSN 1385-1314
11. WIKLUND, J. “Effects of wood ash on soil fertility and plant performance in southwestern Kenya” Master’s Thesis in Soil Science. Agriculture Programme – Soil and Plant Sciences. Swedish University of Agricultural Sciences. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Department of Soil and Environment. Upsala, 2017. Disponible en: <http://core.ac.uk/download/pdf/211580566.pdf>
12. PINTO-GOMES, D., FONSECA DE CARVALHO, D., FERREIRA PINTO M., CUNHA VALENÇA, D., OLIVEIRA MEDICI, L. “Growth and production of tomato fertilized with ash and castor cake and under varying water depths, cultivated in organic potponics”, *Acta Scientiarum Agronomy.* 2017, **39**(2):201-209. ISSN: 1807-8621.
13. SOLLA-GULLÓN, F., RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R., MERINO, A. “Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio”. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 2001, **16** (3): 379-393. ISSN 0211-4682.
14. ADEKAYODE, F. O., M. R. OLOJUGBA. “The utilization of wood ash as manure to reduce the use of mineral fertilizer for improved performance of maize (*Zea mays* L.) as measured in the chlorophyll content and grain yield”. *Journal of Soil Science and Environmental Management.* 2010, **1**(3): 40-45. ISSN 2141-2391.
15. EICHLER-LÖBERMANN, B., SCHIEMENZ, K., MAKADI, M., VAGO, I., KÖPPEN, D. “Nutrient cycling by using residues of bioenergy production - II Effects of biomass ashes on plant and soil parameters”. *Cereal Res Comm.* 2008, **36**:1259–1262. ISSN: 1788-9170.
16. DÍAZ, J. M. *et al.* “Empleo de ceniza de bagazo de caña como un material adsorbente de bajo de costo en la eliminación de iones Ni (II)”. *Revista Centro Azúcar*, **40**: 62-70. ISSN: 2223-4861.
17. AGUILERA GARCÉS, I., SOSA SÁNCHEZ, O., MACÍAS NÚÑEZ, E.F. “Efecto de la ceniza procedente de la industria azucarera en los primeros estadios del crecimiento de diez variedades de arroz (*Oryza Sativa* L.)”. *REDEL.* 2020, **16**. ISSN: 2074-0735

18. PAGE, A. L., MILLER, R. H., KEENEY, D. R. *Methods of soils analyses. Chemical and microbiological properties*. 2nd edn. Madison, WL. USA, 1982. Disponible en:
[https:// www.waterboards.ca.gov](https://www.waterboards.ca.gov).
19. C. ZHANG. *Fundamentals of environmental sampling and analysis*, John Wiley & Sons, Hoboken, USA, 2007. ISBN-10. 0471710970.
20. HERNÁNDEZ, J. A., PÉREZ, J. J., BOSCH, I. D., CASTRO, S. N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. 1ra Ed. San José de las Lajas: Ediciones INCA. Cuba, 2015. ISBN: 978-959-7023-77-7.
21. GONZÁLEZ, R. M. “Variedades de caña de azúcar cultivadas en Cuba. Cronología, legislación metodológica y conceptos relacionados”. 1ra Ed. La Habana: Editorial ICIDCA, Imprenta MINAZ, Cuba, 2019. 216 p.
22. SCHIEMENZ, K., KERN, J., PAULSEN, H., BACHMANN, S., EICHLER-LÖBERMANN, B. “Phosphorus Fertilizing Effects of Biomass Ashes”. En: Knapp B. A. *Recycling of Biomass Ashes*. 1st edn. Hardcover: H. Insam, 2011. ISBN: 978-3-642-19353-8

Conflicto de interés

Los autores expresan que no hay conflictos de intereses en el manuscrito presentado del artículo.

Contribución de los autores

Dr. C. Quirino Arias Cedeño: concepción teórica y metodológica de la investigación. Análisis e interpretación de los resultados. Escritura. Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.

Dr. C. Raúl López Sánchez: análisis e interpretación de los resultados. Participación activa en la discusión de los resultados. Escritura.

Ing. Luis Ricardo Sainz Rosales: obtención de datos experimentales, análisis e interpretación de resultados

Ing. María Virginia Verdecia Casanova: obtención de datos experimentales, interpretación de resultados

Dr. C Bettina Eichler-Löbermann: concepción teórica y metodológica de la investigación.
Discusión de los resultados.