



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:

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

- 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. %*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 amoniaco, 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