

## El papel del biocarbono en la sostenibilidad y competitividad de sistemas agropecuarios

Thomas R Preston

*Center for Research and Technology Transfer, Nong Lam University, Vietnam.  
Email: preston@lrrd.org*

Un gran desafío para los planificadores agrícolas es en el diseño de sistemas agrícolas que combinan la producción de alimentos y la energía con una huella de carbono negativa. El biocarbono promete ser un elemento importante de esta estrategia.

El biocarbono es el producto de la carbonización de la biomasa fibrosa en un flujo restringido de aire y a altas temperaturas (de 500 a 1000 °C). Es una mezcla de carbono y ceniza, No contiene nutrientes pero puede aumentar la fertilidad del suelo, incrementando la capacidad de retención de agua y de los nutrientes. Actúa como sitio que facilita la adsorción de nutrientes y micro-organismos del suelo, facilitando la actividad microbiana. Tiene el potencial de ayudar a mitigar el cambio climático, a través de la captura de carbono. Las condiciones de alta temperatura y aire restringido que favorecen la producción de biocarbono se encuentran en que los gasificadores sean estufas ascendentes (TLUD) o reactores de corriente descendente produciendo gas para motores y turbinas o simplemente calor de proceso (como en la fabricación de ladrillos). Así, desde el principio, mediante el uso de residuos fibrosos como materia prima, el sistema de gasificación y la producción asociada de biocarbono, evita el conflicto que se presenta cuando se producen biocombustibles a partir de los recursos naturales de los suelos y el agua en lugar de usar estos recursos como fuente de alimentos\*. Biocarbono es por tanto un subproducto del proceso de producción de energía a partir de biomasa no comestible.

El uso de los recursos agrícolas exclusivamente para producir biocarbono, como una herramienta para el secuestro de dióxido de carbono de la atmósfera, tampoco se justifica. Tales propuestas son justamente criticadas por los ecologistas por ser tanto indeseables e innecesarias.

Las críticas anteriores se pueden evitar en gran medida al asegurar que el sistema de producción está orientado a las necesidades y oportunidades que presentan las granjas de pequeña escala y las comunidades rurales, que son los más indicados para utilizar eficientemente los recursos locales, y para reciclar los desechos.

En las latitudes tropicales, los sistemas de cultivo más adecuados para la producción integrada de los alimentos, la energía y el biocarbono son el arroz, la caña de azúcar y cultivos arbóreos como el café, el cacao, la palma de aceite y de coco. En todos los casos, el objetivo principal es la producción de alimentos

---

\* El Presidente de Nestlé, en una reciente conferencia internacional en Suecia, declaró que “el alto precio de los alimentos (que se ha intensificado a raíz de la grave sequía de los EE.UU. en el verano de 2012) fue el resultado de los biocombustibles que se cultivan en suelos y aguas utilizados de otra manera para los cultivos destinados a la alimentación humana o animal “y que” los biocombustibles compiten con la producción de alimentos. Esto es inaceptable y no puede justificarse”.

para consumo humano y animal, mientras que los residuos fibrosos pueden ser la materia prima para la gasificación.

**La caña de azúcar para producir energía, alimentos y biocarbono**

Un modelo basado en la caña de azúcar, desarrollado y utilizado en Colombia durante los últimos ocho años, es indicativo del potencial de la producción a pequeña escala que ahora se puede adaptar a las necesidades de las comunidades rurales. En el modelo prototipo (Figura 1), los tallos de la caña de azúcar se trituran en un trapiche (molino tradicional) de 3 masas (tal como se utiliza para la producción de panela) para producir jugo de caña de azúcar que es la base del sistema de alimentación para el ganado (y como edulcorante para la familia). Los tallos triturados (bagazo) son carbonizados en un gasificador de flujo descendente para producir un gas combustible (para ser usado en un motor de combustión interna acoplado con un generador de energía eléctrica) y biocarbono.

para una comunidad rural de 50 a 100 familias. En este modelo, el jugo de caña de azúcar se concentra a la melaza rica (70% de azúcares) para asegurar un producto estable que puede ser almacenado y transportado como reemplazo para los granos de cereales en los alimentos para animales.

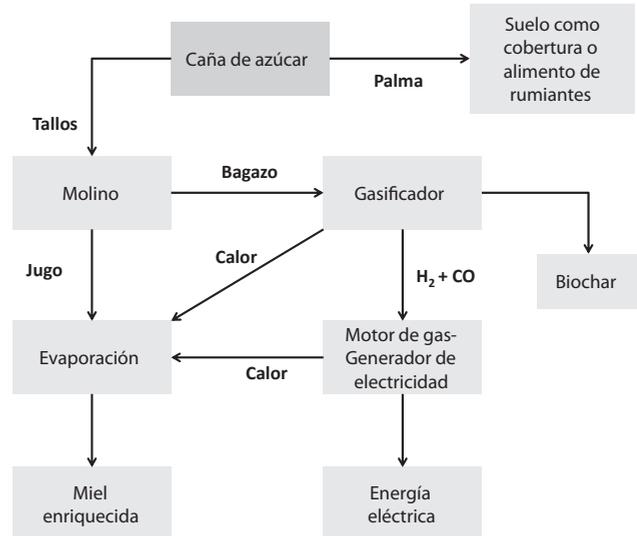


Figura 2. Modelo integrado para procesar 20 toneladas diarias de caña de azúcar.

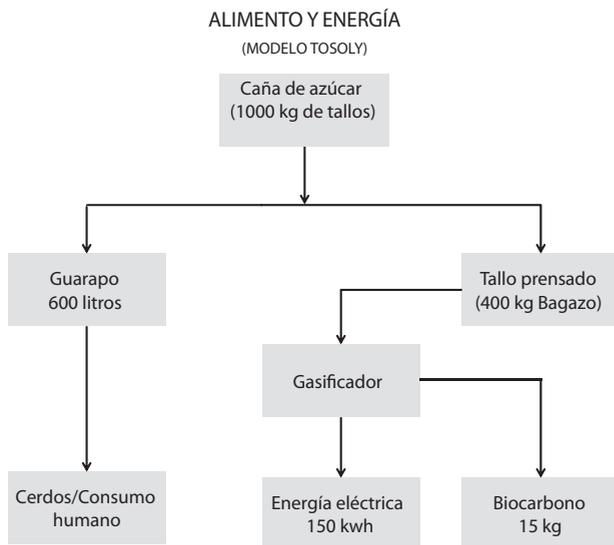


Figura 1. El uso integrado de la caña de azúcar para alimentos, biocarbono y electricidad (Preston 2007, datos no publicados).

La ampliación de este modelo (Figura 2) puede proporcionar electricidad, alimentos y biocarbono

El sistema proveerá energía eléctrica para 200 a 300 familias. La miel enriquecida se utilizará como reemplazo de los cereales en la producción animal en la misma comunidad (podría cubrir las necesidades energéticas de una población de entre 1500 y 2000 cerdos de engorde). El biocarbono será usado por las familias en la producción de vegetales y por los productores que entregan la caña. En la tabla 1 se muestra el flujo de caja y tasa interna de retorno implementando una unidad de 100 KVA que procesa 20 toneladas diarias de caña de azúcar y produce diariamente 3,42 toneladas de miel enriquecida, 1821 KWh de energía eléctrica y 0,35 toneladas de biocarbono. La electricidad tiene un precio de USD 0,20/KWh, la miel enriquecida de USD 260/tonelada y el biocarbono de USD 350/tonelada (precios actuales en enero de 2013).

**Tabla 1.** La tasa interna de retorno sobre 10 años para la cogeneración de electricidad, miel rica y biocarbón a partir de la caña de azúcar (Unidad de 100KVA procesando 20 toneladas diarias de caña).

USD '0000	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Maquinaria	300	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Mano de obra	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3
Caña	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Costo total	576	326	326	326	326	326	326	326	326	326
Ventas										
Miel rica	0	318	318	318	318	318	318	318	318	318
Biocarbón	0	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6
KWh	0	131	131	131	131	131	131	131	131	131
Total	0	493	493	493	493	493	493	493	493	493
Balance	-576	167	167	167	167	167	167	167	167	167
TIR		25%								

### Energía, alimentos y biocarbón de la cosecha de arroz

En la actualidad, la producción de carbón vegetal a partir de la cosecha de arroz es casi exclusivamente a partir del uso de la cáscara de arroz como materia prima.

Camboya está a la vanguardia en la aplicación de la tecnología de gasificación con unos 70-90 unidades de gran escala (250 a 500 KVA) que ya operan en los molinos de arroz y las comunidades rurales. Cada vez más el biocarbón producido en estos gasificadores, considerados inicialmente como un producto de desecho, se utiliza como acondicionador del suelo para el cultivo de hortalizas y flores.

Un avance reciente ha sido la construcción en Vietnam de una estufa gasificador de corriente ascendente (<http://www.mekarn.org/workshops/pakse/html/olivier.docx>) desarrollado originalmente en las Filipinas por Belonio (2005) para utilizar la cáscara de arroz como combustible. Este equipo, que está a punto de entrar en la fabricación a gran escala, ya ha servido a un propósito valioso como medio para facilitar el uso del biocarbón para fines de investigación en universidades y centros de investigación en Camboya, Laos y Vietnam. Ya hay más de 20 trabajos de investigación que se han producido en la región como resultado de esta iniciativa.

El siguiente objetivo importante es la densificación de la paja de arroz, que es un paso esencial. Para mostrar el potencial de este enfoque se

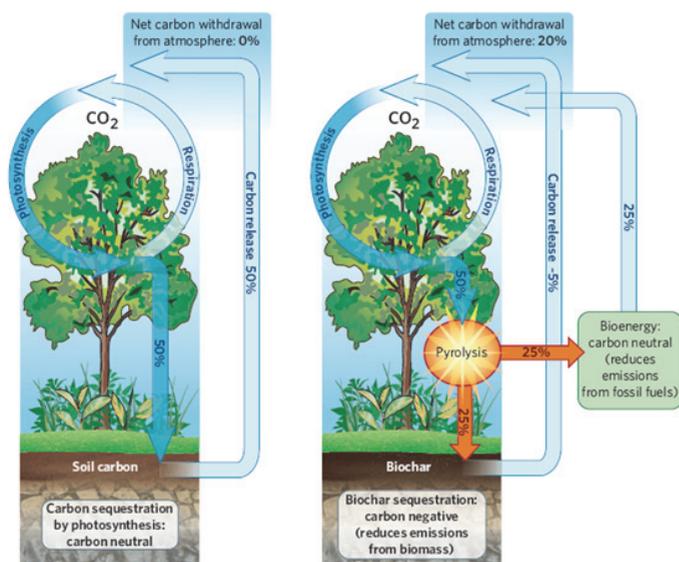
estima que la producción anual de paja de arroz en Vietnam del orden de 40 a 50 millones de toneladas al ser procesado por la gasificación podría producir energía eléctrica suficiente para satisfacer la mitad de la demanda anual del país. La producción asociada de biocarbón sería del orden de 5 a 6 millones de toneladas. El potencial es enorme. Cálculos similares pueden aplicarse a otros países productores de arroz.

### El biocarbón

El enfoque que hoy se está poniendo sobre el biocarbón en la agricultura es producto de investigaciones realizadas en la Amazonia por diversos científicos, mostrando la alta fertilidad de unos suelos (llamado "Terra preta") producto de su formación y manejo, realizado por la población indígena desde hace miles de años y mucho antes de la llegada de los europeos a América. Ahora se considera que el elemento importante en estos suelos es su contenido de carbono negro o "biocarbón" (<http://en.wikipedia.org/wiki/Biochar>). El Biocarbón es rico en minerales como el potasio, fósforo, calcio, zinc, y manganeso, pero el ingrediente más importante es el carbón vegetal, con el color oscuro. El biocarbón en "Terra preta" parece haber surgido a partir de la quema controlada de árboles y de los cadáveres de la gente.

El biocarbón no es oxidado por los microorganismos del suelo, en comparación con las formas tradicionales de carbón vegetal que finalmente se descompone completamente por

los microorganismos del suelo. Por esta vía se consideró el biocarbón como un mecanismo parcial para secuestrar el carbono en los suelos. Por tanto, las primeras propuestas consistieron en utilizar el biocarbón para mitigar los efectos del calentamiento global (Lehman, 2007). Según este autor, alrededor del 10% de las emisiones globales totales de carbono producto de la quema de combustibles fósiles podría ser secuestrado en los suelos como biocarbón (Figura 3).



**Figura 3.** El proceso de crecimiento de la planta seguido de la descomposición de la materia orgánica en el suelo es neutro en carbono; sin embargo, si la materia orgánica devuelta se somete primero a la gasificación o pirólisis a altas temperaturas (> 500 °C), parte del carbono está permanentemente secuestrado en el suelo (Tomado de: Lehman JA handful of carbon. Nature 2007; 447:143-144).

Se ha llevado a cabo un fuerte debate sobre los posibles efectos negativos en la producción de alimentos si la tierra se desvía al cultivo y cosecha de la biomasa únicamente para producir “biocarbón”. Otro problema se refiere a los costos implicados en el transporte de la biomasa de baja densidad para la producción de biocarbón en instalaciones a gran escala de procesamiento centralizado. Sin embargo, estos problemas no ocurren cuando el biocarbón se produce como sub-producto del proceso de gasificación, en los sistemas descritos en éste artículo (Figuras 4 y 6).

## El papel de biocarbón en los sistemas agrícolas

La estructura química del biocarbón se caracteriza por la presencia de compuestos aromáticos poli-condensados, que tienen una estabilidad prolongada contra la degradación microbiana. La estructura física del biocarbón se caracteriza por su gran área de superficie (hasta 30 m<sup>2</sup>/g), lo que otorga una alta capacidad para adsorber los nutrientes. En ecosistemas microbianos parece actuar como un “biopelícula” para facilitar las actividades de los micro-organismos y su contacto con los sustratos (Leng *et al.*, 2012a).

Por lo tanto, se puede pensar en el uso potencial del biocarbón en todos los sistemas que involucran las acciones de micro-organismos, por ejemplo:

- En los suelos, especialmente suelos ácidos:
  - Acondicionador de suelos.
  - Un medio para secuestrar carbono derivado de la atmósfera.
- En sistemas de fermentación con micro-organismos:
  - En los rumiantes (reducir las emisiones de metano).
  - En biodigestores (aumentar la producción de biogás).
  - La recuperación de nutrientes de las aguas residuales.

## Acondicionador de suelos

Los datos en la figura 4 muestran los resultados de un ensayo realizado en Santander, Colombia, sobre el efecto del biocarbón en combinación con el efluente de un biodigestor en el crecimiento del maíz en suelos ácidos. Se comparó un suelo fértil tomado de un cafetal y un sub-suelo procedente de un pastizal. El biocarbón fue el sub-producto de la gasificación del bagazo de caña aplicado a un nivel equivalente a 40 toneladas/ha. El efluente se tomaba de un biodigestor cargado con excreta porcina y se aplicó a nivel equivalente a 50 kg de N/ha.

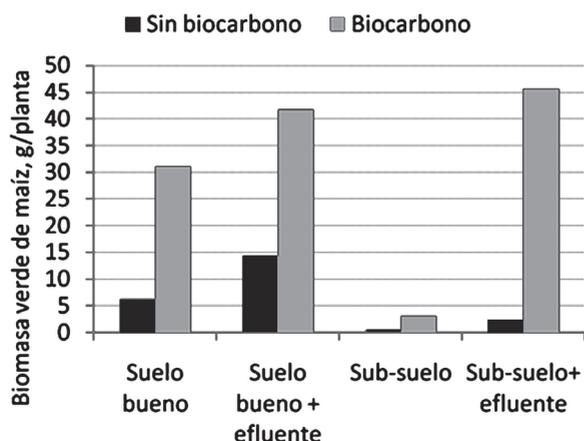


Figura 4. Biocarbono, efluente y crecimiento del maíz (Rodríguez *et al.*, 2009).

Hubo un incremento marcado en el crecimiento del maíz (35 días de crecimiento) con y sin aplicación del efluente (5 veces más en suelo fértil sin efluente), pero el resultado que más llama la atención fue el efecto de la combinación del biocarbono y efluente en el sub-suelo. Aún con biocarbono pero sin efluente el maíz no crecía, pero al combinar biocarbono con efluente el crecimiento del maíz fue igual que en el suelo fértil. El impacto sobre el desarrollo radicular en el sub-suelo, del biocarbono en combinación con el efluente, fue impresionante (Figura 5).

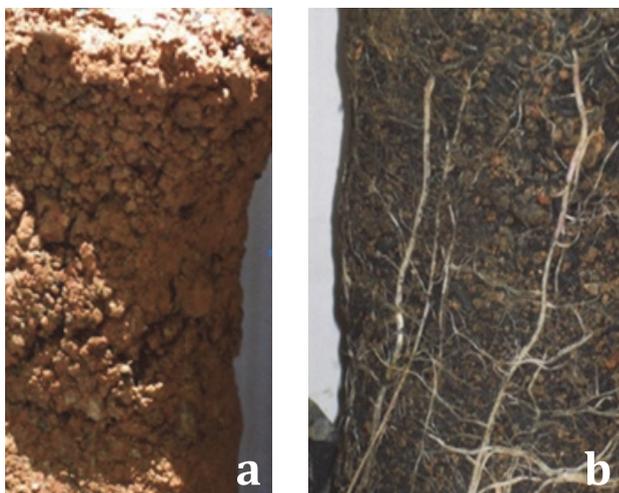


Figura 5. Desarrollo de las raíces del maíz en el sub-suelo. a. Sin biocarbono y sin efluente; b. Con biocarbono y con efluente (Rodríguez *et al.*, 2009).

El valor del biocarbono para la producción de vegetales de ciclo corto (35 días) fue muy evidente en un ensayo realizado en Camboya (Figura 6). La aplicación de 5 kg de biocarbono por m<sup>2</sup> de suelo aumentó la producción de biomasa comestible 4 veces sin tener que incrementar la aplicación de fertilizante que fue efluente de un biodigestor equivalente a 10 kg de N/ha.

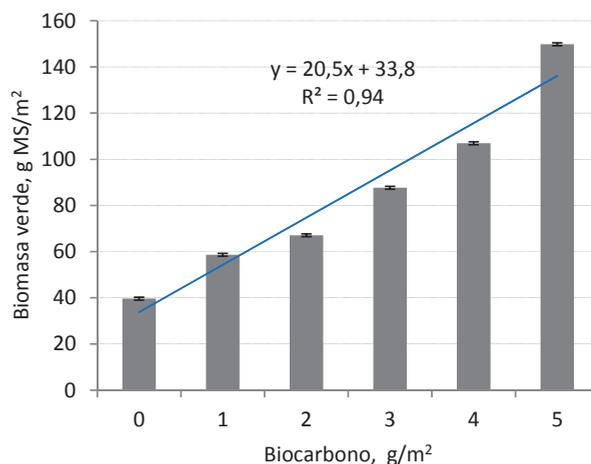


Figura 6. Efecto del biocarbono sobre rendimiento de biomasa de mostaza verde (*Brassica juncea*) (Chhay Ty *et al.*, 2013).

Aún más interesante fue el efecto del biocarbono sobre el valor nutritivo de la planta. El contenido de proteína se incrementó de 14% hasta 18% en base seca mientras que la fibra se disminuyó de 14 a 9% (Figuras 7 y 8).

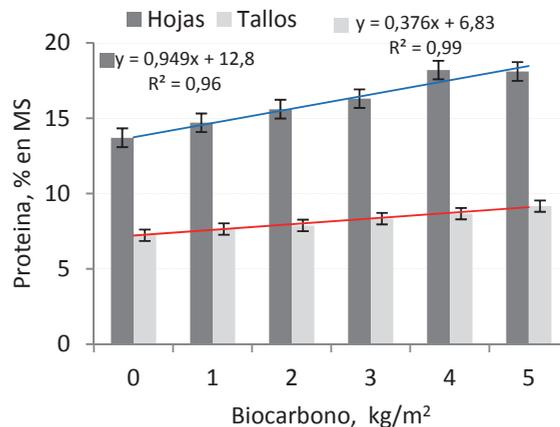


Figura 7. Efecto del biocarbono sobre contenido de proteína en las hojas y tallos de la mostaza verde.

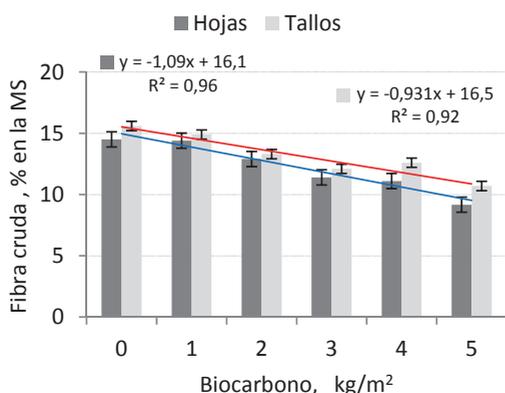


Figura 8. Efecto del biocarbono sobre contenido de fibra en las hojas y tallos de la mostaza verde.

### Biocarbono en la alimentación animal

El metano que producen los animales rumiantes representa un alto componente de los gases de invernadero. En ensayos *in vitro* para medir la producción de metano, procedente de un sustrato de raíz y forraje de yuca fermentado con líquido ruminal, se observó una reducción en la producción de metano al añadir 1,0% de biocarbono en el medio, sin ventajas con niveles de biocarbono más altos (Figura 9).

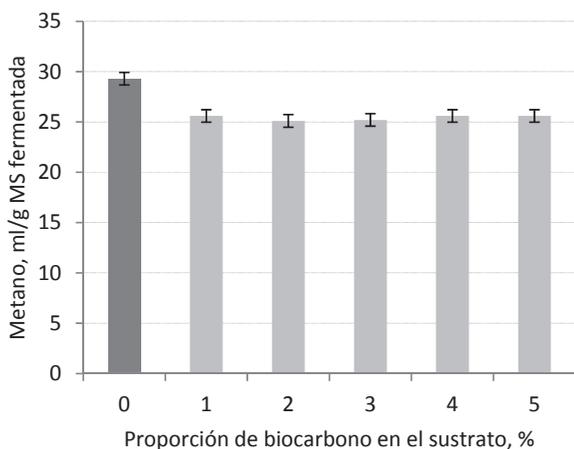


Figura 9. Efecto sobre producción de metano al agregar biocarbono al sustrato en una fermentación *in vitro* con líquido ruminal (Leng *et al.*, 2012a).

Estos resultados se validaron en un ensayo de crecimiento con ganado de la raza local “Amarillo”, alimentado con una dieta de raíz y forraje de yuca suplementado con urea ó nitrato de potasio como fuente de nitrógeno no proteico, y con niveles de

biocarbono de cero o de 1%. La tasa de crecimiento se incrementó en un 25% mediante la adición de biocarbono a la dieta (Figura 10). Tanto el biocarbono como el nitrato redujeron la producción de metano (en un 22 y 29%, respectivamente), siendo aditivo el efecto (41% de reducción) de la combinación de biocarbono y nitrato (Figura 11).

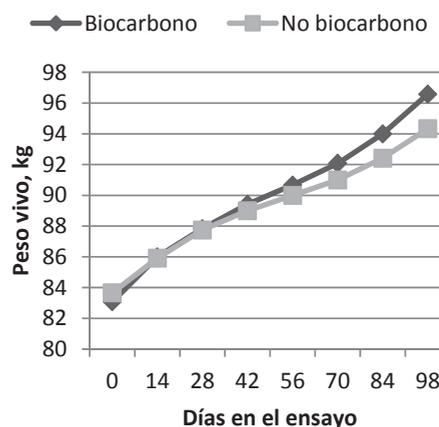


Figura 10. Efecto sobre ganancia de peso al agregar biocarbono a la dieta de ganado Amarillo en Lao PDR (Leng *et al.*, 2012b)

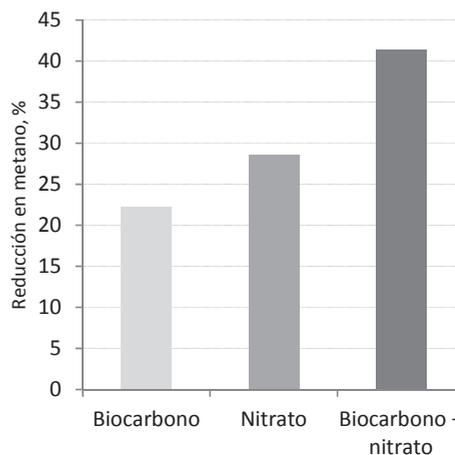


Figura 11. Reducción de metano en ganado Amarillo suplementado con biocarbono con y sin nitrato de potasio en Lao PDR (Leng *et al.*, 2012b).

### El biocarbono en los biodigestores anaeróbicos

El proceso de fermentación en un biodigestor anaeróbico cargado con excreta bovina es similar a lo que pasa en el rumen, salvo que el tiempo de retención es mucho más largo (20 días en el biodigestor en lugar de 12-24 horas en el animal). Por tanto fue interesante estudiar el efecto del biocarbono al ser incorporado en el sustrato dentro

del biodigestor (Inthapanya *et al.*, 2012). Los datos en la figura 12 demuestran un incremento del 25% de producción de biogas al incorporar el biocarbón a un nivel de 1% de los sólidos dentro del biodigestor; y que no hubo ventaja de incrementar el nivel de biocarbón a 3%. El porcentaje de metano en el biogas no fue afectado por la presencia del biocarbón (Figura 13).

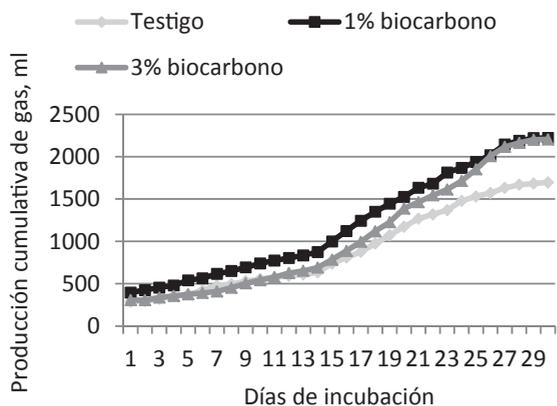


Figura 12. Efecto del biocarbón sobre producción de biogas (sistema discontinuo).

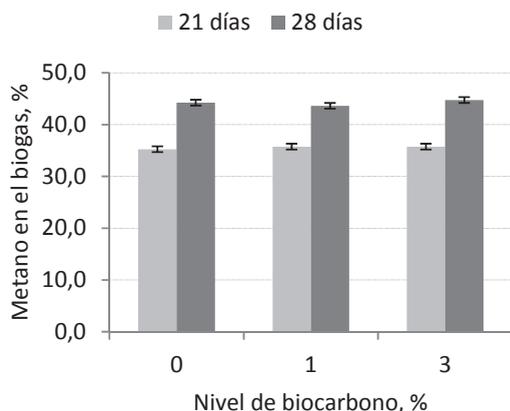


Figura 13. Efecto del biocarbón sobre proporción de metano en el biogas (sistema discontinuo).

### Sistemas de producción integrados a nivel familiar

Heinberg y Bomford (2009) afirman que “la única manera de evitar una crisis alimentaria como consecuencia de los aumentos en los precios del petróleo y del gas natural, además de la necesidad

de revertir las tendencias actuales de calentamiento global, es proactivamente eliminar el uso metódico de los combustibles fósiles en el sistema alimentario.

Sus propuestas para lograr este objetivo fueron:

- Los agricultores deben promover sistemas que regeneran la fertilidad del suelo, con acumulación de humus y secuestro de carbono, para contribuir de esta manera a resolver el problema del cambio climático en lugar de agudizarlo.
- La mayor parte de la energía necesaria para la sociedad debe ser generada en las fincas. La producción de energía a partir del viento y la biomasa, en particular, podrían proporcionar ingresos adicionales a los agricultores mientras aumenta las operaciones agrícolas.

En apoyo de sus propuestas también se refieren a los informes que indican que “en comparación con las grandes explotaciones, las más pequeñas tienen una mayor biodiversidad (Hole *et al.*, 2005), un mayor énfasis en la recuperación de suelos (D’Souza y Ikerd, 1996) y un uso más eficiente de los recursos naturales disponibles (Rossett, 1999).

En un análisis de las oportunidades de inversión en la agricultura para aumentar la producción de alimentos en un mundo de recursos agotados, Kahn y Zaks (2009) observaron que “enfoques alternativos deben ser investigados y probados en el desarrollo, tales como el resurgimiento de pequeñas granjas orgánicas, que se caracterizan por su “biodiversidad”, uso eficiente de energía y agua, baja emisión de carbono”, y un enfoque social equitativo y autosuficiente.

### Prioridades de investigación

#### Gasificación frente pirolisis

Reclamaciones concurrentes se hacen sobre las virtudes del biocarbón producido por pirolisis en comparación con gasificación. Sin embargo, hay una falta de información sobre los respectivos méritos del biocarbón producido a partir de los dos procesos como un componente de los sistemas agrícolas. Se necesitan con urgencia los datos comparativos de uso de biocarbón producido por las dos tecnologías. Desde el punto de vista de los

sistemas, la gasificación parece tener la ventaja de que los productos se pueden utilizar de manera eficiente en la explotación en todas las escalas de funcionamiento. Por el contrario, el bio-aceite que es un importante producto de la pirólisis requerirá en algún refinamiento instalación central antes de que pueda ser usado para sustituir a los combustibles líquidos. La producción de electricidad como el producto principal de la gasificación se ve facilitado por la facilidad de su transporte a través de líneas de transmisión existentes.

#### *Los efectos a largo plazo del biocarbono*

Un hallazgo reciente de Kenia indica que los beneficios del biocarbono en el rendimiento de sorghm grano fueron mayores en el segundo año sin aplicación de más biocarbono. La creencia de que el biocarbono podría tener tiempos de residencia en el suelo, que van desde 1.000 a 10.000 años (Skjemstad *et al.*, 1998; Swift, 2001), implica que debe haber beneficios a largo plazo en los suelos de la aplicación de biocarbono. Esto está en consonancia con las observaciones de la fecundidad que se mantuvo en los suelos negros “Terra preta” de la Amazonía (Glaser, 2007). Esta característica del impacto del biocarbono a largo plazo sobre la fertilidad del suelo ha recibido poca atención en la investigación.

#### *Biocarbono en el sistema agrícola*

Informes recientes de los efectos beneficiosos del biocarbono en la productividad del ganado rumiante y de igual importancia la reducción de las emisiones de metano entérico deben verificarse en una amplia gama de sistemas agrícolas.

Del mismo modo, el papel potencial de biocarbono en la mejora de la producción de biogás y en la purificación (recuperación de los nutrientes) de las aguas residuales ameritan cada vez más atención.

La mayoría de los informes sobre carbón vegetal como corrector del suelo se refieren a los efectos sobre el rendimiento de biomasa y sus componentes. El hallazgo de que en vegetales mostaza verde se incrementó el porcentaje de proteína cruda y que la fibra cruda fue reducida (Chhay Ty *et al.*, 2013), implica que la mejora en el valor nutritivo de

algunos cultivos puede ser otra de las virtudes de la aplicación al suelo de biocarbono. La validación de estos resultados es otra necesidad urgente para la investigación.

El papel potencial de biocarbono como un medio para secuestrar carbono atmosférico ha sido hasta ahora el principal foco de atención. Sin embargo, sus virtudes son mucho más amplias, con impactos potenciales en la fertilidad del suelo, el rendimiento de la planta y la calidad y el uso como aditivo en la alimentación del ganado, biodigestores y otros sistemas de eliminación de residuos líquidos. Más importante aún, es el énfasis que el biocarbono ha dado al concepto general de los sistemas de acercarse a la utilización de los recursos renovables y el reciclado de residuos. Biocarbono tiene más sentido cuando se deriva de un proceso que tiene como objetivo optimizar la variedad de características de la biomasa, para satisfacer las grandes necesidades de la humanidad, que son alimentos, energía, vivienda y un medio ambiente sano.

### **Conclusiones**

La agricultura debe volver a sistemas mixtos que produzcan alimentos y energía con una huella de carbono negativa. Por lo tanto, la educación y la investigación deben ser enfocadas hacia la gestión integrada de los recursos naturales: el sol, la tierra y el agua con el reciclaje de todos los residuos. La especialización es contraindicada, ya que lo que se requiere es una comprensión de cómo aprovechar los elementos de la naturaleza, en lugar de luchar contra ellos.

En lugar de conflictos en el uso de la biomasa para alimentos y combustible, puede haber sinergia, y que en lugar de contribuir al cambio climático, los sistemas de producción podrían tener una huella de carbono negativa. La advertencia, sin embargo, es que el sistema de producción debería ser de pequeña escala, con una estrecha integración entre cultivos, árboles, animales y personas, con el reciclaje de todos los residuos.

Este cambio de enfoque es difícil en un entorno socio-político en el que la propiedad de la tierra ha pasado a manos de intereses comerciales. Sólo la presión (por ejemplo: de los efectos del cambio

climático) y / o beneficios económicos acelerarán los cambios necesarios. Es triste que en un mundo destinado a ser destruido por el aumento de la temperatura, un proceso que puede tener lugar en el próximo siglo, las personas que reconocen y son pro-activas en la promoción de los cambios necesarios en el uso de los recursos naturales, son una minoría. Actividades que ponen de relieve los problemas y defienden e ilustran el camino que hay que seguir, contrastan con las políticas de “seguir como siempre”, que aún dominan el pensamiento y las acciones de la mayoría.

En la actualidad, a nivel de investigación y desarrollo, el campo de juego está lejos de ser nivelado. Las prioridades se están poniendo mucho más fuertemente en soluciones macro en lugar de soluciones micro al problema de la salvaguardia de los futuros suministros de alimentos y energía. Este es un reto para las instituciones y personas que creen que “lo pequeño es hermoso” (Schumacher, 1973). Al igual que las predicciones de Malthus, las de Schumacher no fueron confirmadas por los eventos. Sin embargo, estos hechos tuvieron lugar en un mundo inundado de petróleo barato. Los próximos 50 años pueden mostrar que tanto Malthus como Schumacher tenían razón.

## References

- Belonio AT. Rice husk gas stove handbook. Appropriate Technology Center. Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, College of Agriculture, Central Philippine University, Iloilo City, Philippines; 2005.
- Chhay T, Vor S, Borin K, Preston T R. Effect of different levels of biocarbono on the yield and nutritive value of Celery cabbage (*Brassica chinensis* var), Chinese cabbage (*Brassica pekinensis*), Mustard green (*Brassica juncea*) and Water spinach (*Ipomoea aquatica*). Livest Res Rural Dev 2013; 25: Article #8. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd25/1/chha25008.htm>
- D'Souza G, Ikerd J. “Small Farms and Sustainable Development: Is Small More Sustainable?” J Agr Appl Econ 1996; 28:73-83.
- Glaser B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. Philos T R Soc B 2007; 362:187-196.
- Hole D, Perkins S, Wilson J, Alexander I, Grice P, Evans A. “Does organic farming benefit biodiversity?” Biol Conserv 2005; 122:113-130.
- Heinberg R, Bomford M. The Food and Farming Transition: Toward a Post Carbon Food System. Post Carbon Institute, 2009. URL: <http://pc-ds.webvanta.com/files/PCI-food-and-farming-transition.pdf>
- Inthapanya S, Preston TR, Leng RA.: Biochar increases biogas production in a batch digester charged with cattle manure. Livest Res Rural Dev 2012; 24: Article #212. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd24/12/sang24212.htm>
- Kahn BM, Zaks D. Investing in Agriculture: Far-Reaching Challenge, Significant Opportunity (An Asset Management Perspective), 2009. URL: [http://www.db.com/usa/download/Ag\\_whitepaper\\_062409.pdf](http://www.db.com/usa/download/Ag_whitepaper_062409.pdf)
- Lehmann JA. handful of carbon. Nature 2007; 447 143-144. URL: <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/Nature%20447,%20143-144,%202007%20Lehmann.pdf>
- Lehmann J, Joseph S, Editors. Biochar for Environmental Management; Science and Technology. Earthscan: London; 2009.
- Leng RA, Preston TR, Inthapanya S. Biochar lowers net methane production from rumen fluid in vitro. Livest Res Rural Dev 2012a; 24: Article #103. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd24/6/sang24103.htm>
- Leng RA, Preston TR, Inthapanya S. Biochar reduces enteric methane and improves growth and feed conversion in local “Yellow” cattle fed cassava root chips and fresh cassava foliage. Livest Res Rural Dev 2012b. 24:Article #199. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd24/11/leng24199.htm>
- Leng RA, Inthapanya S, Preston TR. Methane production is reduced in an in vitro incubation when the rumen fluid is taken from cattle that previously received biochar in their diet. Livest Res Rural Dev 2012c; 24: Article #211. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd24/11/sang24211.htm>
- Leng RA, Preston TR, Inthapanya S. Biocarbono reduces enteric methane and improves growth and feed conversion in local “Yellow” cattle fed cassava root chips and fresh cassava foliage. Livest Res Rural Dev 2012; 24:Article #199. URL:<http://www.lrrd.org/lrrd24/11/leng24199.htm>
- Rodríguez L, Salazar P, Preston T R. Effect of biocarbono and biodigester effluent on growth of maize in acid soils. Livest Res Rural Dev 2009; 21: Article #110. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd21/7/rod21110.htm>
- Rosset Peter. Small Is Bountiful. *The Ecologist* 1999; 29. URL: <http://www.mindfully.org/Farm/Small-Farm-Benefits-Rosset.htm>
- Schumacher EF. Small is beautiful. Blond and Briggs; 1973.
- Skjemstad JO, Janik LJ, Taylor JA. Non-living soil organic matter: What do we know about it? Aus J Exp Agr 1998; 38:667-680.
- Southavong S, Khammingsavath K, Vyraphet P, Preston T R. Effect of effluent-treated biocarbono and biodigester effluent on growth of maize (*Zea mays*) and on soil physical properties. Livest Res Rural Dev 2012; 24:Article #104. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd24/6/siso24104.htm>
- Swift RS. Sequestration of carbon by soil. Soil Sci 2001;166:858-871.