

# **El compost de residuos agroindustriales de la caña de azúcar. Componente clave para la sostenibilidad y mejoramiento de la calidad de los suelos**

*Fernando Muñoz Arboleda, Amanda Villegas Gutiérrez, Carlos A. Moreno Gil<sup>1</sup>*

## **Resumen**

Con el objetivo de evaluar el efecto del compost procesado en la planta del Ingenio Risaralda se estableció un experimento en una zona muy húmeda y se le hizo seguimiento por tres cortes consecutivos. Se aplicaron 18 tratamientos que consistieron en la combinación de cinco dosis de compost (0, 5, 10, 15 y 20 toneladas por hectárea) y cinco dosis de NPK, que fue la recomendada por Cenicaña (100% NPK). Se probaron dos reducciones de la dosis recomendada (20% y 40%) y aplicación de solo N para evaluar la posibilidad de reemplazar parte del fertilizante por la aplicación del compost. Se observó el efecto positivo de la aplicación de 5 t/ha de compost sobre TCH (22%) y TAH (31%) acompañado por el 100% de la dosis recomendada en condiciones experimentales. No se observó que tuviese efecto alguno el reemplazo de parte del fertilizante por la aplicación de compost, al menos durante los primeros tres cortes. Se analizó estadísticamente la información de la base de datos del ingenio y se encontró que las aplicaciones de compost aumentaron en 18 t/ha, en promedio, la productividad en términos de TCH en zonas con suelos húmedos similares al suelo en el que se realizó la evaluación experimental.

## **Abstract**

With the objective of evaluate the effect of compost processed at the plant of the Ingenio Risaralda, an experiment in a very wet zone was established and followed during three consecutive crop cycles. Eighteen treatments consisting of a combination of five doses of compost (0, 5, 10, 15 and 20 t/ha), five doses of NPK, which consisted of the dose recommended by CENICAÑA (100% NPK), two reductions of the recommended dose (20 and 40%) and just N application were applied in order to evaluate the possibility of replacement of the fertilizer by compost application. An increase on average TCH (22%) and TAH (31%) by effect of the application of 5 t/ha of compost accompanied by 100% of the recommended dose was observed under experimental conditions. There was no effect of replacement of the fertilizer by the application of compost at least during the first three crop cycles. To confirm the benefits of compost application on the commercial plantation an statistical análisis was performed over the mill's database and was found that compost applications increased by 18 t/ha in average the productivity in terms of TCH in areas with similar soils to those used for the experimental evaluation.

## **Introducción**

La materia orgánica juega un papel muy importante en los suelos: aumenta la retención de agua disponible para las plantas; en combinación con las partículas del suelo forma

---

<sup>1</sup> Respectivamente, Ing. Agrónomo, PhD. Edafólogo, Cenicaña; Ing. Agrónomo, Jefe Depto Agronomía, Ingenio Risaralda; Biometrista, MSc, Cenicaña

agregados que permiten el intercambio de gases y el incremento de la permeabilidad; aumenta la capacidad de los suelos de mantener un pH uniforme; aumenta la CIC de los suelos y con ello incrementa la eficiencia de los fertilizantes aplicados (Havlin *et al.*, 1999). La materia orgánica se presenta en los suelos en dos fracciones principales: sustancias no-húmicas y sustancias húmicas. Las sustancias no-húmicas son orgánicas en descomposición parcial y todavía pueden ser clasificadas en alguna de las categorías de la bioquímica; estas sustancias se conocen como la materia orgánica activa. Las húmicas se originan de las sustancias no-húmicas a través de la humificación, proceso por el cual se logra una estabilización de la materia orgánica a sustancias altamente estables en el suelo. Estas sustancias se clasifican como ácido fúlvico, ácido húmico y huminas (Essington, 2004).

El compost se define como una mezcla de materiales orgánicos (con agua o sin ella), suelo o fertilizantes que han sufrido descomposición biológica principalmente bajo condiciones aeróbicas y termófilas (Cundiff y Mankin, 2003). Durante el proceso de compostaje se prepara el sustrato de residuos orgánicos de manera que los microorganismos encuentren las condiciones adecuadas para actuar sobre ellos y generen al final un material estabilizado y maduro con formación de sustancias húmicas. En otras palabras, en una planta de compostaje se mantienen las condiciones adecuadas para que los microorganismos actúen sobre los sustratos y el proceso de la humificación transcurra en un tiempo relativamente corto, en el cual se logra promover la formación de material orgánico estabilizado y maduro que al aplicarse a los suelos mejore o mantenga su calidad.

En el sector agroindustrial de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, Colombia, los principales materiales usados en la producción de compost son la cachaza o torta de filtro, residuos de cosecha, vinazas y lodos provenientes de la producción de etanol y cenizas del carbón y el bagazo quemados en las calderas. En la actualidad seis ingenios operan plantas de compostaje en el valle del río Cauca.

Para evaluar el efecto de la aplicación de compost sobre la productividad de la caña de azúcar se estableció un experimento que se ha llevado durante tres ciclos continuos de producción y se planea llevar al menos a cinco ciclos. En este documento se presentan los resultados de la aplicación de compost sobre el desempeño agronómico de la caña de azúcar en condiciones experimentales en un experimento establecido por Cenicaña y en condiciones de producción comercial en el ingenio Risaralda.

## **Materiales y métodos**

### **Evaluación experimental**

El experimento se estableció en el Ingenio Risaralda, en la hacienda La Suiza, suerte 19, suelo Quinamayó (Fluvaquentic Eutrudept), familia textural fina (Igac, 2006), zona agroecológica (ZA) 8H5 que se caracteriza por presentar suelos con escasez de macroporos, permeabilidad

lenta y un exceso de más de 600 mm de precipitación sobre el promedio anual en un año normal (Cenicaña, 2011). Hasta el presente se han evaluado tres ciclos de producción (plantilla y dos socas). El compost utilizado en este experimento es el producido en la planta de compostaje del Ingenio Risaralda usando cachaza, vinaza y residuos de cosecha con un tiempo de proceso de 120 días. El experimento se estableció con base en un diseño de bloques completos al azar con 18 tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos están arreglados como factorial completo conformado por cinco dosis de compost (0, 5, 10, 15 y 20 toneladas por hectárea) y cuatro dosis de N, P y K para evaluar sustituciones del 0%, 20% y 40% del N, P y K y del 100% del P y K de las dosis recomendadas de estos nutrimentos mediante las aplicaciones de compost (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Descripción de los tratamientos experimentales.

<b>Tratamientos</b>	<b>Compost t/ha</b>	<b>N % aplicado*</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> % aplicado*</b>	<b>K<sub>2</sub>O % aplicado*</b>
1	0	100	100	100
2	0	100	0	0
3	5	100	100	100
4	10	100	100	100
5	15	100	100	100
6	20	100	100	100
7	5	80	80	80
8	10	80	80	80
9	15	80	80	80
10	20	80	80	80
11	5	60	60	60
12	10	60	60	60
13	15	60	60	60
14	20	60	60	60
15	5	100	0	0
16	10	100	0	0
17	15	100	0	0
18	20	100	0	0

\* % de la dosis recomendada.

El tamaño de las parcelas experimentales es de 12 surcos de 10 m de longitud con una distancia entre surcos de 1,50 m, lo que da un área por parcela de 180 m<sup>2</sup>. Las dosis de N, P y K para este sitio experimental fueron de 90-50-60 y 130-50-60 en plantilla y socas, respectivamente, y se definieron de acuerdo con los resultados del análisis de suelo y las recomendaciones del SEF (Sistema Experto de Fertilización) de Cenicaña. El P se aplicó al fondo del surco al momento de la siembra de la plantilla y en socas se aplicó junto con el N y el K en banda e incorporados al suelo a los 45 días después del corte. En plantilla, el N y K se

aplicaron en banda e incorporados al suelo a los 45 días después de la siembra. El abono orgánico o compost se aplicó al fondo del surco junto con las dosis complementarias de P y de K inmediatamente antes de la colocación de las semillas de caña durante la siembra de la plantilla. En socas, el compost se aplicó en banda junto con el fertilizante y se incorporó mediante un aporque o cultivo a los 45 días después del corte de la caña. Como fuentes de los tres nutrimentos se usó la urea del 46% de N, el superfosfato triple del 46% de  $P_2O_5$  (en plantilla), DAP (en las socas) y cloruro de potasio del 60% de  $K_2O$ .

La variedad de caña utilizada fue la CC 85-92. Durante el desarrollo de la plantilla y de las socas se hicieron evaluaciones de población, altura de tallos y lecturas de clorofilómetro (Minolta, SPAD 502) y muestreos de tejidos foliares a las edades de tres y seis meses del cultivo en todas las parcelas. Una semana antes de la cosecha se hicieron muestreos de tallos molederos por parcela experimental para análisis de calidad de la caña; así mismo, a estos tallos se les midió la longitud desde la base hasta el punto natural de quiebre. Las producciones de caña por parcela se determinaron en los seis surcos centrales de cada parcela experimental (90 m<sup>2</sup>). Con este dato y el contenido de azúcar recuperable estimada (ARE) se calculó la producción de azúcar por parcela.

Antes de la siembra del experimento se tomaron muestras de suelo de 0 - 20 cm de profundidad en cada parcela para realizar análisis completo de suelo (elementos mayores, menores y textura). Los contenidos iniciales de nutrimentos en el suelo (antes de aplicar los tratamientos) se usaron como covariables para realizar el análisis estadístico. Después de cada corte se tomaron muestras de suelo por parcela a la profundidad de 0 cm a 20 cm para análisis completo (elementos mayores y menores). El experimento se ha llevado a cabo por tres cortes consecutivos y en este momento ya se inició el cuarto ciclo (tercera soca) y se planea evaluarlo al menos hasta el quinto ciclo (cuarta soca). Para el análisis estadístico se usó el procedimiento de modelos lineales generales (GLM) incluido en el paquete SAS vers. 9.1.3. licenciado a Cenicaña. Se hizo un análisis económico de la productividad de los 18 tratamientos probados en este estudio.

### **Evaluación comercial**

El Ingenio Risaralda opera una planta de compostaje en la cual se utilizan como materias primas cachaza, vinaza, bagazo y hojas de caña. El área de la planta es de 40,000 m<sup>2</sup> con una producción promedio mensual de 1200 toneladas de compost. Con el objetivo de estimar el efecto de la aplicación de compost a nivel comercial se realizó análisis estadístico de la base de datos comercial del ingenio, en la cual se registran todas las actividades agronómicas que se le realizan al cultivo en el área de producción de tierras de administración directa (4.906 ha), incluidas tierras propias y de proveedores. La aplicación de compost está incluida entre las prácticas agronómicas registradas en esta base de datos entre los años de 2007 al 2011 en 51 ZA diferentes. Para evaluar el efecto de la aplicación de compost a nivel comercial se

utilizó el procedimiento de modelos lineales generales (GLM) de SAS vers. 9.1.3. La variabilidad de las variables de respuesta TCH (toneladas de caña por hectárea), TAH (toneladas de azúcar por hectárea) y rendimiento (% sacarosa) se expresó como función de las variables de clasificación aplicación de compost, zona administrativa, zona geográfica, variedad de caña, zona agroecológica, tipo de corte, cantidad de precipitación en los primeros tres meses del cultivo y la interacción de segundo orden entre aplicación de compost y cada uno de los otros factores. Adicionalmente se usaron las variables edad de cosecha, edad de cosecha al cuadrado y número de corte como covariables. Posteriormente, a cada uno de los niveles de los factores y sus interacciones se les estimó por mínimos cuadrados los promedios de manera concreta y por intervalo de confianza.

## Resultados y discusión

### Evaluación experimental

El comportamiento del TAH durante la plantilla fue similar al del TCH, aunque las diferencias en TAH por efecto de los tratamientos fue significativa al 0.05, mientras que las diferencias en TCH solo fueron significativas al 0.10 (Figura 1). La aplicación de dosis de compost de 5 t/ha y 10 t/ha con el 100% de la dosis de fertilización recomendada incrementó el TAH significativamente ( $p < 0.05$ ), en cinco toneladas. Al disminuir la dosis de fertilizante recomendada al 80% hubo un aumento significativo ( $P < 0.05$ ) de TAH solamente por efecto de las dosis de 15 t y 20 t de compost, comparado con TAH de los tratamientos sin aplicación de compost (Figura 1). Al disminuir la dosis de fertilizantes al 60% no se observó mayor diferencia por efecto de ninguna de las dosis de compost; tampoco la hubo cuando se aplicó el 100% del N más compost (Figura 1). Este comportamiento sugiere que al menos durante los primeros ciclos del cultivo la aplicación de compost debe acompañarse por las dosis de fertilización recomendadas según el análisis de suelo.

Durante la primera soca se presentó diferencia significativa ( $P < 0.04$ ) de TCH por efecto de los tratamientos, mientras que la diferencia en TAH no alcanzó el nivel de significancia ( $p < 0.07$ ). El TCH del tratamiento con cinco toneladas de compost y 100% de NPK mostró un incremento significativo ( $p < 0.04$ ) de 22 t/ha (15%) de caña sobre los tratamientos sin compost (Figura 2). Al disminuir la dosis de fertilizante solo se observó incremento significativo de TCH en los tratamientos con aplicación de 20 t/ha de compost (Figura 2). A pesar de que no hubo notorias diferencias ( $p < 0.07$ ) en TAH por efecto de los tratamientos, la similaridad del patrón de respuesta del TAH y del TCH sugiere que el incremento (18%) en TAH al aplicar compost es causado por el tratamiento y no por error experimental (Figura 2).

La mayor productividad de la soca frente a la plantilla puede ser explicada por el efecto negativo de la mayor precipitación ocurrida durante los cuatro primeros meses de la plantilla (748 mm) comparada con la ocurrida durante los cuatro primeros meses de la soca (317 mm).

Mientras que el patrón de precipitación durante la primera soca (Figura 4) estuvo mejor ajustado al patrón de demanda hídrica de la caña de azúcar, el exceso de precipitación durante los primeros meses de la plantilla pudo causar un descenso del rendimiento debido al mal drenaje del suelo donde está establecido el experimento.

En la segunda soca hubo alta precipitación (890 mm) durante los primeros cuatro meses, lo que produjo depresión generalizada de la productividad del 32% con respecto a la plantilla, pero aun así los tratamientos con la dosis de compost de 5 t/ha presentaron incremento de la productividad en términos de TCH (23%) y TAH (29%), lo que demuestra los beneficios de la aplicación de compost. Al realizar el análisis estadístico de los datos se encontró que el contenido de Zn en el suelo al inicio del experimento fue una covariable significativa para TCH y TAH en la plantilla y en las dos socas evaluadas, indicativo de la importancia de la disponibilidad del Zn para el desarrollo de la caña de azúcar y la relevancia de conocer la variabilidad espacial de los nutrientes para corregir los datos experimentales.

Al realizar el análisis económico total en los tres cortes se encontró que la mayor utilidad bruta por hectárea fue la del tratamiento con cinco toneladas de compost y 100% del NPK (Cuadro 2), lo que confirma que la aplicación comercial de este tratamiento es económicamente viable.

**Cuadro 2.** Incremento en TCH por efecto de la aplicación comercial de compost en el ingenio Risaralda

Compost	ZA	Compost	ZA	Dif. en TCH <sup>1</sup>	Probabilidad (significancia)
NO	13H2	SI	13H2	-22	0.0029
NO	8H5	SI	8H5	-17	0.0059
NO	31H3	SI	31H3	-30	0.0151
NO	8H3	SI	8H3	-18	0.0257
NO	5H5	SI	5H5	-12	0.0400
NO	11H3	SI	11H3	-18	0.0522
NO	23H4	SI	23H4	-15	0.0871
NO	13H5	SI	13H5	-15	0.1076
NO	9H5	SI	9H5	-12	0.1506

<sup>1</sup> (TCH sin aplicación de compost – TCH con aplicación de compost).

### Evaluación comercial

Al efectuar el análisis estadístico de la base de datos se encontró que para la variable de respuesta TCH la interacción entre aplicación de compost y ZA fue altamente significativa ( $p < 0.0001$ ), lo que indica que la aplicación de compost en campos de producción comercial produjo mayores incrementos en el TCH según la zona agroecológica. Para encontrar las diferencias significativas se hizo un sorteo ascendente de la probabilidad de diferencia significativa entre las medias de TCH (Cuadro 3). Se consideraron diferencias significativas

hasta un nivel de probabilidad  $< 0.15$ , ya que el análisis se hizo con datos que no fueron colectados siguiendo un diseño experimental sino que provienen de resultados del manejo comercial del ingenio.

**Cuadro 3.** Utilidad bruta acumulada durante los tres ciclos (millones \$/ha) de los tratamientos experimentales de aplicación de compost en el ingenio Risaralda, hacienda La Suiza.

<b>Tratamiento</b>	<b>Utilidad Bruta acumulada de los tres ciclos de cultivo (millones \$col/ha)</b>
100% NPK + 5 t/ha Compost	23.18
100% N	20.57
80% NPK + 5 t/ha Compost	19.03
100% N + 5 t/ha Compost	18.59
100% NPK	18.46
100% NPK + 10 t/ha Compost	18.03
100% N + 10 t/ha Compost	17.15
60% NPK + 5 t/ha Compost	16.86
60% NPK + 10 t/ha Compost	15.81
100% NPK + 15 t/ha Compost	15.28
80% NPK + 15 t/ha Compost	15.07
60% NPK + 15 t/ha Compost	14.81
80% NPK + 10 t/ha Compost	14.65
80% NPK + 20 t/ha Compost	14.07
60% NPK + 20 t/ha Compost	13.77
100% N + 15 t/ha Compost	13.58
100% N + 20 t/ha Compost	10.69
100% NPK + 20 t/ha Compost	9.64

Las ZA en las cuales se produjo un efecto positivo de la aplicación de compost sobre TCH fueron aquellas en que los suelos presentan problemas de alta saturación de humedad debido a drenaje interno deficiente (Tabla 3). La aplicación de compost en estas ZA incrementó en 15% las TCH, lo que equivale en promedio a 18 t/ha comparado con el área no aplicada en las mismas ZA. El efecto potencial de la aplicación de compost en estas ZA, que representan 2.874 ha del área del ingenio, sería de 51.732 toneladas de caña por ciclo de producción. Al analizar las variables TAH y rendimiento no se observó un efecto positivo claro en ellas de la aplicación de compost, ya que la producción y la acumulación de sacarosa está muy influenciada por las condiciones climatológicas (precipitación, radiación, oscilación de la temperatura día/noche) durante la fase de maduración y cosecha de la caña. El promedio anual de precipitación en el área de influencia del Ingenio Risaralda es de 1.655 mm/año comparado con 1100 mm/año en promedio de la zona productora de caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca. El



exceso de precipitación en el área del Ingenio Risaralda hace que la acumulación de sacarosa sea afectada negativamente. El incremento promedio en TCH por la aplicación de compost en el área comercial, 18 t/ha (Tabla 3), concuerda con el incremento promedio experimental de 22 t/ha obtenido en la zona agroecológica 8H5 (Figuras 1-3).

## Conclusiones

Del análisis realizado se concluye que:

- La aplicación de compost incrementó significativamente la TCH y la TAH en las condiciones del sitio experimental. La ZA fue determinante en el resultado de la aplicación.
- El efecto positivo de la aplicación de compost en condiciones experimentales se confirmó con los datos comerciales de sitios con condiciones de alta humedad, similares a los del sitio experimental.
- La aplicación de compost incrementó significativamente el TCH pero no se observó efecto claro sobre el TAH ni el rendimiento.
- La aplicación de compost durante los primeros tres cortes no permitió reducir la dosis de la fertilización recomendada. Se seguirá evaluando esta posibilidad durante los siguientes cortes.
- El análisis económico indica que la aplicación comercial de la mejor dosis de compost hallada a nivel experimental es económicamente viable y rentable.

## Referencia

- Carbonell, J.; Quintero, R.; Torres, J.; Osorio, C.; Isaacs, C.; Victoria, J. 2011. Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (Cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones. Cenicña. Serie Técnica. No. 38. Cali. Colombia. 119 p.
- Cundiff, J.S. y Mankin, K.R. 2003. Dynamics Of Biological Systems. St Joseph, Mich. American Society of Agricultural Engineers.
- Essington, M. 2004. Soil And Water Chemistry: An Integrative Approach. CRC Press. New York. 534 p.
- Havlin, J.L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L. y Nelson W.L. 1999. Soil Fertility And Fertilizers. An Introduction To Nutrient Management. Sixth edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 499 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac). 2006. Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar en el valle geográfico del río cauca. Informe general. Igac. Bogotá. Colombia. 1618 p.