

Qué hacer con la paja de la cosecha mecanizada de la **CAÑA DE AZÚCAR**

Salgado-García, S.¹; Aranda-Ibañez, E.¹; Castelán-Estrada, M.¹; Ortiz-Laurel, H.²; Palma-López, D.¹ y Córdova-Sánchez, S.³

¹Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, Grupo MASCAÑA-LPI-2: AESS. Km. 3,5 Periférico Carlos A. Molina s/n. H. Cárdenas, Tabasco. CP 86500. México. ²Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba, Grupo MASCAÑA-LPI-2: AESS. Km. 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz, Amatlán de los Reyes, Veracruz. CP 94946. México. ³Centro Maya de Estudios Agropecuarios, Universidad Autónoma de Chiapas. Playas de Catazajá, Chiapas. CP 29980. México.

*Autor responsable: salgados@colpos.mx

RESUMEN

En la industria azucarera mexicana, se ha despertado el interés por aprovechar la paja de la caña de azúcar para diferentes propósitos; por ejemplo, como combustible para las calderas de los ingenios, reincorporarla como nutrimento al suelo y como alimento del ganado bovino. En México no se habían realizado estudios al respecto; con este trabajo se evaluó el rendimiento de paja en 15 plantaciones comerciales de caña de azúcar cosechadas en verde en el área de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez, Tabasco, México en la zafra 2010. Los resultados obtenidos



indicaron que la paja seca producida por parcela fue en promedio 18.2 t ha^{-1} , mientras que por variedad de caña el rendimiento varió entre 12.7 y 21.2 t ha^{-1} . El coeficiente de variación fue de 42.8% entre parcelas; la alta variabilidad en el rendimiento de paja se atribuyó a las condiciones de clima, suelo y particularidades en el manejo agronómico de las parcelas. Se considera necesario realizar más estudios para optimizar el manejo de la paja bajo las condiciones específicas de cada región cañera.

Palabras clave: alimento bovino, empacado de paja, energía, reciclaje nutricional

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en México se maneja en su mayor parte bajo el sistema de “caña quemada, corte manual y alce mecanizado” que implica quemar el cañaveral maduro para facilitar la cosecha y semanas después de la primera quema, una segunda (requema) elimina las puntas de caña que se dejaron en campo. Esta práctica impide la reincorporación de la materia orgánica al suelo y degrada las propiedades físicas y químicas, por lo que este manejo no es sustentable a largo plazo (Ribon *et al.*, 2003; Naranjo *et al.*, 2006). Debido a que estas prácticas se han empleado durante muchos años, los suelos del área de influencia del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) presentan menos de 2% de materia orgánica y se clasifican de baja fertilidad, repercutiendo en el rendimiento de tallo moledero, lo que se aprecia en las 12 zafas más recientes del IPBJ cuyos rendimientos medios son de 61 t ha^{-1} , mientras que el promedio nacional en ese periodo fue de 74 t ha^{-1} (Salgado *et al.*, 2012)

La materia orgánica (MO) tiene un papel fundamental para mantener la fertilidad del suelo ya que favorece la formación de agregados, mayor porosidad, retención de humedad, actividad biológica y mineralización. Por ello, es recomendable incorporar al suelo parte de los esquilmos agrícolas para conservar una cantidad conveniente de MO en la capa arable (Naranjo *et al.*, 2006), y se considera que un contenido de 3.2% de MO en el suelo contribuye a mantener propiedades físicas y químicas adecuadas y la fertilidad (Loveland y Webb (2003). Recientemente fueron introducidas cosechadoras mecánicas al IPBJ que permiten hacer la “cosecha en verde” (sin quema), con lo cual se separan las puntas del tallo, el tallo es cortado junto con las hojas, y el sistema de limpieza de la cosechadora separa la caña de la paja. El tallo moledero se recolecta para su transporte al ingenio, mientras que la paja resultante es vertida sobre el suelo formando un mantillo (Ortiz *et al.*, 2012). La paja puede ser recolectada para usarla como combustible de las calderas del propio ingenio, incorporarla al suelo con un multicultivador, o bien, quemarla al aire libre para evitar la cobertura excesiva de las cepas. Esta última opción no es recomendable en términos ambientales, ya que se presentan los mismos inconvenientes del sistema de caña quemada.

Para lograr un programa adecuado de aprovechamiento de la paja como combustible y reincorporar una parte al suelo, es necesario evaluar la cantidad de paja producida durante la cosecha en verde, la eficiencia de recolección y cantidad de paja residual en el suelo, lo cual contribuiría a promover un manejo sustentable de la caña de azúcar. Este primer acercamiento al estudio de la paja en Tabasco, México buscó cuantificar la paja que produce el cultivo de caña de azúcar en condiciones agroecológicas del área de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Ingenio (IPBJ) está ubicado en el poblado C-27 del Plan Chontalpa, en el km 27 de la Ciudad de Cárdenas, Tabasco, México. La región tiene clima cálido-húmedo [Am(i')g] con temperatura media anual de $26 \text{ }^\circ\text{C}$, precipitación de 2,163 mm, y elevación media de 11 m. El área de abastecimiento es cercano a 18,360 hectáreas de caña de azúcar en diferentes fases de desarrollo.

Muestréos

Los muestréos de paja se realizaron durante marzo 2009 y abril, 2010, en 15 plantaciones cosechadas en verde, con un único paquete agronómico y en estado de madurez completa. Cada plantación muestréada se georeferenció sobre un mapa de suelos (Figura 1) (Salgado *et al.*, 2009).

Los muestréos se hicieron dos días después de la cosecha, con un marco metálico de 1 m^2 , el cual se lanzó de forma aleatoria, cuidando que cayera al menos a 30 m del límite de la parcela y a 25 m de distancia de otros puntos de muestréo. Se recolectó toda la paja contenida en el marco,

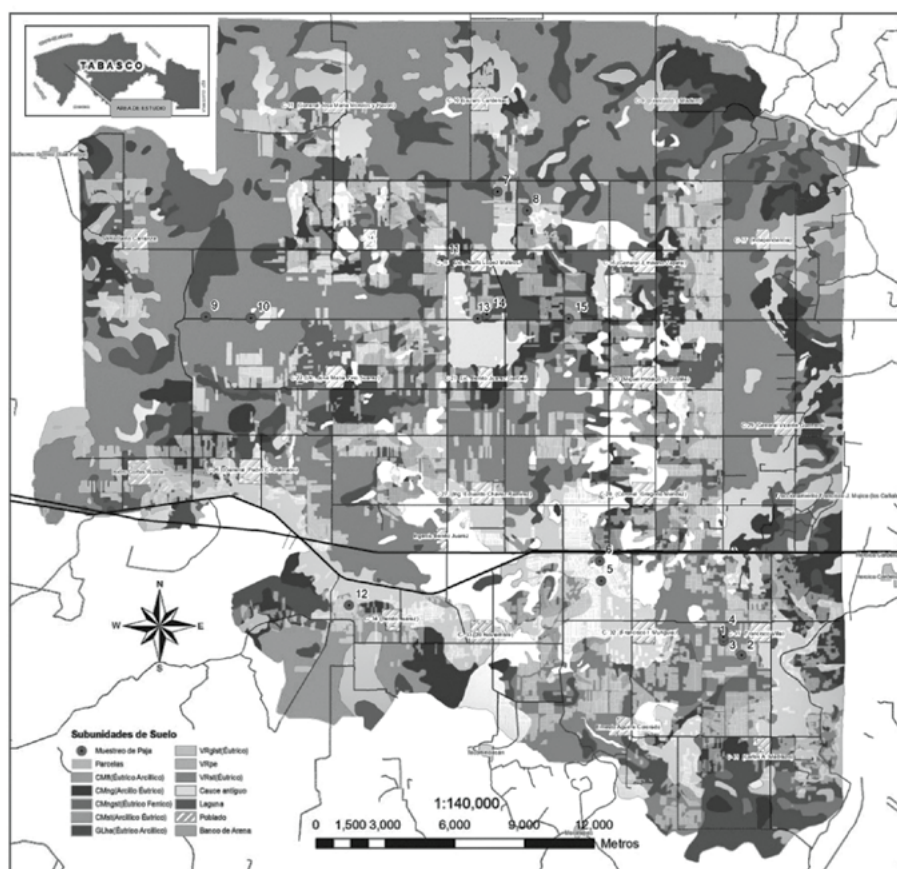


Figura 1. Ubicación de sitios de muestreo para estimar el rendimiento de paja en caña de azúcar, del Ingenio Presidente Benito Juárez de Tabasco, México.

reportado para la región por Salgado *et al.* (2009) quienes reportaron valores de entre 6 y 10.5 t ha⁻¹. La variación pudiera ser atribuible a la heterogeneidad edáfica del área de abasto del IPBJ, pues las plantaciones se desarrollan en seis diferentes subunidades de suelo (Cuadro 1), regímenes de precipitación y a diferencias en manejo agronómico de la plantación. En cuanto a los rendimientos de paja por variedad de caña, se registró que la variedad *Millonaria* fue de 12.7 t ha⁻¹; las variedades ITV y MEX 69-290 aportaron 17.6 t ha⁻¹; mientras que la MEX 68-P-23 y MEX 79-431 rindieron 18.6 t ha⁻¹ y la RD-75-11, 21.2 t ha⁻¹ (Cuadro 1). Estudios previos realizados en la región indicaron concentraciones de 0.60% de nitrógeno (N), 0.14 de fósforo (P) y 1.0% de potasio (K) en la paja de caña (Salgado *et al.*, 2009), lo cual referenciado al aporte calculado de estos nutrimentos al suelo en función del rendimiento de materia seca por hectárea serían de 109 kg de N, 58.3 kg de P₂O₅ y 234.7 kg de K₂O, cantidades que son incluso superiores a las que se aplican con la fertilización química. Resultados semejantes han sido reportados por Lal (2009). Sin embargo, dejar la totalidad de la paja sobre el suelo crea inconvenientes, como retraso en la brotación de los tallos, reducción del número de yemas brotadas (Viator *et al.*, 2009) y riesgo de incendios accidentales del cañaveral en etapa de crecimiento; por ello, es recomendable retirar parte de la paja para aprovecharla como combustible, alimento de ganado o en otros usos (Figura 2), e incorporar al suelo la parte restante de residuos para conservar la materia orgánica y mantener la fertilidad (Hartemink, 2008).

En la cadena productiva de caña de azúcar, es necesario explorar y

se pesó en una balanza digital marca Owen, con capacidad de 300 kg, y se tomó una alícuota de 150 g que se deshidrató en una estufa de aire forzado a 70 °C hasta alcanzar peso constante, y con ello determinar el porcentaje de humedad y rendimiento de materia seca mediante la ecuación; $RP = [PP - (PP \cdot H)] \cdot 10$; donde: RP = Rendimiento de paja seca (t ha⁻¹); PP = Peso de paja del muestreo (kg m⁻²); H = Humedad (%) = (paja húmeda - paja seca) / paja húmeda * 100; 10 = Factor de conversión a t ha⁻¹. Los datos de campo se analizaron estadísticamente mediante ANOVA, bajo un diseño completamente al azar (DCA), donde cada parcela correspondió a un tratamiento con diez repeticiones

(Martínez, 1988), y los promedios resultantes por parcela se compararon con la prueba múltiple de Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza no mostró diferencia significativa en el rendimiento de paja entre las plantaciones estudiadas (Cuadro 1). El rendimiento medio de paja (base seca) en la zona de abastecimiento fue de 18.2 t ha⁻¹, con un rango de 14.4 t ha⁻¹ a 22.3 t ha⁻¹; y coeficiente de variación de 42.8%, lo cual fue indicativo de alta variabilidad en los rendimientos por parcela (Figura 2). Los rendimientos anteriores fueron superiores a lo

Cuadro 1. Paja de caña de azúcar producida en parcelas de abasto del Ingenio Presidente Benito Juárez durante la zafra 2009-2010 en Tabasco, México.

Parcela	Localidad Coordenadas UTM Productor	Ciclo	Variedad	Subunidad de suelo	Paja seca (t ha ⁻¹)
01	Poblado C-31 452234.594-1987948.883 Ovidio Córdova Gamas	Planta	MEX 68-P23	VRst (Éutrico)	12.7 a
02	Poblado C- 31 451325.00- 1985765.00 Julio Mondragón Broca	Soca	MEX 69-290	VRst (Éutrico)	21.2 a
03	Poblado C- 31 451601.811-1987883.837 Gloria Sánchez Jiménez	Resoca 6	MEX 69-290	VRst (Éutrico)	22.3 a
04	Poblado C- 31 450523.736-1986762.660 Héctor Córdova Gamas	Resoca	MEX 69-290	VRst (Éutrico)	19.9 a
05	Poblado C- 32 445133.00- 1988851.00 Zenón López Salaya	Resoca 8	RD 75-11	CMfl (Éutrico Arcílico)	19.5 a
06	Poblado C-32 445248.237-1989607.457 Manuel Torres Córdova	Resoca 8	MEX68-P-23	VRglst (Éutrico)	21.5 a
07	Poblado C- 15 441238.450-2005992.061 Carlos García Jiménez	Resoca 4	MEX79-431	GLha (Éutrico Arcílico)	20.9 a
08	Poblado C-15 442335.00- 2005067.00 Rosario Yáñez Jiménez	Planta	MEX69-290	VRst (Éutrico)	14.4 a
09	Poblado C-14 428311.00- 2000272.00 Impulsora Agrícola	Resoca	MEX69-290	VRst (Éutrico)	19.4 a
10	Poblado C-14 429753.00- 2000261.00 Impulsora Agrícola	Resoca	MEX69-290	VRst (Éutrico)	18.9 a
11	Poblado C-15 438629.00- 2002781.00 Pedro García Acosta	Planta	MEX68-P23	VRglst (Éutrico)	16.6 a
12	Poblado C-15 434117.23- 1987702.44 Cesar Román de Dios	Resoca 2	MEX69-290	CMst (Arcílico Éutrico)	15.0 a
13	Poblado C-15 440027.519-2000394.800 Blas Moya Martínez	Resoca 3	MEX79-431	CMngst (Éutrico Férrico)	15.0 a
14	Poblado C-15 441026.929- 2001072.801 Blas Moya Martínez	Resoca 3	ITV	GLha (Éutrico Arcílico)	17.6 a
15	Poblado C-16 444165.00- 2000232.00 José A. Lendechy Zarate	Resoca 8	MEX68-P-23	CMng (Arcílico Éutrico)	17.7 a
Media (t ha ⁻¹)					18.2
CV (%)					42.8
Prob. de F. Trat.					0.16 NS
DMS (t ha ⁻¹)					12.0
Medias con la misma literal son iguales estadísticamente Tukey (Pffio.05); NS: No significativo VR:Vertisol, GL: Gleysol, CM:Cambisol, gl: Gléyico, fl: Fluvico, st: Estágnico, ha: Aplico, ng: Endogléyico					



Figura 2. Manejo y usos potenciales de la paja de caña de azúcar en el Ingenio Presidente Benito Juárez en Tabasco, México. A: Plantación de caña de azúcar bajo el sistema de “cosecha en verde” mecanizada. B: Quema de paja bajo el sistema de “cosecha en verde”. C: Incorporación de paja con multi-cultivador. D: Empacado de paja en pacas de 30 kg. E: Preparación de alimentos para bovinos a base de puntas de caña. F: Utilización de paja como combustible en las calderas del ingenio.

cuantificar diferentes usos y métodos para la recoleta de paja; uno de estos podría ser a través de la incorporación con multicultivador que permitiría aprovechar hasta 50% de la paja generada para mantener el reciclaje de nutrimentos y evitar la pérdida de fertilidad en los suelos (Lal, 2009), tal como hacen en otros países cañeros donde se practica la

cosecha mecanizada (Souza *et al.*, 2005), también usarla para alimentación de bovinos (Ortiz *et al.*, 2009; Ortiz *et al.*, 2012), ya que si se recolecta 50% de la paja producida, se obtendrían hasta 270 pacas de 30 kg a un precio medio de \$15.00 cada una, con lo cual el productor cañero obtendría \$ 4,050.00 adicionales por hectárea.

Se sugiere también evaluar su potencial energético, ya que la paja con 10% de humedad contiene 17 M joules kg^{-1} y su poder calórico es equivalente al del bagazo (Ripoli y Ripoli, 2007). En países como India y Brasil emplean tecnologías para que la cosecha de caña de azúcar sea integral, ya que se separa la paja del tallo y se almacena para posteriormente

mezclarla con el bagazo y quemarse en las calderas que generan vapor y producen energía eléctrica (Oliveiro, 2010). Pruebas realizadas en el Ingenio Santa Clara mostraron que 3.5 t de paja tienen el mismo poder calórico que 1.0 t de combustóleo, significando un ahorro de \$900.00, lo que muestra una opción para reducir el uso de combustibles fósiles (CAÑAMEX, 2007). Otros usos pueden ser a través de la pirolisis con lo cual es posible generar 1 Mwh de electricidad por cada 2 t de paja seca y recuperar 31% en forma de biochar (Quirk *et al.*, 2012); resaltando que el carbono en el biochar es estable y al usarlo como mejorador del suelo resulta también en un secuestrador de carbono de la atmósfera, además de poder usarla para elaborar papel rústico (Garnica *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

Aun cuando no existieron diferencias estadísticas en la producción de paja entre variedades, el rendimiento promedio del sistema de “cosecha en verde” de la caña de azúcar cultivada en el Ingenio Presidente Benito Juárez, genera 18.2 t ha⁻¹ de paja seca en promedio, susceptibles de ser usadas en diferentes subproductos.

LITERATURA CITADA

- CAÑAMEX. 2007. Aprovechamiento y rentabilidad de los residuos de cosecha de la caña de azúcar. Cañaverales Mexicanos SPR de RL de CV-Ingenio Santa Clara SA de CV. Informe Técnico 20 p.
- Garnica G.M.J., Arias R.M., Martín, R.A., Sanz M.A. 2007. Fabricación manual de papel con fibras vegetales. Revista Digital Practica Docente, 7:369-380.
- Hartemink E.A. 2008. *Sugarcane for Bioethanol: Soil and Environmental Issues*. Advances in Agronomy 99:127-172.
- Lal R. 2009. Soil quality impacts of residue removal for bioethanol production. Soil & Tillage Research. 102: 233-241.
- Loveland P., Webb J. 2003. *Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review?* Soil & Tillage Research 70 1-18.
- Martínez G.A. 1988. *Diseños experimentales: Métodos y Elementos de Teoría*. Trillas. México. 756 p.
- Naranjo F.J., Salgado G.S., Lagunes E.L.C., Carrillo A.E., Palma L.D.J. 2006. Changes in the soil fertility of fluvisols cultivated with sugarcane through the years. Soil & Tillage Research. 88:160-167.
- Oliveiro J.L., Carmo V.B., Gurgel M.A. 2010. The DSM-Dedini Sustainable Mill: a new concept in designing complete sugarcane mills. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. Veracruz, México. (27): 1-34 p.
- Ortiz L.H., Rössel K.D., Debernardi V.H., Rosas C.D. 2009. *Aprovechamiento forrajero de los residuos de la cosecha de la caña de azúcar*. Parte II. Maquinaria para procesar el residuo de la caña de azúcar. El Agropecuario-vocero de nuestro campo www.elagropecuario.com. p 244 - 248.
- Ortiz L.H., Salgado G.S., Castelán E.M., Córdova S.S. 2012. Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 4: 767-773.
- Quirk R.G., Zwieten L.V., Kimber S., Downie A., Morris S., Rust J. 2012. Utilization of Biochar in Sugarcane and Sugar-Industry Management. Sugar Tech 14:321-326.
- Ripoli, C.T.C., Ripoli, C.M.L. 2007. *Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente*. Segunda edición ampliada. Edição dos Autores. Piracicaba, SP. Brasil. 310 p.
- Salgado G.S., Palma L.D.J., Zavala C.J., Lagunes E.L.C., Castelán E.M., Ortiz G.C.F., Juárez L.J.F., Ruiz R.O., Armida A.L., Rincón R.J.A. 2009. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en caña de azúcar (SIRDF): Ingenio Presidente Benito Juárez. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 84 p.
- Souza M.Z., Prado M.R., Paixão S.A.C., Cesarin L.G. 2005. *Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar*. Pesq. agropec. bras., Brasília 40: 271-278.
- Viator R.P., Johnson R.M., Boykin D.L., Richard E.P. 2009. *Sugarcane Postharvest Residue Management in a Temperate Climate*. Crop Sci. 49:1-6.