



Revisión bibliográfica

LA BIOMASA DE LOS CULTIVOS EN EL AGROECOSISTEMA. SUS BENEFICIOS AGROECOLÓGICOS

Review

Biomass crops in the agroecosystem. Its benefits agroecological

Anirebis Martínez Romero[✉] y Angel Leyva Galán

ABSTRACT. Biomass is the result of the transformation of solar energy into chemical energy. The man throughout history has used not only for food but also for feeding their animals. The progress of science promoted agricultural development based on the green revolution, which only promotes the production of either food or feed, marginalizing the importance of biomass as enriching the soil resources available inputs needed to replace their fertility natural. At present the production and preservation of any crop biomass becomes transcendent importance, because it also contributes to environmental protection through carbon sequestration. This study aimed to show the importance of providing non-food biomass generally for humans to use it not only as animal feed but also as a natural resource rich soil. Research in Cuba on the subject is poor, even though today is very important to find alternatives to deepen in the production of biomass in relation to the environment. Finally, we present preliminary results on the production of biomass from agricultural biodiversity present in production scenarios, while reflecting on the important question for future research.

RESUMEN. La biomasa es el resultado de la transformación de la energía solar en energía química. El hombre a través de la historia la ha utilizado no solo para su alimentación sino también para la alimentación de sus animales. Los avances de la ciencia promovieron el desarrollo agrario basado en la revolución verde, la cual solo promueve la producción de alimentos ya sea de uso humano o animal, marginando la importancia de la biomasa como enriquecedor del recurso suelo al disponerse de los insumos necesarios para sustituir su fertilidad natural. En la actualidad la producción y conservación de la biomasa de cualquier cultivo cobra una importancia trascendente; porque ello contribuye, además, a la protección medioambiental a través de la captura de carbono. El presente trabajo tuvo como objetivo demostrar la importancia que proporciona la biomasa generalmente no alimenticia para los humanos, a fin de emplearla no solo como alimento animal, sino también como enriquecedora del recurso natural suelo. Las investigaciones realizadas en Cuba sobre el tema es pobre, aun cuando en la actualidad resulta de gran importancia encontrar variantes que permitan profundizar en la producción de biomasa en su relación con el medio ambiente. Finalmente se exponen los resultados preliminares sobre producción de biomasa a partir de la agrobiodiversidad presente en los escenarios productivos, a la vez que se reflexiona sobre la importancia del tema para futuras investigaciones.

Key words: biomass, agroecosystems, soil resources, natural resources, soil

Palabras clave: biomasa, agroecosistemas, recursos del suelo, recursos naturales, suelo

INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas se establecen relaciones alimentarias entre las distintas poblaciones

que obedecen al principio de supervivencia de "quién come a quién". Una relación alimentaria es entonces, aquella sucesión, en la cual las agrupaciones de organismos (cada uno representando un eslabón) establecen interacciones de manera tal que los primeros son alimentos de los segundos tras pasándose sucesivamente materia y energía de un eslabón al siguiente (1).

El primer eslabón, o primer nivel trófico, de cualquier cadena alimentaria siempre está representado por los productores, (las plantas), organismos autótrofos, que son capaces de transformar la energía lumínica del sol en un tipo de energía que puede ser utilizado por el resto de los seres vivos; así, las plantas son las únicas productoras y que

Anirebis Martínez Romero, Reserva Científica y Dr.C. Angel Leyva Galán, Investigador Titular del departamento de Fitotecnia, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32 700.

[✉] anirebis@inca.edu.cu

son organismos fotosintéticos que producen biomasa a través de la energía. La vida en el planeta se mantiene en una cadena alimentaria, gracias a estos organismos fotosintéticos (1).

El proceso de creación de biomasa se resume en lo siguiente. Las plantas, como organismos autótrofos, tienen la capacidad de sintetizar su propia masa corporal o biomasa a partir de los elementos y compuestos inorgánicos del medio, en presencia de agua como vehículo de las reacciones y con la intervención de la luz solar como aporte energético para estas. El resultado de esta actividad, es decir los tejidos vegetales, constituyen la producción primaria. Más tarde, los animales comen las plantas y aprovechan esos compuestos orgánicos para crear su propia estructura corporal, que en algunas circunstancias servirá también de alimento a otros animales (2).

La biomasa como concepto es la cantidad total de materia viviente, en un momento dado, en un área determinada o en uno de sus niveles tróficos, y se expresa en gramos de carbono, o en calorías, por unidad de superficie. Las pirámides de biomasa son muy útiles para mostrar la biomasa en un nivel trófico. El aumento de biomasa en un período determinado recibe el nombre de producción de un sistema o de un área determinada (3).

La transferencia de energía de un nivel trófico a otro, no es totalmente eficiente. Los organismos productores gastan energía para respirar, y cada consumidor de la cadena gasta energía para obtener el alimento, mediante su metabolismo y al mantener sus actividades vitales (3). El segundo eslabón, o segundo nivel trófico, lo ocupan los consumidores, organismos incapaces de utilizar la energía lumínica del sol, y que para conseguir la energía necesaria

para vivir deben alimentarse de otros organismos (1).

Del análisis anterior se deduce que la energía solar es un factor determinante en la cadena trófica o alimentaria de los seres vivos del ecosistema natural, puesto que es la fuente de energía que permite la vida de los productores primarios de la cadena trófica: las plantas y algunas bacterias. Mediante la fotosíntesis, la energía procedente del sol permite a las plantas con clorofila y algunas bacterias asimilar el dióxido de carbono a partir de compuestos inorgánicos (1).

Por lo tanto la biomasa vegetal es de gran importancia, es el eslabón primario de la cadena trófica, es uno de los atributos más relevantes para caracterizar el estado de un ecosistema. Puede también ser usada como un componente en la dieta. Además la biomasa en el futuro puede ser también considerada como una fuente complementaria de proteína animal para animales terrestres e incluso para el hombre. Por otra parte la biomasa está estrechamente relacionada con los agroecosistemas más productivos ya que una de las plantas que más biomasa produce son las gramíneas y entre ellas la caña de azúcar.

BIOMASA. DEFINICIÓN E IMPORTANCIA

La medición de cosecha es una medición de biomasa, entendiéndose por biomasa el peso seco de sustancias vivientes en un momento determinado (4). Además, la biomasa puede ser útil directamente como materia orgánica en forma de abono y tratamiento de suelos (por ejemplo, el uso de estiércol o de coberturas vegetales). Y por supuesto no puede olvidarse su utilidad más común: servir de alimento a muy diversos organismos, la humanidad incluida (5).

Otros autores plantean que la biomasa es la cantidad total de materia viviente, que se encuentra en un área determinada o en uno de sus niveles tróficos, y se expresa en gramos de carbono, o en calorías, por unidad de superficie. Las pirámides de biomasa son muy útiles para mostrar la biomasa en un nivel trófico. El aumento de biomasa en un período determinado recibe el nombre de producción de un sistema o de un área determinada (3), según el Diccionario de la Real Academia Española, la biomasa es la materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.

DIFERENTES TIPOS DE BIOMASA

El ecosistema es un sistema abierto que resulta de la suma de todos los organismos vivos y de los componentes físicos y químicos de un área determinada en el espacio y en el tiempo, que están interactuando recíprocamente (6).

En un ecosistema natural que ha alcanzado el clímax la producción neta es nula o muy pequeña: el ecosistema simplemente renueva su biomasa sin crecimiento, a la vez que la biomasa total alcanza su valor máximo. Por ello la biomasa es uno de los atributos más relevantes para caracterizar el estado de un ecosistema o el proceso de sucesión ecológica en un territorio (7).

En la Tabla I se aprecia que entre los agroecosistemas, los de caña de azúcar son los de mayor producción neta anual y diaria de biomasa.

El agroecosistema es un sistema originado por la acción del hombre sobre el ecosistema natural y tiene como objetivos la utilización del medio en forma sostenida para obtener plantas o animales de consumo inmediato o transformable (6).

Al analizar los agroecosistemas tropicales sugiere que estos deben cambiar, del tipo de una explotación a corto plazo, a una explotación sostenida. Sin embargo, añado que el desarrollo de una agricultura sostenible trae consigo problemas derivados del calor durante todo el año (8).

Tabla I. Productividad neta (promedios mundiales) de algunos agroecosistemas determinados por el método de cosecha (g/m²) (7)

| Agroecosistemas | Producción neta (g/m ²) | |
|-----------------|-------------------------------------|--------|
| | Anual | Diaria |
| Trigo | 344 | 0,90 |
| Avena | 359 | 0,98 |
| Maíz | 412 | 1,13 |
| Arroz | 497 | 1,36 |
| Papas | 385 | 1,10 |
| Remolachas | 765 | 2,10 |
| Caña de azúcar | 1725 | 4,73 |

DIFERENCIA ENTRE LA BIOMASA DE LAS POACEAS Y LAS LEGUMINOSAS

Las plantas pertenecientes a la familia de gramíneas así como de las leguminosas son de gran importancia ya que son capaces de aportar gran cantidad de calorías y proteínas, además de ser plantas que presentan gran cantidad de biomasa y, a su vez, sirven para la alimentación animal.

La familia de las gramíneas es probablemente la que mayor importancia tiene para la economía humana. De hecho, alrededor del 70 % de la superficie cultivable del mundo está sembrada con gramíneas y el 50 % de las calorías consumidas por la humanidad proviene de las numerosas especies de gramíneas que son utilizadas directamente en la alimentación, o bien, indirectamente como forrajes para los animales domésticos. En términos de la producción global, los cuatro cultivos más importantes son gramíneas -caña de azúcar, trigo, arroz y maíz-. La cebada y el sorgo están entre los primeros 12. Por otro lado, la caña de azúcar es un cultivo que aporta gran cantidad de biomasa (9).

Las fabáceas (Fabaceae) o leguminosas (Leguminosae) son una familia del orden de las fabales. Reune árboles, arbustos y hierbas perennes o anuales, fácilmente reconocibles por su fruto tipo legumbre y sus hojas compuestas y estipuladas.

Es una familia de distribución cosmopolita con aproximadamente 730 géneros y unas 19,400 especies, lo que la convierte en la tercera familia con mayor riqueza de especies después de las compuestas (Asteraceae) y las orquídeas (Orchidaceae) (10).

En la alimentación del ganado bovino y ovino principalmente, las leguminosas por sí solas o en asociación con las gramíneas forrajeras presentan una serie de bondades que incrementan la producción de leche y carne y, además, tienden a mejorar la eficiencia reproductiva de los rebaños. Algunas de tales características o ventajas son que constituyen una fuente importante de proteínas de buena calidad, dado que poseen una amplia gama de aminoácidos esenciales que las hacen superiores a las gramíneas; presentan una mayor concentración de nitrógeno en las hojas que las gramíneas; presentan bajos niveles de fibras y alto contenido de calcio, en relación con las gramíneas. Por todo esto, las leguminosas forrajeras se siembran asociadas con gramíneas para mejorar la calidad de la oferta alimenticia para el ganado (10).

Las leguminosas presentan un beneficio adicional como mejoradoras del suelo desde el punto de vista de la fertilidad, ya que tienen la propiedad de fijar el nitrógeno atmosférico en los nódulos radiculares. La fijación de nitrógeno que se realiza en estos nódulos es aportado al suelo una vez que han envejecido o muerto las raíces, siendo fácilmente aprovechado por otras plantas tales como las gramíneas con las que crecen asociadas. La cantidad de nitrógeno fijado por las leguminosas puede variar de 20 a 560 kg anuales por hectárea, dependiendo del tipo de suelo y de la humedad disponible. Esta particularidad de fijar nitrógeno le otorga a las leguminosas la facultad de habitar en suelos de fertilidad pobre, sin que esto afecte significativamente su producción y calidad de biomasa (11).

LA RIQUEZA DE LA BIOMASA

La relación carbono/nitrógeno es un valor numérico que determina la proporción de estos dos elementos en un suelo. El carbono y el nitrógeno son indispensables para el desarrollo de la vida ya que afectan directa o indirectamente a todos los procesos biológicos. El carbono fijado por la biomasa proviene del CO₂ atmosférico, reducido durante el proceso de fotosíntesis por las plantas, y suele oscilar en torno a un 50-60 % de la materia orgánica. Sin embargo, el porcentaje de nitrógeno es muchísimo menor que el porcentaje de carbono. Debido a este y a la competencia que ejercen los distintos seres vivos para la obtención del elemento, puede ser un factor limitante. La relación C/N se utiliza para medir la biomasa y la evolución de la materia orgánica en los estudios de fertilidad del suelo (12).

LOS APORTES DE BIOMASA POR CULTIVOS, Y GRADO DE CONVERSIÓN DE LOS CULTIVOS

La biomasa que presentan los cultivos que no aportan alimentos para los humanos, han sido elegidos por el hombre para satisfacer necesidades de sus animales. Los cultivos denominados pastos son los que más han sido utilizados como alimento animal.

Desde el punto de vista del agricultor, la productividad del pasto es lo que se cosecha para traspasar a los animales domésticos, pero en una visión total de la energía producida en el ecosistema hay que tomar en cuenta una serie de partes que el hombre no utiliza pero que han aportado mayor cantidad de sustancias y energía al sistema que pueden ser aprovechadas por otros componentes del suelo. Los rendimientos están dados por las características del paso de energía de un nivel trófico a otro. Se entiende por rendimiento una unidad de eficiencia. El rendimiento de cualquier eslabón se puede medir en relación con la energía que recibe y transforma en otro tipo de energía. El rendimiento se puede expresar por una relación porcentual. Esta relación se denomina eficiencia ecológica y es la energía que se aprovecha en el paso de un eslabón a otro en el sistema (13).

En la Tabla II se observan los datos de biomasa, energía, productividad y eficiencia ecológica de los cultivos en la India.

En las especies forrajeras es importante la duración del ciclo del cultivo porque indica la habilidad de una planta para producir hojas por un largo tiempo.

Existen cultivos con una alta tasa de asimilación neta que tienen follaje de larga duración capaces de producir gran cantidad de materia seca por año, como la caña de azúcar y el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) (13).

Valores de 80 toneladas de materia seca se obtuvieron con pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) en Puerto Rico, en El Salvador y en Venezuela; estas producciones corresponden a las conversiones de 60 ton.ha⁻¹ reportadas por caña de azúcar en Hawaii (14).

LA BIOMASA COMO ALIMENTO HUMANO

La vida en la tierra depende de las plantas. Los humanos, al igual que el resto de los animales, sin las plantas no se podrían alimentar. Directa o indirectamente lo que se consume procede de las plantas y su biomasa.

Las plantas ricas en biomasa son las que proporcionan verduras y hortalizas, ricas en vitaminas y minerales, necesarios para el mantenimiento de la salud. Lechugas, tomates, cebollas, acelgas, repollos y zanahorias, forman parte habitual de nuestras ensaladas. Espinacas, coles, alcachofas están también presentes en la dieta habitual de muchas personas y constituyen alimentos esenciales (15).

La biomasa en vegetales constituye la principal fuente de vitaminas, minerales, antioxidantes y fitoquímicos en la dieta humana; y de todos los vegetales, los de hoja verde son los que tienen la composición más adecuada para las necesidades nutritivas del ser humano.

La biomasa vegetal de hoja verde es sumamente alta en minerales como el calcio, el hierro, magnesio y potasio. También tienen cantidades importantes de vitaminas como la vitamina A (beta caroteno), vitamina C, vitamina E y el ácido fólico. De hecho, si se comparan porciones de cantidades equivalentes de calorías de vegetales de hoja verde y de carne de vacuno, los vegetales de hoja verde tienen más hierro, más calcio, como también otros minerales y vitaminas, incluso más proteínas que la carne (16).

Lamentablemente la mayoría de los humanos no consumen cantidades suficientes de hojas verdes en la dieta. Los gustos se han degenerado debido a la gran cantidad de azúcar, grasa y sal de la dieta moderna, al punto que los vegetales, especialmente los de hoja verde, ya no gustan, incluso a veces se evitan a toda costa (17).

Es aconsejable consumir aproximadamente 400 gramos por día, acompañando pescados y carnes en manera de tortillas de acelga o espinaca, puré de papas o calabazas, ensaladas de lechuga y tomate, por ejemplo. Es bueno incrementar de a poco el consumo de verduras en la dieta ya que es muy importante el aporte que hacen al organismo, para gozar así de buena salud (17). Algunos vegetales se consumen crudos, varían en características, color y forma. Las verduras son ricas en potasio, magnesio, proteínas, también se puede encontrar hierro y calcio en tomate, acelga y espinacas.

En las verduras de color intenso se encuentran: ácido fólico, vitaminas del grupo B, A β caroteno, nos aportan además

Tabla II. Biomasa del follaje contenido de energía, productividad neta y eficiencia ecológica de cuatro cultivos en Varanasi, India

| Cultivos | Biomasa (t.ha ⁻¹) | Energía (Kcal) | Productividad (kg.ha ⁻¹ .día ⁻¹) | Eficiencia ecológica (%) |
|----------|-------------------------------|----------------|---|--------------------------|
| Maíz | 9,74 | 4,00 | 83,6 | 1,67 |
| Arroz | 14,92 | 6,65 | 106,5 | 2,29 |
| Trigo | 18,79 | 6,94 | 156,5 | 2,58 |
| Millo | 25,35 | ----- | 211,2 | ----- |

lignina, celulosa y hemicelulosa, es decir fibras vegetales. Es valioso destacar que no aportan grandes contenidos energéticos, ni tampoco aportan B12 ni vitamina D. Entonces, su principal función es la de proveer vitaminas y minerales al organismo (18).

LA BIOMASA COMO ALIMENTO ANIMAL

Muchísimas especies de gramíneas son excelentes productoras de pasto para el ganado, tanto en pastizales naturales como en pasturas cultivadas. Así, se cultivan para este objetivo numerosas especies de pastos perennes, tanto en climas templados como en climas tropicales o subtropicales (10).

Las especies forrajeras templadas producen pasto durante el otoño, el invierno y la primavera y las más populares son el raigrás perenne (*Lolium perenne*), la cebadilla criolla o bromo de los prados (*Bromus unioloides*), la festuca alta (*Festuca arundinacea*), el agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*), el fleo (*Phleum pratense*) y el falaris bulboso (*Phalaris tuberosa*)^A.

Las gramíneas cultivadas como forrajeras perennes provenientes de climas tropicales o subtropicales son de producción estival y entre ellas se destacan el pasto miel (*Paspalum dilatatum*), el pasto elefante (*Panicum elephantipes*), la grama rodes (*Chloris gayana*), el mijo perla (*Pennisetum americanum*), el pasto horqueta (*Paspalum notatum*) y el pasto llorón (*Eragrostis curvula*) (19). Otras especies forrajeras son anuales, por lo que se las utiliza para producir grandes cantidades de pasto (llamados verdeos) durante una época de producción determinada: el invierno o el verano.

^AGarcía, D. E. Evaluación de los principales factores que influyen en la composición fitoquímica de *Morus alba* (Linn.). [Tesis de Maestría]. Matanzas: EEPF "Indio Hatuey". 2003. 97 p.

Entre las especies para verdeos invernales se hallan la avena (*Avena fatua*, *Avena sativa*), el centeno y la cebada forrajera (*Hordeum vulgare*). Para los verdeos estivales se utiliza el maíz y el sorgo forrajero (*Sorghum sudanense*). Además hay cereales que se utilizan para alimentar animales, como el mijo (*Panicum miliaceum*) y el alpiste (*Phalaris arundinacea*) para alimentar pájaros, o el maíz y el sorgo para alimentar vacas, cerdos y aves de corral (20).

Deben aprovecharse alimentos fibrosos a partir de gramíneas destinadas primariamente a obtener otros productos, de las cuales resultan partes no utilizadas en esa producción (hojas), pero que constituyen una fuente de fibra alimentaria para la alimentación de los rumiantes (20).

La cosecha de la caña azucarera en su proceso de beneficio industrial aporta una inestimable cantidad de hojas que pueden ser utilizadas en la alimentación de los animales como rumiantes. Además la caña entrega de 0,79 toneladas métricas de cogollo y de hojas verdes, 0,41 toneladas de hojas secas o paja, para un total de 1,2 toneladas de residuos de la cosecha por toneladas de azúcar producido, que con un rendimiento de 7,1 toneladas de azúcar.ha⁻¹ es de esperar unas 5,6 toneladas de cogollo y 2,9 toneladas de paja por hectárea de tierra. Para un suministro diario de 20 kg de residuos de la cosecha por cabeza de ganado vacuno, cada hectárea dedicada a la producción de azúcar de caña entrega simultáneamente alimentos para 1,17 animales durante todo el año (21).

La planta arbustiva *T. diversifolia* es una especie que muestra gran plasticidad ecológica, capaz de adaptarse a las más diversas condiciones. Su rusticidad, valor nutricional y composición bromatológica, la poca exigencia a las labores fitotécnicas y los elevados rendimientos de biomasa, la cual puede ser consumida por diversas categorías de animales, la hacen prácticamente un recurso fitogenético excepcional (22).

A esto también contribuye que puede ser empleada como fuente proteica en pastoreo o como forraje para los rumiantes y los mono-gástricos, y suministrarse presecada o molida en forma de harina o pienso; además, es posible almacenarla por períodos relativamente largos (22). Existen evidencias de que las especies de plantas no leguminosas, como la titonia, acumulan tanto nitrógeno en sus hojas como las leguminosas, además de que presentan altos contenidos de fósforo. El follaje de titonia varía en su calidad nutritiva, en dependencia del estado vegetativo en que se encuentre. En los estados de crecimiento avanzado (30 días) y prefloración (50 días), se encontraron los valores más altos de proteína (23).

En otro estudio realizado con titonia se encontraron valores de 23 % de materia seca y 21,4 % de ceniza, 78,6 % de materia orgánica, valores medios de fibra y 24,3 % de proteína en la materia seca (24), como se observa en la Tabla III.

Acorde con lo reportado por Rosales (25), en términos generales, el follaje de titonia se

Tabla III. Contenido de algunos nutrientes en el follaje de *T. diversifolia* (%)

| | |
|--------------------------------------|------|
| Proteína cruda | 24,3 |
| Proteína soluble | 40,2 |
| Materia orgánica | 78,6 |
| Total carbohidratos solubles en agua | 7,6 |
| Azúcares totales | 39,8 |
| Azúcares reductores | 35,0 |
| Fibra detergente neutra (FDN) | 35,3 |
| Fibra detergente ácida | 30,4 |

caracteriza por un alto contenido de nitrógeno total, una alta proporción de nitrógeno de naturaleza aminoacídica, un alto contenido de fósforo, una rápida degradabilidad y fermentación a nivel ruminal. Además, se presume la presencia de sustancias pigmentantes (26). Estos resultados, analizados de forma comparativa con los de las especies forrajeras de amplio uso, como *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* (27), muestran la viabilidad de su uso, tanto en monogástricos como en rumiantes.

Todas estas especies mencionadas anteriormente pueden ser consideradas como buenas opciones para la suplementación de vacunos y rumiantes menores en condiciones de bajos insumos (28).

LA BIOMASA COMO ALIMENTO DEL SUELO

No es común que los actores o productores consideren la biomasa como un alimento imprescindible para alimentar el suelo. Esas son las razones por las cuales se utiliza tanto la quema como práctica de manejo en la agricultura mundial.

La producción de biomasa vegetal derivados de la propia actividad agrícola es considerable. Una práctica que podría contribuir a paliar el déficit húmico de los suelos es la incorporación de estos subproductos, que podrían aumentar el nivel de materia orgánica del suelo y su fertilidad (29).

Los residuos verdes de plantas no leguminosas, como las hortícolas, son susceptibles de ser empleados de forma casi inmediata como abono. Deben ser triturados y secados previamente, lo que facilita su rápida fermentación y posterior aplicación. En el caso de usarlos en la modalidad de abonado verde, nos podemos encontrar con problemas de carencia de nutrientes como se había indicado anteriormente.

Debemos tener en cuenta que la horticultura intensiva produce una considerable cantidad de biomasa que debe ser aprovechada (30). En la Tabla IV podemos apreciar la composición nutritiva de algunos residuos de cosechas, especialmente de cereales y de hortícolas.

Destaca de manera notable que los restos de cereales presentan una mayor relación C/N, lo que se puede interpretar como que precisaran nitrógeno extra para su mineralización; en cambio se debe resaltar, que los residuos de hortícolas suelen presentar una relación más baja corroborando este hecho que, después de un secado y triturado, su aplicación a los suelos pueda realizarse de forma inmediata (30).

Resulta pues incongruente la quema de rastrojos, tanto desde la perspectiva de mantener los equilibrios en los ecosistemas terrestres, como con la mira en el medio ambiente y también atendiendo a importantes razones de índole económica como son:

- ♦ La pérdida de recursos y nutrientes presentes en el propio material, lo que hace necesario utilizar otras enmiendas orgánico-minerales con la finalidad de mantener el estado nutricional del suelo.
- ♦ El grave deterioro de la vida microbiana de los suelos sobre los que se realiza la quema. Este hecho trae como consecuencia el bloqueo de procesos tan importantes como la nitrificación, la humificación y cualquier otro en los que intervienen los

microorganismos, provocando la pérdida de potencial nutricional del suelo y la consiguiente reducción de la productividad.

La biomasa de residuos de cosechas pueden aportar, tras un proceso adecuado de humificación, es decir, de descomposición y formación de sustancias húmicas, una cantidad importante de humus beneficioso para el suelo (31).

Se ha comprobado que la adición de estos residuos, produce efectos beneficiosos sobre otras propiedades del suelo como la capacidad de retención hídrica y de intercambio catiónico. Ambas son favorecidas por este tipo de práctica -abonado con restos de cosechas-, destacando la disminución del riego realizado en posteriores etapas de cultivo y consiguiente ahorro de agua (29).

En definitiva, se debe resaltar que de las plantas aprovechamos una parte comercial a la que se le obtiene rentabilidad económica, pero queda una fracción de biomasa residual importante, rica en elementos nutritivos y que puede ser alterada, mineralizada y humificada, enriqueciendo los suelos y por ello puede llegar a tener efectos positivos sobre la economía (32).

ABONADO VERDE

Los abonos verdes son las plantas que se utilizan para mejorar las propiedades preferentemente en estado de floración, que se entierran en el suelo para mejorar la fertilidad y el contenido de carbono orgánico de los suelos (33).

Tabla IV. Composición media en NPK de restos de cosechas en porcentaje sobre peso seco (30)

| Material | C/N | N | P | K |
|----------|-----|------|------|------|
| Trigo | 105 | 0,49 | 0,11 | 1,06 |
| Arroz | 105 | 0,58 | 0,10 | 1,38 |
| Maíz | 55 | 0,59 | 0,31 | 1,31 |
| Algodón | --- | 0,88 | 0,15 | 1,45 |
| Patata | 27 | 1,6 | --- | --- |
| Lechuga | --- | 3,7 | --- | --- |
| Cebolla | 15 | 2,6 | --- | --- |
| Tomate | 12 | 2,1 | 0,3 | 0,20 |

Este abonado verde consiste básicamente en la adición de restos de plantas frescas o de la totalidad de ellas tras la recolección de la cosecha al suelo. El empleo de esta técnica se desarrolla fundamentalmente con leguminosas que son capaces de enriquecer el medio en nitrógeno, pudiendo servir de abono una vez mezcladas con el. Se estima que se pueden producir de 300 a 700 kg de humus.ha⁻¹ de cultivo (34).

Para estimar la cantidad de nutrientes que aportan los abonos verdes después de incorporarlos al suelo se hace lo siguiente (33):

- ◆ Se determina la producción en fresco de la especie que se va a utilizar como abono verde.
- ◆ Se estima la producción de materia seca que aportará el abono verde al incorporarlo al suelo.
- ◆ La materia seca se multiplica por la concentración de un nutrimento en tanto por uno.

En la Tabla V se observan datos de producción de biomasa en peso fresco y en peso seco de algunos cultivos.

El empleo de leguminosas es importante para el suelo ya que estas plantas son capaces de incrementar el contenido nutritivo de los suelos a la par que ofrecen el ahorro de nitrogenado para el cultivo siguiente, mayor cantidad de agua disponible en el suelo y un aumento en la penetración de las raíces del cultivo (35).

LA BIOMASA Y EL MEDIO AMBIENTE

Cada año se incrementan más las dosis de agroquímicos que

son utilizados en la agricultura. La aplicación de mayores dosis de plaguicidas ha aumentado con los años por resistencia a los productos aplicados, lo que desencadena una dependencia de agroquímicos e incremento de la contaminación ambiental (36).

A nivel mundial se generan grandes toneladas de biomasa de cultivos que son desechados y actúan como foco de contaminación ambiental; en muy pocos lugares se les da un uso productivo.

Existen varias alternativas mediante las cuales se les podría dar un valor añadido a la biomasa de cultivos convirtiéndolos en subproductos y de esta forma evitar la contaminación ambiental generada por el manejo inadecuado que se les da a los mismos (37).

IMPORTANCIA DE LA BIOMASA EN LA CAPTURA DEL CARBONO Y EL MEDIO AMBIENTE

Aproximadamente del 42 al 50 % de la biomasa de un árbol materia seca es carbono. Hay una captura de carbono neta, únicamente mientras el árbol se desarrolla para alcanzar madurez. Cuando el árbol muere, emite hacia la atmósfera la misma cantidad de carbono que capturó. En estado estable, un bosque en plena madurez aporta la misma cantidad de carbono que captura.

Deben continuar las prácticas para captura de carbono, aun después de haber llegado al punto de saturación para impedir la emisión de carbono nuevamente a la atmósfera. Plantas, humanos y animales, son formas de vida

basadas en el carbono que utilizan energía solar para obtener el carbono necesario para la química en las células. Los árboles absorben CO₂ a través de los poros en sus hojas. Particularmente por la noche, los árboles emiten más CO₂ del que absorben a través de sus hojas (38).

El promedio mundial de emisiones de CO₂ por persona, fue 3,9 toneladas en el 2001. Entonces se necesitarían por persona 1,5 hectáreas plantadas con árboles en regiones sin forestación para compensar las emisiones de esta sola persona. Adicionalmente se necesitarían 9,000 millones de hectáreas para compensar las emisiones de 6,000 millones de habitantes en el mundo. Sin embargo, la población y emisiones de CO₂ aumentan diariamente, por lo que se necesitarían mucho más hectáreas (39).

Los suelos fértiles se requieren para producir alimentos. Las grandes extensiones de tierras sin forestación, generalmente no son adecuadas para la plantación de árboles. Además, 70,8 % del planeta Tierra está cubierto por agua. La plantación de árboles beneficia enormemente el medio ambiente, pero no resuelve el problema del calentamiento global. Sería necesario cambiar los patrones de consumo y conducta en la vida para estar en posibilidad de resolver el problema del calentamiento global (39).

El nivel de fijación total de CO₂ durante la formación de la biomasa cañera está dado por dos contribuciones: partes aéreas tallos, cogollos, hojas y raíces; en tanto, su magnitud depende de la composición y del aporte a la biomasa total de la planta de cada una de las partes.

Sin embargo, considerando la complejidad del proceso de fotosíntesis puede proponerse un modelo de primera aproximación para estimar la fijación de CO₂, cuyas hipótesis son:

Tabla V. Producción de biomasa de cinco especies de leguminosas en Chiapas

| Especies | Peso fresco (ton.ha ⁻¹) | Peso seco (ton.ha ⁻¹) |
|--|--|--------------------------------------|
| Frijol arroz (<i>Vigna umbelata</i>) | 25,0 | 5,5 |
| Chícharo gandul (<i>Cajanus cajan</i>) | 65,3 | 17,1 |
| Chipilín (<i>Crotalaria spp.</i>) | 39,7 | 6,7 |
| Frijol nescafé (<i>Macuna deeringiana</i>) | 36,2 | 8,0 |
| Centrosema (<i>Centrosema pubescens</i>) | 11,1 | 2,4 |

- ♦ La composición vegetativa de la caña de azúcar en términos de materia seca es: 70 % caña molible, 19 % cogollo y paja y 11 % raíces.
- ♦ La composición de las diferentes partes de la planta se considera homogénea (40).

La biomasa de cualquier planta contiene en su composición química como promedio un 45 % de carbono^b, en las hojas secas de la caña de azúcar asciende al 43 %. En base al cálculo de las t.ha⁻¹ de biomasa producida en cada ciclo anual y el porcentaje de C, se calculó la cantidad de C total fijado y el remanente, y por diferencia el C emitido a la atmósfera. Considerando el carbono retenido en la materia orgánica se pudo calcular el carbono orgánico fácilmente mineralizable en el suelo (41) (Tabla VI).

Al analizar el cálculo de la cantidad de C capturado anualmente, mediante la conservación de la biomasa durante ocho cosechas, se produjeron diferencias reveladoras.

Los cálculos de la fijación de carbono por ciclos anuales, a partir de conservar toda la biomasa producida en la cosecha de la caña de azúcar sin el uso del fuego, incluyendo los tallos, ascendió a 74,31 t.ha⁻¹.año⁻¹, de los cuales correspondieron a residuos

15,06 t.ha⁻¹, que benefician directamente al agroecosistema^c.

En los tratamientos donde se utilizó el fuego, la emisión de C a la atmósfera ascendió a 6,37 y 9,94 t.ha⁻¹ por año, para una y dos quemas respectivamente (Tabla anterior). Por otra parte, si se analiza el C fijado en la materia orgánica por tratamientos, se aprecian diferencias que calculadas en base al valor de la densidad aparente del suelo y el factor correspondiente al volumen del suelo (41) el C que se pierde ascendió a 10,30 y 17,25 t.ha⁻¹.año⁻¹ para una y dos quemas, respectivamente.

Estos resultados por una parte, concuerdan con la filosofía que propugnan varios autores sobre la necesidad de proteger los recursos naturales, sobre todo el suelo, enriqueciéndolo constantemente con material orgánico, para incrementar sus contenidos en materia orgánica (42) y por la otra, ofrece el camino a seguir para no contribuir en el desequilibrio medioambiental (43).

CONSIDERACIONES GENERALES

Debido a todo lo explicado anteriormente, se hace necesario desarrollar investigaciones que permitan demostrar que la biomasa de los cultivos, es de

gran importancia en la agricultura ya que juega un papel beneficioso dentro del agroecosistema. Esto significa que no solo contribuye a mantener la composición de materia orgánica en el suelo, sino que la fijación del carbono a partir de la conservación de toda la biomasa producida en la cosecha, beneficia directamente al agroecosistema.

En la continuidad del proceso investigativo se podrá profundizar más sobre la producción de biomasa de algunos cultivos, ya que se desconocen otras experiencias de utilización de la biomasa vegetal por lo que se recomienda estudios para cada uno de los cultivos por específico.

REFERENCIAS

1. Marcano, J. Niveles tróficos. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2008, 21 p.
2. Odum, H. Niveles tróficos y calidad de energía. Universidad de Florida. 2006, 45 p.
3. Pineda, M. Flujo de energía y cadenas tróficas. Servicios de publicaciones de la Universidad de Córdoba. España. 2007. p. 39-45.
4. Mollaldo, A. M. Aspectos ecológicos de la fisiología del metabolismo en ecosistemas. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 2002. 72 p.
5. Odum, E. P. The Strategy of Ecosystem Development. *Weed Sci.*, 2005, vol. 44, p. 262-270.

^bHernández, M. I. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como complemento de la nutrición mineral del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). [Tesis de Maestría]; INCA, 2000, 65 p.

^cToledo, E. La cosecha "en verde" y conservación *in situ* de los residuos de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.). Impacto en la sostenibilidad y restauración del agroecosistema en Huixtla, México. [Tesis de Doctorado]. Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas, México, 2008, 100 p.

Tabla VI. Cálculo del C capturado por la biomasa aérea y de la pérdida anual de C del suelo con el uso de la quema en los sistemas cañeros estudiados^c

| Indicador | Sin quema | Una quema | Dos quemas |
|--|-----------|-----------|------------|
| Biomasa total producida (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹) | 168,89 | 123,69 | 112,50 |
| C total fijado (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹) | 74,31 | 54,42 | 49,50 |
| C remanente fijado (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹) | 74,31 | 48,05 | 39,56 |
| C emitido a la atmósfera (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹) | 0 | 6,37 | 9,94 |
| Carbono orgánico fácilmente mineralizable en la profundidad 0,20 m | | | |
| C en la MO (%) | 1,22 | 0,83 | 0,61 |
| Densidad aparente (g.cm ⁻³) | 1,17 | 1,32 | 1,41 |
| Pérdida C (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹) | 0 | 10,30 | 17,25 |

6. Mollaldo, P. Principios y conceptos básicos de los ecosistemas. En: Labrada, R. y Parker, C. Manejo de Ecosistemas para países en desarrollo. Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura. San José. Costa Rica. 1985. p. 59-62.
7. Odum, A. Fundamentals of Ecology. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 2000, vol. 54, 546 p.
8. Janzen, D. Tropical agroecosystems. *American Association for the Advancement of Science*, 2006, vol. 8, p. 12-14.
9. Parodi, L. R. Gramíneas. En: Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo I. Descripción de plantas cultivadas. Buenos Aires: Editorial ACME. 2005. p. 108-182.
10. Kass, E. Phylogenetic relationships in the Papilionoideae (Family Leguminosae) based on nucleotide sequences of cpDNA (rbcL) and ncDNA (ITS1 and 2). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 1997, vol. 8, p. 65-88.
11. Machado, R. y Menéndez, J. Descripción de gramíneas y leguminosas. En: Los Pastos en Cuba. Tomo I. Producción. La Habana: EDICA. 2006. 104 p.
12. Sánchez, A. Leguminosas como potencial forrajero en la alimentación bovina. *Revista de difusión de tecnología agrícola y pesquera del FONAIAP*, 2010, vol. 4, p. 83-89.
13. Dauber, E.; Terán, J. y Guzmán, R. Relación carbono/nitrógeno y estimación de biomasa en Bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana*, 2007, vol. 1, p. 1-10.
14. Stein, J. R. y Taylor, T. M. Verduras y hortalizas. El reino vegetal. Barcelona: Ed. Omega. 2009. 43 p.
15. Basulto, A. Importancia de una dieta rica en verduras para la salud. El Zamorano. Escuela Agrícola Panamericana. Tegucigalpa, 2010, 232 p.
16. Macek, M. Aporte nutricional de las hortalizas y verduras. Minnesota: University of Minnesota. 2009.
17. Aristizábal, M. y Montoya, S. Las Vitaminas. El Manual Merck 9na edición. Grupo Editorial Oceano/CENTRUM, 2010, p. 10-34.
18. Alvarado, A. Los 6 súper alimentos para la salud del hombre. San José, Costa Rica: Clínica de Nutrición. 2009. 12 p.
19. García, D.; Medina, María Gabriela.; Domínguez, C.; Baldizán, A.; Humbría, J. y Cova, L. Evaluación química de especies no leguminosas con potencial forrajero en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 2006, vol. 24, no. 4, 401 p.
20. Catasus, L. Nuevas especies de gramíneas para Cuba. *Acta Botánica Cubana*, 2000, vol. 4, no. 1, 17 p.
21. Langer, R. Especies y variedades de gramíneas forrajeras. En: Las pasturas y sus plantas. Capítulo 3. Montevideo. Uruguay: Editorial Hemisferio Sur. 2008. p. 75-96.
22. Ríos, C. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico. En: Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. *Estudio FAO*, 1998, vol. 14, p. 5-8.
23. Wanjau, S.; Mukalama, J. y Thijssen, R. Transferencia de biomasa: Cosecha gratis de fertilizante. *Boletín de ILEIA*, 1998, 25 p.
24. Rosales, M. Avances en la investigación en el valor nutricional de Nacadero (*Trichanthera gigantea* (Humboldt et Bonpland) Nees.). En: Árboles y arbustos forrajeros utilizados en la alimentación animal como fuente proteica. Colombia: Fundación CIPAV. 2007. p. 127-144.
25. Rosales, M. y Ríos, C. Avances de la investigación en la variación del valor nutricional de procedencias de *Trichanthera gigantea* (Humboldt et Bonpland) Nees. En: Agroforestería para la producción animal en América Latina. (Eds. M. Sánchez y M. Rosales). Roma, FAO. 1998, no. 143, p. 351-362.
26. Mehrez, A. Z. y Orskov, E. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *Academic Press*, 2002, 645 p.
27. Personious, T.; Nwambolt, C.; Stephens, J. y Keiser, R. Crude terpenoid influence on mule deer preference for sagebrush. *Plant Growth Regul.*, 2006, vol. 40, no. 1, 84 p.
28. García, D.; Medina, María Gabriela; Domínguez, C.; Baldizán, A.; Humbría, J. y Cova, L. Evaluación química de especies no leguminosas con potencial forrajero en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 2006, vol. 24, no. 4, 410 p.
29. Cegarra, J.; Hernández, M. T.; Lax, A. y Costa, F. Adición de residuos vegetales a suelos calizos. En: II Influencia sobre la capacidad de retención hídrica y las propiedades de intercambio iónico. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996, p. 235-244.
30. Parr, J. F. y Colacicco, D. Organic materials as alternative nutrient sources. En: Settele, J. Energy in plant nutrition and pest control. New York: Academic Press, 2005, p. 81-99.
31. Rule, J. S.; Turley, D. B y Vaidyanathan, L. V. Straw in corporation into soils compared with burning during successive seasons-Impact of crop husbandry and soil nitrogen supply. En: Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment. Cambridge, Reino Unido: Editions. The Royal Society of Chemistry, 2007, p. 339-354.
32. Cegarra, J.; Hernández, T. y Costa, F. Adición de residuos vegetales a suelos calizos. V. Influencia sobre el desarrollo vegetal. *An. Edafol. Agrobiol.*, 2008, vol. 42, no. 3, p. 545-552.
33. García, S. y Martínez, M. Abonos verdes. México. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Montecillo. 2004, 32 p.
34. Kahnt, G. Abonos verdes. Montevideo, Uruguay: Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur, 2009, vol. 21, p. 132-137.
35. Vidal, B. Fijación Biológica de nitrógeno y abonos verdes, sociedad Cooperativa de Producción Agropecuaria, 2007, 45 p. ISBN 99922-880-2-7.
36. Gómez, D. A la Tierra no se le engaña: Conserva lo que tienes. En: El campo y el Medio Ambiente. Madrid: Banco Central Hispano, 2005, 84 p.
37. Gómez, O. Evaluación de Impacto Ambiental. INIA. Revista Investigación Agraria, 2008, vol. 1, p. 74-76.

38. Brown, S. y Lugo A. Biomass of Tropical Forest: a New Estimate Based on Forest Volumes. *Science*, 2001, p. 141-145.
39. FAO. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma. Informes sobre recursos mundiales de suelos. 2002, 65 p.
40. De Armas, C. y González, L. La caña de azúcar como fuente de energía. En: *La industria de los derivados de la caña de azúcar*. La Habana: Edición Científico-Técnica, 2006, p. 57-89.
41. Cabrera, A.; López, M. y Rivera, R. Estimado de las emisiones de C por la quema de agroecosistemas cañeros. En: *Simposio Internacional de Bioquímica Ambiental*. Salamanca, 2005, p. 83-90.
42. Funes, F.; García, L.; Bourque, M; Pérez, N. y Rosset, P. Transformando el campo cubano. En: *Avances de la Agricultura Sostenible ACTAF*. La Habana: Grupo de Agricultura Orgánica. 2001, 286 p.
43. Acosta, R. La caña de azúcar; una biomasa efectiva para disminuir las emisiones netas de CO₂. Ministerio de la Agricultura y Extensión Agraria. Madrid: Mundi-Prensa, 2006, 96 p. ISBN 9968-904-02-3.

Recibido: 11 de agosto de 2012

Aceptado: 21 de febrero de 2013

¿Cómo citar?

Martínez Romero, Anirebis y Leyva Galán, Angel. La biomasa de los cultivos en el agroecosistema. Sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, 2014, vol. 35, no. 1, p. 11-20.