

Frentes de trabajo. Una contribución a la gestión de mecanización en las bases productivas cañeras

Machinery labor fronts. A contribution to management of mechanization in sugarcane production bases



<https://cu-id.com/2177/v33n2e05>

✉Julio Andrés García-Pérez^{I*}, ✉Pablo Manuel Hernández-Alonso^{II}, ✉Ernesto Luis Velarde-Sosa^{III},
✉Evelio Pausa Bello^{IV}, ✉Dámaso Socarrás-Laza^{IV}

^IOSDE AZCUBA, Plaza de la Revolución La Habana, Cuba.

^{II}Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

^{III}Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Boyeros, La Habana, Cuba.

^{IV}Centro Nacional de Capacitación (CNCA), AZCUBA, Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN: La gestión de mecanización en las bases productivas cañeras hoy enfrenta como dificultades la obsolescencia de la maquinaria con edad promedio que supera los 30 años en los tractores, la alta dependencia de servicios externos, la dualidad del sistema de cosecha donde se reciben servicios de cosechadoras modernas y se opera un parque de máquinas antiguas fragmentado en pelotones de muy baja productividad, lo cual afecta la organización de la logística, la asistencia técnica y el uso del transporte. El trabajo demuestra teóricamente las ventajas en la gestión de maquinarias de la formación de frentes de trabajo que agrupan la operación de dos o más pelotones para cosechar en común las áreas cañeras de las bases productivas que los operan. Asimismo, se exponen las ventajas de utilizar los frentes como base de operaciones de otras labores que pueden realizarse con alta calidad al unísono con la cosecha o inmediatamente después de la misma. Se describe la implementación de los frentes en la zafra de 2021 a 2022, lográndose mayor productividad en los pelotones agrupados en el nuevo sistema y demostrándose la posibilidad de lograr un mayor rendimiento azucarero.

Palabras clave: obsolescencia, dependencia, servicios externos, cosecha.

ABSTRACT: Mechanization management in sugarcane production bases today faces difficulties such as the obsolescence of machinery with an average age for tractors higher than 30 years. The high dependence on external services, the duality of the harvesting system where external services are received from modern combines. and a park of old machines is operated by sugar cane production bases such as cooperatives, fragmented into teams of very low productivity, which affects the organization of logistics, technical assistance and the use of transportation. This paper theoretically demonstrates the advantages in machinery management achieved by forming labor fronts with the equipment of two or more bases, to jointly harvest the sugarcane areas. Likewise, the advantages of using the fronts as operational centers for other tasks that can be fulfilled with high quality in unison with the harvest or immediately after it is executed. The implementation of the fronts in the 2021 - 2022 harvest is described, resulting greater productivity for the harvesters grouped in the new system and demonstrating the possibility of achieving greater sugar yield.

Keywords: Obsolescence, Dependence, External Services, Harvest.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de introducir la mecanización en la producción cañera cubana y particularmente en la cosecha, resalta en pronunciamientos de los principales dirigentes del país después de 1959, definiéndose esta actividad por Che Guevara como “columna vertebral de la agricultura” y señalándose por Fidel Castro: “Puesto que no podemos renunciar a

la zafra, que ocupa un lugar importante en nuestra economía, no hay otra solución que recurrir a las máquinas, ...” (Castro, 1962).

La Primera Ley de Reforma Agraria (Gobierno de Cuba, 1959) creó condiciones para un desarrollo acelerado de la mecanización en la base productiva agrícola. El Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA), realizó la entrega individual de la tierra solo a

*Autor para correspondencia: Julio Andrés García-Pérez, e-mail: olgalidia.alonso@azcuba.cu

Recibido: 12/10/2023

Aceptado: 12/03/2024

los que ya la trabajaban, potenciando la formación de cooperativas en los latifundios intervenidos, con área suficiente para una explotación racional de máquinas agrícolas, cuya cantidad se incrementó aceleradamente.

La concentración de áreas para la gestión de esa actividad permite la conformación de un parque de máquinas versátil, operando en pelotones[†] con mayor carga de explotación por equipo, reduciéndose así los gastos de amortización, salario y asistencia técnica para el uso de la maquinaria en general y particularmente en la cosecha, donde las erogaciones financieras por uso de cosechadoras, tractores y medios de transporte pueden ascender hasta un tercio de las requeridas para la producción de caña (AZCUBA, 2021 b). Disminuyen, asimismo, las erogaciones por servicios de taller, conociéndose que en países como Brasil un engrasador atiende cerca de 21 equipos, un soldador entre 39 y 51 y un tornero entre 105 y 121 (IDEA, 1999), subutilizándose este personal de utilizarse en pequeñas unidades.

La búsqueda de eficiencia por esta vía conllevó a la formación de unidades organizativas para la producción cañera, incluida la mecanización agrícola, denominadas “distritos”, con una superficie entre 2000 y 2500 ha, divididos en “lotes” con área neta de 450 ha, a su vez formados por bloques, que se definen como áreas compactas de 54 a 104 ha según (Cuellar, 2002) destinadas a la producción de caña, con la misma variedad y sometidas a los diferentes procesos agrícolas en un mismo período del calendario. (Santana et al., 2014) sugieren para los bloques una superficie de 100 ha, como conveniente para la operación del sistema de cosecha (Santana et al., 2014). Con vistas a su organización productiva, los bloques se subdividieron en campos.

Paralelamente, se desarrolló una red de talleres acorde con la estructura productiva.

(Jorge, 2015) describe la existencia de momentos de máxima maduración en el desarrollo de la caña, mientras que (Rodríguez, 2022) expone como la elevada variabilidad del clima en las unidades productoras de caña desfasa esos momentos respecto a lo planificado. En consecuencia, si los equipos de zafra de una unidad funcionan durante toda la campaña, el aumento de la cantidad de bloques y superficie a cosechar se traduce en la cantidad de momentos de máxima maduración distribuidos en el tiempo y por tanto de operación en campos con elevado rendimiento potencial de azúcar.

Según la resolución 53 de (AZCUBA, 2023), el rendimiento azucarero potencial de la caña se estima mediante la expresión:

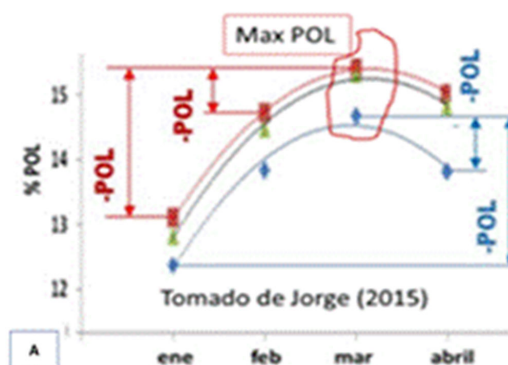


FIGURA 1. Variación del POL en variedades de la empresa CALESA de Panamá.



FIGURA 2. Zonas climáticas de la empresa A. Sánchez (Información de E. Pérez).

$$RPC = 1,5 * POL(1 - (Fibra + 6,5) / 100) - 0,5 * Brix(1 - (Fibra + 3) / 100) \quad (1)$$

Y el precio de la caña neto según:

$$PCN = RPC * FF \text{ (peso/t)} \quad (2)$$

donde: FF es un factor fijo equivalente para 2023 a 71,89, que determina los ingresos considerando el RPC de la caña neta^{††}.

La recolección de la caña con los mayores POL y Brix al menor costo resume los objetivos de la planificación de la maquinaria de zafra y el incremento de la cantidad de bloques o momentos de máxima maduración se correlaciona con los mismos.

En la década del 90, la desintegración del campo socialista afectó las bases de la agroindustria azucarera cubana, que no resultó sostenible en un contexto de bajos precios del azúcar en el mercado. Ello obligó a incrementar su resiliencia, reduciendo el número de centrales a 61, el área destinada a producción de caña a 886470 ha y el número de tractores y cosechadoras a

[†]Pelotón -grupo especializado de personal, máquinas agrícolas y medios de asistencia técnica que trabajan con una misma ubicación, objetivo y dirección.

^{††}Caña neta - caña sin materias extrañas.

cerca de 1,5 unidades por 100 ha (ONEI, 2020) con baja disponibilidad técnica debido a la insuficiente renovación, escasez de piezas e insumos y descapitalización progresiva de la red de talleres. Se realizaron cambios en la forma de gestión agrícola y de la mecanización reconfigurándose la base productiva de mayoritariamente estatal con su gestión concentrada en distritos a mayoritariamente cooperativa.

De esta forma, se renunció parcialmente a las ventajas de la forma de producción estatal en escala de distrito y empresa, diseñada para condiciones de suficiencia de recursos por un nuevo sistema de gestión por las bases productivas, potenciando el sentido de responsabilidad sobre los recursos al ser propiedad de los cooperativistas y mayores exigencias de calidad a las labores.

La Figura 3 ilustra sobre la variabilidad del área de las 1006 bases productivas con producción cañera (AZCUBA, 2022). En ella se aprecia que en el 53,5% de las mismas no sobrepasa las 540 ha y en el 87% las 1080 ha, lo que implica una reducción importante respecto al área de los antiguos distritos.

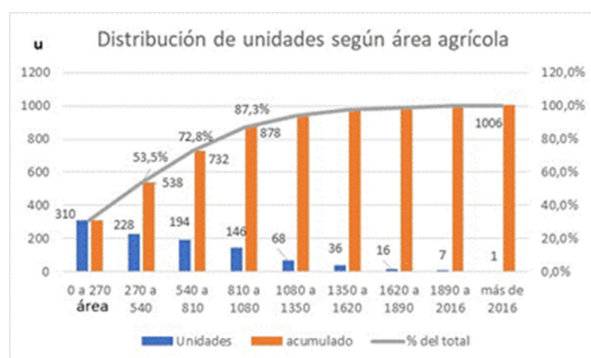


FIGURA 3. Estructura de las unidades productivas según su área agrícola.

En el año 2008 comienza un proceso de recuperación de la agricultura cañera, que incluye la actividad de mecanización, adquiriéndose nuevos equipos para ser operados en la cosecha y otras actividades por las unidades estatales de servicio, entre ellos: cosechadoras más productivas modelos Case 7000, 7700 y posteriormente 8800, junto a camiones y remolques con 20 t de capacidad de carga y tractores de alta potencia e implementos agrícolas modernos.

Ello resultó en la creación de un nuevo sistema de cosecha y la formación de pelotones de maquinaria para actividades de labranza y atenciones culturales. No obstante, la capacidad de servicios creada con las nuevas cosechadoras cubría solo cerca del 50% de las

necesidades, debiendo coexistir el nuevo sistema con el antiguo, formado por los numerosos pelotones de cosechadoras obsoletas modelo KTP2M con muy baja productividad, que pasaron a ser gestionados por las bases productivas al fragmentarse los distritos, con un horizonte de área para la programación de corte muy estrecho, limitado a los campos que no se cosechan con el sistema moderno, en el entorno de la unidad cooperativa que los opera. Ello dificulta realizar durante toda la campaña una planificación de oportunidad, donde coincida el uso de las cosechadoras con el momento óptimo para ejecutar los procesos.

Ejemplo de la dispersión de recursos originada por la eliminación de los distritos es que en la zafra de 2020 a 2021 se programó la operación de 481 pelotones de KTP2M, de ellos 85 con una sola máquina y 340 con dos (AZCUBA, 2021a). Esto no solo conlleva a dificultades de planificación, junto a ello se dificulta la asistencia técnica y el suministro de piezas e insumos, además de afectarse la gestión del transporte.

La falta de renovación de la maquinaria de las bases productivas hace a estas dependientes en extremo de las unidades de servicios, situación que debe cambiar al menos en las atenciones culturales, donde existe preferencia de las bases productivas para realizarlas con recursos propios (CNCA-AZCUBA, 2020). Para ello, paulatinamente se dota a las mismas de tractores de mediana potencia modelo Belarus 1025 y de nuevos implementos, como el cultivador fertilizador AZ301 (Figura 4), que realiza simultáneamente la fertilización y el cultivo tradicional y a diferencia de los implementos utilizados hasta el momento por esas bases, tienen un elevado pasamiento entre los rastros de la caña recién cosechada. No obstante, lo reducido de las áreas de la mayoría de las CPA y UBPC^{†††} hace inefectiva económicamente la organización de pelotones para la realización de labores además de la cosecha e impide aprovechar las ventajas que estos representan para el control de los trabajos, la asistencia técnica de los equipos, atención logística y protección de la maquinaria.



FIGURA 4. Fertilizador AZ301.

^{†††}CPA - cooperativa de producción agropecuaria; UBPC - Unidad básica de producción cooperativa. En la CPA los agricultores son propietarios de la tierra, en la UBPC - usufructuarios.

Por otra parte, el ritmo de entrega de área cosechada por los pelotones de cosechadoras KTP2M es muy bajo e inferior a la productividad en la jornada de los equipos de cultivo, por lo que se afecta la organización de aquellas actividades de cultivo que deben realizarse inmediatamente después de la cosecha, con independencia a la capacidad de los equipos para evitar atoros con residuos de esa operación.

El objetivo principal de este estudio consiste en fundamentar frentes de trabajo que integren los pelotones de cosecha y otros equipos y recursos de dos o más bases productivas que incluyan las siguientes tareas:

1. Cosechar de conjunto el área de las unidades integradas en el frente, logrando mediante el incremento del área, acompañado por una adecuada estrategia varietal y de plantación, aumentar el número de opciones para lograr cosechar con una mayor madurez de la caña.
2. Incrementar el rendimiento de las cosechadoras y reducir los gastos en cosecha a partir un mejor uso del transporte, junto a mayores disponibilidad y seguridad técnica, partiendo de que la concentración de maquinaria facilita la asistencia técnica y abasto de piezas e insumos.
3. Integrar al frente las actividades de atenciones culturales que corresponde realizar simultáneamente con la cosecha o inmediatamente después, que incluyen:”
4. La aplicación de herbicidas hormonales mediante el método de “cosecho y aplico”, que consiste en instalar un mecanismo aspersor en la propia cosechadora, con la particularidad de que los herbicidas se depositan sobre el suelo cuando los residuos agrícolas no se han incorporado.
 - a. La fertilización y el primer cultivo, considerando que la introducción del cultivador fertilizador AZ301 con elevado pasamiento y el incremento de productividad del conjunto de máquinas producto de la integración de pelotones, crea condiciones para ello.

En este trabajo no se profundiza en la tercera tarea dado a que:

- a. El método o sistema “cosecho y aplico” es una tecnología ya evaluada como efectiva y se encuentra en proceso de generalización, cuya presencia en un frente de trabajo está plenamente justificada.

- b. El cultivo y fertilización inmediatamente después de la cosecha está fundamentado agrónomicamente por diferentes autores ([Martín et al., 1987](#); [MINAZ- Cuba, 2000](#); [Santana et al., 2014](#)), las razones técnicas que impedían su aplicación en esas condiciones se eliminan con la formación de los frentes e introducción del cultivador fertilizador de alto pasamiento AZ301. Las innovaciones constructivas que caracterizan al mismo serán objeto de otros trabajos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fundamentos Teóricos y Metodológicos

La [Figura 5](#) muestra la concepción del frente en un esquema de bloque, donde son factores de entrada el número de cosechadoras N1 con sistemas de “cosecho y aplico”, un grupo de transportes N2, los sistemas de mantenimiento, dirección y protección contra incendios necesarios y un cultivador fertilizador AZ301 y factores de salida la ganancia o ahorro por mayor precio por la caña cosechada (I1), menor gasto por cosecha y transporte (I2), menor gasto por realizar el control químico de malezas junto a la cosecha (I3), así como el cultivo y fertilización de conjunto (I4), y beneficios por poder realizar las operaciones culturales en un momento idóneo (I5) y por facilidades en abastecimiento y asistencia técnica externa debida a la concentración de equipos (I6), todo en un contexto con especificidades de clima, suelo y territorio y una determinada proyección de madurez en las cañas.

El parámetro principal del frente consiste en el número de cosechadoras (N1). En aras de simplificar el análisis de sus dimensiones, se asume la relación de transportes y cosechadoras (N2/N1) como constante, así como que el frente descrito tiene un nivel básico, donde las dimensiones del sistema de dirección, sistema de mantenimiento, sistema de protección contra incendios son igualmente proporcionales al número de cosechadoras (N1)^{****}, al igual que los gastos que se realizan.

El estudio del estado del arte en el tema de referencia no permite estimar las dimensiones de I5 e I6 y por tanto no se consideran en este trabajo, aunque aparecen en el esquema pues su existencia es evidente.

La dimensión del frente generalmente se establece considerando el área media de los puntos “objetivos de cosecha” por haber alcanzado la máxima madurez y ésta a su vez es resultado de una estrategia de plantación donde se balancean bloques lejanos y cercanos evitando sobrecargas de transporte y se

^{****}En una base productiva fundamentalmente cooperativa los frentes se forman por unión de máquinas de diferentes cooperativas bajo las condiciones que ellos acuerdan y con uso común de los transportes de caña, para así coincidir en las áreas con mayor madurez de caña definidas en el plan de la empresa. Un nivel superior de frente surge cuando las partes convienen en lograr ahorros, mediante la reducción de otros medios y equipos dando uso común a los existentes.

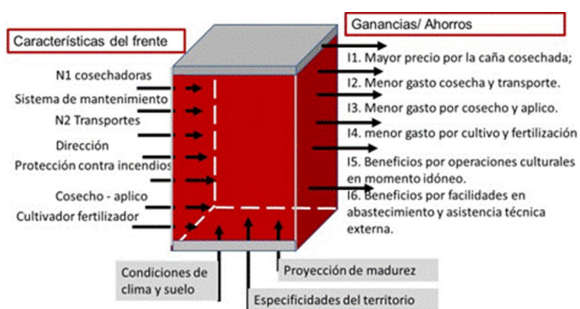


FIGURA 5. El frente en esquema de bloque.

consideran los posibles efectos de las precipitaciones tempranas en la capacidad de tránsito de los medios de cosecha y transporte.

En la obtención de menores gastos de cosecha en los frentes, se busca incrementar el tiempo operativo de las cosechadoras, que es el único “medible” con las limitaciones técnicas de la base productivas a partir del conocimiento de las horas motor totales y en traslados.

$$T_{02} = h \text{ motor}_{total} - h \text{ motor}_{traslados} \quad (3)$$

y a falta de equipos registradores es más fácil de estimar.

El valor medio del conjunto de cosechadoras en el frente puede expresarse como:

$$\sum_{i=1}^N T_{02i} = \sum_{i=1}^N h \text{ motor}_{totali} - \sum_{i=1}^N h \text{ motor}_{trasladosi} \quad (4)$$

Se propone el criterio de eficacia operativa (E_{02}), que equivale a la relación entre tiempo operativo y tiempo de explotación o de las productividades en ambos tiempos.

$$E_{02} = \frac{T_{02}}{T_{07}} = \frac{W_{07}}{W_{02}} \quad (5)$$

Donde: W_{02} y W_{07} , productividad en los tiempos operativo y explotativo respectivamente.

Entonces la productividad en tiempo explotativo pasa a ser:

$$W_{07} = W_{02} \times E_{02}, \text{ t/h de explotación} \quad (6)$$

Al conformarse el frente se estima obtener un mayor valor de E_{02} , por las facilidades que se obtienen al concentrar máquinas respecto al abastecimiento y asistencia técnica externa, así como por mejor uso del transporte.

Se precisa puntualizar que un incremento excesivo de la dimensión del frente conduce a un aumento del tiempo de traslado, la afectación del tiempo operativo y de la productividad en tiempo de explotación que resta tiempo operativo y puede coadyuvar al efecto contrario, reduciéndose E_{02} , y en consecuencia I2 lo

cual es admisible mientras esa reducción se compense con incrementos de I1, I3, I4, considerando que:

$$(I1 + I2 + I3 + I4) \rightarrow \text{Max} \quad (\text{peso/t}) \quad (7)$$

El frente como facilitador del incremento de la eficacia operativa

El sistema de cosecha y abasto de caña al central puede considerarse como parte de un sistema de producción en cadena, donde según (Rodríguez et al., 2020), citando a Kletskin, Pavlovki, Saakian, Finov y Tsinan, Jodosh, Zhalnin, Puskariov e Iglesias, un sistema de este tipo con varios eslabones, requiere que se cumpla la siguiente expresión sobre continuidad de flujo:

$$X_1 \leq X_2 \leq X_3 \leq X_4 \quad (8)$$

En la misma: X_1, X_2, X_3, X_4 , equivalen a las productividades medias de cada eslabón del sistema en cada momento de la jornada, que son iguales a la suma de las productividades del conjunto de j equipos destinados al mismo propósito.

$$X_i = \sum_{j=1}^n W_{ij}$$

De ellos: X_1 – productividad en cosecha; X_2 – productividad de transportación en el campo hasta el centro de limpieza; X_3 – en el centro de limpieza; X_4 – en el ferrocarril.

El concepto de igual o superior productividad en etapas sucesivas $X_i \leq X_{i+1}$, define la capacidad del sistema para enfrentar eventualidades.

La expresión (8) presenta una visión limitada de la exigencia del equilibrio dado a que no analiza la variación de productividad en los eslabones en razón del eslabón precedente y del primer eslabón - la cosecha.

La productividad en tiempo limpio de una cosechadora puede expresarse como:

$$W_1 = 0,1 * V_c * B * R_a \quad (\text{t/h}) \quad (9)$$

Donde: V - velocidad de trabajo; B - ancho de trabajo; R_a - rendimiento agrícola.

La productividad en tiempo operativo puede definirse como:

$$W_{02} = 0,1 \times B \times V_c \times R_a \times K_{02} \quad (\text{t/h}) \quad (10)$$

Donde: K_{02} - coeficiente del uso del tiempo operativo, relacionando los tiempos limpio y operativo. $K_{02} = \frac{T_1}{T_{02}}$

A su vez la productividad en tiempo de explotación se expresa como:

$$W_{07} = 0,1 * V * B * R_a * K_{07} \quad (\text{ha/h}) \quad (11)$$

Donde: K_{07} - coeficiente del uso del tiempo explotativo, relacionando los tiempos limpio y explotativo. $K_{07} = \frac{T_1}{T_{07}}$

$T_1, T_{02}, T_{07}, K_{02}, K_{07}$, se corresponden como símbolos con las normas vigentes ([Iagric:-Cuba, 2013](#)).

Un análisis de las [expresiones 9, 10 y 11](#) muestra la alta variabilidad de X_1 , dado a que:

- a. La velocidad de marcha de las cosechadoras depende de la relación entre la capacidad de ingreso de material que permite la máquina con su ancho de trabajo y el rendimiento agrícola ([Matos, 2012](#); [Matos et al., 2014](#)) [19], que generalmente oscila entre 15 y 80 t/ha y de la preparación del campo para garantizar la calidad del corte ([Díaz, 2011](#); [Norris, 2014](#)), que generalmente es insatisfactoria.
- b. K_{07} depende de factores muy diversos como la conformación de los campos, la seguridad técnica y tecnológica de los equipos y los tiempos de mantenimiento, además de la humedad del entorno y del nivel de malezas, factores de la organización del trabajo y disponibilidad de transporte para descargar la masa de caña cosechada, que puede ser insuficiente.

Considerando lo expuesto, la [expresión \(8\)](#) debe adoptar la forma:

$$\begin{aligned} (\bar{X}_1 + \Delta x_1) &\leq (\bar{X}_2 + \Delta x_2) \leq \\ (\bar{X}_3 + \Delta x_1) &\leq (\bar{X}_4 + \Delta x_4) \end{aligned} \quad (12)$$

Cosecha	Transporte a Centro Limpieza	Procesa Centro: Limpieza	Transporte por ferrocarril
---------	------------------------------	--------------------------	----------------------------

Para un 95% de los sucesos en una distribución normal, la desviación de productividad en un pelotón de “n” máquinas se encuentre en un límite predecible integrando la desviación estándar de la productividad de las diferentes máquinas.

$$\Delta x_1 \leq 2 * \sigma_{xp} = 2 * \sqrt{\sigma_{xa1}^2 + \sigma_{xa2}^2 + \sigma_{xa3}^2 \dots \sigma_{xan}^2} \quad (13)$$

De igual forma, la desviación de la productividad del conjunto de pelotones y por tanto de la productividad de cosecha, que debe asimilarse por el resto de los eslabones de la cadena productiva puede estimarse como:

$$\Delta x_1 \leq 2 * \sqrt{\sigma_{xp1}^2 + \sigma_{xp2}^2 + \sigma_{xp3}^2 \dots \sigma_{xpn}^2} \quad (14)$$

Considerando una condición ideal, donde todos los pelotones trabajan en un área cercana, la cantidad de transporte requerido para asimilar la variación máxima prevista de productividad sería:

$$\Delta x_{2,1} \geq TU * 2 * \sqrt{\sigma_{xp1}^2 + \sigma_{xp2}^2 + \sigma_{xp3}^2 \dots \sigma_{xpn}^2} \quad (15)$$

Donde TU es la cantidad de transporte requerido por unidad de masa cosechada.

No obstante, si los pelotones trabajan en áreas no cercanas unas de otras, entonces el transporte debe compensar las variaciones de cada pelotón independiente:

$$\Delta x_{2,2} \geq TU * 2 * (\sigma_{xp1} + \sigma_{xp2} + \sigma_{xp3} + \sigma_{xp4}) \quad (16)$$

Siendo evidente que: $\Delta x_{2,2} \geq \Delta x_{2,1}$ y por tanto, que la agrupación de pelotones en frentes, donde esto es posible, permite un balance de maquinaria con menor cantidad de transporte y en consecuencia una mayor eficacia operativa.

Al formar los frentes de trabajo se logra reducir los momentos de fallo, donde el transporte se paraliza por no existir cosechadoras disponibles.

Si las cosechadoras están: **Operativas o No Operativas** y se conoce la probabilidad de ocurrencia de ambos sucesos en una máquina: $Pr(\text{“operativa”})$ y $Pr(\text{“no operativa”})$, entonces la probabilidad de una combinación x con i máquinas operativas en un pelotón de N máquinas sería:

$$\begin{aligned} Pr(i \text{ operativa})_x &= Pr(\text{“operativa”})^i * \\ &Pr(\text{“no operativa”})^{N-i} \end{aligned} \quad (16)$$

El conjunto de combinaciones posibles con máquinas operativas y no operativas en un pelotón de N máquinas es de:

$$C = 2^{N-1}$$

La probabilidad de que i sean las máquinas operativas, considerando el total de combinaciones con esas características es de:

$$Pr_{total}(i \text{ operativa}) =$$

$$\sum_{x=1}^j Pr(i \text{ operativa})_x \quad (17)$$

Donde: j es la cantidad de combinaciones con i máquinas operativas.

El gráfico de la [figura 6](#) ilustra lo expuesto.

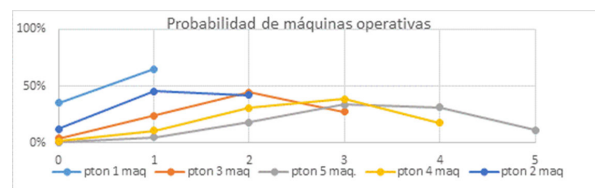


FIGURA 6. Probabilidad de tener máquinas operativas

El mismo se construye, considerando que la falta de disponibilidad técnica, las roturas y la ejecución de mantenimientos ocupa el 35% de la jornada de trabajo de la cosechadora, apreciándose, que, si el pelotón se compone de una sola máquina aislada, la probabilidad de que no esté operativa es de 35%, si es de dos - la probabilidad de que ninguna esté disponible es de 12,25%, si es de tres - 4,29% y si es de cinco - 0,53%.

Metodología de evaluación

Con vistas a evaluar los beneficios de integrar los pelotones de cosecha en frentes, durante la zafra 2021 a 2022 se realizó un conjunto de ensayos en la EAAZ Antonio Sánchez conformando tres frentes de trabajo y manteniendo dos bases productivas como testigos sin unir sus pelotones como en la campaña anterior:

Frente 1 Bases Antero Reglado y Regadío. Área con caña - 2034 ha.

Frente 2 Bases Desquite y Rev. de Octubre. Área con caña - 2053 ha.

Frente 3 Bases Victoria y Chapeo. Área con caña - 2365 ha.

Testigo 1 Base Vietnam. Área con caña - 2034 ha.

Testigo 2 Base 21 de Septiembre. Área con caña - 2034 ha.

La Tabla adjunta muestra los equipos con que contaron tanto los frentes como los testigos.

Los aspectos evaluados fueron los siguientes:

Formación de frentes para el incremento del rendimiento azucarero de la caña en el momento de cosecha.

Se comparó el rendimiento azucarero potencial de la caña en las quincenas de enero y febrero de 2021 y 2022 a partir de las pruebas de laboratorio de las plantaciones en fase de planificación de su cosecha, determinándose el POL, Brix y cantidad de fibra y calculándose su rendimiento potencial mediante la expresión (1). Lo realizado constituye una evaluación a dos niveles. Nivel A) superficie de caña promedio de todas las unidades cosechando con pelotones independientes en 2021, que resultó ser de 1262 ha, B) superficie de caña promedio de las unidades que participaron en la campaña 2022, donde se consideró a las que formaron frentes como una sola unidad y que resultó ser de 2062 ha para un incremento de 63%.

No se analizó el rendimiento real del ingenio, pues este fue seriamente afectado por factores no relacionados con la programación de zafra.

Evaluación de la explotación de la maquinaria de cosecha.

Se compararon los resultados en la explotación de la maquinaria de frentes y testigos en base a cuatro parámetros:

- La productividad promedio de las cosechadoras por jornada de trabajo.
- La disponibilidad técnica de las máquinas 'según $DT = 100 * \frac{d_r}{DE}$, relacionando días de trabajo real de las cosechadoras versus días efectivos.
- La eficacia operativa de las cosechadoras (E_{02}) según expresión (5).
- La relación entre el tiempo perdido por causa de transporte y la masa cosechada, considerándola como dimensión productiva del grupo de máquinas.

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza simple.


Evaluación del impacto económico.

Se analiza el impacto económico a partir de la ganancia que se obtiene comparando el precio de la caña según su RPC en 2022 y 2021 según expresión (2) y por la mayor productividad de las máquinas en un mismo tiempo, considerando las tarifas horarias establecidas (3).

RESULTADO Y DISCUSIÓN

La conformación de frentes de trabajo incrementó de forma importante la posibilidad de cosechar caña con mayor grado de maduración por parte de las CPA y UBPC que conformaron frentes de trabajo. La Figura 7 compara el POL, Brix y Fibra obtenida en las dos quincenas de enero y las dos de febrero del año 2021 y 2022, presentando asimismo el cálculo del RPC, que resultó ser 2,15 puntos superior en la

TABLA 1. Equipamiento de frentes y testigos

Equipo	Frente 1 - Antero Reglado + Regadío	Testigo 1. Vietnam	Testigo 2. CPA 21 de Septiembre	Frente 2. - Desquite + R. Octubre	Frente 3. - Victoria + Chapeo
					
Cosechadoras KTP2M	5	3	2	5	5
Camiones	10	5	2	7	9
Remolques de camión	10	5	3	7	9
tractores movedores	2	2	1	2	3
tarea de corte diaria	500 t	500 t	140 t	380 t	520 t

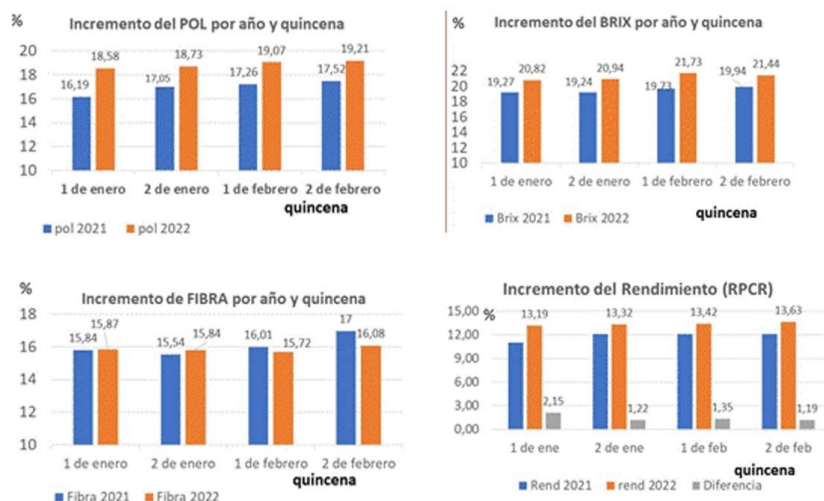


FIGURA 7. Incremento del rendimiento potencial de la caña.

primera quincena de enero y entre 1,19 y 1,35 puntos en el resto, demostrándose la bondad de planificar la zafra cuando el área total a cosechar por un grupo dado de máquinas es mayor. Se valoró la posibilidad de un sesgo en los resultados debido a diferencias climáticas de los años comparados, comprobándose que en la etapa anterior a zafra y en los meses de enero y febrero fueron similares.

Las condiciones en que se desarrolló la campaña 2022 con falta de combustible, lubricantes, componentes mecánicos, además de fallas industriales dificultan la evaluación precisa de algunas ventajas a obtener por la agrupación de pelotones de cosecha como mejor uso de la asistencia técnica y la logística. No obstante, en las condiciones de la propia zafra en la EAAZ Antonio Sánchez, donde el transporte disponible osciló entre el 50 y el 75% del definido en el balance previo a zafra, el análisis probabilístico realizado al fundamentarse teóricamente la constitución de los frentes, asociando o fusionando los pelotones pequeños, resultó efectivo. Existió consenso

de los directivos, que sin la formación de frentes la cosecha mecanizada de 2022 en esa empresa hubiera tenido grandes dificultades. Las Figuras 8 (a, b) muestran las ventajas en productividad y disponibilidad técnica de los frentes respecto a los pelotones testigo en 2022.

En febrero 2021 cuando las UBPC y CPA que conformaron los nuevos frentes, operaban de forma independiente, el primer lugar en productividad de las máquinas (t/ día - máquina en operación) y producción por máquina (t/maq.) correspondían al testigo T1 (UBPC Vietnam) formado tanto en las campañas de 2021 como en 2022 por un solo pelotón de tres máquinas, mientras en la campaña 2022 los mejores resultados se obtuvieron por los frentes 1, 4 y 5 conformados mediante la unión de pelotones de unidades con cinco y cuatro cosechadoras respectivamente, relegando a los testigos conformados por pelotones aislados .

A su vez, la Figura 9 compara la eficacia operativa de testigos y frentes destacándose el frente 1 con $E_{02} = 0.48$. Todos los frentes evaluados tuvieron una

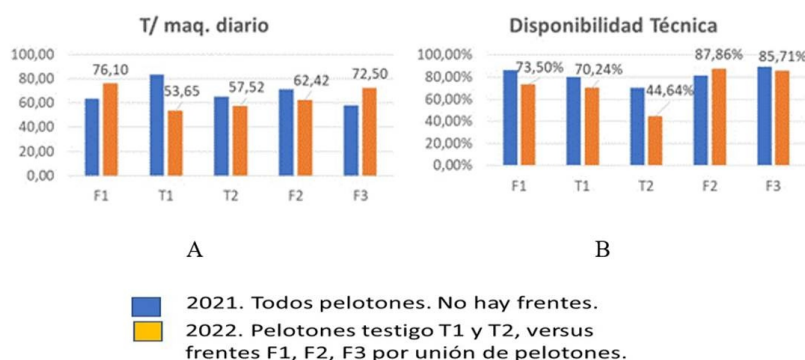


FIGURA 8. Comparación de frentes y testigos. 8A compara la productividad por jornada; 8B compara la disponibilidad técnica.



FIGURA 9. Comparación de la Eficacia Operativa de frentes y testigos.

eficacia operativa de 3% a 15% superior a la del mejor pelotón testigo (UBPC Vietnam).

Una causa importante de los cambios de posicionamiento de los frentes radica en un mejor uso del transporte, que como se demostró influye significativamente en la eficacia operativa. La [Tabla 2](#) ilustra al respecto mostrando el tiempo perdido por transporte de los frentes uno y tres y del testigo T1. En la tabla se brindan datos del total de tiempo perdido, relacionándolo con la caña cosechada dado a que se trata de agrupaciones con resultados de trabajo diferentes.

TABLA 2. Tiempo de parada por falta de transporte

Parámetro evaluado	Frentes y testigos		
	A. Regalado + Regadío (F1)	Vietnam (T1)	Victoria + Chapeo (F3)
masa cosechada en ciclo de estudio (t)	14881,7	7596,12	15230
Horas perdidas por transporte	398:57:12	225:50:12	286:30:00
Relación tiempo perdido por transporte/ masa cosechada	0:01:37	0:01:47	0:01:08
Ventaja porcentual	9,83%	---	36,73%

Como resultado del incremento de RCP mostrado en la [Figura 7](#), con la formación de frentes se estimó un precio superior para la caña. La [Figura 10](#) muestra una comparación de los meses de enero y febrero para las dos campañas evaluadas. El ingreso potencial adicional (IPA) por la venta de caña neta para las bases productivas, en 2022 fue de 85 a 154 peso/t con valor medio de 119 pesos/tcn. Asumiendo 15% de impurezas, éste sería de 101 pesos por tonelada de caña bruta.

Considerando los resultados experimentales, para un rendimiento de 30 a 40 t/ha (valor medio 35 t/ha), si $E_{02} = 0,42$, puede estimarse que $W_{07} = 6,9$ t caña

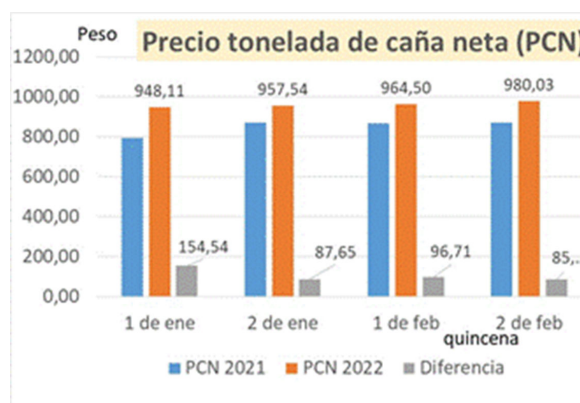


FIGURA 10. Comparación de los ingresos por caña neta.

bruta/h con 15% de materia extraña, lo que considerando la tarifa horaria de la cosechadora ([AZCUBA, 2021 b](#)), lleva a un gasto de 80,8 peso/ t caña bruta (tcb) y de 95 pesos/ t caña neta (tcn). Los resultados experimentales muestran que los frentes permitieron un incremento de eficacia operativa entre 2,8% y 13,5% respecto al mejor indicador de los pelotones testigo lo cual se refleja directamente en la productividad de las cosechadoras. Asimismo, el incremento de ésta última según los datos reflejados en la [figura 8](#) oscila entre 8 y 32%, donde influye el rendimiento de los campos.

Considerando, que la actividad en frentes permitió un incremento de productividad de 8%, resulta un gasto por t de caña bruta de 74,8 pesos con una reducción de 6 pesos/tcb y de 88 pesos por tonelada neta para una reducción de 7 pesos/tcn, que pueden considerarse como impactos mínimos del uso de las cosechadoras en frentes, que llevado a área cosechada equivale 245 pesos/ ha.

Se aprecia que los ingresos por mejor programación de zafra, resultan entre 5 y 15 veces mayores que los obtenidos por mejor explotación de la maquinaria.

CONCLUSIONES

- Las investigaciones teóricas y experimentales mostraron la efectividad de los frentes de trabajo en lograr cosechar la caña con mayor madurez, lográndose realizar la cosecha con un RPC de la caña superior en 1,19 a 2,25 puntos respecto a los pelotones.
- Las cosechadoras KTP2M operando en frentes resultaron ser entre un 8 y un 32% más productivas que las agrupadas en pelotones, logrando mayor disponibilidad técnica y eficacia operativa, además de un mejor uso del transporte, una disponibilidad técnica más elevada, mejor uso del transporte y en consecuencia una eficacia operativa superior.
- Como resultado de la formación de frentes se estiman ingresos adicionales de 101 peso/ t caña bruta o 119 peso/t caña neta por concepto de mayor

rendimiento azucarero y de no menos de 7 pesos/t caña neta y 6 pesos/caña bruta debida al incremento de la productividad de las máquinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZCUBA: *Balance de maquinaria para la zafra 2021 a 2022*, Inst. AZCUBA, Dirección de mecanización, 2021a.
- AZCUBA: *Tarifas Agrícolas para la Mecanización*, Inst. AZCUBA, Dirección de Economía, La Habana, Cuba, Formato digital, 2021b.
- AZCUBA: *Base de datos sobre composición de bases productivas*, Inst. AZCUBA, Dirección de Agrotecnia, Informe técnico, La Habana, Cuba, 2022.
- AZCUBA: *Procedimiento para realizar la aplicación de las instrucciones metodológicas para el control y aplicación del sistema de precios de la caña por su calidad (SPCC)*, Inst. AZCUBA, Resolución de 53 de 2023, La Habana, Cuba, 37 p., 2023.
- CASTRO, R.F.A.: *Discurso*, Obra Revolucionaria, 1962.
- CNCA-AZCUBA: *Diagnóstico técnico de la mecanización agrícola de la base productiva en el Central Cinco de Septiembre*, Inst. AZCUBA, Informe técnico, La Habana, Cuba, 25 p., 2020.
- CUELLAR, I.: *Álvaro Reynoso: 140 años después*, Inst. Unidad de impresiones gráficas de Minrex, La Habana, Cuba, 115 p., 2002.
- DÍAZ, R.: *Manual del pelotón. Explotación e ingeniería de mantenimiento de cosechadoras de caña de azúcar KTP 2.*, Ed. MINAZ, primera ed., La Habana, Cuba, 79 p., 2011.
- GOBIERNO DE CUBA: *Ley de Reforma Agraria (Primera Ley de Reforma Agraria).*, Revolucionaria, 1959.
- IAGRIC -CUBA: *Sistema de Gestión de la calidad. Prueba de máquinas agrícolas. Evaluación tecnológica y de explotación*, Inst. Ministerio de la Agricultura, PNO PG-CA-043, La Habana, Cuba, 13 p., 2013.
- IDEA: *Indicadores de desempeño de la agroindustria de la caña de azúcar. Brasil, Zafra 98/99*, Inst. IDEA - Instituto de Desarrollo Agroindustrial, Brasil, 11 p., 1999.
- JORGE, H.: *Variedades de caña de la empresa azucarera La Estrella*, Inst. Empresa azucarera La Estrella, 46 p., 2015.
- MARTÍN, O.J.; GÁLVEZ, R.G.; DE ARMAS, U.R.; ESPINOSA, O.R.; VIGO, H.R.; LEÓN, M.A.: *La Caña de Azúcar en Cuba*, Ed. Editorial del Ministerio de Cultura, primera ed., La Habana, Cuba, 612 p., 1987.
- MATOS-RAMÍREZ, N.; IGLESIAS-CORONEL, C.; GARCÍA-CISNEROS, E.: “Organización racional del complejo de máquinas en la cosecha-transporte-recepción de la caña de azúcar en la Empresa Azucarera ARGENTINA”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(2): 27-33, 2014, ISSN: 2071-0054.
- MATOS-RODRÍGUEZ, N.: *Organización Racional del Complejo de Máquinas en la Cosecha, Transporte, Recepción de la caña de Azúcar en la Empresa Azucarera Argentina*, Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, Tesis en Opción del grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agrícolas., San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 178 p., 2012.
- MINAZ- CUBA: *Fundamentos Técnicos Prácticos del Cultivo de la Caña de Azúcar*, Inst. Ministerio de la Industria Azucarera (MINAZ). Organismo central, La Habana, Cuba, 21 p., 2000.
- NORRIS, C.: *Curso de Adiestramiento en la Cosecha de Caña*, Inst. “Nicaragua Sugar Estates Limited”, San Antonio, Nicaragua, 2014.
- ONEI: *Anuario estadístico de Cuba 2019. Edición 2020*, Inst. Oficina Nacional de Estadística e Información, La Habana, Cuba, 2020.
- RODRÍGUEZ, R.M.: *Informe semestral de proyecto: Bases científico técnicas para el reporte agrometeorológico de las áreas cañeras (julio – diciembre de 2022).*, Inst. AZCUBA, La Habana, Cuba, 25 p., 2022.
- RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Y.; MOREJÓN-MESA, Y.; CRUZ-ARREDONDO, C.; MARTÍNEZ-BAO, O.: “Organización racional del complejo cosecha-transporte en caña de azúcar con la integración de modelos matemáticos”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(3): 50-61, 2020, ISSN: 2071-0054.
- SANTANA, I.; GONZÁLEZ, M.; CRESPO, R.; GUILLEN, S.: *Instructivo técnico para el manejo de la caña de azúcar*, Ed. INICA, La Habana, Cuba, 302 p., 2014.

Julio Andrés García-Pérez, MSc., Profesor auxiliar, presidente del OSDE AZCUBA, Calle 23 No. 171 / N y O Plaza de la Revolución Habana, Cuba.

Pablo M. Hernández-Alfonso, Dr.C., Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: pfernand@unah.edu.cu.

Ernesto Luis Velarde-Sosa, Dr.C., Investigador, Titular, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Carretera a CUJAE, km. 2½, Boyeros, La Habana, Cuba, C.P. 19390, e-mail:

evelardesosa@yahoo.es, ernesto.velarde@inica.azcuba.cu.

Evelio Pausa-Bello, Ing. Especialista de Primer Grado en Mecanización Agrícola. Grupo Técnico Asesor a la Mecanización Agrícola, Centro Nacional de Capacitación (CNCA), AZCUBA, Carretera de la CUJAE km 2 ½ Boyeros Habana, Cuba, e-mail: evelio.pausa@cnca.azcuba.cu

Dámaso Socarrás-Laza, Ing. Especialista de Primer Grado en Mecanización Agrícola. Grupo Técnico Asesor a la Mecanización Agrícola, Centro Nacional de Capacitación (CNCA), AZCUBA, Carretera de la CUJAE km 2 ½ Boyeros Habana, Cuba, e-mail: damosocaras@gmail.com.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR: Conceptualización: J. García, P. Hernández. **Curación de datos:** J.

García, P. Hernández. **Análisis formal, Investigación:** J. García, P. Hernández, E. Velarde, E. Pausa, D.

Socarrás. **Metodología:** J. García. **Supervisión:** J. García, P. Hernández. **Validación:** J. García, P. Hernández, E.

Velarde. **Redacción - borrador original:** J. García, P. Hernández, E. Velarde. **Redacción - revisión y edición:**

J. García, P. Hernández, E. Velarde.

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.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)