



Foto: Banco de fotos Agrosavia

Subproductos de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.): usos en alimentación animal y producción de compost

Elizabeth Lagos Burbano
Juan Leonardo Cardona Iglesias
Edwin Castro Rincón

Lagos Burbano, Elizabeth

Subproductos de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.): usos en alimentación animal y producción de compost. / Elizabeth Lagos Burbano; Juan Leonardo Cardona Iglesias y Edwin Castro Rincón – Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2022.

88 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye ilustraciones, gráficos y referencias bibliográficas

ISBN: 978-958-740-620-7

ISBN e-Book: 978-958-740-623-8

1. *Saccharum officinarum* 2. Subproductos de la caña de azúcar 3. Alimentación complementaria 4. Ensilaje 5. Compost 6. Nariño (Colombia). I. Cardona Iglesias, Juan Leonardo II. Castro Rincón, Edwin.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia

Centro de Investigación Tibaitatá, Km 14 vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca.
Código postal 250047, Colombia.

Centro de Investigación Obonuco, Km 5 vía Pasto–Obonuco (Obonuco, Nariño).

Esta publicación es resultado del proyecto “Fortalecimiento del sector panelero mediante la investigación agrícola y agroindustrial en el departamento de Nariño” BPIN 2013000100280, financiado por el Sistema General de Regalías, de la Gobernación de Nariño.

Gobernación de Nariño

Jhon Alexander Rojas Cabrera

Gobernador de Nariño

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Jairo Arley Chamorro Ger

Secretario de Agricultura

Autores

Elizabeth Lagos Burbano, Juan Leonardo Cardona Iglesias, Edwin Castro Rincón

Colección Alianzas Agrosavia

Tipología: Manual

Primera edición: diciembre de 2022, 3.000 ejemplares

Publicado en Mosquera (Cundinamarca)



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Preparación editorial: Editorial Agrosavia

editorial@agrosavia.co

Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Coordinación editorial: Felipe Solano Fitzgerald

Corrección de estilo: Amalia Tapiero

Fotos: Alcira Delgado, Banco de fotos de Agrosavia, Edwin Castro Rincón, Elizabeth Lagos Burbano, Filadelfo Hernández

Ilustraciones: Luz Patricia Colorado Correa

Diseño y diagramación: Julián Hernández – Taller de diseño

Impresión: Imagen Editorial S.A.S.

Citación sugerida: Lagos Burbano, E., Cardona Iglesias, J. L., & Castro Rincón, E. (2022). *Subproductos de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.): usos en alimentación animal y producción de compost*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7406238>

Cláusula de responsabilidad: Agrosavia no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Mayor información: Línea de atención al cliente: 01 8000 121515

atencionalcliente@agrosavia.co - <https://www.agrosavia.co/>

Contenido

Agradecimientos	7
Presentación	9
Introducción	11
1. Caña de azúcar, características, composición y su potencial de uso.....	15
2. Cultivo de la caña (<i>S. officinarum</i> L.) como recurso forrajero.	23
3. Uso potencial de la caña y de los subproductos en la alimentación animal	33



4. Utilización de los subproductos de la agroindustria panelera en la elaboración de compost	51
5. Costos de producción de los subproductos de caña propuestos: bloque multinutricional, ensilaje y compost	69
Conclusiones y recomendaciones.....	77
Glosario	81
Referencias	83
Los autores.....	87



Foto: Banco de fotos de Agrosavia

A vertical photograph on the left side of the page showing a close-up of sugarcane stalks. The stalks are green and brown, with some dried leaves visible. The image is slightly out of focus, emphasizing the texture of the plant.

Agradecimientos

Los autores agradecemos a los actores de la cadena agro-industrial de panela del departamento de Nariño, a las asociaciones de productores, a los gremios, a la academia, a las secretarías de Agricultura, a las instituciones públicas y privadas, a los asistentes técnicos, a los investigadores y al público en general por participar en la implementación del proyecto de investigación titulado “Fortalecimiento del sector panelero mediante investigación e innovación agrícola y agroindustrial en el departamento de Nariño”. Este último se desarrolló con recursos del Sistema General de Regalías (SGR) en alianza con la Federación Nacional de Productores de Panela (Fedepanela) y fue ejecutado por la Secretaría de Agricultura y Medio Ambiente de Nariño y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia.



Foto: Elizabeth Lagos Burbano



Presentación

Esta cartilla se elaboró en el marco del proyecto titulado “Fortalecimiento del sector panelero mediante investigación e innovación agrícola y agroindustrial en el departamento de Nariño”. Su financiación estuvo a cargo del Sistema General de Regalías (SGR) y su ejecución de la Gobernación de Nariño y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia.

El documento aborda temas aplicados sobre el uso de subproductos de la caña de azúcar en la alimentación de especies pecuarias y en la elaboración de compost para fertilización de cultivos. La cartilla se basó en los resultados de investigación del objetivo asociado a la formulación de alternativas de valorización de subproductos del proceso de elaboración de la panela desarrolladas para la alimentación animal y la nutrición vegetal en el departamento de Nariño. Dicha meta se enfocó en investigar el potencial de los subproductos de caña de azúcar en la suplementación estratégica de especies pecuarias y en la nutrición vegetal.

De acuerdo con lo anterior, esta cartilla servirá de guía para mejorar e implementar tecnologías y procesos relacionados con la nutrición animal y vegetal. Con el uso de subproductos de la caña de azúcar en la región se pretende hacer más eficiente y sostenible la productividad agropecuaria y mejorar la seguridad alimentaria y la economía familiar.



Foto: Elizabeth Lagos Burbano



Introducción

Dada su capacidad de adaptación a diferentes condiciones medioambientales, la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es una planta de gran importancia para la economía de diferentes regiones del mundo. Ubicados en zonas tropicales, subtropicales y templadas, los países que más caña de azúcar producen están en América (50,7 %) y Asia (40,9 %), seguidos de los que están en África (5,9 %) y Oceanía (2,5 %). Asimismo, los principales países productores de caña de azúcar en orden descendente son: Brasil, India, China, Tailandia, Pakistán, México, Colombia, Australia, Indonesia y Estados Unidos. Cabe destacar, además, que la producción de caña de azúcar es de 1.900 millones de toneladas en un área cosechada de 27 millones de hectáreas.

De las especies agrícolas, la caña es la que convierte mayor energía solar en energía química, sin embargo, solo se le atribuye valor comercial al 24 % de la materia seca acumulada durante el período vegetativo. El 76 % restante lo constituyen los residuos resultantes de la fabricación del azúcar o panela, como el cogollo, las hojas y pajas, el bagazo, la melaza y la cachaza. El volumen de subproductos generados es alto, pues por cada tonelada de panela se obtiene una tonelada de subproductos, los cuales se pueden convertir en la materia prima para la elaboración de suplementos para la alimentación animal: se pueden suministrar como ensilajes, harinas, bloques nutricionales y melote. También pueden ser usados en la producción de compost para la fertilización del cultivo de caña, con lo cual disminuye el uso de fertilizantes químicos. Los subproductos poseen un alto contenido de fibra y una alta concentración de sacarosa y azúcares solubles, no obstante, sus contenidos de proteína y minerales son bajos.

En Nariño, 19.000 hectáreas están destinadas al cultivo de caña de azúcar y la producción promedio se aproxima a las 128.700

toneladas de panela, cifra que lo convierte en el cuarto departamento más productor de Colombia. Como actividad económica se realiza en 41 de los 64 municipios de Nariño, razón por la cual es una importante fuente de empleos. Pese a lo anterior, es un sistema productivo bastante afectado por el alza en los precios de los fertilizantes, los insumos y, en general, por el incremento en la demanda y oferta del producto.

Una de las limitaciones que presenta la agroindustria de la panela en Colombia es la baja utilización de los subproductos de la caña y de su molienda pese a que el volumen de subproductos aprovechables es potencialmente alto. Dependiendo del porcentaje de extracción del jugo, de la variedad y de la edad del cultivo, se pueden obtener en promedio 2.368 kg de bagazo, 300 kg de cachaza y 150 kg de miel por cada tonelada de azúcar producida sin refinar. Por lo tanto, se hace necesario profundizar en el estudio y la aplicación del uso de este tipo de subproductos, ya sea como fuente de alimentación animal o como fertilizantes para cultivos.





1. Caña de azúcar, características, composición y su potencial de uso

¿Qué sabemos de la caña de azúcar?

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es una planta que se caracteriza por su buena capacidad de adaptación a diversos suelos, climas, topografías y sistemas de producción, así como por su gran capacidad de producción de materia verde (más de 100 t/ha) y materia seca por unidad de área. Esto se debe a su eficiencia para transformar energía en biomasa.

Se debe tener en cuenta que las fracciones que componen la planta dependen de aspectos como la edad, la variedad, las condiciones medioambientales y el manejo que se le haga al cultivo, entre otros aspectos. En la etapa de madurez tiene aproximadamente 71,82 % de tallos para molienda, 12,58 % de cogollos, 8,7 % de hojas y 6,9 % de chulquines.

¿Qué variedad de caña se utiliza en alimentación animal?



Figura 1. Planta de caña de azúcar (*S. officinarum*)

Foto: Banco de fotos de Agrosavia

Las variedades denominadas *forrajeras* son las más utilizadas para sistemas de alimentación animal, ya que son plantas con una buena relación hoja-tallo (o sea, mayor proporción de hojas). Se tienen valores promedio de la relación hoja-tallo de 0,69 a los 4 meses de edad, de 0,58 a los 8 meses y de 0,36 a los 11 meses. Las variedades consideradas forrajeras se caracterizan por tener un desarrollo óptimo y un buen contenido de azúcares (la sacarosa en jugo promedio es de 80 %). Se debe tener en cuenta que el rendimiento de la planta está dado principalmente por el peso, pero puede aumentar según el diámetro y el grosor del cogollo (Bastidas et al., 2010) (figura 1).

Las llamadas cañas forrajeras en realidad son variedades de la caña de azúcar que se cosechan en promedio a los diez meses de edad. Estas tienen un aporte nutricional

aceptable, palatabilidad (aceptación) y buen rendimiento en forraje para la alimentación de especies pecuarias como bovinos, equinos o cerdos. Cabe anotar que en algunas zonas del país se le denomina forrajera a la caña de azúcar destinada a la alimentación animal.

Composición nutricional de la caña de azúcar

La caña se caracteriza nutricionalmente por su buen aporte energético a la dieta de especies como bovinos, cuyes, cerdos o aves de corral. El aporte de energía para los animales deriva de su alta concentración de azúcares, lo que hace que pueda mejorar la producción de leche en vacas o las ganancias de peso en cuyes o cerdos.

En cuanto al aporte de proteína en la caña, este se considera bajo, pues hay que mezclarla con otros ingredientes de mayor calidad proteica como algunas pasturas o leguminosas. Se debe tener en cuenta que la calidad nutricional de la caña depende de la fracción de la planta (integral, cogollo y tallos) o del tipo de subproducto, el estado de madurez, la edad del cultivo, la variedad, el clima y el manejo agronómico (tabla 1).

Tabla 1. Composición nutricional de varias formas de caña de azúcar (*S. officinarum* L).

Fracción	MS (%)	PB (%)	Ca (%)	P (%)	FDN (%)
Caña picada	31,0	3,5	0,4	0,2	46,5
Caña integral	33,5	4,0	0,3	0,15	52,6
Caña molida	98,0	2	0,28	0,2	44,8
Forraje de caña	34,3	3,9	0,4	1	48

MS: Materia Seca; PB: Proteína Bruta; Ca: Calcio; P: Fósforo; FDN: Fibra Detergente Neutro.

Fuente: Elaboración propia con base en Lagos & Castro (2019)

Además, aunque el contenido de minerales de la caña es bajo, pues constituye aproximadamente solo el 5 % de la materia seca en la caña integral, en algunos subproductos como la cachaza esta concentración puede ser un poco mayor (6 %). La digestibilidad de la caña —es decir, el porcentaje de la caña que consume el animal y que no es excretada en las heces—, es de media a baja (en promedio 20 %) debido a que la fibra es altamente lignificada.

¿La caña de azúcar se puede suministrar como único alimento a los animales?

La respuesta es no. La planta entera o los subproductos de la caña no alcanzan a cubrir todos los requerimientos nutricionales de las especies pecuarias. Por lo tanto, este material debe suministrarse mezclado con forrajes u otros ingredientes con buenos contenidos proteicos y menores contenidos de fibras para tratar de balancear la ración. Además, en bovinos es primordial suplementar con una fuente mineral como las sales mineralizadas. Si el material proveniente de la caña se va a utilizar como fertilizante, bien sea en forma de abono verde o para compost, se aconseja realizar un balance y ajuste de minerales.

Para recordar: la importancia de los nutrientes en la dieta animal

Debemos recordar que los nutrientes tienen funciones diferentes, pero actúan de manera simultánea para lograr que los animales sean saludables y productivos. Asimismo, la carencia de uno o varios nutrientes puede ocasionar deficiencias nutricionales o enfermedades que se traducen en la disminución de los parámetros productivos y reproductivos.

¿Cuándo se debe cosechar la caña de azúcar para alimentación animal?

Se puede cosechar entre los tres y cuatro meses de edad (máximo ocho meses) con el fin de aprovechar un forraje tierno y de buena calidad. En esta etapa presenta mayor contenido de nutrientes, mejor relación hoja-tallo, una altura adecuada, °Bx que varían entre 12 y 16 y una humedad adecuada que facilita el proceso degradativo del alimento.

Entre los nutrientes más importantes se encuentran las proteínas. Las proteínas son esenciales en la nutrición de los animales porque forman las células, los órganos del cuerpo, la piel, los músculos, y, además, son un nutriente primordial que se encuentra en la leche, la carne y los huevos. Generalmente, la proteína es mayor en el cogollo de caña (3,8 % en promedio), seguido de la planta integral (1,5 % en promedio) y de los tallos (0,6 % en promedio).

Los carbohidratos son la fuente principal de energía en la dieta y la caña es un recurso nutricional con altos contenidos de carbohidratos. Los carbohidratos pueden ser de dos tipos: estructurales y no estructurales. Los carbohidratos estructurales son los que conocemos como *fibras* y la mayor

proporción de fibras las encontramos en los tallos o en los cogollos de la caña. Se debe tener en cuenta que la fibra aumenta con la edad de la planta y que, si se pica el material, disminuye su contenido de fibra.

La fibra es muy importante en dietas de bovinos, cabras y ovejas, especies denominadas *rumiantes*. Precisamente el rumen o panza de estos animales funciona gracias a la fibra, ya que esta es el sustrato principal para millones de microorganismos que allí habitan. Asimismo, la fibra promueve el movimiento del rumen y la producción de saliva en los rumiantes. En otras especies, como los equinos, cuyes o conejos la fibra ayuda a mejorar la movilidad del tracto gastrointestinal; igualmente, cuando la fibra se fermenta en el intestino grueso se producen algunas vitaminas.

Los carbohidratos no estructurales están constituidos principalmente por los azúcares y almidones. Estos, al contrario de los estructurales, son de rápida digestión para los animales. Cabe destacar que los jugos, la melaza o el melote de caña son altos en azúcares y, por lo tanto, son una fuente de energía clave para los animales. Además, son los azúcares los que dan el sabor dulce a las dietas cuando se incluye la caña. Ejemplo de ello es el melote, la melaza o la misma caña integral con tallos que contengan buena proporción de azúcares. Una medición importante en subproductos de la caña de azúcar son los grados brix (°Bx), estos son, en cierta medida, la concentración de azúcares solubles, como la sacarosa. Mayores valores de °Bx indican una concentración energética alta en el material evaluado.

Los carbohidratos estructurales: están cuantificados dentro de la fracción fibrosa, la cual, en términos de análisis bromatológico (análisis que se le hace a un forraje en el laboratorio para determinar su composición nutricional), se denomina Fibra Detergente Neutro (FDN), es decir, la fracción que reúne la pared celular total de la planta. Cuanto más alta sea la proporción fibrosa, menos digestible será la caña o sus fracciones, como se explicó anteriormente.

Los minerales: aunque son pequeños componentes, cumplen funciones muy importantes dentro del organismo animal. El calcio y el fósforo, por ejemplo, contribuyen a la formación de

¿Qué son los °Bx?

Los grados brix indican el contenido de azúcares en la caña integral, sus componentes o subproductos. Por ejemplo, el azúcar que se encuentra en mayor proporción en la caña es la sacarosa, por lo que cuanto mayor sea la proporción de sacarosa, más alta será la concentración de grados brix.

huesos, dientes y pelo y se encuentran en la leche y sus derivados. Minerales como el hierro previenen la anemia y el cloro ayuda a la digestión de proteínas en el estómago. En los análisis de composición química de los alimentos, el componente dentro del cual se encuentran los minerales también es conocido como *ceniza*. Aunque la caña de azúcar no es un producto con alto contenido de minerales, el que más sobresale es el potasio, por lo cual es primordial la mezcla con otros ingredientes en dietas para especies pecuarias. En cuanto al componente mineral total (ceniza), este oscila entre el 6 % y el 9 % para la caña integral y es más bajo en los subproductos como la cachaza o el bagazo.

¿Qué fracción de la caña nutre más a los animales?

La opción más recomendada para suministrarles a los animales es la caña integral. Así se aprovecha el total de la planta, no quedan residuos y presenta una adecuada digestibilidad y aceptación. No obstante, los subproductos como el melote, el bagazo o la cachaza son muy importantes para elaborar subproductos estratégicos como bloques multinutricionales o ensilajes.

Aunque la caña integral cosechada a buena época contiene mayor proporción de biomasa y nutrientes, a especies como las aves de corral o los cerdos, por ejemplo, es más factible suministrarles subproductos como el melote. En contraste, los bovinos, caprinos, ovinos o equinos tienen un mayor aprovechamiento de la planta entera, debido a que poseen un sistema digestivo especializado.

En todo caso, se debe partir del entendimiento del cultivo, los rangos de adaptación, la fenología (ciclo vegetativo), las formas de uso en la industria (ya sea panela o azúcar), los residuos que se producen luego de todo el proceso y las posibles implicaciones que tiene para el medioambiente la producción y el uso de la caña en diferentes ecosistemas.

¿Qué es la materia seca (MS)?

Es la materia que queda cuando se le extrae el agua a un alimento. Esta es la fracción donde están concentrados los nutrientes, por lo que a mayor MS se esperaría una mayor cantidad de nutrientes concentrados.

La MS en la caña panelera depende de aspectos como la época de cosecha. Así, por ejemplo, a mayor edad, mayor MS, aunque esto no significa que los nutrientes sean de buena calidad. La MS también depende del tipo de fracción y subproducto.





2. Cultivo de la caña (*S. officinarum* L.) como recurso forrajero

¿Qué partes de la caña de azúcar se puede emplear como forraje?

Los productos derivados de la producción de panela pueden tener varias clasificaciones:

- ◆ El bagazo, la cachaza, el cogollo y los residuos de la cosecha se denominan *subproductos*.
- ◆ La melaza, el melote y la sacarosa corresponden a *coproductos*, dado que son transformados para su uso. Estos se pueden convertir en materia prima para la suplementación animal o para fertilizar los cultivos.

La caña de azúcar genera residuos como el cogollo y las hojas verdes (8 %), las vainas y las hojas secas (20 %) y los subproductos industriales derivados de la manufactura, no solo de la panela sino también del azúcar. Dentro de estos destacan el bagazo, el bagacillo, la cachaza, el melote, la melaza y la vinaza. Estos últimos presentan diferentes características en cuanto a la composición química, el contenido de fibra, la concentración de sacarosa y otros azúcares solubles y los contenidos de proteína y minerales (tabla 2).

Tabla 2. Composición química y mineral de los subproductos de la agroindustria de la caña de azúcar en el municipio de Sandoná, Nariño

Componente	Cogollo	Bagazo	Cachaza	Melote
MS (%)	25,0	44,6	25,5	44,8
H (%)	75,0	55,4	74,5	55,2
CEN (%)	6,4	2,3	3,4	10,7
MO (%)	93,6	97,7	96,6	89,4
PC (%)	4,9	2,2	9,9	11,1
EE (%)	0,7	0,4	7,6	4,9
FC (%)	28,3	33,3	0,5	0,2
FDN (%)	68,2	71,8	-	-
FDA (%)	44,5	40,7	-	-
Hemicel (%)	23,7	31,1	-	-
Cel (%)	40,3	34,1	-	-
Lig (%)	4,2	6,6	-	-
N (%)	0,7	0,5	1,8	1,1
P (%)	0,2	0,1	0,2	0,1
K (%)	2,1	1,9	1,8	0,5
Ca (%)	0,3	0,1	0,2	0,1

Componente	Cogollo	Bagazo	Cachaza	Melote
Mg (%)	0,2	0,1	0,1	0,1
S (%)	0,2	0,1	0,2	0,1
Fe (mg/kg)	78,2	1241,3	1330,0	1078,9
Cu (mg/kg)	<3	4,1	28,6	32,4
Mn (mg/kg)	34,1	36,1	45,2	45,1
Zn (mg/kg)	26,0	11,0	93,5	59,0
B (mg/kg)	1,6	1,9	2,1	4,5
C (mg/kg)	45,6	47,8	56,7	58,3

Fuente: Elaboración propia con base en Lagos & Castro (2019)

A continuación, se describe cada uno de los subproductos con sus características, usos potenciales y algunas consideraciones sobre su procesamiento.

Cogollo

El cogollo, constituido por hojas y una sección de tallo, queda en el lote luego de la cosecha, por lo que no es utilizado en la producción de panela. La proporción de las puntas o cogollo puede oscilar entre el 18 % y el 26 % de la caña dependiendo de la variedad y la zona. El cogollo es una buena fuente de forraje debido a su contenido de fibras. Sin embargo, su contenido de PC es bajo, por lo que es necesario suplementarlo con proteína verdadera o compuestos nitrogenados no proteicos (figura 2).

En el departamento de Nariño, donde la caña se cultiva en condiciones de ladera, el cogollo se usa para la alimentación de los animales de carga (caballos y mulas). Sin embargo, no todo el cogollo es consumido por estos animales, pues cerca de la mitad se descompone en la superficie del suelo junto con la hojarasca.

Asimismo, en algunos casos se ha usado el cogollo para alimentar ganado de leche tipo Holstein y se ha documentado que en las vacas alimentadas dos veces al día con cogollo tratado para mejorar la digestibilidad, la producción promedio diaria de leche por vaca fue de 18,2 a 25,l, es decir, la producción aumentó con la inclusión de cogollo. Además, se reportó una disminución del 59,83 % en los costos del alimento de vaca al día.



Figura 2. Cogollo de caña luego de una cosecha de caña de azúcar.

Foto: Banco de fotos de Agrosavia

Bagazo

El bagazo se obtiene después de extraer el jugo de la caña, el cual tiene muchos usos, ya sea como medio de cultivo para insectos, levaduras y hongos o como alimento para los rumiantes, donde es de gran importancia porque conserva el 50 % de los azúcares, lo cual constituye una ventaja para el animal, pero al mismo tiempo una pérdida para el productor de la panela. Se puede incluir en la dieta como única fuente de fibra o como suplemento de diferentes raciones (figura 3).



Figura 3. Bagazo de caña de azúcar.

Foto: Elizabeth Lagos Burbano

El bagazo se considera uno de los subproductos más importantes del proceso agroindustrial de la producción de panela, tanto por su composición fibrosa como por su valor energético, por lo cual es usado como materia prima para muchos coproductos de alto valor agregado, como la pulpa química papelera.

Asimismo, es la principal fuente de combustión en el trapiche o unidades productoras de panela, factor que limitaría su uso como alimento debido a su baja disponibilidad. Sin embargo, hoy en día se están promoviendo tecnologías en el diseño de hornillas paneleras ecoeficientes tipo Cimpa o modelos de evaporación híbrido de Agrosavia, de manera que a futuro habrá un excedente de este subproducto y, por lo tanto, material disponible para elaborar suplementos para la alimentación animal.

En lo concerniente a su utilización en la alimentación animal, varios estudios desarrollados en torno a este subproducto dan cuenta del desarrollo de metodologías y procedimientos para mejorar su aplicabilidad y la digestibilidad en los animales. Un ejemplo de ello es el bagazo fermentado elaborado a partir de su tratamiento con un álcali y la incorporación de bacterias ácido-lácticas. En este proceso se mejora la digestibilidad de la parte fibrosa del bagazo, con lo cual los azúcares aún presentes en el bagazo se hacen más disponibles para el animal.

Cachaza

La cachaza es un subproducto que se genera en la producción de panelas, específicamente cuando se clarifica el jugo usando plantas como el balso blanco (*Heliocarpus americanus*). Es un material esponjoso, amorfo, de color oscuro a negro, que absorbe grandes cantidades de agua y es rico en fósforo, calcio y nitrógeno, pero pobre en potasio. Además, dado que tiene un alto contenido de humedad (entre 80 % y 88 %), puede provocar fermentación, por lo cual se debe secar para que pueda ser almacenada y utilizada en la alimentación animal.

En alimentación animal se puede utilizar en la fabricación de bloques multnutricionales con niveles de inclusión de hasta el

15 %, con lo cual estos se podrían utilizar en alimentación de bovinos. Para dicho fin, durante el proceso de fabricación de los bloques la cachaza se adiciona, en este caso, de forma líquida y se incorpora poco a poco en el proceso de mezcla. Debido a su rápida fermentación, es necesario deshidratarla hasta conseguir una miel conocida como *melote* (figura 4).



Figura 4. Deshidratación de la cachaza

Foto: Camilo Pantoja

Melote

Se obtiene por deshidratación de la cachaza, lo cual facilita su conservación por períodos superiores a un mes (figura 5). Sin embargo, el melote obtenido equivale a la mitad del peso original de la cachaza, lo que representa pérdidas en el proceso. Dado que es un producto con bajo contenido de proteína, para utilizarlo en alimentación animal se debe mezclar con fuentes de nitrógeno no proteico (urea). En Cundinamarca y Nariño, con bloques multnutricionales con un contenido del 40 % al 50 % de melote y 3 % al 5 % de urea (entre otras materias primas) se han obtenido ganancias de peso diarias de hasta 0,850 g/día en novillos de levante.



Figura 5. Melote

Foto: Elizabeth Lagos Burbano

Melaza

La melaza es un subproducto de gran utilidad en la alimentación animal, pues es una excelente fuente de energía y se utiliza como aglutinante en la elaboración de bloques multinutricionales. Es un líquido denso y viscoso de color oscuro producto de la refinación de la sacarosa procedente de la caña de azúcar (figura 6). Es importante aclarar que existen diferentes melazas, desde la que contiene todo el azúcar (rica), hasta la que resulta de completar el proceso de extracción en el ingenio (final). Estas últimas difieren en su composición química:

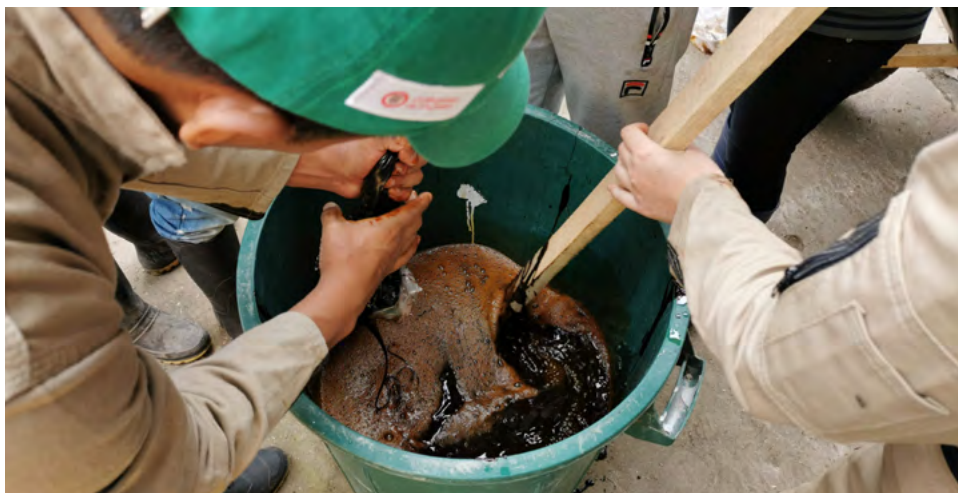


Figura 6. Melaza de caña

Foto: Filadelfo Hernández

- ◆ La rica tiene 0,26 % de nitrógeno y 86,10 % de azúcares totales (es esta la que se utiliza en el ganado vacuno).
- ◆ La final contiene 0,44 % de nitrógeno y 58,3 % de azúcares totales.

Por estas características es importante resaltar la relevancia que tiene incorporarla tanto con nitrógeno no proteico como con proteína verdadera. Su importancia radica en la utilización en la producción de leche y carne. Además, es uno de los más relevantes en los países donde se produce caña, ya que a partir de este es posible desarrollar diferentes estrategias y variaciones en alimentación que permitan optimizar los sistemas productivos.

Vinaza

A inicios de 1996, la vinaza era considerada un residuo de la destilación de la melaza (figura 7). Contenía un 92 % de agua, lo cual hacía imposible utilizarla en la industria y el agro. Por lo tanto, fue necesario concentrarla hasta el porcentaje máximo exigido por la tecnología a través de las destilerías, las cuales lograron reducir su volumen y facilitar su traslado para algunos usos, fundamentalmente la alimentación de bovinos.



Como se puede apreciar, hay diversidad de subproductos que se derivan del cultivo de la caña y que se pueden utilizar en la alimentación animal o para la fertilización de cultivos. Aunque estos reducen los costos de producción, es necesario implementar prácticas químicas, físicas y biológicas que mejoren la digestibilidad y disponibilidad de nutrientes de algunos de estos materiales.

Producción de subproductos

La cantidad y variedad de subproductos son variables que hacen de la producción de panela un cultivo de interés económico. Por cada diez toneladas de caña se obtiene una tonelada de panela, y por cada tonelada de panela producida se puede obtener una tonelada de subproductos.

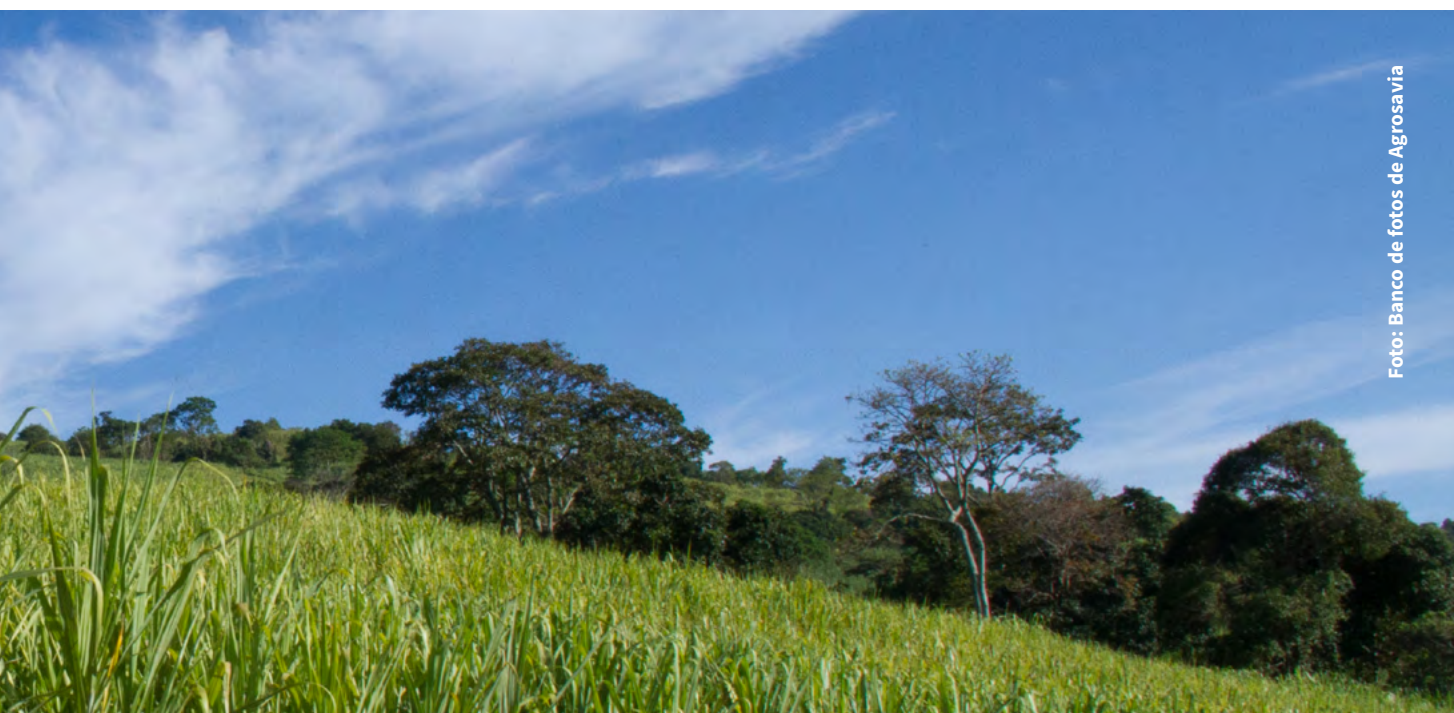


Foto: Banco de fotos de Agrosavia



Foto: Elizabeth Lagos Burbano



3. Uso potencial de la caña y de los subproductos en la alimentación animal

¿Cómo se puede utilizar la caña de azúcar en la alimentación animal?

La caña de azúcar para alimentación animal se puede ofrecer fresca o picada, y su consumo dependerá de la variedad y la edad de corte, así como de la dureza y el tiempo de retención en el rumen. Asimismo, el tamaño de picado es un factor importante para tener en cuenta. De hecho, un mayor nivel de picado incrementa el consumo y, por lo tanto, la ganancia de peso. Para demostrarlo se evaluaron tres niveles de picado: en trozos, molido grueso y fino, y se concluyó que un tamaño de picado entre fino y molido grueso es óptimo para la suplementación del 1 % del peso vivo.

Otra opción debido a la época y la caída de precios de la panela o el azúcar es producir silo de caña para la alimentación animal a edades tempranas de corte. Cabe señalar que el silo de caña también ha sido ampliamente estudiado en rumiantes: al suministrarlo en una proporción de concentrado 70:30 a hembras Holstein-Friesian desde el destete hasta los 470 días, se observó un mejoramiento en la condición corporal y la conversión alimenticia.

Sin embargo, el ensilaje de caña presenta algunas limitaciones, por ejemplo, la fermentación (proceso mediante el cual se transforma el azúcar en alcohol) o la presencia de levaduras como contaminantes naturales. Por lo tanto, se puede considerar el uso de aditivos para modificar la ruta fermentativa principal y evitar procesos fermentativos inadecuados. Por ejemplo, la inoculación del ensilaje con la bacteria *Lactobacillus buchneri* reduce la concentración del etanol y la pérdida de la materia seca y, por ende, de los demás nutrientes.

También se puede mezclar la caña de azúcar con otras fuentes de alimento, tales como el concentrado, el maíz y otros forrajes. En estos casos se reporta que con una inclusión de hasta 10 kg de caña de azúcar, la ganancia media diaria de peso mejora de 20 % a 25 %. Además, en comparación con el pastoreo, la calidad de la carne mejora con dietas en las que se suministre 60 % de caña y 40 % de concentrado (harina de soya y maíz).

En otros casos, se puede mezclar la caña con forrajes ricos en proteína como nacedero (*Trichanthera gigantea*) y yuca (*Manihot esculenta*), con contenidos de PC de 23,4 % y 24,5 %, respectivamente. En dicho caso, se debe mezclar en proporciones de entre 20 % y 40 % de caña y 80 % y 60 % del otro forraje. Lo anterior puede resultar en aumentos de producción de leche de 15 % a 25 % en vacas Siboney.

Una opción muy usada para la caña y los subproductos como el bagazo son las sustancias para mejorar la digestibilidad de la fracción fibrosa y conservar el material picado durante más tiempo con productos químicos alcalinizantes como el hidróxido de sodio (NaOH), el hidróxido de potasio (KOH), el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), el amoníaco anhidrido (NH_3) y óxido de calcio. Estos agentes actúan parcialmente solubilizando la hemicelulosa e incrementando su digestión y aumentando la tasa de pasaje en el rumen. A la caña tratada con estas sustancias se le denomina caña hidrolizada. En todo caso, cualquier uso de este tipo de insumos se debe hacer con orientación técnica de un profesional que considere el impacto sobre el medioambiente, ya sea por contaminación directa o por el aumento de emisiones de NH_3 en el animal.

En los siguientes apartados se hacen recomendaciones para elaborar ensilaje, bloques multinutricionales (BMN) y silo de caña de azúcar.

Elaboración de ensilaje con caña y subproductos

Para elaborar con éxito el ensilaje con caña y subproductos se debe tener en cuenta las recomendaciones que se presentan en este apartado.

¿Qué es el ensilaje?

Es una alternativa que permite guardar en buen estado los excedentes de forraje verde de gramíneas y leguminosas para suministrarlos al ganado en época seca o en cualquier momento en el que escasee el alimento (figura 7).



A



B



C

Figura 7. Proceso de ensilaje. a. Sellado de bolsas; b. Material colocado en Silopack; c. Silo terminado

Fotos: Edwin Castro Rincón

Ventajas del ensilaje

Entre las principales ventajas que tiene el ensilaje se encuentran:

- ◆ Mantiene la calidad nutritiva durante largos períodos.
- ◆ Suministra alimento en períodos de escasez.
- ◆ Disminuye los gastos por la compra de suplementos alimenticios fuera de la finca.
- ◆ Permite aumentar la capacidad de carga.

Insumos para elaborar el ensilaje

Los principales insumos para elaborar el ensilaje son:

- ◆ Forraje verde.
- ◆ Cachaza, melote o melaza.
- ◆ Urea.
- ◆ Bolsas para ensilaje.
- ◆ Picadora o machete.

¿Qué forrajes se pueden ensilar?

Para elaborar el ensilaje se pueden emplear los siguientes forrajes:

- ◆ Maíz (*Zea mays*).
- ◆ Sorgo dulce (*Sorghum bicolor*).
- ◆ Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.).
- ◆ King Grass (*Pennisetum purpureum* Schumacher).
- ◆ Fríjol guandul (*Cajanus cajan*).
- ◆ Canavalia (*Canavalia ensiformis*).
- ◆ Caupi (*Vigna unguiculata*).
- ◆ Matarratón (*Gliricidia sepium*).
- ◆ Morera (*Morus alba*).
- ◆ Botón de oro (*Tithonia diversifolia*).
- ◆ Quiebrabarrigo (*Trichanthera gigantea*).

Momentos de corte de forraje

Tenga en cuenta estos momentos de corte del forraje para elaborar el ensilaje:

- ◆ Gramíneas: 30 a 35 días después del último corte.
- ◆ Maíz y sorgo: en fase de grano lechoso.
- ◆ Pasto de corte: entre 50 y 60 días de rebrote.
- ◆ Caña de azúcar: 8 a 10 meses de rebrote.
- ◆ Leguminosas y arbustivas proteicas: 90 y 120 días del rebrote.

Pasos para elaborar el ensilaje

Para producir un ensilaje de calidad, se recomienda seguir paso a paso estas indicaciones:

1. Definir la cantidad de animales, el tiempo de suministro y la cantidad de forraje.
2. Picar el materia entre 1 y 3 centímetros (figura 8).
3. Orear o ventilar el material de 2 a 4 horas.
4. Depositar en bolsas el material y compactarlo por capas.
5. Usar la cachaza, el melote o la melaza en cada capa cuando se ensilen forrajes maduros, leguminosas y forrajes altos en proteínas. Si se ensila maíz o sorgo, no es necesario adicionar cachaza, melote o melaza.
6. Cerrar herméticamente la bolsa.
7. Almacenar las bolsas en un lugar fresco libre de animales.



Figura 8. Proceso para ensilar caña y sus subproductos. a. Caña para ensilar; b. Caña picada; c. Caña ensilada; d. Suministro de silo a animales.

Fotos: Elizabeth Lagos Burbano

En la tabla 3 se presentan cuatro fórmulas para elaborar el ensilaje y sus respectivos aportes nutricionales.

Tabla 3. Fórmulas recomendadas para ensilaje de caña.

Ensilaje de caña para una bolsa de 50 kg		
Fórmula 1		
Material	Cantidad kg	Aporta
Caña	46,7	Azúcar, fibra (energía) y potasio.
Urea	1,8	Proteína (nitrógeno no proteico).
Sal mineralizada*	1,5	Minerales (fósforo, calcio, magnesio, azufre).
Fórmula 2		
Material	Cantidad kg	Aporta
Caña	31,7	Azúcar, fibra (energía) y potasio.
Forrajes arbustivos/leguminosas	15	Fibra, proteína y calcio.
Urea	1,8	Proteína (nitrógeno no proteico).
Sal mineralizada*	1,5	Minerales (fósforo, calcio, magnesio, azufre).
Fórmula 3		
Material	Cantidad kg	Aporta
Pasto de corte picado	31,7	Azúcar, fibra (energía) y potasio.
Forrajes arbustivos/leguminosas	15	Fibra, proteína y calcio.
Urea	1,8	Proteína (nitrógeno no proteico).
Cachaza o melote de caña	1,5	Minerales (fósforo, calcio, magnesio y azufre).
Fórmula 4		
Material	Cantidad kg	Aporta
Pasto de corte picado	31,7	Azúcar, fibra (energía) y potasio.
Urea	1,8	Proteína (nitrógeno no proteico).
Cachaza o melote de caña	1,5	Minerales (fósforo, calcio, magnesio y azufre).
Sal mineralizada*	1,5	Minerales (fósforo, calcio, magnesio y azufre).

* Opcional de acuerdo con la disponibilidad.

Fuente: Elaboración propia

Ración animal

Los primeros 15 días se debe alimentar al animal con 2,5 kilos para adaptarlo al consumo. Luego se incrementa la ración cada día hasta suministrarles un máximo de 10 a 12 kilos de ensilaje a los animales adultos.

Recomendaciones

No se debe abrir el ensilaje antes de que hayan pasado 30 días después de haberlo elaborado. A partir de ese momento hay que utilizarlo rápidamente, sellarlo y asegurar la compactación.

Elaboración de bloques multinutricionales con subproductos de caña

Para elaborar con éxito bloques multinutricionales (BMN) con subproductos de caña de azúcar se debe tener en cuenta las recomendaciones que se presentan en este apartado.

¿Qué es un bloque multinutricional?

El BMN (figura 9) es un suplemento alimenticio estratégico que se caracteriza por estos aspectos:

- ◆ Aporta nitrógeno, energía y minerales.
- ◆ Promueve un incremento en el consumo de alimentos fibrosos.
- ◆ Favorece las condiciones de los microorganismos ruminales.

¿Cuándo se pueden usar?

Los BMN constituyen una buena alternativa durante épocas críticas (sequías e inundaciones), especialmente cuando la nutrición se basa en forrajes fibrosos con bajos aportes de proteínas y minerales.

Figura 9. Elaboración de bloques multinutricionales. a. Materia prima para preparar los bloques; b. Mezclado de materiales; c. Pesaje melote; d. Bloques en sacado; e y f. Suministro a animales.

Fotos: Elizabeth Lagos Burbano



A



B

¿Qué ingredientes se utilizan en su elaboración?

Para producir un BMN de calidad se recomienda emplear estos elementos:

- ◆ Melaza o melote (cachaza deshidratada).
- ◆ Fuente de nitrógeno no proteico.
- ◆ Fibras.
- ◆ Fuentes minerales.
- ◆ Aglutinante del bloque (Cal).

Proceso para elaborar los bloques multinutricionales

A continuación, se presenta el paso a paso para elaborar los BMN:

1. Molienda.
2. Pesaje.
3. Mezcla.
4. Prensado.



En la tabla 4 se presentan cuatro fórmulas para elaborar los BMN: mixto, energético, proteico y para cuyes.

Tabla 4. Algunas fórmulas para elaborar los bloques multinutricionales

Formulación BMN mixto 20 kg			Formulación BMN energético 20 kg		
Insumo	Porcentaje %	Kg	Insumo	Porcentaje %	Kg
Melote / melaza	40	8	Melote / melaza	30	6
Urea / matarratón	10	2	Urea / matarratón / botón de oro	10	2
Cal	10	2	Cal	10	2
Sal Mineral	8	1,6	Sal	10	2
Azufre	2	0,4	Afrecho de maíz / cebada	15	3
Afrecho de maíz / cebada / trigo	15	3	Hojas de yuca, morera / San Joaquín	10	2
Harina de yuca / Nacedero	7	1,4	Bagazo	15	3
Bagazo	8	1,6			
Formulación BMN Proteico 20 kg			Formulación BMN para Cuyes 10 Kg		
Insumo	Porcentaje %	Kg	Insumo	Porcentaje %	Kg
Melote / melaza	45	9	Melote / melaza	47	4,7
Urea	10	2	Afrecho de maíz, trigo y cebada	30	3
Cal	10	2	Harina de matarratón, nacedero y botón de oro	10	1
Sal Mineral	8	1,6	Cáscaras de huevo	1	0,1
Azufre	2	0,4	Sal mineral	2	0,2
Bagazo de caña	10	2	Cal	10	1
Leguminosa	15	3			

Fuente: Elaboración propia

¿Cómo se suministran a los animales?

Se suministra a voluntad a bovinos en pastoreo permanente. Se recomienda ubicarlos en saladeros o comederos bajo techo. Tenga en cuenta que un animal adulto consume entre 400 y 500 gramos diarios.

Resultados del uso de subproductos en la alimentación de bovinos en Nariño

En el Centro de Investigación Obonuco de Agrosavia se hizo un ensayo para evaluar dos suplementos con bagazo de caña, miel y dos niveles de urea (tabla 5). Se emplearon vacas F1 (Kiwi Cross x Holstein) de primer parto (figura 10). Se establecieron tres tratamientos: T0 (control, solo pastoreo); T1 (pastoreo más suplemento 1) y T2 (pastoreo más suplemento 2).



Figura 10. Ensayo realizado en el Centro de Investigación Obonuco de Agrosavia para evaluar dos suplementos con bagazo de caña, miel y dos niveles de urea en vacas F1 (Kiwi Cross x Holstein).

Foto: Filadelfo Hernández

Tabla 5. Formulación de suplementos elaborados con subproductos de caña de azúcar

Ingredientes*	Suplemento 1 (30 g urea/kg MS)	Suplemento 2 (45 g urea/kg MS)
Melote de caña	65,0	65,0
Bagazo de caña	22,0	20,5
Salvado de maíz	10,0	10,0
Urea	3,0	4,5

*Porcentaje (%) de materia seca

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que la suplementación incidió en las variables de consumo de materia seca, producción de leche y producción de sólidos totales. Allí, T1 y T2 presentaron los mejores promedios, con valores de 14 y 14,7 kg/día para consumo de materia seca; de 9,1 y 9,0 kg/vaca/día para producción de leche, y de 1.356,9 y 1.359,8 g/vaca/día para producción de sólidos totales, respectivamente. De igual manera, hubo diferencias en la variable nitrógeno ureico en leche, donde T1 tuvo valor de 14,3 mg/dl con respecto a T0 y T2, que alcanzaron 16,3 y 16,7 mg/dl, respectivamente (tabla 6).

Tabla 6. Efecto de los suplementos 1 y 2 sobre la producción de leche, calidad composicional y nitrógeno ureico en leche en vacas F1 Kiwi Cross x Holstein de primer parto

Parámetros	Tratamientos		
	T0	T1	T2
PL(l/vaca/día)	8,0b	9,2a	8,9a
PG (g/vaca/día)	388,8	434,8	392,9
PP (g/vaca/día)	294,3	336,7	326,2
PST (g/vaca/día)	1175,8b	1.356,9a	1.359,8a
Composición de la leche			
Grasa g/100 ml	4,6	4,6	4,3
Proteína g/100 ml	3,5	3,6	3,6
Sólidos totales g/100 ml	13,8	14,2	15,0
MUN mg/dl	16,3a	14,3b	16,7a

ab Letras distintas en una misma fila indican diferencias ($p < 0.05$).

MUN: nitrógeno ureico en leche; PL: producción de leche; PG: producción de grasa; PP: producción de proteína; PST: producción de sólidos totales.

Fuente: Elaboración propia

De este estudio se pudo concluir que los subproductos de caña con niveles adecuados de inclusión de urea pueden mejorar el aporte de nutrientes y, por ende, los parámetros productivos en vacas lactantes. Con base en los resultados, los subproductos de caña representan una estrategia para implementar durante las épocas de escasez de forraje, donde la producción puede bajar hasta el 50 %. Con los subproductos incrementó la producción hasta en 15 % en comparación con vacas sometidas exclusivamente a pastoreo.

En otro estudio realizado en paralelo en dos localidades de Nariño (municipio de Sandoná y El Encanto) se usaron vacas mestizas de segundo y tercer tercio de lactancia de un peso promedio 460 kg. Específicamente se evaluaron tres tratamientos: T1 (sin suplementación), T2 (12 kilos de ensilaje de caña integral), T3 (12 kilos de ensilaje de caña integral + 500g de suplemento activador ruminal o SAR) (tabla 7).

Tabla 7. Formulación de bloques multinutricionales y ensilaje de caña integral

Bloque multinutricional		Ensilaje de caña	
Ingrediente	Participación	Ingrediente	Participación
Melote de caña	45,0	Caña integral	93,5
Bagazo de caña	8,0	Sal mineralizada 6 %	3,5
Cal agrícola	15,0	Urea	3,0
Afrecho de cebada	10,0		
Urea / sulfato de amonio 9:1	8,0		
Sal mineralizada al 6 %	7,0		
Flor de azufre	1,0		
Nacedero	5,0		
Levadura	1,0		

*Porcentaje (%) de materia seca

Fuente: Elaboración propia

El ensilaje, los BMN y los pastos que constituyeron la base forrajera en cada una de las localidades fueron caracterizados nutricionalmente (tabla 8).

Los resultados evidencian que en Sandoná la producción de leche fue mayor en el T3, con 11,8 l/vaca/día. En cuanto a la producción de grasa, los tratamientos T2 y T3 obtuvieron los mejores resultados, con valores de 397,15 y 357,65 g/vaca/día (P< 0,05).

Por su parte, para la variable proteína, los mejores resultados los presentó el T3, con 328,87 g/vaca/día. Por último, para la variable producción de sólidos totales, el mejor tratamiento fue el T3, con un valor de 1.382,45 g/vaca/día. En las variables de composición de la leche, expresadas en g/100 ml, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para contenido de grasa, proteína y sólidos totales (tabla 9).

Tabla 8. Composición química del ensilaje de caña integral y suplemento activador rumial

Fracción	Unidad	Ensilaje	SAR	Pasto miel	Mezcla kikuyo + trébol + grama natural
MS	% Alimento	29,08	51,60	15,00	13,73
PC	% MS	16,12	17,40	13,34	19,10
FDN	% MS	54,38	42,80	65,02	61,44
FDA	% MS	19,79	21,00		
EE	% MS	0,81	13,60	2,56	3,39
Cenizas	g/kg MS	7,81		16,20	12,14
Ca	g/kg MS	0,85	0,30		
P	g/kg MS	0,51	0,60		
Mcal ED		3,62	4,15	2,21	2,49

Ca: calcio; **FDA:** fibra detergente ácido; **FDN:** fibra detergente neutro; **EE:** extracto etéreo; **MS:** materia seca; **P:** fósforo; **PC:** proteína cruda; **SAR:** suplemento activador rumial.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Efecto de la suplementación energética sobre la producción de leche, la calidad composicional y nitrógeno ureico en leche en vacas mestizas

Parámetros	Localidad / Tratamientos					
	Sandoná			El Encano		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
PL (L/vaca/día)	10,05b	10,77b	11,81a	7,69b	9,15a	8,22ab
PG (g/vaca/día)	312,44b	357,65a	397,15a	269,22	328,68	317,22
PP (g/vaca/día)	269,62b	290,21b	328,87a	237,82b	287,9a	271,22ab
PST (g/vaca/día)	1.097,72b	1201,27b	1.382,45a	813,92b	1.104,42a	1.039,42a
Composición de la leche						
Grasa g/100 ml	3,28	3,45	3,51	3,68	3,69	3,88
Proteína g/100 ml	2,85	3,31	2,83	3,47a	3,19b	3,31a
Sólidos totales g/100 ml	11,50	11,71	11,75	11,37b	12,22ab	12,58a

a: sin suplemento; b: 12 kg.

PL: producción de leche; PG: producción de grasa; PST: producción de sólidos totales

Fuente: Elaboración propia

En El Encano la producción de leche fue mayor en los tratamientos T2 y T3, con 9,15 y 8,22 l/vaca/día, respectivamente. En cuanto a la producción de grasa no se presentaron diferencias entre tratamientos. Por su parte, para la variable proteína, los mejores resultados los presentaron los tratamientos T2 y T3, con 287,9 y 271,22 g/vaca/día, respectivamente. Por último, para la variable producción de sólidos totales, T2 y T3 presentaron los mejores valores, con 1.104,42 y 1.039,42 g/vaca/día, respectivamente. En cuanto a la composición de la leche, para la variable contenido de grasa no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Por su parte, para la variable proteína, los mejores resultados los presentaron T1 y T3 con valores de 3,47 y 3,31 g/100ml. En cuanto a la variable sólidos totales, los mejores resultados los presentaron los tratamientos T3 y T2, con valores de 12,58 y 12,22 g/100 ml, respectivamente.

En conclusión, se cuenta con una amplia base de subproductos de la industria de la caña para alimentación animal, entre los cuales se destacan el ensilaje de caña y el melote. Específicamente, el ensilaje de caña de azúcar mejoró la producción en las dos localidades con respecto a la del testigo (en 17,51 % y 14,17 %, respectivamente), de manera que su uso es una alternativa a la disminución de los precios en la producción de panela. Uno de los factores que quedan por estudiar es la degradación de la materia seca debido a procesos físicos o químicos de fácil acceso al pequeño productor.

Ensayo en animales de levante

Como parte de la investigación sobre el uso de los subproductos de la caña en la suplementación alimenticia también se hizo un ensayo con animales de levante en Sandoná, corregimiento de Santa Bárbara.

Específicamente, se trabajó con doce machos criollos, los cuales se dividieron en tres grupos. Al primer grupo no se le suministró suplemento, solo el pastoreo con sal. Al segundo grupo, además del pastoreo y la sal, se les suministró 6 kg (base fresca) de ensilaje de caña integral. Al tercer grupo, además de pastoreo y sal,

se les suministró 6 kg (base fresca) de ensilaje de caña integral y 0,5 kg de suplemento activador rumial (SAR). Durante seis meses se evaluó la ganancia total de peso y la ganancia diaria de peso. Los resultados se sintetizan en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados de la ganancia de peso en novillos alimentados con diferentes suplementos de subproductos de caña

Parámetros	Grupos		
	1	2	3
Promedio de ganancia diaria de peso (g/día)	228	431	453
Promedios de ganancia de peso final (kg)	39	74	77,5

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 10, los animales suplementados con ensilaje más SAR mostraron mayor ganancia diaria de peso y ganancia total de peso. Esto indica que hubo un efecto positivo de la suplementación en las variables evaluadas frente a aquellos animales que no fueron suplementados.



Foto: Alcira Delgado





4. Utilización de los subproductos de la agroindustria panelera en la elaboración de compost

Los subproductos de la agroindustria panelera presentan diferentes características químicas, por ejemplo, altos contenidos de fibra, altas concentraciones de sacarosa y otros azúcares solubles, y bajos contenidos de proteínas y minerales. El volumen de subproductos que se puede aprovechar es potencialmente alto, pues por cada tonelada de panela se obtiene una tonelada de subproductos, los cuales pueden ser empleados en la elaboración de compost si se mezclan con residuos de origen animal.

¿Qué es el compost?

Es un abono orgánico obtenido a partir de la descomposición controlada de la materia orgánica. Es un producto estable y con múltiples propiedades benéficas para el suelo y las plantas. El proceso de compostaje lo realizan los múltiples organismos descomponedores que comen, trituran, degradan y digieren las células y las moléculas que componen la materia orgánica. Los hay tan diminutos como las bacterias y hongos microscópicos y tan grandes como un gran número de pequeños animales, como las lombrices, los insectos y otros invertebrados (muchos de ellos no perceptibles a simple vista).

Insumos para elaborar el compost

No todos los residuos se pueden compostar y algunos se deben evitarse para no iniciar procesos inadecuados de descomposición. A continuación, se presentan algunos materiales clasificados de acuerdo con la velocidad de descomposición y se especifica cuáles se deben evitar (tabla 11).

Etapas del proceso de compostaje

- El compostaje pasa por dos etapas en su proceso de formación:
1. *Descomposición*: la temperatura aumenta hasta 70 °C, hay higienización y eliminación de patógenos.
 2. *Maduración*: el compost adquiere el color y la textura de la tierra.

Tabla 11. Clasificación de los materiales para elaborar el compost

De fácil descomposición	De descomposición más lenta	De descomposición muy lenta
Hojas frescas, restos de podas, estiércol de animales, malezas jóvenes, cogollo y cachaza	Pedazos de frutas y verduras; bolsas de té y posos de café; paja y heno viejo; restos de plantas; estiércol (caballos y burros); flores viejas y plantas de macetas; malezas perennes; lechos de hámster, conejos y otros animales; bagazo y bagacillo.	Hojas de otoño; ramas podadas; aserrín y virutas de madera no tratada; cáscaras de huevo; cáscaras de frutos secos; lanas e hilos naturales; pelos y plumas y huesos de frutos.
Otros materiales	Mejor evitar	No utilizar
Ceniza de madera, cartón, cartones de huevos, servilletas, bolsas y envases de papel, periódicos (en pequeñas cantidades)	Carne de pescado, productos derivados de la leche y productos que contengan levaduras o grasas.	Ceniza de carbón y de coque; heces de perros y gatos; pañales desechables; restos de aspiradora; filtros de cigarrillo y tejidos sintéticos.

Fuente: Elaboración propia

¿Qué pasos se deben seguir para elaborar el compost?

A continuación, se describe el proceso para elaborar compost con subproductos de la caña de azúcar:

Selección del área y nivelación

Preferiblemente se debe buscar un área protegida de vientos fuertes, con una distancia prudente de nacimientos de agua (más de 50 metros) para evitar contaminaciones y de poca pendiente (< 4 %) para evitar problemas de lixiviados y erosión.

Formulación del abono

Para realizar la combinación correcta de los materiales a compostar se debe tener en cuenta la tabla 12.

Tabla 12. Ejemplo de formulación de abono con subproductos de la agroindustria panelera y otros residuos

Materiales	Peso húmedo (Kg)	Porcentaje de inclusión	Porcentaje de inclusión / 100	C/N	%*C/N
Bagazo de caña	12	3	0,03	99,6	2,6
Bagacillo	60	13	0,13	52,9	6,9
Cachaza	150	33	0,33	32,2	10,5
Estiércol de equinos	48	10	0,10	15,3	1,6
Ceniza	180	39	0,39	9,0	3,5
Nacedero	10	2	0,02	8,2	0,2
Total	460	100			25

C/N: carbono/nitrógeno.

Fuente: Elaboración propia

Con base en estos valores, para formular el compost se recomienda realizar el siguiente proceso:

- 1. Materiales:** seleccionar los materiales que se van a utilizar definiendo la combinación de materiales ricos en nitrógeno y carbono, como residuos de cosecha, leguminosas secas, subproductos de caña, entre otros.
- 2. C/N:** buscar los valores de la relación carbono/nitrógeno correspondientes a cada uno de los subproductos de caña y demás materiales. En el caso del bagazo de caña, la relación C/N es 99,56.
- 3. Peso húmedo:** determinar los kilos (o volumen) de todos los componentes de la mezcla. En este caso, 12 kg bagazo de caña + 60 kg de bagacillo + 150 kg de cachaza + 48 kg de estiércol de equinos + 180 kg de ceniza + 10 kg de nacedero = 460 kg total de materiales a compostar.
- 4. Porcentaje de inclusión:** la suma de los insumos que se van a utilizar utilizar se igual al 100 %. Para esto, se debe hallar el porcentaje correspondiente a cada componente mediante una regla de tres simple:

$$\begin{aligned}
 &460 \text{ kg de mezcla es } \text{-----} \quad 100\% \\
 &12 \text{ kg bagazo de la caña } \text{-----} \quad x \\
 &X = ((12\text{kg}) \times (100\%)) / 460 = 3\%
 \end{aligned}$$

- 5. Porcentaje de inclusión / 100:** una vez se ha calculado el porcentaje de inclusión de cada uno de los componentes en la mezcla, se divide en 100 cada uno de los resultados. Continuando con el ejemplo del bagazo de la caña, se tendría: $(3\%) / 100 = 0,03$. Y así sucesivamente con los demás componentes.

6. $\% \text{C/N}$: los resultados anteriores se multiplican por sus correspondientes valores en la tabla de C/N. Para el bagazo de la caña, por ejemplo: $0,03 \times 99,6 = 2,6$. Así se repite la operación con los otros componentes y, por último, se suman estos dos valores. En el caso del ejemplo, se obtiene 25 de relación de carbono por 1 de nitrógeno (25/1). Dependiendo del clima donde se vaya a elaborar el compost, se recomienda una relación C/N de 25 para clima frío y frío moderado, mientras que de 35 para clima medio y cálido.

Dado que la relación C/N es un aspecto importante que se debe considerar en la formulación del compost, pues de esta dependerán su calidad y tiempo de obtención, en la tabla 13 se amplía la información de algunos valores para los subproductos y otros residuos que pueden ser utilizados para la elaboración del compost.

Tabla 13. Valores de la relación C/N para los subproductos de la agroindustria de la caña y otros residuos

Ingredientes	C/N	Ingredientes	C/N
Cogollo de caña	62,42	Tallos de banano	61,00
Bagazo de caña	99,56	Pulpa de café	34,93
Melote	54,00	Estiércol de ovinos	30,72
Cachaza	32,24	Estiércol de cerdos	23,52
Ceniza de bagazo	8,95	Estiércol de aves	10,51
Bagacillo	52,93	Estiércol de equinos	15,27
Estiércol vacuno	28,06	Guandul: pajas	29,01
Residuos de cosecha de leguminosas	38,33	Guandul: semillas	15,00
Residuos de cosecha de cereales	115,00	Carbón	32,67
Cascarilla de arroz	39,00	Melaza	32,67
Ceniza de fogón	26,67	Tierra cernida	9,00

Fuente: Elaboración propia

Secado y picado de materiales

El material que se va a compostar se pica manual o mecánicamente con un picapastos. Se recomienda obtener fragmentos de 10 a 15 cm. Por lo general, la semana se toma como unidad de tiempo para amontonar material en una misma pila antes de que empiece la fase termofílica o de higienización y así evitar la recontaminación del material con material fresco.

Pesaje de los materiales

Se debe pesar la cantidad de residuos e insumos que se van a utilizar y registrar la información.

Mezclar y homogenizar

Para hacer el montón de materia orgánica se tiene que ir capa por capa, paso por paso. La primera capa de los restos o desechos tendrá 20 cm de altura. Es importante que esos desechos estén secos, por ejemplo, el bagazo, el bagacillo, los restos vegetales o la paja. La siguiente capa consistirá en la adición de materiales frescos como restos de la poda o vegetales como el nacedero.

Es importante formar la siguiente estructura: primero poner una capa de materiales secos y después una capa de materiales frescos hasta llegar al metro y medio de altura. Se debe tener en cuenta que cada capa se debe regar con cachaza para que inicie el proceso de descomposición del compost (figura 11).

Figura 11. Elaboración compost. a. Material seco (bagazo, ceniza y estiércol de equinos); b. Material fresco (nacedero y bagacillo); c. Adición de melaza; d. Pila terminada.

Fotos: Elizabeth Lagos Burbano



Armar la pila con altura

Existen diferentes formas de elaborar compost, pero en esta sección se hace referencia solamente al sistema de montón o pila, ya que es la alternativa más adecuada debido a la cantidad y volumen de subproductos que se generan en los trapiches.

El primer aspecto que se debe considerar es que la altura de la pila afecta directamente el contenido de humedad, el oxígeno y la temperatura. Las pilas de baja altura y base ancha, a pesar de tener buena humedad inicial y buena relación C/N, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente, de manera que los pocos grados de temperatura que se ganan no se conservan. Por esta razón, generalmente se hacen pilas de 1,5 a 2 metros de alto para facilitar las tareas de monitoreo y de 1,5 a 3 metros de ancho. La longitud de la pila dependerá del área y del manejo. También se puede determinar la longitud de la pila, en este caso, se utiliza la fórmula del volumen de un paralelepípedo como medida aproximada del volumen de una pila:

$$\text{Volumen del paralelepípedo} = X.Y.Z$$

Donde,

X: Alto.

Y: Ancho.

Z: Largo.



Para aplicar la fórmula es necesario calcular la densidad del material que se va a compostar: para esto se toma un cubo o cubeta de volumen conocido, se pesa el cubo lleno de material sin compactar y se resta el peso del cubo. Por último, se divide este peso del material en el volumen conocido. Así se obtiene la densidad del material.

Por ejemplo, un cañicultor que obtiene un total de 1.250 kg a la semana de residuos vegetales, animales y subproductos decide hacer una pila. Lo primero que tiene que determinar es la densidad del material. Para esto, utiliza una cubeta con un volumen de 10 l (0,01 m³), con la cual pesa una cierta cantidad de material. El resultado es 2,75 kg y si el peso de la cubeta es 250 g, la densidad será la siguiente:

$$\text{Densidad} = (2,75 \text{ kg} - 0,250 \text{ kg}) / 0,01 \text{ m}^3$$

En este caso, la densidad es igual a 250 kg/m³. Entonces, para calcular el volumen de la pila se aplica una regla de tres de la siguiente manera:

$$250 \text{ kg} \text{ ----- } 1 \text{ m}^3$$

$$1.250 \text{ kg} \text{ ----- } X$$

Con estos datos, el volumen de la pila será 5 m³.

Ahora bien, si conocemos el volumen, el alto y el ancho, podemos determinar el largo de la pila. En caso de que se requieran varias pilas de compostaje, se aplica la primera ecuación (*volumen del paralelepípedo*) y se despeja z, valor que corresponderá al largo de la pila. En este caso, el largo de la pila deberá ser 2,2 m.

Cubrir la pila con plástico o paja

Es necesario cubrir la pila de la lluvia, del sol directo y de los animales. Para ello se puede utilizar una media sombra o plástico negro removible para volteos y riegos (figura 12).



Figura 12. Pilas de compost

Fotos: Elizabeth Lagos Burbano

Aireación

La aireación es el factor que más se puede manipular y definir la calidad del compost. De hecho, los distintos sistemas de compostaje suelen derivar de la manera como se controle este parámetro. Así, los sistemas de compostaje se clasifican en dos tipos: abiertos (al aire libre) y cerrados (confinados en un recinto controlado). Estos últimos son los más idóneos para controlar la aireación, aunque también resultan más costosos por las instalaciones que requieren y su mantenimiento. Sin embargo, los sistemas abiertos estáticos y con ventilación pasiva han dado buenos resultados y traen consigo más beneficios debido al menor costo que se necesita para implementarlos.

Específicamente, para elaborar un sistema de aireación abierto para compostar una pila de 460 kg se debe hacer un cajón de madera con tablas de 20 cm de ancho para formar la base de la pila. Sobre este cajón se ponen a lo ancho y cada 8 cm cinco tubos de PVC de 2 pulgadas, perforados en zigzag y forrados con malla antitrips para que entre aire por convección natural desde la base hacia el interior de la pila. En el centro de la pila es recomendable hacer un hueco (efecto chimenea) para que salga el calor (figura 13).



Figura 13. Construcción de un sistema de aireación pasiva. a. Cajón de madera y tubos perforados; b. Base forrada con polisombra; c. Hueco en el centro de la pila.

Fotos: Elizabeth Lagos Burbano

Tamizaje y empaque de compost maduro

Una vez el compost alcance su etapa de madurez, es necesario tamizar, separar el material grueso y empacarlo para su posterior uso (figura 14).



Figura 14. Tamizaje y pesaje del compost. a. Tamizaje; b. Pesaje.

Fotos: Elizabeth Lagos Burbano

Monitoreo durante el proceso de compostaje

Dado que el compostaje es producto de un proceso biológico que realizan diversos microorganismos, se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen el oxígeno o la aireación, la humedad del sustrato, la temperatura, el pH y la relación C/N. Estos aspectos deben estar bajo vigilancia constante para que siempre estén dentro de un rango óptimo. A continuación, se señalan los parámetros y sus rangos óptimos.

- ◆ *Humedad*: durante el proceso se debe ajustar la humedad al 50 % o 70 %. Para ello se hace la prueba del puño, que consiste en tomar en las manos un puñado de la mezcla final. Cuando se hace esto, al apretar salen pequeñas gotas de agua entre los dedos: si el puñado se desmorona está muy seco y si escurre agua está muy húmedo.
- ◆ *Temperatura*: la temperatura tiene un amplio rango de variación en función de la fase del proceso. El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65 °C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo) para llegar durante la fase de maduración a una temperatura ambiente. Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que, a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor la higienización. La temperatura se debe tomar por lo menos cada tres días y registrarse.
- ◆ *pH*: el pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4,5 a 8,5). En los primeros estadios, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro. El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a un pH de 6,0 a 7,5. Por su parte, la mayor actividad fúngica se produce a un pH que oscila entre 5,5 y 8,0 (el rango ideal es de 5,8 a 7,2).

Rendimiento

Después de todo el proceso es importante conocer la proporción final de producto obtenido, para lo cual se debe aplicar una fórmula.

Compost de calidad

Es de color oscuro, en él no se distinguen los materiales originales, tiene una textura suave, un olor agradable a tierra y una temperatura estable.

Resolución de problemas en el proceso de compostaje

Dado que en la elaboración del compostaje se pueden presentar situaciones que indican que el proceso no se está realizando adecuadamente, la tabla 14 presenta algunas acciones alternativas que puede realizar para solucionarlas.

Tabla 14. Resolución de problemas en el proceso de compostaje

Diagnóstico	Problema	Posibles razones	Soluciones
Temperatura no sube	Los macroorganismos no se pueden desarrollar.	Demasiado aire y poca humedad, relación C/N incorrecta (déficit de nitrógeno), material muy seco o cantidad insuficiente de la mezcla.	Mojar con agua y disminuir el tamaño de los materiales vegetales.
Baja repentinamente la temperatura	Se paró el proceso de descomposición.	El material está demasiado seco, hay exceso de aireación y falta de humedad.	Mojar con agua y disminuir el tamaño de los materiales vegetales.
Elevación repentina y excesiva de la temperatura	Zona de anaerobiosis e inhibición del proceso de descomposición.	Material muy húmedo.	Hacer prueba del puño y volteo de la mezcla.
Anaerobiosis	Compactación de la mezcla.	Partículas de la mezcla demasiado pequeñas.	Volteo de la mezcla.

Fuente: Elaboración propia

¿Cuál es la respuesta productiva de usar compost de derivados de la caña de azúcar en este cultivo?

Con el objetivo de evaluar la respuesta productiva que tiene el uso de compost derivado de la caña de azúcar en este cultivo, se realizó un experimento en el municipio de El Tambo, Nariño, en la vereda San Pedro (figura 15). Allí se evaluó el uso de compost elaborado con subproductos de caña de azúcar en la respuesta productiva de este cultivo.



Figura 15. Imágenes espectrales tomadas con un dron del ensayo realizado en el corregimiento de San Pedro, El Tambo. a. Tomas con dron; b. Plano de campo; c. Capa de color plano campo.

Fotos: Elizabeth Lagos Burbano

Ventajas de incorporar compost al suelo

Entre los principales beneficios que tiene agregar compost al suelo se pueden mencionar:

1. Mejora las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo.
2. Ahorra el uso de agua de riego porque aumenta la retención de humedad del suelo.
3. Regula la temperatura del suelo.
4. Mantiene la biodiversidad del suelo porque pone a disposición nutrientes para las plantas, degrada sustancias tóxicas y aporta nutrientes.

Los tratamientos evaluados fueron dos tipos de compost (A y N, tabla 15), tres niveles de fertilización mineral química (0 %, 50 % y 100 % según análisis de suelo) y tres niveles de fertilización orgánica (0, 5 y 10 toneladas de compost/ha). En total se incluyeron 18 tratamientos que se evaluaron en parcelas de 57,6 m² con cuatro réplicas para cada uno, a una distancia entre plantas de 0,6 m y de 1,2 m entre surcos.

Tabla 15. Composición de los compost evaluados (A y N) en el cultivo de caña de azúcar en la vereda San Pedro, municipio de El Tambo (Nariño)

Amarillo (A)		Negro (N)	
Materiales	Peso húmedo (Kg)	Materiales	Peso húmedo (kg)
Bagazo de la caña	90	Bagazo de la caña	63
Cogollo de la caña	240	Cogollo de la caña	135
Bagacillo	210	Bagacillo	120
Cachaza	390	Cachaza	480
Ceniza	360	Estiércol de equinos	72
Nacedero	90	Ceniza	375
		Nacedero	135
Total	1.380	Total	1.380

Fuente: Elaboración propia

Las variables se midieron durante un ciclo de producción de caña para panela, con las labores agronómicas indicadas para el cultivo en la zona, además de la correspondiente aplicación de tratamientos de fertilización. Se tomaron en cuenta variables como el crecimiento de las plantas, la incidencia de plagas y enfermedades y las deficiencias nutricionales. Ya para la cosecha se determinó la altura final de la planta, los °Bx a nivel basal y las variables asociadas al rendimiento de panela y la eficiencia del proceso de producción. Para dicho fin, se clasificaron los materiales como buenos y excelentes para el proceso.

Resultados clasificados como excelentes: A1Q0, A0Q0, N1Q0, A0Q2

De acuerdo con los resultados (tabla 16), se evidencia que la fertilización con compost fue efectiva. La mayor altura se obtuvo con 5 t de compost y dosis de 100 % de fertilizante químico según el análisis de suelos. La segunda mayor altura se obtuvo con la dosis máxima de compost y de fertilizante.

Tabla 16. Resultados productivos de caña de panela fertilizada con compost de residuos de caña y fertilización química

Tratamiento	Altura (m)	Brix basal	Rendimiento panela total a 92 °Bx (kgp/100kgj) [%]	Eficiencia (%)
A0Q0	1,53	24,41	17,31	77,91
A0Q1	1,83	22,88	17,34	78,39
A0Q2	1,59	24,02	19,18	77,45
A1Q0	2,25	24,29	20,02	79,20
A1Q1	1,57	23,98	17,04	73,42
A1Q2	2,46	23,88	17,94	77,97
A2Q0	1,54	24,18	18,88	76,71
A2Q1	1,64	22,85	18,73	79,12
A2Q2	1,83	23,99	17,34	74,38
N0Q0	1,74	25,18	18,50	79,00
N0Q1	1,71	23,57	15,67	69,72
N0Q2	1,66	23,81	16,21	75,07
N1Q0	1,78	23,99	19,99	76,97
N1Q1	1,56	24,33	17,31	77,03
N1Q2	1,62	24,85	14,86	73,34
N2Q0	1,67	23,33	17,89	78,00
N2Q1	1,60	23,64	14,28	70,91
N2Q2	2,45	23,79	15,93	75,54
Promedio	1,78	23,94	17,60	76,24

A, N: compost A, compost N (0,1,2 equivale a 0, 5 y 10 toneladas de compost/ha); Q: nivel de fertilizante químico (0 %, 50 % y 100 % según análisis de suelo).

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se evidencia que, sin mucha diferencia, se puede obtener una altura mayor a 2 m con el uso de 5 t de compost y sin fertilizante químico (A1Q0). En el caso de los °Bx basales (indicadores del contenido de azúcares solubles al momento de la cosecha), se evidencia que el mayor contenido estuvo en el tratamiento N0Q0, es decir, en las plantas a las que no se les aplicó fertilización química ni compost. Dicho tratamiento estuvo seguido por el N1Q2, correspondiente a 5 t de compost y 100 % de fertilización.

Para el rendimiento de panela total (a 92 °Bx para poder comparar) se destaca el tratamiento A1Q0 por tener el mejor rendimiento (20,02 %), seguido por N1Q0 con 19,99 % y A0Q2 con 19,18 %. La producción de panela total ajustada a 92 °Bx es un claro indicador del efecto de la inclusión de fertilizante con compost elaborado con subproductos de la caña y del potencial de los subproductos de caña para reducir el uso de fertilizantes químicos de alto costo. Lo anterior se coteja con los valores de eficiencia del proceso, donde A1Q0 obtiene el mayor valor con 79,20 %.

Con base en estos resultados se concluyó que con el uso de compost elaborado con subproductos de caña de azúcar se puede aumentar la producción y hacer más eficiente el proceso de producción de panela. A su vez, los subproductos contribuyen a reducir los costos de producción, ya que, al usarlos, la demanda de fertilizantes de síntesis química es menor, por lo que, además, se mitiga el impacto ambiental causado por este tipo de insumos.

Implicaciones para el medioambiente de elaborar subproductos de caña de azúcar

El manejo que se haga de los subproductos de la caña de azúcar es clave para el medioambiente, pues algunos de estos son considerados fuentes de contaminación. Se debe hacer énfasis, por ejemplo, en el recurso hídrico, que puede ser contaminado con residuos orgánicos e inorgánicos. Los mostos o vinazas de residuos alcohólicos son productos viscosos de 4 a 10 °Bx que a temperaturas y concentraciones altas son muy corrosivos.

La cachaza es el principal residuo de la industria del azúcar de caña, con una producción de entre 30 kg y 50 kg de cachaza por tonelada de caña procesada, lo cual representa entre 3 % y 5 % de la caña molida. Se produce durante la clarificación que se hace al jugo de caña y se recoge a la salida de los filtros al vacío. Contiene aproximadamente 25 % de materia seca.

A su vez, el bagazo fresco y húmedo apilado a la intemperie produce un residuo de jugo que es susceptible de ser fermentado por levaduras. La temperatura favorece el crecimiento de múltiples especies de hongos: principalmente actinomicetos termo y mesofílicos que pueden ser perjudiciales para el ambiente y las personas que manipulan dicho material.

Así, dadas las ventajas que trae consigo la utilización de los residuos de caña para la fertilización de cultivos y la alimentación animal, es necesario realizar investigaciones que establezcan los límites para hacer un uso racional de los residuos de postcosecha. Se deben tener en cuenta factores como los residuos tóxicos, la producción de hongos, la contaminación de acuíferos, las quemas indiscriminadas, la erosión, entre otros. Todo esto, para mejorar y diversificar la economía de los productores, así como para concientizarlos en el manejo racional de los residuos derivados de este tipo de producción.



Foto: Banco de fotos de Agrosavia



5. Costos de producción de los subproductos de caña propuestos: bloque multinutricional, ensilaje y compost

¿CÓNOCE CUÁNTO
DEBE INVERTIR PARA
ELABORAR ESTOS
PRODUCTOS?

El costo de producción es un indicador fundamental para medir la eficiencia económica, pues constituye la base para establecer el precio de venta de la producción en caso de que se requiera. Así pues, los costos de producción reflejan los niveles de productividad del trabajo, el grado de eficiencia con que se emplean todos los factores productivos (recursos naturales, mano de obra y capital) y los resultados de economizar los recursos materiales, laborales y financieros.

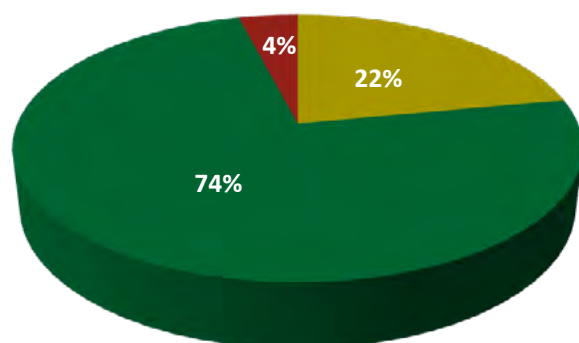
A continuación, se presenta la participación porcentual de los costos en los que se incurre durante la elaboración de un bulto de ensilaje de 50 kg de caña de azúcar integral más aditivos, un bloque multinutricional de 13 kg y el costo de un kg de compost elaborado con subproductos de la agroindustria de la caña.

En la tabla 17 se presenta el porcentaje de inclusión de las materias primas utilizadas para elaborar un BMN de 13 kg de peso, las cuales representan una participación porcentual del 78 % del costo total (\$ 13.416). El valor de los costos fijos relacionados con la depreciación de los equipos y las herramientas utilizadas para elaborar el BMN corresponde a, aproximadamente, \$ 10.464,48, es decir el 1 %. Por otro lado, la mano de obra requerida para el manejo de la maquinaria, la elaboración y el empaque del bloque corresponde al 21 % de los costos, lo que representa \$ 2.817,36 (figura 16).

Tabla 17. Composición del bloque multinutricional de 13 kg

Ingrediente	Participación
Melote de caña	5,9
Bagazo de caña	1,0
Cal agrícola	2,0
Afrecho de cebada	1,3
Urea/sulfato de amonio (9:1)	1,0
Sal mineralizada al 6%	0,9
Flor de azufre	0,1
Nacedero	0,7
Levadura	0,1

Fuente: Elaboración propia



■ Mano de obra ■ Activos, insumos y otros: ■ Herramientas y equipos

Figura 16. Estructura de costos para producir un bloque multinutricional de 13 kg.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18 se presenta la composición del ensilaje de caña con el porcentaje de inclusión de los aditivos para mejorar su calidad con base en 100 kg. Se muestra también la participación porcentual de los costos en los que se incurre para obtener un bulto de ensilaje de 50 kg, cuyo valor total fue de \$ 10.400. El 78 % de los costos corresponde a los insumos, es decir, al precio de la caña integral más los aditivos, el empaque, entre otros (\$8.112). El 1 % consiste en los costos fijos correspondientes a la depreciación de la maquinaria y las herramientas utilizadas para picar, apisonar y empacar el producto (\$ 104). Finalmente, el 21 % corresponde a la mano de obra utilizada para manejar la maquinaria, el empackado y el almacenamiento del producto terminado (\$ 2.184) (figura 17).

Tabla 18. Porcentaje de inclusión de las materias primas para elaborar un bulto de 50 kg de ensilaje de caña

Ingrediente	Participación
Caña íntegra	93,5
Sal mineralizada (6 y 10 %)	3,5
Urea	3,0

Fuente: Elaboración propia

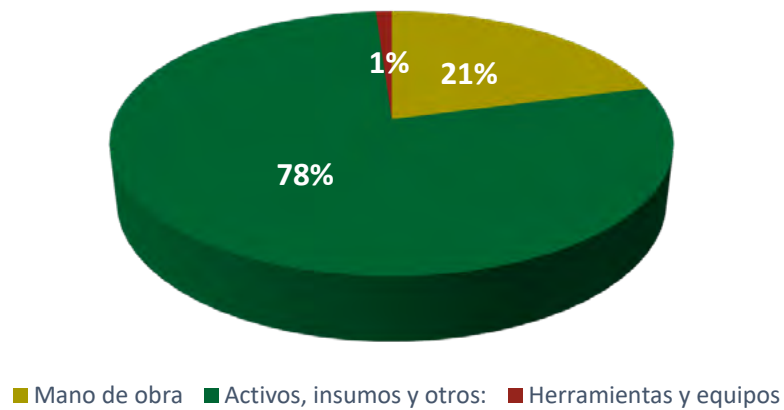


Figura 17. Estructura de costos para producir 50 kg de silo de caña.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19 se presenta la composición de un compost de 1.380 kg elaborado con volteo manual y una relación C/N de 36,4, (compost A), cuyo costo por kg elaborado fue de \$ 2.738,71. El rendimiento de este compost fue del 21 %, del cual el 62 % corresponde a mano de obra necesaria para realizar los volteos, toma de variables (temperatura, humedad y toma de muestras para análisis de laboratorio), tamizaje y empacado (\$ 1.698). El 20 % corresponde a la depreciación de las instalaciones, la maquinaria, los equipos y las herramientas necesarias para picar los materiales y realizar las labores de volteos y toma de temperatura (\$ 547,742). Finalmente, el 18 % consiste en los insumos (\$ 493), es decir, al valor de los materiales. Cabe destacar que, por tratarse de la ejecución del proyecto, los insumos tuvieron que ser comprados, sin embargo, este porcentaje podría ser menor para quienes son propietarios de trapiches o cuentan con los insumos, lo cual reduce el costo por kg de compost producido (figura 18).

Tabla 19. Materias primas utilizadas en la elaboración del compost 1

Ingrediente	Participación
Bagazo de la caña	90
Cogollo de la caña	240
Bagacillo	210
Cachaza	390
Ceniza	360
Nacedero	90
Total	1.380

Fuente: Elaboración propia

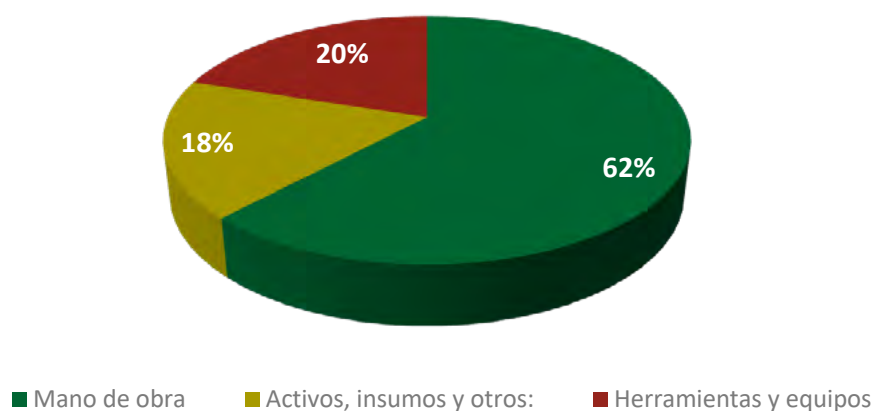


Figura 18. Participación porcentual de los costos en los que se incurrió para producir 1 kg de compost.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20 se presenta la composición de un compost elaborado (1.380 kg) con aireación pasiva y una relación C/N de 29,99 % (compost 2), cuyo costo por kg elaborado fue de \$ 1.886,28. Se debe tener en cuenta que el rendimiento de este compost fue del 26 %, del cual el 55 % corresponde a la mano de obra necesaria para realizar la toma de datos (temperatura, humedad y toma de muestras para análisis de laboratorio), tamizaje y empacado (cabe destacar que debido al sistema de aireación no fue necesario mano de obra para volteos, para la cual se hubieran destinado \$ 1.037,45). El 26 % corresponde a la depreciación de las instalaciones, la maquinaria, los equipos, las herramientas para picar los materiales, la instalación del sistema de aireación pasiva y la toma de temperatura (\$ 490,43). Finalmente, el 18 % corresponde a los insumos y materiales (\$ 339,5) (figura 19).

Beneficios económicos de la aireación pasiva

Es importante resaltar que con el método de aireación pasiva se reducen los costos en un 31,12 % por la disminución de la mano de obra para los volteos.

Tabla 20. Materias primas utilizadas en la elaboración del segundo compost

Materiales	Peso húmedo (Kg)
Bagazo de la caña	63
Cogollo de la caña	135
Bagacillo	120
Cachaza	480
Estiércol de equinos	72
Ceniza	375
Nacedero	135
Total	1.380

Fuente: Elaboración propia

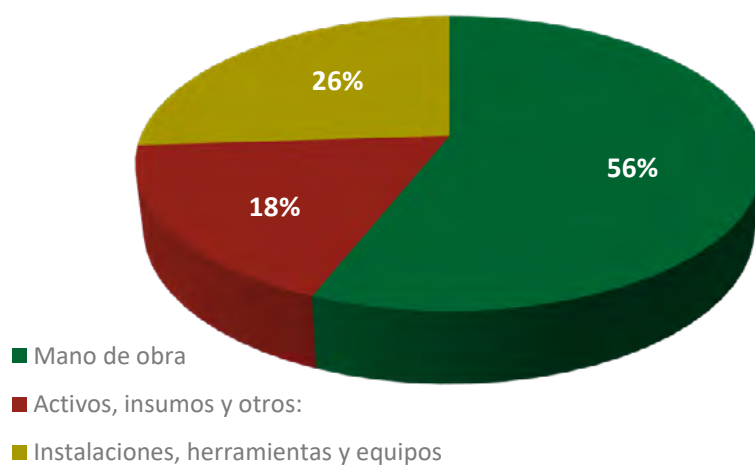


Figura 19. Participación porcentual de los costos en los que se incurrió para producir 1 kg de compost.

Fuente: Elaboración propia



Foto: Alcira Delgado



Foto: Elizabeth Lagos Burbano



Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se presentan las conclusiones del documento:

- ◆ Del cultivo de caña, además de azúcares y mieles, se pueden obtener diversos derivados y subproductos que pueden ser usados de diferentes formas para desarrollar alimentos, energías renovables y mejorar la productividad agrícola regional del sector pecuario.
- ◆ La caña es una planta que participa en la captura de CO₂, factor que repercute en la regulación de los gases de efecto invernadero.
- ◆ En el caso de los sistemas ganaderos, los estudios demuestran que los subproductos de caña son una alternativa para la alimentación animal, ya sea como suministro directo o transformación.
- ◆ Uno de los factores que requiere mayor investigación es la degradabilidad de la materia seca contenida en los subproductos de la caña a través de diferentes procesos físicos, químicos y biológicos que sean de fácil adopción para el pequeño productor.
- ◆ Para producir compost se debe hacer una inversión inicial que puede ser alta. Asimismo, se requieren diversos insumos para fabricar el material, dado que no siempre están disponibles en la zona y esto puede ser una limitación.

Finalmente, se hacen estas recomendaciones:

- ◆ Debido a la alta proporción de azúcares solubles, así como a la alta población de levaduras silvestres en el cultivo fresco durante la cosecha, la caña de azúcar es propensa a la fermentación alcohólica, lo cual reduce significativamente el valor nutritivo del ensilado. Sin embargo, existen algunos aditivos que pueden ser utilizados para contrarrestar este tipo de fermentación y evitar las pérdidas de materia seca. Por ejemplo, la inoculación del ensilaje con la bacteria *Lactobacillus buchneri* reduce la concentración del etanol y la pérdida de la materia seca y, por ende, de los demás nutrientes.
- ◆ Debido a que la caña y los subproductos de la agroindustria presentan niveles bajos de proteína y minerales, para ser utilizados en la alimentación animal deben suministrarse con aditivos como la urea y las sales minerales, los cuales mejoran la calidad nutricional y su aprovechamiento.

- ◆ Todos los subproductos de la caña son susceptibles de ser compostados debido a que presentan contenidos altos de carbohidratos estructurales. La relación C/N también es alta, por lo cual en la formulación del compost se recomienda utilizar residuos con altos contenidos de nitrógeno como el estiércol de algunos animales o las podas de leguminosas arbóreas o arbustivas con el fin de balancear la relación C/N, mejorar la calidad del compost y disminuir el tiempo de compostaje.



Foto: Elizabeth Lagos Burbano



Foto: Elizabeth Lagos Burbano



Glosario

Carbohidratos: los carbohidratos, llamados también *hidratos de carbono*, son biomoléculas formadas por tres fundamentales, a saber, el carbono, el hidrógeno y el oxígeno.

Compostaje: es una técnica mediante la cual se crean las condiciones necesarias para que, a partir de residuos orgánicos, los organismos descomponedores fabriquen compost, a saber, un abono de gran calidad.

Fibra: la fibra es un componente vegetal que contiene polisacáridos y lignina y que es altamente resistente a la hidrólisis de las enzimas digestivas.

Fibra en detergente ácido (FDA): son los constituyentes menos solubles de la pared celular: celulosa y lignina (insolubles en detergente ácido).

Fibra en detergente neutra (FDN): el valor de la FDN es la pared celular total que está compuesta por la fracción de la FDA más la hemicelulosa.

Grados brix (°Bx): los °Bx miden el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido.

Materia seca: la materia o extracto seco es la parte que queda de un material tras extraer toda el agua posible a través del calentamiento en condiciones de laboratorio.

Nitrógeno ureico en leche (NUL o MUN, por sus siglas en inglés): la prueba de NUL, más conocida como MUN, es un método de vigilancia de la salud nutricional del hato que le permitirá al productor corregir fallas en la alimentación de los bovinos.

Proteína: las proteínas son moléculas grandes y complejas que desempeñan muchas funciones críticas en el cuerpo. Realizan la mayor parte del trabajo en las células y son necesarias para la estructura, función y regulación de los tejidos y órganos del cuerpo.

Subproducto: producto secundario, adicional al principal, que se obtiene en un proceso industrial de elaboración, fabricación o extracción.

Referencias

- Aguilar, N. (2014). Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz-México. *Nova Science Publishers*, 6(12), 125-161. <https://doi.org/10.21640/ns.v6i12.37>
- Aguirre, J., Magaña, R., Martínez, S., Gómez, A., Ramírez, J. C., Barajas, R., Plascencia, A., Barcena, A., & García, D. E. (2010). Caracterización nutricional y uso de la caña de azúcar y residuos transformados en dietas para ovinos. *Zootecnia Tropical*, 28(4), 489-497. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692010000400005
- Albarracín, L. C., Sánchez, L., & García, G. (2004). *Caña de azúcar ensilada: una alternativa de alimentación para ganado bovino en confinamiento*. Agrosavia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/15268>
- Aranda, E. M., Ruiz, P., Mendoza, G. D., Marcoff, C. F., Ramos, J. A., & Elías, A. (2004). Cambios en la digestión de tres variedades de caña de azúcar y sus fracciones de fibra. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 38(2), 137-144. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193017901005.pdf>
- Ávila, D. N., Bobadilla, A. R., Castrejón, F. A., & Melgarejo, L. G. (2017). *Prácticas de producción y aprovechamiento de forrajes*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://papimes.fmvz.unam.mx/proyectos/manuales_nutricion/Aprovechamiento_Forrajes.pdf
- Balieiro, G., Siqueira, G., Reis, R., Nogueira, J., Roth, M., & Roth, A. P. (2007). Óxido de cálcio como aditivo na ensilagem de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(5), 1231-1239. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000600003>
- Barker, A. V., O'brien, T. A., & Stratton, M. L. (2000). Description of food processing by-products. En J. F. Power & W. A. Dick (eds.), *Land application of agricultural, industrial, and municipal by-products*. Soil Science Society of America.

- Bastidas, L., Ramón, R., De Sousa, O., Valle, A., & Jesús, V. (2010). Calidad forrajera de cinco variedades de azúcar en Santa Cruz de Bucaral, Estado Falcón, Venezuela. *Revista de Estudios Transdisciplinarios*, 2(2), 63-75. <https://www.redalyc.org/pdf/1792/179221617006.pdf>
- Benvenuti, M. A., Pavetti, D. R., & Moreno, F. C. (2006). Efecto del tamaño de partícula de caña de azúcar y nivel de suplementación sobre el consumo y ganancia de peso de novillos en confinamiento invernal. *Revista Argentina de Producción Animal*, 26, 63-69.
- Berman, J. (2011). *Desarrollo de alimento animal melazado y enriquecido a partir de insumos no-convencionales y subproductos de la caña de azúcar para engorde de ganado bovino en la etapa de finalización*. Instituto Politécnico Nacional de México.
- Bolufer, P. (2010). La fotosíntesis C4 de alto rendimiento. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3), 917-934.
- Cabello, A., Torres, A., & Almazán, O. (2008). The economical viability of animal production base on sugarcane co-products under the present prices commodities. *Sugar Technology*, 10, 25-28. <https://doi.org/10.1007/s12355-008-0004-2>
- Cardona Iglesias, J. L., Portillo López, P. A., Carlosama Ojeda, L. D., Vargas Martínez, J. J., Avellaneda, Y., Burgos Paz, W. O., & Patiño Burbano, R. E. (2020). *Importancia de la alimentación en el sistema productivo del cuy*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403329>
- Cavali, J., Gomes, O., Valadares, S., Santos, E. M., Pinto, G. G., Santos, M. V., Oliveira, M., & Huback, J. F. (2010). Bromatological and microbiological characteristics of sugarcane silages treated with calcium oxide. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 1398-1408. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000700002>
- Chizzotti, F. H. M., Pereira, O. G., Valadares, S. C., Chizzotti, M. L., Rodrigues, R. T. S., Tedeschi, L. O., & Silva, T. C. (2015). Does sugar cane ensiled with calcium oxide affect intake, digestibility, performance, and microbial efficiency in beef cattle? *Animal Feed Science and Technology*, 203, 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.12.014>
- Castañón, N., Goyes, P., Albarracín, L. C., & López, F. J. (2012). Uso del bagazo enriquecido con el hongo *Pleurotus ostreatus*, en dietas para bovinos estabulados en ceba. *Biotechnología del Sector Agropecuario Agroindustrial*, 10(2), 25-33. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotechnologia/article/view/810>
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña en Guatemala [Cengicana]. (2014). El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Cengicana. <https://cengicana.org/files/20170103101309141.pdf>
- Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar [Conadesuca]. (2015). Ficha técnica del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_T_cnica_Ca_a_de_Az_car.pdf

- Lagos, E., & Castro, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3), 917-934. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.34668>
- López-Ordaz, R., Gómez-Pérez, D., García-Muñiz, J. G., Mendoza-Domínguez, G. D., Lara-Bueno, A. & López-Ordaz, R. (2011). Nivel óptimo de energía neta en el consumo de alimento y producción de leche en el inicio de la lactancia de vacas Holstein-Friesian en confinamiento. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2(1), 101-115. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265619707007>
- Oviedo, E. R., Marmolejo, L. F., & Torres, P. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 18, 31-42. <https://www.redalyc.org/pdf/404/40449649003.pdf>
- Rolz, C., De León, R., Cifuentes, R., & Porres, C. (2010). Windrow composting of sugarcane and coffee byproducts. *Sugar Technology*, 12, 15-20. <https://doi.org/10.1007/s12355-010-0004-x>
- Román, P., Martínez, M., & Alberto, P. (2013). *Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Oficina Regional para América Latina y el Caribe. <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>





Los autores

Elizabeth Lagos

elizalagosb@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5098-9908>

Zootecnista, especialista en Producción de Recursos Alimentarios para Especies Pecuarias y magíster en Ciencias Agrarias de la Universidad de Nariño. Docente catedrático de la Universidad de Nariño. Integrante del grupo de investigación Producción de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño. Investigadora M. Sc. del Centro de Investigación Obonuco de Agrosavia, vinculada a los proyectos: “Modelos de adaptación y prevención agroclimática-MAPA en los departamentos de Nariño y Cauca en los sistemas productivos de ganadería de leche y doble propósito” y “Fortalecimiento del sector panelero mediante la investigación agrícola y agroindustrial en el departamento de Nariño”, así como en la valoración de los sub-productos de la agroindustria panelera con fines de alimentación animal y nutrición vegetal. En la actualidad lidera un proyecto de investigación docente de la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Nariño y forma parte del equipo técnico del proyecto “Estudio de sistemas de cultivo asociados a los frutales andinos”, como estrategia innovadora para la reactivación económica de los municipios de Sandoná, Ipiales, La Florida, Arboleda, Providencia y El Peñol, del departamento de Nariño (Fundasurco).

Juan Leonardo Cardona Iglesias

jlcardona@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0001-5225-8108>

Zootecnista y magíster en Ciencias Animales con énfasis en Sistemas Sostenibles de Producción Animal de la Universidad de Antioquia. Integrante del grupo de investigación Microbiología y Nutrición Animal del Trópico de Agrosavia. Tiene experiencia en investigación en nutrición animal; manejo de pasturas y forrajes; establecimiento, manejo y uso de sistemas silvopastoriles, y evaluación de estrategias nutricionales para la mitigación de gases de efecto invernadero en sistemas pastoriles. Es docente universitario y trabaja en proyectos de extensión con comunidades campesinas e indígenas. Actualmente investiga en las áreas de ganadería de leche, implementación de estrategias nutricionales en especies pecuarias, pastos y forrajes, y sistemas alternativos de producción ganadera.

Edwin Castro Ramírez

ecastro@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0001-9841-8242>

Zootecnista, magíster y doctor en ciencias -producción animal con énfasis en nutrición de rumiantes de la Universidad Nacional de Colombia. Investigador Ph.D., Centro de Investigación Obonuco de Agrosavia. Investigador en el área de ganadería y ovinos, nutrición de rumiantes, pastos y forrajes. Participación en modelo de producción lechera con tecnología Neozelandesa en el CI Obonuco en componente genético, alimentación, pastos y forrajes y manejo integrado del sistema, vinculación de modelo de producción lechera de Nueva Zelanda en fincas de Nariño. Investigador principal para el banco de germoplasma ovino en Nariño.