

# Efecto físico-químico que ejerce la fuente de energía de soluciones nutritivas sobre el biochar enriquecido

Alejandro Pedroso-Reynaldo y Gertrudis Pentón-Fernández

*Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior  
Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba  
[alejandro.pedroso@ihatuey.cu](mailto:alejandro.pedroso@ihatuey.cu)*

## Resumen

Se realizaron ensayos en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes *Indio Hatuey*, con el objetivo de caracterizar físico-químicamente distintos fermentados lácticos para la activación de biochar y dilucidar entre el bagazo, la caña de azúcar y la melaza de caña de azúcar cual constituye la mejor fuente de energía desde el punto de vista químico y económico. Se evaluaron las combinaciones: lactofermentado de moringa-bagazo de caña de azúcar (LF-A(MB)), moringa-caña de azúcar (LF-B(MC)) y moringa-melaza de caña de azúcar (LF-C(MM)). Además, se evaluaron los biochar activados en los respectivos lactofermentados. El diseño experimental fue totalmente aleatorizado con hasta 6 réplicas por tratamiento y 3 réplicas en el tiempo. Se midieron las variables pH, Redox, Conductividad Eléctrica y Temperatura. Este estudio mostró que los lactofermentados de moringa con bagazo y con caña de azúcar, presentan cualidades positivas para su uso como fertilizantes en términos de potencial redox para suelos con moderadamente reducidos. Así como también mostraron capacidad para disminuir el pH del biochar hasta valores cercanos a la neutralidad. Por otra parte, el lactofermentado de moringa con melaza resulta favorable para su uso como fertilizante, pero en términos de conductividad eléctrica, pH y temperatura; la considerable disminución por parte del mismo del pH del biochar lo convierte en una enmienda adecuada para suelos con levada basicidad. Se optó por utilizar como fuente de energía al bagazo de caña de azúcar por los buenos resultados obtenidos y por su factibilidad económica y de obtención.

Palabras clave: *lactofermentado, enriquecido, propiedades físico- químicas, biochar.*

## Introducción

La pérdida de la fertilidad y la degradación de los suelos en muchos países del mundo, en especial América Latina, es un fenómeno que se ha venido agravando bajo la influencia del cambio climático que afecta la producción de alimentos y la disponibilidad de agua, ya sea deficiencia o exceso, a causa de sequías extremas o lluvias torrenciales, o por temperaturas muy altas o muy bajas. Gestionar de manera sustentable el suelo y los cultivos que tienen lugar en el mismo, contribuiría a la recuperación y la fertilidad que se ha perdido en este componente fundamental del agroecosistema (Funes y Monzote,

2001; Sánchez *et al.*, 2011). El desarrollo de tecnologías eficientes que reciclen nutrientes y carbono a partir de biomasa para fertilización orgánica en la agricultura ha surgido como parte de las respuestas que se han dado a esta problemática de nivel internacional; a pesar de todo, desarrollar estas tecnologías, sigue constituyendo un reto en la actualidad para científicos, tecnólogos y agroecólogos de muchos países en el mundo.

A pesar del enfoque cada vez más holístico que se promueve en sector agropecuario cubano; el cual incluye entre sus aristas más importantes, la fertilización orgánica con compostaje, abono verde, y biofertilizantes basados en microorganismos (Febles-González *et al.*, 2011; Spoor, & Thiemann, 2016), Cuba no escapa de esa realidad, pues el reemplazo de fertilizantes sintéticos por orgánicos aún es insuficiente.

El reciclaje de los nutrientes minerales por medio de la tecnología del biochar y los efectos positivos que este ejerce para contrarrestar la degradación del suelo, ayudar a recuperar su fertilidad y secuestrar carbono, puede convertirse es una gran oportunidad en Cuba para aumentar la implementación agricultura orgánica y la independencia de costosas importaciones de agroquímicos.

El biochar se produce por tratamiento térmico a temperaturas entre 350 y 900° C, en atmósfera deficiente de oxígeno (pirólisis) a partir de biomasa obtenida de forma sostenible (EBC, 2012; Schmidt, 2015; Fang, *et al.*, 2014); es decir, biomasa leñosa generada como residuo orgánico en la actividad agropecuaria y forestal. Es un material altamente poroso casi recalcitrante a la degradación (Lehmann, J. & Joseph, 2015), tiene una alta capacidad de retención de agua de hasta seis veces su propio peso (Gurwick, 2013; Schmidt, *et al.*, 2015), es altamente adsorbente para un gran espectro de compuestos polares y no polares (Fang, 2014), y tiene una alta capacidad redox (Joseph *et al.*, 2015).

Estas propiedades lo convierten en un material valioso para optimizar procesos bioquímicos en la agricultura como compostaje, fermentación, digestión y almacenamiento de productos perecederos (Kammann, *et al.*, 2016); contribuir a la captura de carbono en el suelo, conseguir una reducción significativa de gases con efecto invernadero, mejorar de la calidad del agua (Lehmann & Joseph, 2015; Gurwick, *et al.*, 2013).

Uno de los procesos más importantes empleados en la agricultura es la fermentación anaeróbica, proceso de 4 etapas: hidrólisis, etapa acidogénica, etapa acetogénica y etapa metanogénica; en este la materia orgánica es catabolizada en ausencia de un aceptor de electrones externo mediante microorganismos anaeróbicos estrictos o facultativos a través de reacciones de oxidación-reducción bajo condiciones de oscuridad (Varnero, 2011). El producto generado durante el proceso acepta los electrones liberados durante la descomposición de la materia orgánica. Dentro de esta fermentación destaca la fermentación láctica, proceso que transcurre en el citosol de la célula en el cual se oxida la glucosa para rendir energía

y ácido láctico. En este proceso se ven involucrada especies bacterianas anaerobias estrictas y facultativas, dentro de las que se destacan *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Propioni-bacterium*, *Clostridium*, *Paenibacillus* etc., y que rinden productos como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga que al ser metabolizados por las bacterias acidogénicas dan lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono (Archer *et al.*, 1986; Brock *et al.*, 1994). El ácido láctico obtenido es de gran valor para conservar los productos químicos que se obtienen en la fermentación y las propiedades de los mismos. Los productos que rinde la fermentación varían atendiendo al tipo de biomasa empleada y al suministro energético que se les brinde a las bacterias del medio para su crecimiento y proliferación, ya que las propiedades químicas de cada uno difieren entre sí (Varnero, 2011).

Estos fermentados le confieren una ventaja adicional al biochar, ya que debido a las propiedades físico-químicas del mismo le dan la capacidad de obtener un revestimiento orgánico que contribuye a enriquecerlo con los productos obtenidos en la fermentación y favorece así la biodistribución de estos nutrientes esenciales en el suelo.

Sobre todo, en la agronomía, el potencial redox recibe una baja atención, dándole mayor valor a variables como el pH, aun sabiendo que los procesos de oxidación-reducción y ácido-base son esenciales para el mantenimiento de la vida de todos los organismos. Basado en esto, este trabajo está enfocado desde el punto de vista físico-químico analizando variables como temperatura, pH, potencial redox y conductividad eléctrica, las que juegan un papel primordial en la interacción suelo-planta-microorganismo (Husson, 2012).

Acorde a lo anteriormente planteado la esencia u objetivo central es evaluar distintas soluciones nutritivas obtenidas por lactofermentación a partir del reciclaje de recursos endógenos (generados en el propio entorno), en el proceso de obtención del lactofermentado de mayor calidad para enriquecimiento del biochar.

## **Materiales y métodos**

Se realizaron ensayos con fermentaciones lácticas y piezas de biochar enriquecidas en las soluciones nutritivas obtenidas en el laboratorio de bioabonos de la Estación Experimental Indio Hatuey; ubicado entre los 22°, 48' y 7'' de latitud norte, y los 81° y 2' de longitud oeste, a 19,9 m-s n m; municipio de Perico, provincia de Matanzas, Cuba.

El período de ejecución de los ensayos abarcó desde el 12 de abril hasta el 16 de mayo del año 2019 y cada ensayo tuvo una duración de 1 semana.

El diseño experimental fue totalmente aleatorizado, con hasta 4 réplicas en el tiempo para cada tratamiento.

#### *Materiales empleados*

Especies vegetales y productos orgánicos: *Moringa oleifera* (moringa), *Leucaena leucocephala* (leucaena), miel final y bagazo de caña de azúcar y caña de azúcar (*Sacharum officinarum*).

Para la ejecución del procedimiento experimental, se emplearon envases plásticos de 500 mL con tapa, recipientes de cristal con tapa, colador, sensores de pH (Medidor de pH ExStik® de EXTECH), conductividad (conductímetro de mesa, marca: Numak, modelo CMZ-307A), temperatura (medidor de temperatura GREISINGER, Typ K (NiCr-Ni) y potencial redox (ORP METER Model: YK-23RP, LUTRON ELECTRONIC).

Para la evaluación de calidad agronómica del biochar activado, se emplearon envases plásticos horadados de 250 mL de capacidad para filtrar el biochar activado.

Combinaciones de lactofermentados evaluadas (tratamientos)

- 1) Bagazo 25 g + Moringa 25 g + H<sub>2</sub>O 400 ml
- 2) Caña de azúcar 100 g + Moringa 25 g + H<sub>2</sub>O 400 ml
- 3) Melaza 100 g + Moringa 25 g + H<sub>2</sub>O 400 ml.

El volumen total del recipiente es 500ml; este fue ocupado con sustrato y rellenado con 400ml de agua.

En el proceso de enriquecimiento del biochar la solución resultante del proceso de lactofermentación fue decantada, el sustrato fue removido y las piezas de carbón fueron introducidas (69 g/envase).

#### *Diseño experimental*

El diseño experimental fue completamente aleatorizado contando con 6 réplicas espaciales y 3 réplicas en el tiempo, coincidiendo esto con 3 semanas de duración del ensayo. Cada repetición en el tiempo coincide con una semana (3 días de lactofermentación para el sustrato, se procede a medir las variables de los lactofermentados al tercer día; 3 días de activación de biochar, las variables evaluadas en biochar se miden diariamente durante este tiempo de activación; por último, se toma un día para recopilar y procesar los datos obtenidos).

#### *Indicadores evaluados*

Se realizaron evaluaciones semanales de: pH, conductividad eléctrica, temperatura y potencial redox en medios líquidos (lactofermentados o soluciones obtenidas del proceso) y en piezas de biochar activado.

#### *Análisis estadístico*

Los resultados fueron analizados por medio de estadística descriptiva haciendo uso de los parámetros media aritmética y coeficiente de variación y error estándar. A los datos se le realizaron pruebas de

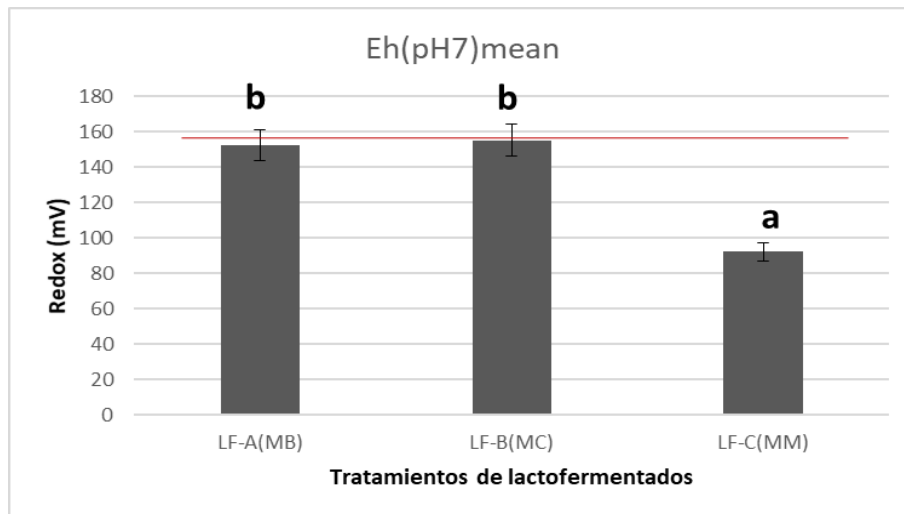
homogeneidad y normalidad y además se les realizó la prueba de comparación de medias no paramétricas Kruskal Wallis. El programa estadístico empleado fue Infostat (versión 2007), actualización 29/05/2007).

## **Resultados y discusión**

### ***Análisis de lactofermentados***

De manera general los fermentados se caracterizaron por un carácter reducido, lo que se indica en la (figura 1) al mostrar que todos los valores de Eh se encuentran por debajo de los 200 mV, zona límite entre condiciones aerobias y anaerobias (Porta *et al.*, 2003); esto concuerda con el hecho de estar en presencia de un proceso anaeróbico. En este caso específico se llenó el recipiente de la fermentación con agua dejando escaso oxígeno ((O<sub>2</sub>) aceptor principal de electrones) al ser sellado. El (O<sub>2</sub>) es moderadamente soluble en agua (es 10<sup>4</sup> veces más lento que en aire) y los microorganismos aerobios presentes en el medio agotan rápidamente el poco O<sub>2</sub> del sistema mediante el proceso de respiración heterótrofa (Sarmiento *et al.*, 1985). Por otra parte, los microorganismos anaerobios presentes se multiplican aceleradamente, descomponiendo la materia orgánica utilizando compuestos oxidados como aceptor de electrones; de esta manera se produce un cambio en el sistema de metabolismo aerobio de materia orgánica a anaerobio, donde transcurren procesos como desnitrificación, reducción de sulfatos etc. (Sarmiento *et al.*, 1985). Esto trae como resultado cambios electroquímicos en el medio como la disminución del potencial redox.

Los valores de potencial redox más elevados están en los lactofermentados de moringa con bagazo y moringa con caña de azúcar. Siendo estos los más próximos a la zona de viraje de medio aerobio a anaerobio y los que no presentan diferencias significativas entre sí, esto se debe al elevado nivel de organización estructural que presentan los polímeros que conforman estas estructuras lo que dificulta a determinado grado la reducción de estos compuestos.



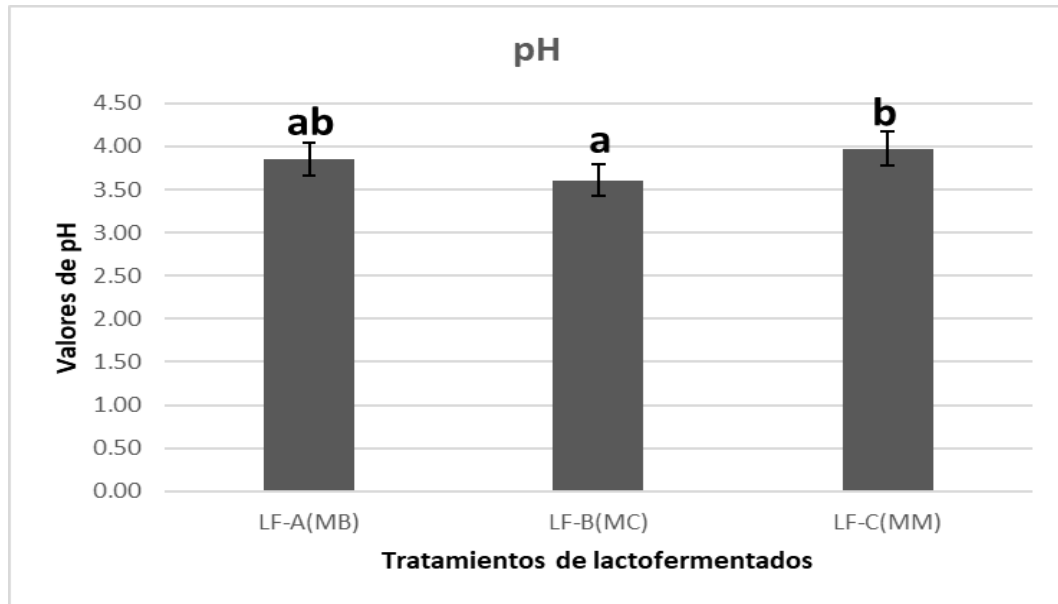
diferencias significativas  $P \leq 0,05$

Fig. 1 Valores de potencial redox de los fermentados evaluados lactofermentado de moringa-bagazo de caña de azúcar (LF-A(MB)), moringa-caña de azúcar (LF-B(MC)) y moringa-melaza de caña de azúcar (LF-C(MM))

Lo contrario sucede con aquellos elementos que conforman el jugo de caña de azúcar es extraído para la producción de melaza. En el proceso de obtención de la melaza el guarapo pasa por varias etapas entre las que se encuentra la clarificación, proceso diseñado para remover las impurezas tanto solubles como insolubles y que emplea en forma general cal y calor como agentes clarificante. La lechada de cal neutraliza la acidez natural del guarapo, formando sales insolubles de calcio. El jugo clarificado pasa a los evaporadores y el crudo se clarifica con cal y ácido fosfórico y se le añade un polímero floculante. Después se evapora, proceso donde se obtienen los cristales de azúcar y la miel pasa al proceso de reebullición, rindiendo melaza (Ospina y Palacios, 1994). Durante todo este proceso el constante incremento de la temperatura aumenta la agitación de los electrones y por consiguiente el número de enlaces covalentes rotos, dando lugar a electrones libres y huecos (falta de electrón) (Granjo, 2009). Estos electrones libres pueden ser fácilmente transferidos favoreciendo las reacciones de oxidación-reducción. Un factor a tener en cuenta es que en la composición de la melaza de caña hay presente abundante cantidad de minerales formando sales a una elevada concentración (Larrahondo, 2017). Según está descrito en la literatura la ecuación de Nerts es empleada para calcular el potencial redox de un sistema determinado. Esta ecuación está en función de las actividades y no de las concentraciones, en cambio cuando se trata de una reacción redox los coeficientes de actividad dependen de la fuerza iónica, que a su vez depende solo de las concentraciones y cargas de las especies iónicas presente; esto trae como consecuencia que el efecto salino constituya uno de los factores primordiales que modifica el potencial redox de los sistemas (Reyes-Labarta, 2011). Esto nos lleva a concluir que la gran concentración de sales

presente en la melaza indica que hay una elevada concentración de iones de la especie reductora en este caso. Este constituye otro aspecto que contribuyen a que este tratamiento difiera de los demás. (Vega *et al.*, 2008).

El carácter reducido de los fermentados no puede asegurar que el proceso de fermentación llegó hasta la formación de CO<sub>2</sub> que es la forma oxidada inferior, pues no hay ningún valor que sea negativo ni próximo a los -250 mV (condiciones fuertemente reductoras) (Dorronsoro, 2018). Esto indica que las formas oxidadas superiores están en proceso de reducción.



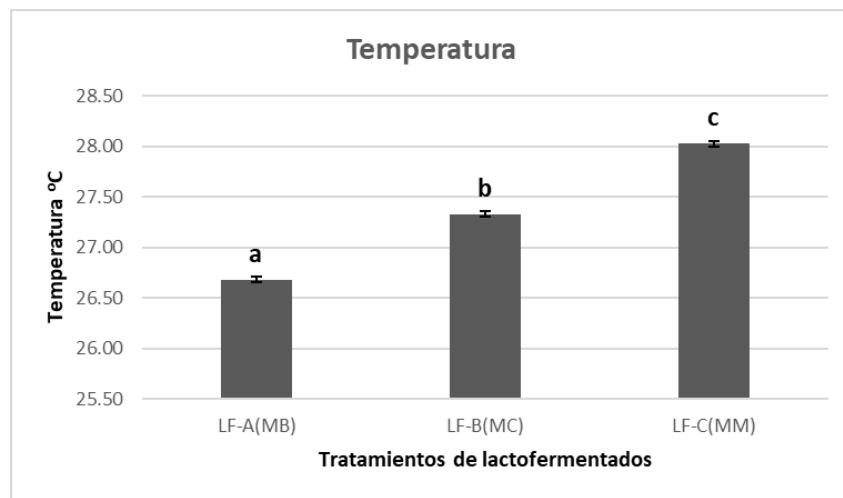
diferencias significativas  $P \leq 0,05$

Fig. 2. Valores de pH de los fermentados evaluados lactofermentado de moringa-bagazo de caña de azúcar (LF-A(MB)), moringa-caña de azúcar (LF-B(MC)) y moringa-melaza de caña de azúcar (LF-C(MM)).

Con respecto al pH de los fermentados (fig. 2), los resultados obtenidos estuvieron en el rango esperado. Todos los lactofermentados presentaron un pH ácido lo que está en correspondencia con el proceso de fermentación al que han sido sometidos los sustratos, ya que este proceso contempla en su tránsito una etapa que se conoce como acidificación, en la cual el medio se acidifica y disminuye el pH considerablemente. Dentro de estos resultados los lactofermentados de bagazo y melaza mostraron los valores de pH más altos, estos tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, al igual que los tratamientos de fermentado de caña y de bagazo, en cambio el lactofermentado de caña, que resultó ser el más ácido difiere significativamente del de bagazo.

Esto puede ser causa del elevado contenido de azúcares que presenta la caña, no solo en la composición del guarapo que tiene, que es lo que da origen a la melaza, sino también en la formación de su fibra estructural. Esta presenta en su estructura un gran número de polisacáridos que dan origen a los polímeros necesarios para conformar la estructura de la misma y para los azúcares del guarapo (Larrahondo, 2017). Esto se traduce en un cúmulo de grupos OH y grupos carboxílicos COOH que permiten la liberación de gran cantidad de protones al medio durante la fermentación. En cambio, los glúcidos de la melaza no supera el 50 % de dicho producto (Vega *et al.*, 2008).

Estos resultados indican la capacidad que tendrían estos fermentados y soluciones para disminuir el pH del biochar activado hasta valores neutros; y de este modo imprimen mayor calidad al fertilizante que se obtiene del proceso.



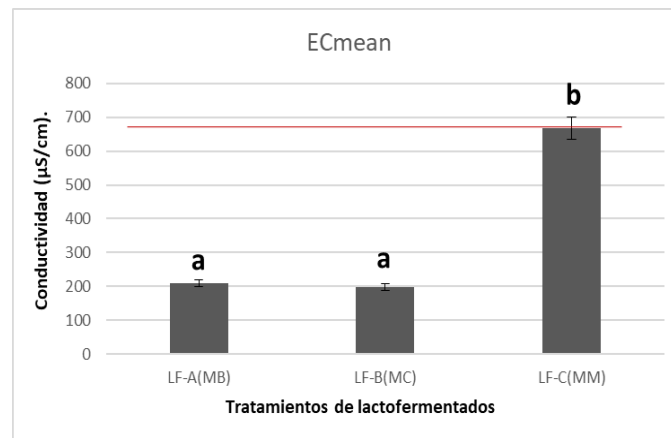
diferencias significativas  $P \leq 0,05$

Fig. 3 Valores de temperatura en °C de los fermentados evaluados lactofermentado de moringa-bagazo de caña de azúcar (LF-A(MB)), moringa-caña de azúcar (LF-B(MC)) y moringa-melaza de caña de azúcar (LF-C(MM)).

La temperatura de los lactofermentados (Fig. 3) y las soluciones obtenidas fue un parámetro que osciló muy poco, en un rango medio de 26 a 28 °C. De manera general, hubo diferencias significativas entre los materiales de fermentación de melaza y los fermentados de bagazo y caña. Esto puede deberse a que la melaza es un suministro directo de sustrato procesado para los microorganismos del medio, la melaza es portadora de energía de fácil aprovechamiento, la cual representa del 70 al 75 % del valor energético que puede brindar el maíz para un animal (Oslen y Allermann, 1991). También se sabe que, aunque este producto carece de fósforo constituye un buen medio nutritivo, para muchos microorganismos como



levaduras, hongos y bacterias (Ariza y González, 1997). Además, este producto de por sí tiende a tener un elevado valor de calor específico ya que posee baja concentración de impurezas de azúcar. Los valores de conductividad (Fig. 4) estuvieron dentro del rango lógico, ya que en ningún fermentado o solución superaron 1dS/m, indicando baja concentración de sales disueltas en las soluciones obtenidas de las formulaciones utilizadas; lo cual puede ser considerado favorable al ser la conductividad eléctrica un indicador correlacionado con la salinidad; y, por lo tanto, un parámetro importante que determina el valor de la enmienda orgánica de los suelos. Los valores de conductividad más elevados los presenta el lacto fermentado de melaza de caña, que difiere significativamente de los 2 lactofermentados restantes, en cambio estos 2 lactofermentados de caña y bagazo respectivamente, no difieren entre sí. Estas diferencias se deben a la composición química de la melaza, donde sobresalen azúcares sencillos, polisacáridos, oligosacárido, aminoácidos, proteínas; pero también una gran cantidad de minerales que se encuentran complejados formando sales como sales de potasio, fosfato, silica, calcio, magnesio, hierro, etc. (Larrañondo, 2017). Esto se traduce en una elevada carga eléctrica y una elevada conductividad eléctrica.



diferencias significativas  $P \leq 0,05$

Fig. 4 Valores de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de los fermentados evaluados lactofermentado de moringa-bagazo de caña de azúcar (LF-A(MB)), moringa-caña de azúcar (LF-B(MC)) y moringa-melaza de caña de azúcar (LF-C(MM)).

### Análisis de biochar enriquecido

El análisis de biochar activado con fermentados y soluciones nutritivas resultó en un potencial redox dentro del rango adecuado, reportado por (Porta *et al.*, 2003). Los 3 tratamientos difirieron entre sí significativamente. El mayor valor lo muestra el biochar activado en lactofermentado de caña, lo que coincide con los resultados informados anteriormente para el potencial redox de dicho lactofermentado.

El biochar es un material heterogéneo que tiene una fase mineral, una amorfa, una de grafito y moléculas lábiles, que pueden ceder o aceptar electrones cuando interactúan con el suelo. El biochar es reductor de por sí, pero sus propiedades eléctricas y electroquímicas varían en dependencia de la temperatura de producción del mismo y la concentración y la composición de algunos compuestos redox (Joseph *et al.*, 2015). Dicha característica conjuntamente con la informada anteriormente referente al potencial redox de los fermentados donde se sumergieron las piezas de carbón justifican los valores obtenidos. Estos favorecen el uso de estas piezas de carbono enriquecido en suelos moderadamente reducidos.

Tabla 1. Valores de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), valores de potencial redox de los y valores de pH de las piezas de biochar activadas con los fermentados evaluados.

<b>Tabla 1. Características físico químicas del biochar activado</b>			
<b>Tratamientos</b>	<b>Redox</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad</b>
<b>A Lactofermentación con bagazo</b>	<b>183.78 a</b>	<b>7.49 c</b>	<b>45.41 a</b>
<b>B Lactofermentación con caña de azúcar</b>	<b>230.44 b</b>	<b>6.84 b</b>	<b>47.42 a</b>
<b>C Lactofermentación con melaza</b>	<b>127.78 a</b>	<b>5.82 a</b>	<b>252.71 b</b>

*Letras distintas indican diferencias significativas a  $P \leq 0,05$  Kruskal Wallis.*

En cuanto al pH, se obtuvieron altos valores con respecto a los lactofermentados, pero se encuentran dentro del rango esperado (Martinsen *et al.*, 2015). Sobre este aspecto, es válido señalar que el biochar se distingue por su alto valor de pH; lo cual ha sido reportado por autores como López (2016), quien observó en los biochar de origen vegetal un pH alcalino, en un rango de 8,8 a 9,7. La característica resulta del proceso de pirolisis, que condiciona la evaporación de numerosos protones  $\text{H}^+$  y aumento de grupos OH y carboxilos. El aumento del valor de pH se explica más detalladamente, porque la descomposición durante pirolisis de la biomasa remueve los grupos funcionales ácidos e incrementa el contenido de ceniza (Novak *et al.*, 2009), causando la hidrólisis de sales de calcio, potasio y magnesio en presencia de agua, que conlleva a la alcalinidad del biochar. En tal contexto, las variaciones del pH en el biochar están relacionado con el contenido mineral de la materia prima (Schmidt *et al.*, 2017); mayores contenidos de minerales pueden ser la razón de mayor pH. El hecho de que oscilaron cerca de la neutralidad es indicativo de la elevada capacidad que tiene estos fermentados para acidificar el medio que llegan incluso a disminuir el pH del biochar. Solo el biochar activado en la solución resultante de lactofermentado de moringa con melaza redujo el pH hasta un valor cercano a 5; dicho fermentado se distinguió por un pH

bajo, que debió favorecer la disminución de la alcalinidad del biochar y convertirlo en un buen material orgánico para enmendar los suelos neutros o con cierta basicidad.

En cuanto a la conductividad existieron diferencias entre los tratamientos; siendo significativo el valor del biochar activado en el lactofermentado con melaza, el que estuvo en el rango aceptado de conductividad para un abono orgánico, menor de 1ds/m según (Bárbaro *et al.*, 2014). Se infiere que a partir de la inmersión de biochar ocurrieron varios procesos: tras el proceso de fermentación que pudo condicionar la liberación de sales a partir de la degradación de la materia orgánica; el carbón pirolizado, por su alta capacidad de intercambio catiónico (Escalante *et al.*, 2016), permite el secuestro constante en los poros del biochar de los elementos liberados durante el proceso de degradación.

### **Conclusiones**

Los lactofermentados de moringa con bagazo y con caña de azúcar, mostraron cualidades positivas para su uso como fertilizantes en términos de potencial redox y pH. Así como también mostraron capacidad para disminuir el pH del biochar hasta valores cercanos a la neutralidad.

El lactofermentado de moringa con melaza mostró cualidades positivas para enriquecer el biochar; elevando la conductividad eléctrica y disminuyendo el pH hasta valores ligeramente ácidos, lo que lo convierte en una enmienda favorable para suelos neutros o con cierta basicidad.

Se optó por utilizar como fuente de energía para próximos experimentos al bagazo de caña de azúcar, pues en todas las variables evaluadas mostró un comportamiento que encontraba dentro de los parámetros establecidos, además es necesario destacar que a diferencia de la melaza este subproducto de la caña de azúcar es mucho más económico de obtener y constituye un desecho que se le puede imprimir un valor agregado al ser reutilizado como fuente de energía en la obtención de abonos orgánicos como enmiendas del suelo.

### **Referencias bibliográficas**

- Archer, D. B. & Harris, J. E. Methanogenic bacteria and methane production in various habitats. In: Anaerobic Bacteria in Habitats Other Than Man, E. M. Barnes & C. Mead (Eds), and pp. 185– 223. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK (1986).
- Ariza, B. & González, L. Producción de Proteína Unicelular a partir de levaduras y melaza de caña de azúcar como sustrato. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Básicas. Bogotá DC, (1997).
- Bárbaro, L; Karlanian, M. & Mata, D. Importancia del pH y la conductividad eléctrica [CE] en los sustratos para plantas. Instituto de Floricultura, INTA. Castelar. AR. 2014. 11 p. (2015).
- Brock, T. D., Madigan, M. T., Martinko, J. M. & Parker, J. Biology of Microorganisms. Prentice-Hall, New York, USA. (1994)

- Dorronsoro, C.F. *Libros web, monografías, trabajos de investigación, conferencias, atlas sobre la Edafología y los suelos*. <http://www.edafologia.net/introeda/tema05/ph.htm>. (2018).
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C.; *et al.* Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367-382. (2016).
- Fang, Q., Chen, B., Lin, Y. & Guan, Y. Aromatic and hydrophobic surfaces of wood-derived biochar enhance perchlorate adsorption via hydrogen bonding to oxygen-containing organic groups. *Environ. Sci. Technol.* 48, 279– 288 (2014). FAO (2014).
- Febles-González, J. M.; *et al.* Cuban agricultural policy in the last 25 years. From conventional to organic agriculture. *Land use policy* 28, 723–735 (2011).
- Funes-Monzote, F. y M. Monzote. Unir en un todo coherente una opción sustentable y productiva. Experiencia cubana de integración ganadería-agricultura sobre bases agroecológicas. Boletín de ILEIA 16: 22-24. (2001).
- Gurwick, N. P., Moore, L. a, Kelly, C. & Elias, P. A Systematic Review of Biochar Research, with a Focus on Its Stability in situ and Its Promise as a Climate Mitigation Strategy. *PLoS One* 8, e75932 (2013).
- Husson, O. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant and Soil*, vol. 362, no 1-2, p. 389-417. (2013)
- Joseph, S. et al. The electrochemical properties of biochars and how they affect soil redox properties and processes. *Agronomy*, vol. 5, no 3, p. 322-340. (2015).
- Kammann, C. I., Glaser, B. & Schmidt, H.-P. Combining Biochar and Organic Amendments. in *Biochar in European Soils and Agriculture: Science and Practice* (eds. Shackley, S., Ruyschaert, G., Zwart, K. & Glaser, B.) 136–164 (Routledge, 2016).
- Larrahondo, E. Composición química de la caña y factores que afectan la determinación de sacarosa y el proceso azucarero. XIV Congreso de técnicos azucareros de Guatemala. Hotel Soleil de Antigua, Guatemala. 1-7 Agosto (2017).
- Lehmann, J. & Joseph, S. *Biochar for Environmental Management*. (Routledge, 2015).
- López, I. Evaluación agronómica y ambiental del uso agrícola del biochar obtenido por pirólisis de residuos orgánicos. Tesis presentada en opción del Grado Científico de Doctor en Ciencias. Universidad de Murcia. CSIC. Mod: T-2 0., 246pp (2016)
- Martinsen, V; Alling, V; Nurida, N; Mulder, SE. Hale, N. pH effects of the addition of three biochars to acidic Indonesian mineral soils, *Soil Science and Plant Nutrition*, 61:5, 821-834. (2015)
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., & Niandou, M. A. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil science*, 174(2), 105-112. (2009).
- Olsen, J.; Allerman, K. La biomasa microbiana como fuente de proteína. J. Bu'Lock and B. Kristiansen. Editorial Acribia SA, Spain, p. 285-308. (1991).
- Ospina, A., & Palacios, M. Efecto del cultivo de levaduras sobre la carga orgánica de los efluentes de SUCROMILES SA. (1994).
- Reyes-Labarta, J. Sistemas redox. Aplicación de la ecuación de Nerst a distintos tipos de sistemas. Factores que modifican el potencial redox. Reacciones de transferencia electrónica. Constante de equilibrio y potencial de equilibrio. Representaciones gráficas: Diagrama log C-E y sus aplicaciones

- al estudio de las reacciones redox. Sistemas redox del agua. Análisis de sistemas- combinación de diagramas. Universidad de Alicante Red Social de Innovación Educativa de la Facultad de Ciencias. Máster Oficial en Gestión Sostenible y Tecnologías del Agua (2011)
- Porta, J; López, M; Roquero, C. Chapter 14. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. 3 (3), 339-414 (2003)
- Sánchez, S., M. Hernández, and F. Ruz. Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. Pastos Forrajes. 34: 375-392. (2011)
- Sarmiento, L., Alfredo, L.; Arregocés, O.. Química de los suelos inundados. In: Tascón J., Eugenio; García Durán, Elías (eds.). Arroz: Investigación y producción: Referencia de los cursos de capacitación sobre arroz dictados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Cali, CO. p. 287-305 (1985).
- Schmidt, H.-P., Pandit, B. H., Cornelissen, G. & Kammann, C. I. Biochar-Based Fertilization with Liquid Nutrient Enrichment: 21 Field Trials Covering 13 Crop Species in Nepal. *L. Degrad. Dev.* 28, (2017).
- Schmidt, H. *et al.* Fourfold Increase in Pumpkin Yield in Response to Low-Dosage Root Zone Application of Urine-Enhanced Biochar to a Fertile Tropical Soil. *Agriculture* 5, 723–741 (2015).
- Spoor, M. & Thiemann, L. ‘Who Will Feed Cuba’? Agrarian Transformation, Peasants and Food Production. (2016).
- Varnero, M. Manual de producción de biogás. Editorial, Proyecto CHI/00/G32. Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. (2011)
- Vega-Baudrit, J.; *et al.* Empleo de melaza de caña de azúcar para la obtención y caracterización de poliuretanos potencialmente biodegradables. I. Revista Iberoamericana de Polímeros, 9(4), 408-421. (2008).