



EXPLORACIÓN Y PROCESOS MECANIZADOS *OPERATION AND MECHANIZED PROCESSES*

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación del corte basal de la cosechadora C-4000 con cuchillas de tres filos

Evaluation of the base cut of the C-4000 harvester machine with knives of three edges

Justo Max González¹, Rafael Pérez Pupo² y Julio Nolberto Pérez Guerrero³

RESUMEN. La importancia del corte de base cuya ejecución repercute en la calidad, así como las pérdidas de materia prima y la longevidad del cañaveral, se tuvieron en cuenta para concebir el objetivo de esta investigación que fue evaluar la influencia de la C-4000 (modelo de cosechadora de caña en desarrollo) con dispositivo hidráulico de control de la altura de corte de base (SHC), diseñado por el Centro de Desarrollo de la Maquinaria (CEDEMA), y las cuchillas (segmentos) de tres filos, en la calidad del corte de base en su desempeño a lo largo de la jornada de trabajo, teniendo como base de comparación la cosechadora KTP-2M con las cuchillas de dos filos y control mecánico de regulación de la altura de corte. Para ello se desarrolló un ensayo en condiciones de laboratorio y de campo en el Complejo Agroindustrial Azucarero (CAI) Fernando de Dios, del municipio de Báguano en la provincia de Holguín, Cuba. Las variables estudiadas fueron altura de corte, tocones arrancados, impureza mineral, calidad del corte y pérdidas. El análisis de los resultados demostró, que el mejor tratamiento para la disminución de las pérdidas, por la falta de eficiencia en el corte basal de la caña de azúcar para las condiciones de este experimento, fue el sistema hidráulico de control de la altura de corte y las cuchillas de tres filos, al obtener valores superiores a la KTP-2M, en las variables de eficiencia.

Palabras clave: mecanización, caña de azúcar, control hidráulico.

ABSTRACT. In sugar cane mechanized harvesting, there are some peculiarity related to soil-machine-plant interaction which has been causing some concern due to raw material left on the field losses and the reduction in sugar cane crop longevity caused by deficiency in cut height control. Improvement in cut quality and raw material of the matter it prevails they are in the bibliography by means of the interventions in the crop and others practice cultural existent and of changes in the design of croppers. Devices have been developed for auxiliary to the operators in the control of the court height keeping in mind the importance of the base cut in the quality and lost of matter it prevails and in the longevity of the reed bed, the objective of this work was to validate the influence of a hydraulic device of control of the height of base court, SHC, in the quality of the base cut and its acting throughout the work day.

Keywords: Mechanization, cane of sugar, hydraulic control.

INTRODUCCIÓN

La contracción de la industria azucarera y la disminución de las áreas destinadas en el país al cultivo de la caña de azúcar, obligan a su utilización más eficiente. En este empeño, la adecuada mecanización del corte de la caña de azúcar tiene un importante papel. Entre los procesos que desarrolla la cosechadora de caña de azúcar, el corte basal con los parámetros

de calidad exigida, es sin duda uno de los fundamentales en el propósito de asegurar la efectividad de la cosechadora. Es conocido que la cosechadora de caña de producción nacional, presenta dificultades en el cumplimiento de la calidad del corte, ya que los tallos con corte desgarrados y repetidos sobrepasan el 20% del total de tallos cortados, así como el por ciento de contaminación por tierra sobrepasa el 8% (Pérez, 1997); (Buzziz, 1991).

Recibido 05/07/10, aprobado 10/12/11, trabajo 04/12, artículo original.

¹ Ing., Centro de Desarrollo de la Maquinaria Agrícola (CEDEMA), Peralta # 65 Esq. a Coliseo, Rpto. Peralta, Holguín, Cuba, Apartado Postal 3. CP: 80100, Teléfonos: 461251, 424362, 422906, Fax: 422906, E-[✉: jperez@cedema.cu](mailto:jperez@cedema.cu)

² Dr.C., Centro de Desarrollo de la Maquinaria Agrícola (CEDEMA), Holguín, Cuba.

³ Dr.C., Prof. Universidad de Holguín, Cuba.

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

En la bibliografía consultada para realizar esta investigación, sus autores Pérez (1997); Kroes y Harris (1996); Ablík y Rivas (1975), exponen que se evidencia una mejoría en la calidad del corte y disminución de las pérdidas en cosecha cuando se realizan intervenciones en la cosecha, así como otras prácticas culturales existentes y de cambios en el diseño de las cosechadoras

Durante la explotación del modelo de cosechadora de caña KTP-2M, de fabricación nacional, se han identificado algunas peculiaridades en la integración máquina- suelo- planta que han causado preocupación, debido a las pérdidas de cosecha en el campo y la reducción de la longevidad del cañaveral, ocasionadas por deficiencias en el control de la altura de corte y la calidad del corte (Max, 1996); (Rivas, 1981). Por los elementos antes expuestos, el nuevo modelo de máquina en desarrollo C-4000, se ha dotado de un sistema de control hidráulico de la altura de corte y cuchillas con tres filos para el corte inferior, uno de ellos frontal.

La propuesta de cambio antes referida se fundamenta en las ventajas de adaptabilidad a diferentes relieves y suelos, facilidad en la regulación y posibilidades de automatización que ofrece el accionamiento hidráulico; entre tanto, el tercer filo del elemento de corte contribuya a aumentar la efectividad del corte basal, porque en el anterior diseño, muchos tallos son golpeados con el lado sin filo y por tanto empujados, deformados, o arrancados, lo que ocasiona un corte de baja calidad en estos. La integración del accionamiento hidráulico, para el control de la altura de corte, con el empleo de la cuchilla de tres filos, debe contribuir a la efectividad del proceso de corte durante la realización de la cosecha mecanizada.

Para corroborar tal hipótesis, es necesaria la realización de ensayos de campo, tanto en condiciones de laboratorio como de explotación controlada. En consecuencia el objetivo del trabajo consiste en evaluar experimentalmente el sistema de corte basal, con accionamiento hidráulico para el control de la altura de corte con cuchillas de tres filos; del modelo de cosechadora de caña en desarrollo C-4000.

MÉTODOS

Entre las fuentes de variación que pueden tener influencia sobre los valores de las variables respuesta, se encuentran en primer término, las fuentes controladas objeto de estudio, para esta investigación, estos factores son los constructivos, sometidos a evaluación de la cosechadora de caña C-4000 y de la KTP-2M, modelo de máquina base, testigo para el ensayo, a saber: accionamiento hidráulico para el control de la altura de corte inferior con segmento de corte de tres filos de la cosechadora de caña C-4000 versus el accionamiento mecánico de la altura de corte inferior con segmento de corte rectangular de la KTP-2M; los factores o fuentes controlados no objeto de estudio: suelo, clima, variedad de caña, labores de cultivo, hombre y finalmente, los factores no controlados, de estos: los instrumentos de medición, la toma de medidas, material experimental, entre otros.

Las variables, con sus indicadores, que se desean estudiar en concordancia con los objetivos de la investigación relacionadas con el problema son:

- Las que caracterizan la calidad del corte:
 - Calidad de cizallamiento de los tocones.
 - Tocones arrancados.
 - Tocones removidos.
- Las que caracterizan la eficiencia:
 - Altura de los tocones.
 - Impurezas minerales.
 - Pérdidas de materia prima.

Los experimentos de campos efectuados, tanto en condiciones de laboratorio como de explotación controlada, se llevaron a cabo durante la temporada de cosecha 2001-2002, en áreas del Complejo Agroindustrial Azucarero (CAI) “Fernando de Dios” de la provincia de Holguín, por ser representativo de las condiciones de explotación de estas máquinas. Las áreas específicas de pruebas se seleccionaron dentro del complejo, para obtener los mayores rendimientos posibles, de la variedad C 86-503 ampliamente difundida en las plantaciones cañeras cubanas.

Con el objetivo de conocer las condiciones de explotación locales, sobre las cuales se efectuaron los ensayos, es decir; áreas de pruebas, tipo de suelo, relieve, microrelieve, estado del cañaveral, porte del cañaveral, etc., se realizó su caracterización siguiendo la metodología de prueba. La caracterización del campo cañero, los valores de la humedad del suelo y el rendimiento fueron entregados por el CAI, Tabla 1. Para evitar favorecer un tratamiento sobre otro las máquinas en ambos ensayos (laboratorio y explotación), trabajaron en los mismos campos en zonas diferentes, las cuales fueron seleccionadas al azar.

La calidad del corte basal de la caña de azúcar obtenida por las cosechadoras se determinó en correspondencia con la metodología de Control de la Calidad utilizando Excel (Perissé, 2008). Tanto para una programación en régimen de laboratorio (PL) como en régimen normal de explotación (PEC), durante la jornada de trabajo completa.

Debido a que es posible anticipar diferencias en las respuestas entre las unidades experimentales, como es el caso de esta investigación (Gómez y García, 2002 y Montgomery, 2004). Se seleccionó el diseño experimental en bloques completos al azar, donde los campos o bloques fueron escogidos al azar para cada máquina, tanto en el ensayo de laboratorio como para las condiciones de explotación controlada.

Los resultados de la caracterización del trabajo de campo, tanto de las condiciones de explotación de los campos como de las variables que definen la calidad del corte, fueron organizados con el programa Excel y luego analizados a través de los programas Statgraphics y control de la Calidad usando Excel. (Perissé, 2008). Con estas herramientas se determinaron los estadígrafos promedio, mínimo, máximo, desviación, coeficiente de variación, de las variables estudiadas; se efectuó el Análisis de Varianza, para verificar a través de la prueba de F si existía el efecto del tratamiento en el manejo de altura de tocones(AT), tocones arrancados (TA) e impureza mineral (IM); finalmente se desarrolló la Prueba de las Medias, por medio de la prueba t Student, para comparar si existen o no diferencias significativas entre las medias de AT, TA, IM y la calidad del cizallamiento.

TABLA 1. Características de los campos donde se realizaron las pruebas

Parámetro	Prueba de Laboratorio (PL) KTP-2M y C-4000	Prueba de Explotación Controlada (PEC) KTP-2M y C-4000
Área, ha	4,7	6,1
Tipo de suelo	Gleizado	Gleizado Ferralítico
Humedad, %	13-14	13-14
Relieve	5% Inclinación	5-7% Inclinación
Microrelieve	Llano	Llano
Variedad de caña	C 86-503	C 86-503
Tipo de caña	Primavera quedada	Primavera quedada
Estado del campo	Verde con enyerbamiento	Verde con enyerbamiento
Distancia entre surcos, m	1,68-1,95	1,63-1,83
Longitud media de los surcos, m	502	561
Altura promedio del camellón, cm	12	12
Porte del cañaverl	Tumbado	Tumbado
Longitud promedio de las cañas, m	1,90-2,45	2,10-3,45
Diámetro promedio de las cañas, mm	29	31
Rendimiento biológico del campo, t/ha	110	120

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusión se presentan por separado y se evalúan las variables objeto de estudio por su orden para las condiciones de laboratorio y explotación controlada, se valora en ambos casos el efecto de cada tratamiento objeto de evaluación, estos son:

- C-4000: accionamiento hidráulico para el control de la altura de corte inferior con segmento de corte de tres filos de la cosechadora de caña C-4000, y
- KTP-2M: el accionamiento mecánico de la altura de corte inferior con segmento de corte rectangular de la KTP-2M.

Prueba de laboratorio (PL)

En este ensayo, se evalúa el comportamiento de tres de las variables que caracterizan la calidad del corte basal de la caña de azúcar, a saber: altura de corte de los tocones (AT); impurezas minerales (IM), tocones arrancados (TA). Los ensayos de la PL, fueron realizados con las tecnologías cubanas KTP-2M y C-4000 en dos periodos de trabajo distintos, mañana y tarde, en condiciones similares para ambas máquinas, según se observa en la Tabla 1.

Si se analiza la variable altura de los tocones, Tabla 2, se observa, en primer lugar, que durante el ensayo de laboratorio, las dos tecnología cumplen la exigencia actual del MINAZ, en relación con la altura de corte máxima de 5 cm (LE-límite específico); sin embargo el nuevo patrón de altura de corte de dos (2) centímetros no lo cumple la tecnología KTP-2M, al lograr un 4,3 y quedar muy por debajo de la C-4000 que lo supera sólo en 0,4 centímetros; en segundo lugar, que el valor medio alcanzado por el empleo C-4000, AT=2,4 cm, fue superior al tratamiento KTP-2M en 1,9 cm, lo que representa una diferencia significativa como lo muestra la prueba de t de las medias, en la Tabla 2, independientemente del período analizado.

Al analizar la variable tocones arrancados se observa que el uso de la C-4000 consigue frecuencias de tocones arrancados (TA) inferior en un 6% a la KTP-2M, según consigna la Tabla 2. Vale destacar que la C-4000 presenta una diferencia significativa de 0,7%, en el valor de impureza mineral (IM) 1,3% superior al 0,6% de la KTP-2M, lo que puede ser explicado, porque al cortar más bajo arrastran los elementos de corte más tierra por trabajar rasante al suelo, y generalmente estas variables están relacionadas, la mejoría de una puede afectar a otras. Este es un aspecto no estudiado que debe ser objeto de análisis en investigaciones posteriores.

TABLA 2. Calidad del corte basal en régimen de laboratorio

Variables	Calidad del corte basal por tecnologías en régimen de laboratorio (PL)		Prueba t para medias de dos muestras	
	KTP-2M	C-4000	P(T<=t)	Resultado
Las Medias de AT (altura de tocones), cm	4,3	2,4	0,0011	DS
IM (impureza mineral), %	0,6	1,3	0,0001	DS
TA (tocones arrancados), %	6,9	0,9		6,0

DS-Diferencia estadística con confianza de 99%.

Prueba de explotación controlada (PEC)

En este ensayo, además de las variables estudiadas en las pruebas de laboratorio, AT, TA, IM, se adicionaron pérdidas totales, pérdidas por tocones y calidad del cizallamiento. Los ensayos en la prueba de explotación controlada (PEC) fueron realizados con las tecnologías KTP-2M y la C-4000 en jornadas de 8 horas, con similares condiciones de explotación seleccionadas al azar, los resultados se muestran en la Tabla 4. En este caso, por ser una prueba de explotación, se registraron los indicadores de productividad: Capacidad de producción operacional (Cpo.); Eficiencia operacional (EFOP) y Eficiencia procesamiento (EFPR). Tabla 3.

TABLA 3. Caracterización del trabajo de las cosechadoras

Variable	Tecnología			
	KTP-2M		C-4000	
	Media	CV (%)	Media	CV (%)
Rendimiento, t·ha ⁻¹	106,15	8,73	128,85	4,01
Velocidad, km·h ⁻¹	2,91	1,93	3,89	2,54
Cpo., t·h ⁻¹	30,08	5,37	45,34	24,91
EFOP, %	75,70	4,29	82,00	10,35
EFPR, %	81,75	2,23	85,50	11,25

Leyenda: CV: Coeficiente de variación; Cpo: Capacidad de producción operacional; EFOP: Eficiencia operacional; EFPR: Eficiencia de procesamiento.

Del análisis de los resultados de las cosechadoras en relación con el rendimiento, velocidad de traslación dados en la Tabla 3, se deduce que la cosechadora KTP-2M cosechó en un área con un rendimiento 17,6% inferior a la del tratamiento C-4000, su velocidad media de traslación fue inferior en un 25,19% y que además, los valores de EFOP (7,7%), EFPR (4,38%) y Cpo. (32,0%) fueron también inferiores. De lo anterior se infiere que la tecnología KTP-2M trabajó en condiciones de explotación más favorables que la C-4000 y que los indicadores de productividad Cpo, EFOP y EFPR, fueron inferiores.

En la Tabla 4 los datos de AT (altura de los tocones) demuestran que en los días analizados la cosechadora KTP-2M tuvo una media de 5,3 cm, solo con el 26% de cumplimiento del patrón LE, de 2 cm dado por el MINAZ, quedando un 37% por debajo de la cosechadora C-4000 que fue del 63%, con una media de 2,6 cm., lo que representa una diferencia significativa según los resultados estadísticos de la prueba t de las medias según se demuestra en la Tabla 4. En relación con los tocones arrancados por las dos tecnologías, existe una diferencia significativa según la comprobación estadística realizada: presentando valores la KTP-2M, un 3,1% y la C-4000 un 0,9% de tocones arrancados. Los tocones arrancados afectan la longevidad del cañaveral y fueron incorporados en la materia prima cosechada, lo que aumentó la impureza mineral. Sin embargo la nueva máquina C-4000 con sistema hidráulico de control de la altura de corte presentó un 0,6% de IM, superior a la KTP-2M, esto puede ser explicado por la altura de corte menor presentada por la C-4000, que tuvo 2,6 cm como promedio de altura de los tocones.

TABLA 4. Calidad del corte basal en régimen de explotación

Calidad del corte basal por tecnologías en régimen de explotación (PEC)				
Variables	Tecnologías		Prueba t para medias de dos muestras	
	KTP-2M	C-4000	P(T<=t)	Resultado
Media de AT (altura de tocones) cm	5,3	2,6	0,0001	DS
TA(tocones arrancados), %	3,1	0,9		2,2
IM(impureza mineral),M %	0,7	1,3	0,0001	DS
Pérdidas totales, %	10,9	6,9		4
Pérdidas por tocones, %	3,3	1,8		1,5
Calidad del cizallamiento	1,94 (Regular)	3,4 (Bueno)	0,0002	DS

DS-Diferencia estadística con confianza de 99%.

Algo muy importantes son las pérdidas, aquí se cuantificó toda la materia prima dejada en el campo, después de pasar la cosechadora. La KTP-2M tuvo un 10,9% de pérdidas, contra el 6,9% de la C-4000, esto representa una diferencia del 4%. La pérdidas por tocones representó un 3,3% de las pérdidas totales en la KTP-2M y 1,8% en la C-4000, esto representa una diferencia del 1,5% de pérdidas por tocones a favor de la C-4000.

CONCLUSIONES

- Los análisis y resultados anteriores, demuestran que el mejor tratamiento para la disminución de las pérdidas, por la falta de eficiencia en el corte basal de la caña de azúcar, para las condiciones de este experimento, es el sistema hidráulico de control de la altura de corte y las cuchillas de tres filos de la C-4000. Se obtuvieron valores superiores de las variables de eficiencia, de la altura de los tocones donde la KTP-2M estuvo un 37% por debajo de la C-4000. En cuanto a las pérdidas, la C-4000 superó a la KTP-2M en un 3,3%, en la calidad del cizallamiento la C-4000 obtuvo calidad buena, mientras la KTP-2M obtuvo una calidad regular. Solo en las impurezas minerales la KTP-2M con 0,7% supera a la C-4000 que logró un 1,3%. Esto puede ser explicado porque al cortar más bajo los elementos de corte arrastran más tierra por trabajar rasante al suelo, y generalmente estas variables están relacionadas, la mejoría de una puede afectar a otras. Aspecto no estudiado que debe ser objeto de análisis en investigaciones posteriores. Por esas razones la tecnología C-4000 fue superior a la tecnología KTP-2M independientemente del periodo analizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

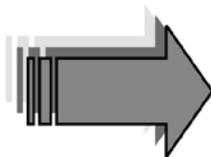
- ABLIKOV, V.M y A. RIVAS: “Los aparatos para el corte inferior de los tallos de la caña de azúcar en las cosechadoras”, *Revista ATAC*, pp. 22, La Habana, noviembre-diciembre, 1975.
- BUZZIS, R; y L. CABEZAS: *Eficiencia durante el trabajo de las cosechadoras de caña KTP-2 en función de los rendimientos agrícolas*, 7pp., La Habana, Cuba, 1991.
- BRASIL, COOPERSUCAR: *Cosecha Mecanizada de la caña troceada: validación de perdidas invisibles y estillamientos en los sistemas de las cosechadoras*, 53pp., CTC; DCEA, Sao Paulo, Brasil, 1989.
- KROES, S and H.D. HARRIS: “Knockdown causes major damage to cane during harvesting”, *Proceedings of Australian Society of sugar cane Technologists*, 1: 137-144, Brisbane, Australia, 1996.
- MAX, G. J.: *Investigación del número optimo de segmentos en las cosechadoras de caña KTP. Informe de investigación*, CEDEMA, Holguín, Cuba, 1996.
- PADRÓN, R. B.: *Dispositivo hidráulico para el control de la altura de corte inferior de las cosechadoras de caña*, Patente cubana, Oficina cubana de la propiedad industrial, Certificado de autor de invención, CU 22112 A1. Fecha de publicación: 1993.04.30, La Habana, Cuba, 1993.
- PERISSÉ, M. C.: *Control de la Calidad Utilizando Excel, Universidad Nacional de La Matanza. Argentina [en línea] Disponible en: http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/calidad_excel/calidad_excel.htm. [Consulta: abril 04 2011]*.
- PIMENTEL-GÓMEZ, F. y H. GARCÍA: *Estadística aplicada a experimentos agronómicos y forestales: Exposición con ejemplos y orientaciones para uso de aplicación*, FEALQ.2002.309, Piracicaba, Brasil, 2002.
- VIEIRA, S.: *Estadística para la calidad: Cómo evaluar con precisión la calidad de productos y servicios*, 198pp., UENF, Campos, Río de Janeiro, Brasil, 1999.



CENTRO DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA

LABORATORIO DE OLEOHIDRÁULICA

SERVICIOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS



- Descontaminación de aceites oleohidráulicos
- Fabricación de equipos portátiles de filtraje de aceites
- Recuperación (emboquillado) y fabricación de mangueras
- Diagnóstico y evaluación de circuitos oleohidráulicos y sus componentes
- Cursos y entrenamientos de posgrado

Solicitudes de ofertas a:
M.Sc. Héctor de las Cuevas Milán
Centro de Mecanización Agropecuaria
Autopista Nacional y Carretera de Tapaste. km 23, San José de las Lajas,
Mayabeque, Cuba. Apdo. 18-19
Tel.: (53)(47) 864346
E_mail: hector@isch.edu.cu