

OPCIONES DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA PARA MEJORAR LA FERTILIDAD DEL SUELO Y AUMENTAR LOS RENDIMIENTOS DE LOS CULTIVOS

Por M. Sc. Teresa Fraser Galvez*, M. Sc. José Luis Fuente Arzola **, M. Sc. Clara García Ramos***, Ing. Francisco Martínez Rodríguez**** y M. Sc. Clara María John Louis****

*Instituto de Suelos (IS), Cuba.
E-mail: teresa.fraser@isuelos.cu
<https://orcid.org/0000-0003-0358-1886>

**Instituto de Investigaciones Porcinas (IIP), Cuba.
E-mail: jlfuente@iip.co.cu
Investigador independiente

***Instituto de Suelos (IS), Cuba.
E-mail: claragarcia74@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-8596-4119>

****Investigador Auxiliar, GEODESA-GEOCUBA. División de Estudios Medio Ambientales (DEMA), Minfar.
E-mail: johnclaramaria@gmail.com
Investigador independiente

*****Instituto de Suelos (IS), Cuba.
E-mail: fmartinez@isuelos.cu
<https://orcid.org/0009-0004-9457-4933>

Resumen

Se emplearon como opciones de fertilización orgánica el efluente líquido resultante del proceso de biodigestión anaerobia y la fertilización organomineral. Se determinaron las características microbiológicas (Coliformes totales, *Echerichia coli*, *Salmonella* sp) del primero y se aplicó en diferentes dosificaciones en condiciones de campo a los 15 días después de plantados los cultivos de habichuela, cebolla y ajo; el segundo se empleó en una fórmula organomineral que se comparó con la fórmula completa en el cultivo de boniato var. INIVIT B-2 2005. Los resultados mostraron las dosis adecuadas para aplicar el efluente líquido en la habichuela, cebolla y ajo, para favorecer su desarrollo; así como las fórmulas apropiadas de fertilización organomineral en el cultivo del boniato, para mejorar su rendimiento y las propiedades químicas y biológicas del suelo. De este modo se mejora la producción, disminuyen las afectaciones de los cultivos y se reducen las importaciones de fertilizantes químicos.

Palabras clave: efluentes, dosis, cultivo, organomineral.

ORGANIC FERTILISATION OPTIONS TO IMPROVE SOIL FERTILITY AND INCREASE CROP YIELDS

Abstract

Liquid effluent from the anaerobic biodigestion process and organo-mineral fertilisation were used as organic fertilisation options. The microbiological characteristics (total coliforms, *E. coli*, *Salmonella* sp) of the former were determined and it was applied in different dosages in field conditions 15 days after planting the bean, onion and garlic crops; the latter was used in an organo-mineral formulation which was compared with the complete formulation in the sweet potato crop var. INIVIT B-2 2005. The results showed the appropriate doses to apply the liquid effluent on bean, onion and garlic, to favour their development; as well as the appropriate organo-mineral fertilisation formulas on sweet potato crop, to improve its yield and the chemical and biological properties of the soil. This will improve production, reduce crop damage and reduce imports of chemical fertilisers.

Keywords: *effluent, dosage, crop, organo-mineral.*

I. Introducción

El uso de los efluentes como fertilizantes es en la actualidad una aspiración y dista de ser una realidad en la práctica productiva cubana, aunque se reportan investigaciones puntuales en este campo, como las efectuadas por Robles (2008). En su reporte expresa que el bioabono o bioles es un producto muy importante, desde el punto de vista económico y ambiental (efluente líquido del biodigestor conocido como biol, químicamente formado, en su mayoría, por nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) presentes en el material a fermentar, que no se pierde durante el proceso fermentativo).

Ponce (2007) describe que en Cuba se han aplicado lodos anaerobios como bioabono y se observa que esta acción estimula la germinación y el crecimiento de las plantas, además incrementa los rendimientos en los cultivos de pepino, remolacha y habichuela (en condiciones de organopónico, sobre un sustrato formado por un 75 % de lodo y 25 % de suelo). A dicha materia orgánica es factible proporcionarle mejoras por diferentes vías, tales como el compostaje aeróbico o la lombricultura.

Es más común que las plantas agrícolas de biogás utilizan, principalmente, lodo líquido proveniente de excretas de ganado, cerdos y guano de aves de engorde, y menos común el uso de fertilizantes agrícolas resultantes de deposiciones procedentes de granjas con gallinas ponedoras, debido a sus altos concentrados de amoníaco y residuos de la alimentación suplementaria con calcio.

Además, las reglas sobre remuneración, estipuladas en la Ley de Fuentes de Energía Renovable (EEG, 2008), inciden en que solo algunos operadores de plantas continúen concentrándose en el uso de cultivos energéticos, independientemente de los efectos positivos de la digestión del fertilizante agrícola sobre las propiedades del digestato, tales como: menores emisiones de olores por la degradación de compuestos orgánicos volátiles, mejor eficiencia del nitrógeno a corto plazo a través de una mayor concentración de nitrógeno de acción rápida, muerte o desactivación de

semillas de hierbas y gérmenes (patógenos humanos, zoonosos y fitopatógenos).

Entre los impactos ambientales de esta producción, referidos por Francesena (2016), se citan: contaminación del aire, pérdida de la biodiversidad de especies y contaminación del agua (por vertimientos directos, sin tratamiento adecuado, a cuerpos receptores de cuencas de ríos y presas utilizadas para regadíos o el consumo).

Las emisiones más importantes son las relacionadas con el nitrógeno (N) y el fósforo (P) que fomentan, especialmente, los fenómenos de eutrofización o enriquecimiento de nutrientes en el agua (el aumento de compuestos nitrogenados y fosfóricos provoca un crecimiento acelerado de algas o plantas acuáticas, lo que causa trastornos negativos en el equilibrio de las poblaciones biológicas en el medio acuático y en la calidad del agua), así como acidificación de suelos y aguas (la reacción ácida de compuestos producen variaciones del pH que afectan al ecosistema en general).

La caracterización físico-química y microbiología de los efluentes ha demostrado que su carga microbiana limita su uso como biofertilizantes, para este caso precisan postratamiento (Martínez *et al.*, 2015) y la comprobación de su inocuidad por el cumplimiento de las normas cubanas [NC-27:2012, NC-1095: 2015] (Sosa, 2015), de modo que no sean vertidos indiscriminadamente al medioambiente. Por el contrario, poseen amplias potencialidades para producir biogás con fines energéticos, en especial, los resultantes de estiércoles porcinos, en los que el metano supera el 70 %.

A su empleo como biofertilizante se dedica este estudio que contempla un experimento de campo en que se aplica efluente líquido en diferentes proporciones a cultivos de habichuela, ajo, cebolla y boniato para comprobar los niveles de calidad y cantidad de las producciones resultantes.

II. Materiales y métodos

Los trabajos experimentales se ejecutaron en el organopónico La Vereda, en La Lisa, La Habana, en canteros de

20m de largo por 2m de ancho; se aplicó el efluente líquido procedente de la planta de biogás porcina ubicada en Punta Brava, La Lisa, a razón de 3L.m², 5L.m² y 8L.m² a los 15 días después de plantados los cultivos de: habichuela (*Phaseolus vulgaris*), cebolla (*Allium cepa*, L), ajo (*Allium sativus*, L). Al efluente se le realizó el análisis microbiológico.

En la Fregat 1 en Río Seco, perteneciente a la granja Güines, provincia Mayabeque, se efectuó el ensayo con el cultivo del boniato (*Ipomea batata*, L) var. INIVITB-2 2005, a partir de la aplicación de la fórmula organomineral 15-5-5 % NPK + 70% humus de lombriz+5% zeolita y la fórmula completa (FC) 9-13-17(NPK), en un suelo ferralítico rojo compactado, según la Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 1999). Los principales índices que caracterizaron el suelo del sitio experimental al inicio del experimento se exponen en la tabla 1.

En el diseño experimental se empleó el bloque al azar, con 4 réplicas. Se aplicó análisis estadístico a todas las variantes, mediante el programa estadístico MSTAT-C y la comparación de medias entre las variantes, empleando la prueba de rangos múltiples de Duncan, al 5 % de significación (Duncan, 1954).

Los parámetros de rendimiento que se midieron en este estudio fueron:

- habichuela: números y peso de vainas, rend.t.ha⁻¹,
- ajo y cebolla: rend.t.ha⁻¹,
- boniato: peso de tubérculos grande y mediano, kg, rend.t.ha⁻¹.

III Resultados y discusión

Al caracterizar el efluente líquido antes de su aplicación se observó (ver tabla 2) que el efluente estuvo constituido, mayormente, por materia orgánica oxidable, Ca, N y P, y condicionado por una alta carga orgánica presente en las excretas en relación directa con la base alimentaria. Es destacable que, comparando el efluente con los abonos orgánicos más utilizados en la agricultura, los niveles de potasio detectados fueron bajos, debido a que este elemento es muy soluble en agua y gran parte se pierde una vez depurado el líquido, fenómeno que fue descrito anteriormente por Soliva (2000) y Shober *et al.* (2003).

La relación C/N del efluente se encuentra dentro del rango informado por Shorber *et al.* (2003) para los abonos orgánicos más utilizados en la agricultura y fue similar al detectado en el humus de lombriz, el cual varía 10/1-13/1. Esta baja relación indica que la materia orgánica presente en el efluente es un material estabilizado y con nivel avanzado de mineralización, lo que evidencia que este residuo es una fuente potencial de nutrientes.

El pH mostró valores neutros, lo que provoca que los macronutrientes tengan alta movilidad en el suelo y una mayor tasa de asimilación por las plantas; mientras que la absorción de los metales pesados por estas se ve limitada, de esta manera se evita que absorban niveles extremadamente excesivos o tóxicos de estos elementos, fenómeno que suele ocurrir en plantas desarrolladas en sustratos con pH ácido como ha sido informado por Matolva *et al.* (1989).

Los niveles de conductividad eléctrica son aceptables para este tipo de residuo, por lo que la incorporación de este efluente al suelo, no debe influir en el poder de infiltración de las sales ni obstaculizará la absorción del agua u otros iones que incidirán directamente en las plantas o cultivos (Seoáñez, 2000). Los contenidos de metales pesados se encuentran dentro de los límites permisibles, según Rosal (2007).

Los resultados de la aplicación de los efluentes en condiciones de organopónicos con la asociación de diferentes cultivos se exponen en la tabla 3, en que se muestra la efectividad de este producto orgánico sobre los rendimientos.

Tabla 3. Rendimientos promedios de los cultivos

Tratamientos	No de vaina	Habichuela kg-1	Cebolla kg-1	Ajo kg-1
Testigo absol.	222	1.11b	1.22b	0.64b
3L.m ²	226	1.61a	2.16a	0.70b
5L.m ²	214	1.04b	2.14a	1.01a
8L.m ²	210	1.09b	1.62b	0.62b
CV%	23.92	20.12	14.39	13.28

Letras distintas difieren significativamente para p < 0,05 según la prueba de rangos múltiples de Duncan.

Tabla1. Principales características del suelo ferralítico rojo al inicio del experimento

Prof. Cm	pH		Cmol (+)kg ⁻¹		%		mg.kg ⁻¹			Arc <0,01	D.A g/cm ³
	H ₂ O	KCl	S	T	M.O	Nt	N-hidro	P	K		
0-15	7,00	6,30	16,35	18,22	2,13	0,132	65,18	217,57	245,21	74,14	1,10
15-30	7,10	6,50	12,43	14,25	1,88	0,129	55,84	66,37	146,80	78,10	1,28

Tabla 2. Caracterización química del efluente sólido

Muestra	%								ms/cm	
	M.O	Ca	N	P	Mg	K	C/N	pH	CE	
Pedro Pi	48	8.5	2.3	1.6	1.3	0.9	13/1	7.3	1.2	
Metales pesados (mg kg ⁻¹ base seca)										
	Cd	Cr	Cu	Co	Ni	Pb	Zn	Mn		
	0.60	7.21	4.20	0.30	0.80	20.9	13.4	23.7		

En el caso de la habichuela se observa que los mayores números de vainas se obtuvieron con la aplicación de 3 L.m², este resultado está correlacionado con el peso, aunque con este hubo diferencias entre el testigo y el resto de las dosis.

El rendimiento de la cebolla se manifestó de forma diferente: los mayores pesos se obtuvieron con 3 L.m² y 5 L.m² y el ajo con 5 L.m², los que difirieron del resto de los tratamientos estudiados.

Este resultado indica que es factible el uso de los efluentes de la planta de biogás como una alternativa de la fertilización orgánica en cultivos de ciclo corto en que no se empleó ningún otro tipo de fertilización; condición que, en próximos ensayos, se tendrá en cuenta para nuevas formulaciones con el efluente y su aplicación en organopónicos.

La fertilización orgánica es una alternativa a la fertilización mineral, la cual ofrece ventajas en el rendimiento debido a la mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo, como N, P, K, Ca, Mg y C orgánico (Agbede, 2011; Rós *et al.*, 2014). Además de estas cualidades, que son esenciales para la siembra, la aplicación de fertilizantes orgánicos ha producido un aumento de la calidad nutricional de los camotes, como lo informan (Atuna *et al.*, 2018).

En el caso de estos últimos, con la aplicación de la fertilización organomineral (tabla 4), se observó que el empleo de abonos orgánicos se condiciona un lecho favorable para el desarrollo de la tuberización y la mejora de la fertilidad del suelo. Este efecto favoreció un incremento en los parámetros de rendimientos, dígame la producción de los tubérculos grandes y medianos, los que difirieron de los obtenidos con la FC (tabla 4). Este resultado puede estar influenciado por el efecto mejorador producido por la actividad microbiológica del humus y el suelo (Estos valores fueron obtenidos a partir de la comparación de siete fórmulas organominerales).

Tabla 4. Efecto de la fertilización organomineral en el cultivo del boniato

Formulaciones	Peso tubérculos grande(kg)	Peso tubérculos mediano(kg)	Peso tubérculos grande+mediano (kg)	Rend. t.ha ⁻¹
NPK(9-13-17)	2,65 b	0,44 b	3,09 b	25,0 b
15-5-5 % NPK +70% HL+5% Zeolita	3,44 a	0,87 a	4,31 a	35,0 a
C.V (%)	16,86	15,81	12,26	12,48

*Letras distintas difieren significativamente para p <0,05 según la prueba de rangos múltiples de Duncan.

Estos resultados muestran que la fertilización organomineral utilizada, independientemente de las formulaciones, en comparación con la ausencia de fertilización orgánica, promueve porcentajes más altos de rendimiento comercial. Por consiguiente, la fertilización orgánica causó un mayor rendimiento de los tubérculos de boniatos.

Autores como Da Silva *et al.* (2021), Rodríguez *et al.* (2015), Morales (2014), Rodríguez *et al.* (2018) y Osorio (2018) cuando evaluaron diferentes alternativas orgánicas de nutrición en boniato, obtuvieron un mayor efecto sobre el número de raíces comerciales que el testigo con diferencias estadísticas significativas respecto a él, lo cual refuerza la importancia de la fertilización orgánica para el boniato.

Similares resultados fueron obtenidos por Osorio (2018) para los microorganismos eficientes (ME), en cuanto a la influencia de los microorganismos en los diferentes tratamientos, pues provocan un mayor crecimiento y desarrollo de las plantas y, en correspondencia, una mayor productividad, comprobada al evaluar el efecto de la combinación de micorrizas y ME en el cultivo del boniato.

IV. Conclusiones

La aplicación de efluente como enmienda orgánica incidió positivamente en el comportamiento de los indicadores químicos del suelo y contribuyó de manera favorable en la productividad agrícola del cultivo del ajo, habichuela y cebolla.

Con el biofertilizantes producido por los biodigestores puede alcanzarse considerable ahorro en fertilizantes comerciales, mejora de la calidad del suelo, aumento de la productividad y reducción de costos de producción.

La fertilización organomineral es un producto efectivo en la producción de viandas, fundamentalmente el boniato, pues favorece la producción del tubérculo y el incremento de su rendimiento.

Entre las formulaciones, la combinación del humus de lombriz con Zeolita tuvo un marcado efecto en la disponibilidad de los nutrientes del suelo y su absorción por las plantas.

V. Referencias bibliográficas

- Agbede, T. M. & Adekiya, A. O. (2011). Evaluation of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) performance and soil properties under tillage methods and poultry manure levels. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 23 (2), 164-177. DOI: 10.9755/ejfa.v23i2.6454 [Links]
- Atuna, R. A.; Aduguba, W. O.; Alhassan, A. R.; Abukari, I. A.; Mu-zhingi, T.; Mbongo, D., & Amagloh, F. K. (2018). Post-harvest quality of two orange-fleshed sweet potato [*Ipomoea batatas* (L) Lam] cultivars as influenced by organic soil amendment treatments. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 8(6), 3-8. DOI: 10.4172/2155-9600.1000691 [Links]
- Dias, E. da Silva; López Monteiro Neto, J. L.; Dresch, B. L.; Rodrigues R.; Araujo, Wellington, F.; Chagas, E. ... Abanto Rodríguez, C. (2021). Fertilización orgánica para introducir el cultivo de camote (*Ipomoea batatas* L.) en suelos de la sabana. *Chapingo Ser.Hortic*, 27(1). <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2020.05.011>
- Duncan, D. (1955). Multiple range and multiple F-Tests. *Biometrics*, (11), 1-42. <http://dx.doi.org/10.2307/3001478>
- EEG. (2008). *Ley sobre el otorgamiento de prioridad a fuentes de energía renovable* (Ley de Fuentes de Energía Renovable-EEG). 25 de octubre de 2008, Diario Oficial de Leyes Federales I: 2074. Alemania
- Francesena, Y. (2016). *Impacto ambiental provocado por efluentes de instalaciones de biogás de pequeña y mediana escala en las provincias de la región central de Cuba*. (Trabajo

- de diploma en opción al título de Ingeniero agrícola). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2016. 50 p.
- Instituto de Suelos. (1999). Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba AGRINFOR, MINAGRI, Ciudad de La Habana. 64 p.
- Martínez, R, A; Solís, Bauta; A. J. Cisneros Díaz & J. R, Velázquez Morales. (2015). *Determinación del crecimiento óptimo de trasplante en el cultivo de la remolacha (Beta Vulgaris L.)*. *Ciencia Holguín*. Octubre-diciembre.
- Matolva, E.; Vitti, G.C. & de Oliveir, S.A. (1989). *Avalicao do estado nutricional das plantas: principios y aplicacoes*. Piracicaba: Associacao brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, p. 201
- Morales, A.T. (2014). *Mejoramiento Genético del Boniato (Ipomoea batatas L. Lam.) en Cuba*. Curso Internacional en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://cadenahortofruticola.org/admin/bibli/916Mejoramiento-genetico-COL.pdf>
- NC-27 (2012). *Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones*. Oficina Nacional de Normalización (ONN). NC 27:2012. La Habana, Cuba.
- NC-1095 (2015). *Microbiología del agua. Detección y enumeración de coliformes. Técnicas del número más probable (NMP)*. Oficina Nacional de Normalización (ONN). La Habana. Cuba. 23 p.
- Osorio, J. (2018). Respuesta productiva dl cultivo del bonito (Ipomoea batata L.) al empleo de Microorganismo eficientes y Micorrizas bajo las condiciones edafoclimáticas de la Empresa Agropecuaria Imías. *Ojeando la agenda*, (56). <https://ojeandolaagenda.com/2018/11/28/respuesta-productiva-del-cultivo-del-boniato-ipomoea-batata-l-al-empleo-de-microorganismos-eficientes-y-micorrizas-bajo-las-condiciones-edafoclimaticas-de-la-empresa-agropecuaria-imias/>
- Ponce, Y. R. Z. (2007). *Implantación de una tecnología sostenible de producción de biogás en la comunidad rural "El Caney de las Mercedes", en Cuba*. Tesis (en opción al grado científico de Doctor). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid
- Robles, S. A. & Jansen, A. (2008). *Estudio sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso "Fermentación anaeróbica" para producción de biogás*. German ProfEC GmbH y German ProfEC-Perú SAC. Reporte No.BM-4-00-1108-1239. Alemania. 10 p.
- Rós, A. B.; Narita, N. & Hirata, A. C. (2014). Produtividade de bata-doce e propriedades físicas e química de solo em função da adubação orgânica mineral. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(1), 205-214. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n1p205 [Links]
- Rodríguez de Sol, D.; Morales Tejón, A.; Morales Rodríguez, A. (2015). Evaluación de ocho nuevos clones de boniato (Ipomoea batatas(L) Lam.) *Agrisost* 21, (3). <http://www.agrisost.reduc.edu.cu>
- Rodríguez de Sol, D.; Morales Tejón, A.; Morales Rodríguez, A. & Rodríguez Morales, S. J. (2018). 'INIVIT B-27-2017', nuevo cultivar de boniato (Ipomoea batatas (L.) lam.) biofortificado rico en vitamina A. *Cultivos Tropicales*, 39 (2), 109. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1454>
- Rosal, A. (2007). La incidencia de metales pesados en compost de residuos sólidos Urbanos y en su uso agronómico en España. *Información Tecnológica* (15), 75-82
- Seoáñez, C. M. (2000). *Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos*. Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa
- Shorber, A., Stehouwer, R.C. & Macneal, K. (2003). Eon. Farm assessment of biosolid effects on soil and crop tissue quality. *Journal of Enviromentquality*, 32(5), 1873-1880
- Soliva, M. (2006). *Aplicación de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbana en la agricultura*. IQPC. En: Fórum Internacional sobre tratamiento de lodos de depuradoras. Su minimización, valorización y destino final. Madrid, p. 21.
- Sosa, C.M. (2015). *Parámetros de control y monitoreo del proceso en digestores anaerobios de pequeña escala y diferentes tecnologías*. (Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Agrícola). Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, 80 p.

Conflicto de intereses: Los autores no declaran conflicto de intereses vinculados con la investigación presentada.

Contribución de autores

Conceptualización (ideas, formulación de los objetivos): Teresa Fraser Gálvez, José Luis Fuente Arzola, Clara García Ramos, Francisco Martínez Rodríguez y Clara María John Louis

Curación de datos (actividad de gestión para depurar y mantener los datos): Teresa Fraser Gálvez, José Luis Fuente Arzola, Clara García Ramos, Francisco Martínez Rodríguez y Clara María John Louis.

Análisis formal (aplicación de métodos estadísticos para evaluar los datos): Teresa Fraser Gálvez, Clara García Ramos, Francisco Martínez Rodríguez.

Investigación (ejecución de los experimentos, recolección de datos y evidencias): Teresa Fraser Gálvez, José Luis Fuente Arzola, Clara García Ramos, Francisco Martínez Rodríguez y Clara María John Louis.

Metodología (desarrollo de las metodologías empleadas en la investigación): Teresa Fraser Gálvez, José Luis Fuente Arzola, Clara García Ramos, Francisco Martínez Rodríguez y Clara María John Louis.

Supervisión (responsabilidad y liderazgo en la planificación y ejecución de las actividades): Teresa Fraser Gálvez, Clara María John Louis.

Redacción y revisión y edición (preparación y creación y presentación revisión crítica de las etapas previas a la publicación): Teresa Fraser Gálvez, José Luis Fuente Arzola, Clara García Ramos, Francisco Martínez Rodríguez y Clara María John Louis.

Recibido: 20 de junio de 2024

Aceptado: 5 de julio de 2024