



Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias

ISSN: 2071-0054

Universidad Agraria de La Habana

Pérez-Reyes, Rigoberto Antonio; Daquinta-Gradaille, Lázaro
Antonio; Bonilla-Rocha, Jorge Douglas; Recarey-Morfa, Carlos
Alexander; Rodríguez-Aguilar, Omar Hilario; Águila-Gómez, Julio

Fundamentals, Problems and Repercussions of the Base
Cutting Process in the Mechanized Harvest of Sugarcane

Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 31, no. 1, e07, 2022, January-March
Universidad Agraria de La Habana

Available in: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93270179007>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's webpage in redalyc.org

UAEH
redalyc.org

Scientific Information System Redalyc

Network of Scientific Journals from Latin America and the Caribbean, Spain and
Portugal

Project academic non-profit, developed under the open access initiative



<https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1548>

REVIEW | REVISIÓN

Fundamentals, Problems and Repercussions of the Base Cutting Process in the Mechanized Harvest of Sugarcane

Fundamentos, problemática y repercusión del proceso de corte base en la cosecha mecanizada de la caña de azúcar

MSc. Rigoberto Antonio Pérez-Reyes¹, Dr.C. Lázaro Antonio Daquinta-Gradaille¹, Dr.C. Jorge Douglas Bonilla-Rocha¹, Dr.C. Carlos Alexander Recarey-Morfa², MSc. Omar Hilario Rodríguez-Aguilar¹, MSc. Julio Águila-Gómez¹.

¹ Universidad de Ciego de Ávila, Facultad de Ciencias Técnicas, Ciego de Ávila, Cuba.

² Universidad Central de Las Villas, Facultad de Construcciones, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

ABSTRACT. The new technologies introduced in the mechanized harvesting of sugarcane favor increased productivity, however, the increase in the useful life of the working organs of agricultural machines continues to be an important aspect to consider for their better performance where abrasive wear is identified as the physical phenomenon present in its different elements that most threatens its effective operation. In this paper, the theoretical foundations of the sugarcane base cutting process and the factors to be considered in the analysis of the cane base-cutter blade interaction are addressed. The impact of the field conditions, the process parameters and the handling and assembly of the cutter-blade on the quality and efficiency of mechanized harvesting are also analyzed.

Keywords: Sugarcane harvesters, base cutting system, wear.

RESUMEN. Las nuevas tecnologías introducidas en la cosecha mecanizada de la caña de azúcar favorecen el aumento de la productividad, sin embargo, el incremento de la vida útil de los órganos de trabajo de las máquinas agrícolas continúa siendo un aspecto importante a considerar para su mejor desempeño, donde se identifica al desgaste abrasivo como el fenómeno físico presente en sus diferentes elementos que más atenta contra su eficaz funcionamiento. En el presente trabajo se abordan los fundamentos teóricos del proceso de corte base de la caña de azúcar, los factores a tener en cuenta en el análisis de la interacción caña-segmento de corte base, así como la repercusión de las condiciones de los campos, los parámetros del proceso y el manejo y montaje de los segmentos de corte base en la calidad y eficiencia de la cosecha mecanizada.

Palabras clave: Cosechadoras de caña de azúcar, sistema de corte base, desgaste.

INTRODUCTION

Since January 2008, the Ministry of Sugar Industry in Cuba introduced a new technology for the mechanized harvesting of sugar cane in the province of Ciego de Ávila, based on the CASE-IH 7000 and 8000 harvesters of Brazilian manufacture. This has impacted with profound transformations in the harvest, transport and reception of sugarcane in the industry. Matos *et al.* (2010) carry out an analysis on the

INTRODUCCIÓN

El Ministerio de la Industria Azucarera en Cuba desde enero de 2008 introduce una nueva tecnología para la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en la provincia de Ciego de Ávila, basada en las cosechadoras CASE-IH 7000 y 8000 de fabricación brasileña. Esto ha impactado con profundas transformaciones en la cosecha, el transporte y recepción de la caña en la industria. Matos *et al.* (2010) realizan un análisis sobre el comportamiento de estas cosechadoras

¹ Author for correspondence: Rigoberto Antonio Pérez-Reyes, e-mail: rigobertopr@unica.cu ORCID iD: orcid.org/0000-0002-9265-5535

Received: 18/04/2021.

Approved: 12/11/2021.

behavior of these harvesters used in the 2008-2009 harvest in different production units, where they expose causes of a technical-exploitative nature that limit the work of these machines, which affects the productive results of the harvest company. On the other hand, Max *et al.* (2012) declare that an efficient execution of the base cut affects significantly in the quality of the process, as well as in the losses of raw material and the longevity of the cane. Similarly, De Toledo *et al.* (2013); Ma *et al.* (2014); Manhães *et al.* (2014); Abd-El & Hemeida (2015); Mathanker *et al.* (2015); Narimoto & Burgess (2015); Hu *et al.* (2016); Tahsin *et al.* (2016); Jamadar *et al.* (2017); Momin *et al.* (2017); Abdallah *et al.* (2020); De Almeida *et al.* (2020) consider that the basal cut is the fundamental cause of the damage caused in the stems and losses in the mechanized harvest of the sugarcane.

Daquinta *et al.* (2014) state that one of the main problems that affect the proper operation of the harvesters is the durability of the base cutter-blades (blades). He argues that they are the most unreliable tools these machines have, as they are the first to have direct contact with the vegetable mass to be cut and work under severe conditions in a highly abrasive environment, which causes accelerated wear of the cutting edge.

Pérez *et al.* (2018) also concluded that one of the main problems that affect the proper operation of CASE-IH sugarcane harvesters is the durability of the base cutter-blades. A study carried out by these authors reveals that the mechanical system is the one with the greatest influence on the number of failures by elements, due to the excessive wear of the base cut segments, caused by the extreme working conditions to which they are exposed, which causes poor cutting quality, losses in the process and poor performance of the base cutting system.

DEVELOPMENT OF THE TOPIC

Fundamentals of the Base Cutting Process in the Mechanized Harvest of Sugarcane. Abadia (2018) highlights that the basic function of the base cutter is to cut the cane stalks with the edge of its cutting segments. In a 60 cm width, the cane will remain outside the maximum working area of the discs. The sugarcane must be planted between 40 and 50 cm maximum, but avoiding that the strains run from the first cut or shoot. The agricultural work of desiccation or removal of excessive shoots of lateral plants must be continued. An excessive number of stems in the cutter- disc tandem will cause binding, poor cut, cane loss and regrowth problems.

The base cutting mechanisms are designed based on two main systems: cutting system with cutter-bar and rotary cutting system (Patil & Patil, 2013). The rotary cutter with cutter-blades is used more often than the cutter-bar for thick stalks (such as sugarcane) which have more cutting resistance. The advantage of this mechanism is that rotary cutters exert high inertia and impact forces on the stem while cutting when the cutting discs have a large diameter (up to 90 cm). Especially, when cutting high tonnage (high density) stems, the advantage of using inertia and impact force becomes more prominent. Therefore, the base-cutter of the sugarcane harvesters in use today, generally consists

usadas en la zafra 2008-2009 en diferentes unidades de producción, donde exponen causas de índole técnico-explotativas que limitan el trabajo de estas máquinas, lo que incide en los resultados productivos de la empresa. Por otra parte, Max *et al.* (2012) declaran que una ejecución eficiente del corte base repercute significativamente en la calidad del proceso, así como en las pérdidas de materia prima y la longevidad del cañaveral. De igual modo, De Toledo *et al.* (2013); Ma *et al.* (2014); Manhães *et al.* (2014); Abd-El & Hemeida (2015); Mathanker *et al.* (2015); Narimoto & Burgess (2015); Hu *et al.* (2016); Tahsin *et al.* (2016); Jamadar *et al.* (2017); Momin *et al.* (2017); Abdallah *et al.* (2020); De Almeida *et al.* (2020) consideran que el corte basal es la causa fundamental de los daños ocasionados en los tallos y las pérdidas en la cosecha mecanizada de la caña de azúcar.

Daquinta *et al.* (2014) exponen que uno de los principales problemas que afectan el buen funcionamiento de las cosechadoras es la durabilidad de los segmentos de corte base (cuchillas). Argumenta que estas herramientas son las de más baja fiabilidad que poseen dichas máquinas, al ser las primeras que tienen contacto directo con la masa vegetal a cortar y trabajar en condiciones severas en un medio muy abrasivo, lo que provoca el desgaste acelerado del filo.

Pérez *et al.* (2018) también arriban a la conclusión de que uno de los principales problemas que afectan el buen funcionamiento de las cosechadoras de caña de azúcar CASE-IH es la durabilidad de los segmentos de corte base. Un estudio realizado por estos autores revela que es el sistema mecánico el de mayor influencia en el número de fallas por elementos, debido al excesivo desgaste de los segmentos de corte base, provocado por las condiciones de trabajo extremas a que están expuestos, lo que provoca mala calidad del corte, pérdidas en el proceso y pobre desempeño del sistema de corte base.

DESARROLLO DEL TEMA

Fundamentos del proceso de corte base en la cosecha mecanizada de la caña de azúcar. Abadia (2018) destaca que la función básica del cortador base es cortar con el filo de sus segmentos de corte los tallos de caña. En 60 cm de anchura se quedará caña por fuera del área de máximo trabajo de los discos. La caña debe quedar sembrada entre 40 y 50 cm máximo, pero evitando que las cepas se corran a partir del primer corte o retoño. Debe continuarse con la labor agrícola de deshije o retirada de excesivos brotes de plantas laterales. Un excesivo número de tallos en el tándem de corte de los discos causará atascamiento, mal corte, pérdida de caña y problemas de rebrote.

Los mecanismos de corte base están diseñados en función de dos sistemas principales: sistema de corte con barra de corte y sistema de corte giratorio (Patil & Patil, 2013). El mecanismo de corte giratorio con segmentos de corte se usa con más frecuencia que el mecanismo de corte con barra de corte para tallos gruesos (como la caña de azúcar) que tienen más resistencia al corte. La ventaja de este mecanismo es que los cortadores giratorios ejercen una gran inercia y fuerzas de impacto en el tallo al cortar cuando los discos de corte tienen un diámetro grande (hasta 90 cm). Especialmente, cuando se cortan tallos de alto tonelaje (alta densidad), la ventaja de usar la inercia y la fuerza de impacto se vuelve más prominente. Por lo tanto, el cortador base de las cosechadoras de caña de azúcar

of two rotating discs with counter-rotation that perform the cut without support (A) with replaceable cutting segments (blades) on each disc, (B) installed on its periphery (Figure 1), which act with 60% of its contact area cutting the sugarcane against the ground (Ma *et al.*, 2014).

que se usa en la actualidad, generalmente consta de dos discos giratorios con rotación contraria que realizan el corte sin apoyo (A) con segmentos de corte (cuchillas) reemplazables en cada disco (B) instalados en su periferia (Figura 1), que actúan con un 60% de su área de contacto cortando la caña contra el suelo (Ma *et al.*, 2014).

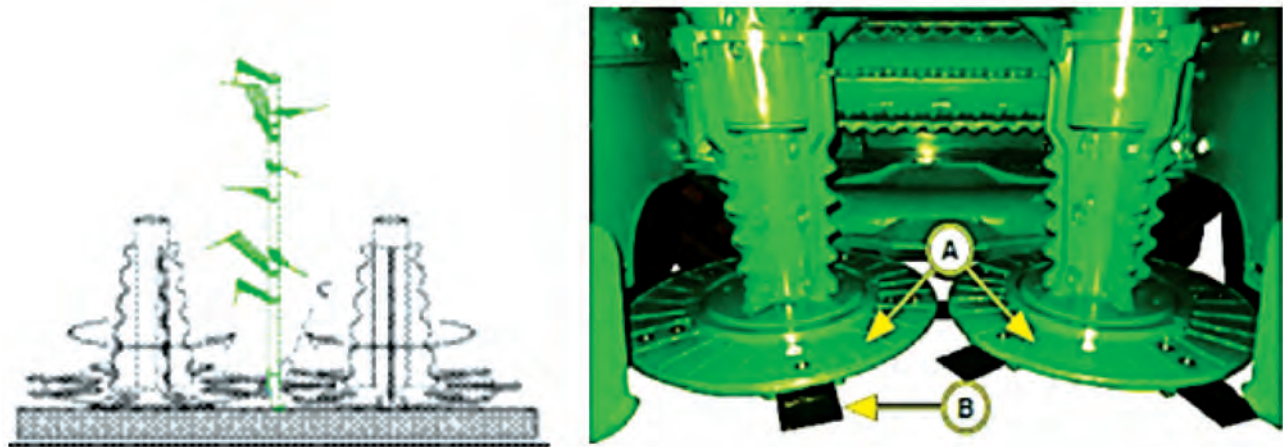


FIGURE 1 Base cutter of sugarcane harvesters that are used at present (Abadia, 2018; Rezende, 2020).

FIGURA 1. Cortador base de las cosechadoras de caña de azúcar que se usan en la actualidad (Abadia, 2018; Rezende, 2020)

The current harvesters use a base cutting mechanism with a rotating disc that cuts the sugarcane stalks without support and by impact, after they are deflected by an angle (β) in the direction of the movement of the machine by the tumbler roller, as seen in Figure 2a. Figure 2b shows an analysis of the shear force in the direction of shear. The shear force is equal to the sum of the inertial force (the resistance to acceleration of the disk), the bending force (the static reaction due to the stem flexing in the shear direction), traction force (the static reaction due to the tension of the stem along the direction of its axis) and the friction force between the stem and the tumbler roller (Sitkei, 1986; Ma *et al.*, 2016). The parameters distinguished in Figure 2 correspond to:

α = Angle between the vertical and the central axis of the cane in the cutting direction; α_1 = Deflection of the cane caused by the base cutter in the direction of the cut; β = Deflection of the cane caused by the tumbler roller in the direction of the movement of the machine; $F_{cutting}$ = Cutting force of the blade exerted on the cane; $F_{inertia}$ = Inertial force caused by the rotation of the base cutter; $F_{bending}$ = Bending force caused by the deflection of the cane in the shear direction; $F_{tension}$ = Traction force originated by the deflection of the cane and $F_{friction}$ = Friction force originated by the deflection of the cane caused by the tumbler roller. ($F_{cutting} = F_{inertia} + F_{bending} + F_{tension} + F_{friction}$).

To complete the cut, the force exerted at the peripheries of the cutting point must be greater than the total resistance force. From the relative position of the tumbler roller the base-cutter is considered fixed and the friction force can also be considered fixed. If the shear velocity is fixed, then the inertia is fixed, and the sum of the bending and the traction is determined by the deflection of the stem in the shear direction (Ma *et al.*, 2016). The greater the deviation, the greater the risk of ineffective cutting, because the stem could fracture and crack due to the effect

Las cosechadoras actuales utilizan mecanismo de corte base con disco giratorio que realizan el corte sin apoyo y por impacto de los tallos de caña de azúcar, luego de estos ser desviados un ángulo (β) en la dirección del movimiento de la máquina por el rodillo tumbador, como se observa en la Figura 2a. La Figura 2b muestra un análisis de la fuerza cortante en la dirección del corte. La fuerza cortante es igual a la suma de la fuerza inercial (la resistencia a la aceleración del disco), la fuerza de flexión (la reacción estática debido a que el tallo se flexa en la dirección cortante), fuerza de tracción (la reacción estática debido a la tensión del tallo a lo largo de la dirección de su eje) y la fuerza de fricción entre el tallo y el rodillo tumbador (Sitkei, 1986; Ma *et al.*, 2016). Los parámetros que se distinguen en la Figura 2 se corresponden con:

α = Ángulo entre la vertical y el eje central de la caña en la dirección del corte; α_1 = Deflexión de la caña provocada por el cortador base en dirección del corte; β = Deflexión de la caña provocada por el rodillo tumbador en dirección del movimiento de la máquina; $F_{cutting}$ = Fuerza de corte de la cuchilla ejercida sobre la caña; $F_{inertia}$ = Fuerza de inercia originada por la rotación del cortador base; $F_{bending}$ = Fuerza de flexión originada por la deflexión de la caña en la dirección cortante; $F_{tension}$ = Fuerza de tracción originada por la deflexión de la caña y $F_{friction}$ = Fuerza de fricción originada por la deflexión de la caña provocada por el rodillo tumbador. ($F_{cutting} = F_{inertia} + F_{bending} + F_{tension} + F_{friction}$).

Para completar el corte, la fuerza ejercida en las periferias del punto cortante debe ser mayor que la fuerza de resistencia total. Desde la posición relativa del rodillo tumbador el cortador base se considera fijo y la fuerza de fricción también puede considerarse fija. Si la velocidad cortante es fija, entonces la inercia es fija, y la suma de la flexión y la tracción es determinada por la desviación del tallo en la dirección cortante (Ma *et al.*, 2016). A mayor desviación, mayor es el riesgo de corte ineficaz, porque el tallo pudiera fracturarse y rajarse por el

of the cut. The deflection of the stem in the cutting direction depends mainly on the distance between the cutting point and the fulcrum on the ground (Persson, 1987)

efecto del corte. La desviación del tallo en la dirección cortante depende principalmente de la distancia entre el punto cortante y el punto de apoyo en la tierra (Persson, 1987).

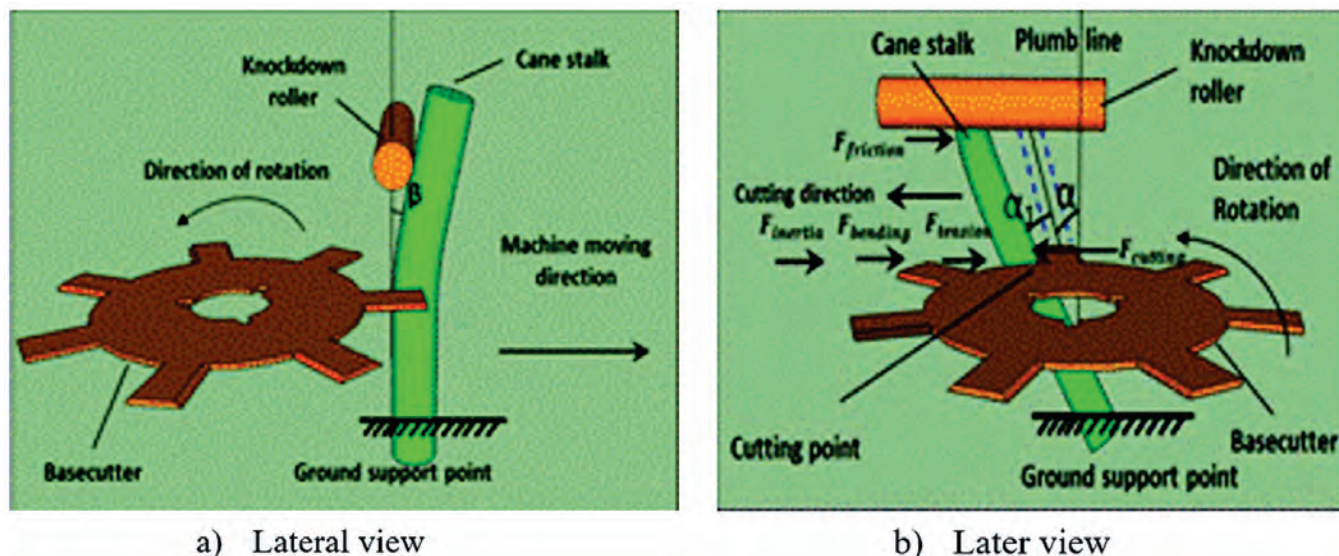


FIGURE 2. Diagram of the sugarcane base cutting process (Sitkei, 1986; Ma *et al.*, 2016).

FIGURA 2. Esquema del proceso de corte base de la caña de azúcar (Sitkei, 1986; Ma *et al.*, 2016).

Most of the relevant studies Kroes (1997); Mello & Harris (2003); De Toledo *et al.* (2013) investigate the base cut of a single stem. Considering that the study investigates the quality of the base cut of a whole seedling (multi-stem stump), the spacing between the seedling stems in a stump determines the maximum angle that the seedlings can deviate before touching the neighboring stems. When a stem is cut, the neighboring stem will prevent a large deviation.

The stems are tilted an angle α (in the cutting direction) which is defined as the angle between the lead line (vertical to the ground) and the central axis of the stem before being impacted by the base-cutter blade (Figure 2b). During the base cutting process, the stems are deflected in the cutting direction by an additional angle α_1 (deflection) caused by the base-cutter, so in high cane density fields (where the space between the stems decreases and the deflection), the shear process becomes more complex.

Deflection in the base cutting process is used to explain the relationship between the stem damage length and the seedling density, as well as the relationship between the damage length and the cutting height, because the seedling density and the cutting height affect the deflection of the stem during the process. For the combines, the cutting process is considered the active energy-consumption phase in the operation of the equipment. Guarnieri *et al.* (2007) develop a complete mathematical model for a cutter bar with a blade coupled to a crankshaft. The analysis of the system performance shows that the model is successful. Zastempowski & Bochat (2014) present a characteristic mathematical model for the stem cutting process, which generates a typical curve that describes the cutting process, divided into three stages as shown in Figure 3. The model is verified and has a good correspondence with the experimental results during the performance of the tests.

La mayoría de los estudios pertinentes Kroes (1997); Mello & Harris (2003); De Toledo *et al.* (2013) investigan el corte base de un solo tallo, considerando que el estudio investiga la calidad del corte base de un plantón entero (cepa de múltiples tallos). El espacio entre los tallos del plantón en una cepa determina el ángulo máximo que pueden desviarse estos antes de pegarse a los tallos vecinos. Cuando es cortado un tallo, el tallo vecino impedirá una desviación grande.

Los tallos se inclinan un ángulo α (en la dirección cortante) que se define como el ángulo entre la línea de plomo (vertical al suelo) y el eje central del tallo antes de ser impactado por la cuchilla de corte base (Figura 2b). Durante el proceso de corte base, los tallos son desviados en la dirección cortante un ángulo α_1 adicional (deflexión) causado por el cortador base, por lo que en campos de alta densidad de caña (donde disminuye el espacio entre los tallos y se limita la deflexión), el proceso cortante se hace más complejo.

La deflexión en el proceso de corte base es usada para explicar la relación entre la longitud del daño al tallo y la densidad del plantón, así como la relación entre la longitud del daño y la altura de corte, porque la densidad del plantón y altura de corte afectan la desviación del tallo durante el proceso. Para las cosechadoras, el proceso cortante se considera como la fase activa de energía-consumo en el funcionamiento del equipo. Guarnieri *et al.* (2007) desarrollan un modelo matemático completo para una barra de corte con una cuchilla acoplada a un cigüeñal. El análisis del desempeño del sistema demuestra que el modelo tiene éxito. Zastempowski & Bochat (2014) presentan un modelo matemático característico para el proceso de corte del tallo, el que genera una curva típica que describe el proceso de corte, dividida en tres etapas como muestra la Figura 3. El modelo es verificado y tiene una buena correspondencia con los resultados experimentales durante la realización de las pruebas.

Shen *et al.* (2016) explain that in Figure 3, where curve 1 is the force-displacement curve under the zero-load test and curve 2 is the force-displacement curve when the cutter-blade cuts the stem, three regions are represented, marked as A, B and C, which constitute the stages as initial development of the cut, shear deformation of the stem cross section and time after the cut, respectively.

It expresses that in region A, the value of the force increases continuously from zero after the edge of the cutter-blade begins to have contact with the stem. In this region, the cutting process takes place and at the moment in which this has been achieved, the cutting force reaches the maximum value and the structure of the stem is destroyed, the cutter-blade has cut the stem and the curve enters the region B, where the cutting force decreases sharply. At the time of cutting, the cutting action and the advance of the tool occur simultaneously and the curve fluctuates after entering the final phase of the cut, however, the magnitude of the resultant force gradually decreases with the progressive decrease of the area of the cut.

Shen *et al.* (2016) explican que en la Figura 3, donde la curva 1 es la curva de fuerza-desplazamiento bajo la prueba de cero cargas y la 2 es la curva fuerza-desplazamiento cuando el segmento de corte realiza el corte del tallo, se representan tres regiones marcadas como A, B y C, las que constituyen las etapas de: el desarrollo inicial del corte; la deformación por corte de la sección transversal del tallo; el momento posterior al corte respectivamente.

Expresa que en la región A el valor de la fuerza aumenta continuamente desde cero a partir de que el filo del segmento de corte comienza a tener contacto con el tallo. En esta región se produce el proceso de corte y en el instante en que este se ha logrado, la fuerza de corte alcanza el valor máximo y la estructura del tallo es destruida, el segmento de corte ha cortado el tallo y la curva entra en la región B, donde la fuerza de corte decrece bruscamente. En el momento del corte, la acción del corte y el avance de la herramienta suceden simultáneamente y la curva fluctúa después de entrar en la fase final del corte, sin embargo, la magnitud de la fuerza resultante decrece gradualmente con la disminución progresiva del área de corte.

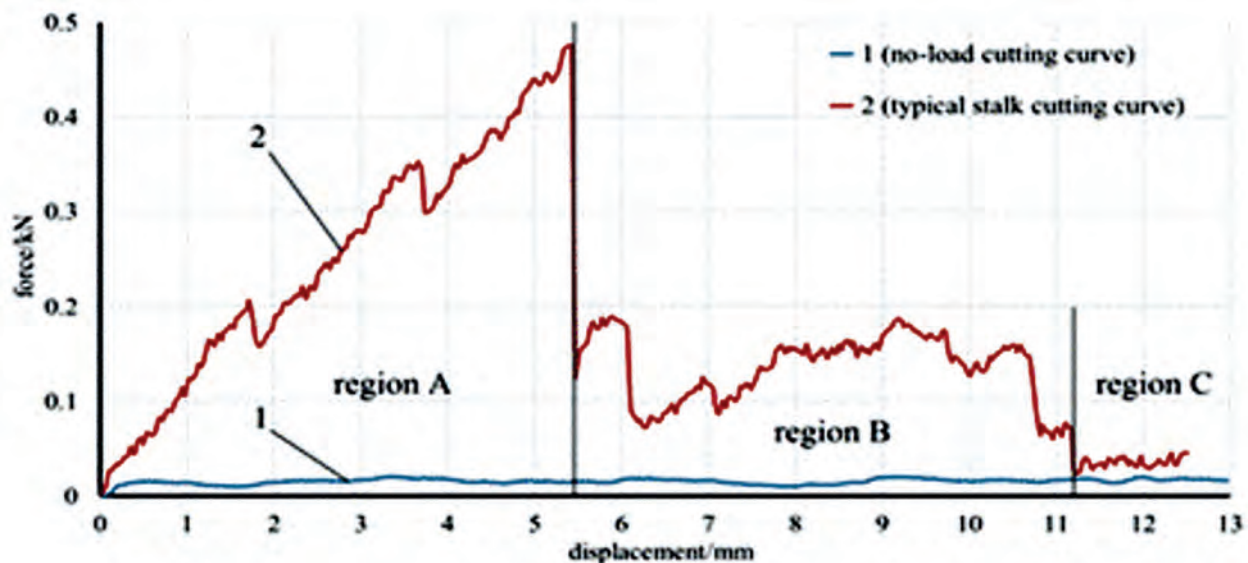


FIGURE 3. Typical theoretical curve of the Force - Displacement relationship of the cut of a single stem Shen *et al.* (2016).

FIGURA 3. Curva teórica típica de la relación Fuerza – Desplazamiento del corte de un tallo único Shen *et al.* (2016).

He adds that at the moment when the stem is completely cut, the magnitude of the cutting force drops suddenly and the curve enters region C. Theoretically, this region does not participate in the process of cutting the stem and its value must correspond to the value of the force on the zero-load curve. However, some fibers can enter the space between the base cutter-blade during the process, increasing the friction force with the movement of these tools, so the magnitude of the cutting force in curve 2 is slightly higher than of curve 1 of zero loads in this region. Regions A and B are the ones that really intervene in the sugarcane stem cutting process. According to Srivastava *et al.* (1993) and Chen *et al.* (2004), mechanical properties of the stems to be cut can be obtained through the force-displacement curve: the maximum shear force (the difference between the magnitude of the maximum value of the cutting force in curve 2 and the value of zero loads

Añade, que en el momento en que el tallo queda completamente cortado, la magnitud de la fuerza de corte cae repentinamente y la curva entra en la región C. Teóricamente esta región no participa en el proceso de corte del tallo y su valor debe corresponderse con el valor de la fuerza en la curva de cero cargas. Sin embargo, algunas fibras pueden entrar en el espacio entre los segmentos de corte base durante el proceso, incrementando la fuerza de fricción con el movimiento de estas herramientas, por lo que la magnitud de la fuerza de corte en la curva 2 es ligeramente superior al de la curva 1 de cero cargas en esta región. Las regiones A y B son las que realmente intervienen en el proceso de corte del tallo de la caña de azúcar.

Según Srivastava *et al.* (1993) y Chen *et al.* (2004) pueden obtenerse propiedades mecánicas de los tallos a cortar a través de la curva de fuerza-desplazamiento: la fuerza cortante máxima (la diferencia entre la magnitud del máximo valor de la fuerza de

in curve 1 during cutting) and the energy at cutting of a single stem (the area under the curve of cutting force 2 and curve 1 of zero loads in region A and region B, calculated according to numerical integration).

RESULTS AND DISCUSSION

Problems and Repercussions of the Base Cutting Process in the Mechanized Harvest of Sugarcane

An integral harvester works in the following way: once the machine is positioned in front of the cane furrow and begins to advance, the first action it performs is to cut the tips of the plant (which have very low sucrose content) through a mechanism called *topper*. These tips detach to the side and are scattered on the ground along the furrow. From behind, the machine feeding system begins acting, made up of the line dividers and feeder rolls that direct the cane. The tumbler roller tilts the cane so that its base is exposed to the base cutting system. The harvest dividers introduce the cane towards the center of the machine and help to lift the canes that are fallen or crossed (Valeiro & Biaggi, 2019).

The base cut is one of the main functions of the machine, it is the most delicate operation for the incorporation of soil and stumps, the destruction of the crop and the losses of cane left in the field due to the excessive height of the stump (Figure 4). The quantity and quality of the cane that goes to the mill largely depends on its efficiency. Anything that is polluting material (mainly soil and parts of the plant) that enters the system, reduces the milling capacity and increases the losses of sucrose in the sugar production stages (Abadia, 2018); Valeiro & Biaggi, 2019). The cutting of the sugarcane stalks carried out by the base cutting apparatus takes place in difficult situations, since the base cutter-blades, in addition to cutting the cane stalks, frequently come into contact with various obstacles that are encountered in the furrow (stones, tree stumps, metal sections), which affects the proper performance of this operation. However, the main problem faced by these tools is the excessive wear they suffer during the cutting operation, which causes them to be rapidly and continuously replaced (Daquinta, 1995).

corte en la curva 2 y el valor de cero cargas en la curva 1 durante el corte) y la energía al corte de un tallo único (el área debajo de la curva de fuerza de corte 2 y la curva 1 de cero cargas en la región A y la región B, calculado según la integración numérica).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Problemática y repercusión del proceso de corte base en la cosecha mecanizada de la caña de azúcar

Una cosechadora integral trabaja de la siguiente forma: una vez que la máquina se coloca frente al surco de caña y comienza a avanzar, la primera acción que realiza es cortar las puntas de la planta (que tienen muy bajo contenido de sacarosa) a través de un mecanismo llamado *despuntador*. Ese despunte se desprende hacia un costado y va quedando disperso en el suelo a lo largo del surco. Por detrás, comienza a actuar el sistema de alimentación de la máquina, compuesto por los divisores de líneas y rolos alimentadores que van direccionando la caña. El rodillo tumbador inclina la caña para que su base quede expuesta al sistema de corte base. Los divisores de cosecha introducen la caña hacia el centro de la máquina y contribuyen a levantar las cañas que están caídas o cruzadas (Valeiro & Biaggi, 2019).

El corte base es una de las funciones principales de la cosechadora, es la operación más delicada para la incorporación de tierra y cepas, la destrucción del cultivo y las pérdidas de caña dejada en el campo por la excesiva altura del tocón (Figura 4). De su eficiencia depende en gran medida la cantidad y calidad de la caña que va al ingenio. Todo lo que sea material contaminante (suelo y partes de la planta principalmente) que entre en el sistema, reduce la capacidad de molienda y aumenta las pérdidas de sacarosa en las etapas de producción de azúcar (Abadia, 2018); Valeiro & Biaggi, 2019).

El corte de los tallos de la caña de azúcar llevado a cabo por el aparato de corte base tiene lugar en situaciones difíciles, pues los segmentos de corte base, además de cortar los tallos de caña, frecuentemente entran en contacto con diversos obstáculos que se encuentran en el surco (piedras, tocones de árboles, secciones de metal), lo que incide en la buena realización de esta operación. No obstante, el principal problema que enfrentan estas herramientas es el excesivo desgaste que sufren durante la operación de corte, que provoca la rápida y continua sustitución o recambio de las mismas (Daquinta, 1995).

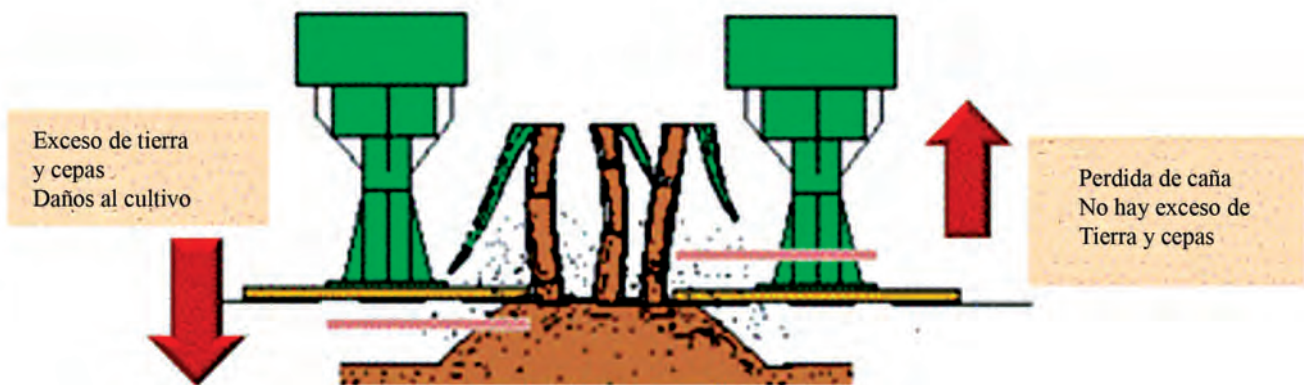


FIGURE 4. The base-cutter influence on the incorporation of soil and roots and destruction of the crop (Abadia, 2018).

FIGURA 4. Influencia del corte base en la incorporación de tierra y cepas y la destrucción del cultivo (Abadia, 2018).

The type and intensity of wear in the base cutter-blade are a function of the nature and mechanical properties of the material of these tools, the operating conditions, the physical-mechanical and anatomical properties of the stems and the particles of the soil (Fielke *et al.*, 1993).

According to Guul (as cited in González *et al.* (2008), to analyze the interaction between the base cutter-blades, the sugar cane and the particles in the environment, the following five factors must be considered during the cut:

Thermal manufacturing process and geometry. Due to their very severe work regime, these tools must meet tribo-mechanical properties such as hardness, wear resistance and impact resistance. In addition, the angle of the edge determines the realization of a clean cut and a lower resistance to cutting the stems. Authors such as Mello & Harris (2003); Mello (2005); De Toledo *et al.* (2013); Mathanker *et al.* (2015); Momin *et al.* (2017) have investigated the performance of the base cutter-blades with different designs, edge geometries and impact angles.

Properties and variety of the cut cane. This refers fundamentally to the amount of silica present in the bark and the amount of fibers per section that the different varieties can have. In this sense, González *et al.* (2008) characterizes the microstructure of the stems of three varieties of sugarcane and establishes relationships between some microstructural characteristics of the stems and the energy at cutting. One of the notable contributions of this research is having related some mechanical properties to the average dimensions of the fibers for three varieties of sugarcane. Valdés *et al.* (2008) determine a set of physical-mechanical properties of two varieties of sugarcane used in Cuba as forage for animal feed. These properties constitute essential input data for the evaluation of physical-mathematical models that make it possible to calculate the main design and operating parameters of forage chopping machines. Díaz & Iglesias (2014) report results of the determination of the physical-mechanical properties of the sugarcane stems involved in the juice extraction process for the manufacture of panela. These are obtained based on the different geometric and biological locations and stem diameters, for three varieties of sugarcane, values required in a mathematical model to determine the energy required in the juice extraction process.

Field conditions and leveling. One of the main problems that exist in the fields is the presence of obstacles and poor ground preparation, which leads to wear and tear and causes deformation and breakage of the base cutter-blades, so these tools have to be replaced frequently. In this sense, Abadia (2018) in Figure 5, shows the shape of the furrow and location of the base cutting discs for the ideal cutting conditions in fields intended for mechanization. He adds, as it can be seen in Figure 6, that the agricultural tasks following the planting of the sugarcane (1) will be definitive in raising the crop (2-3), since these will allow the furrow ridge or profile to be shaped into a trapezoid groove (4). This will depend on conditions such as the type of soil, the irrigation systems, the leveling and the types of harvesting machines to be used. The important thing is to keep a final height of the ridge not greater than 15 cm and a width of stumps not greater than 50 cm to avoid loss of cane and excessive wear of the blades (5).

El tipo y la intensidad del desgaste en los segmentos de corte base están en función de la naturaleza y propiedades mecánicas del material de estas herramientas, de las condiciones de operación, de las propiedades físico-mecánicas y anatómicas de los tallos y de las partículas del suelo (Fielke *et al.*, 1993).

Según Guul (como se citó en González *et al.* (2008), para analizar la interacción entre los segmentos de corte base, la caña de azúcar y las partículas del entorno, durante el corte se deben tener en cuenta los siguientes cinco factores:

Proceso térmico de fabricación y geometría. Por su régimen de trabajo muy severo, estas herramientas deben reunir propiedades tribo-mecánicas como la dureza, la resistencia al desgaste y la resistencia al impacto. Además, el ángulo del filo determina la realización de un corte limpio y una menor resistencia al corte de los tallos. Autores como Mello & Harris (2003); Mello (2005); De Toledo *et al.* (2013); Mathanker *et al.* (2015); Momin *et al.* (2017) han investigado el desempeño de los segmentos de corte base con diferentes diseños, geometrías del filo y ángulos de impacto.

Propiedades y variedad de la caña cortada. Referido fundamentalmente a la cantidad de sílice presente en la corteza y a la cantidad de fibras por sección que pueden tener las diferentes variedades. En este sentido, González *et al.* (2008) caracteriza la microestructura de los tallos de tres variedades de caña de azúcar y establece relaciones entre algunas características microestructurales de los tallos y la energía al corte. Uno de los aportes destacables de esta investigación es el haber relacionado algunas propiedades mecánicas con las dimensiones medias de las fibras para tres variedades de caña de azúcar. Valdés *et al.* (2008) determina un conjunto de propiedades físico-mecánicas de dos variedades de caña de azúcar empleadas en Cuba como forraje para la alimentación animal. Estas propiedades constituyen datos de entrada imprescindibles para la evaluación de modelos físico-matemáticos que posibilitan calcular los principales parámetros de diseño y explotación de las máquinas picadoras de forraje. Díaz & Iglesias (2014) reportan resultados de la determinación de las propiedades físico-mecánicas de los tallos de la caña de azúcar involucradas en el proceso de extracción de jugo para la fabricación de panela. Estos se obtienen en función de los diferentes lugares geométricos, biológicos y diámetros de los tallos, para tres variedades de caña, valores exigidos en un modelo matemático para la determinación de la energía requerida en el proceso de extracción de jugo.

Condiciones y nivelación del campo. Uno de los principales problemas que existen en los campos es la presencia de obstáculos y la mala preparación del terreno, lo que conlleva al desgaste y provoca deformaciones y roturas de los segmentos de corte base, por lo que se tienen que sustituir con frecuencia estas herramientas. En este sentido, Abadia (2018) en la Figura 5 muestra la forma del surco y ubicación de los discos de corte base para las condiciones ideales de corte en campos destinados a la mecanización. Añade, como se observa en la Figura 6, que las labores agrícolas siguientes a la siembra de la caña (1) serán definitivas en el levantamiento del cultivo (2-3), puesto que estas permitirán ir dando forma de trapecio al camellón o perfil de surco (4). Esto dependerá de condiciones como el tipo de suelo, los sistemas de riego, la nivelación y los tipos de máquinas cosechadoras a utilizar. Lo importante es conservar una altura final del lomo no superior a 15 cm y un ancho de cepas no superior a 50 cm para evitar pérdida de caña y excesivo desgaste de las cuchillas (5).

Furthermore, he insists that the different unsuitable field conditions must be gradually improved to bring the machines closer to the best possible designs (Figure 7). The same fields with different furrow or ridge geometries (1), irregularities in the irrigation lanes due to inadequate agricultural work (2) must be corrected, since in these conditions soil and stumps are incorporated, damage to the crop occurs and wear of the blades is favored. In the ideal conformation (3), it is observed that the spaces between furrows, the height of the ridge and its geometric shape are all uniform.

Insiste, además, en que las diferentes condiciones de campo no adecuadas deben mejorarse paulatinamente para acercar las máquinas a los mejores diseños posibles (Figura 7). Los mismos campos con diferentes geometrías de surco o camellón (1), irregularidades en las calles de riego por labores agrícolas inadecuadas (2) deben corregirse, pues en estas condiciones se incorpora tierra y cepas, se presentarán daños al cultivo y se favorecerá el desgaste de las cuchillas. En la conformación ideal (3) se observa que los entresurcos son uniformes, la altura del camellón es uniforme y su forma geométrica también lo es.

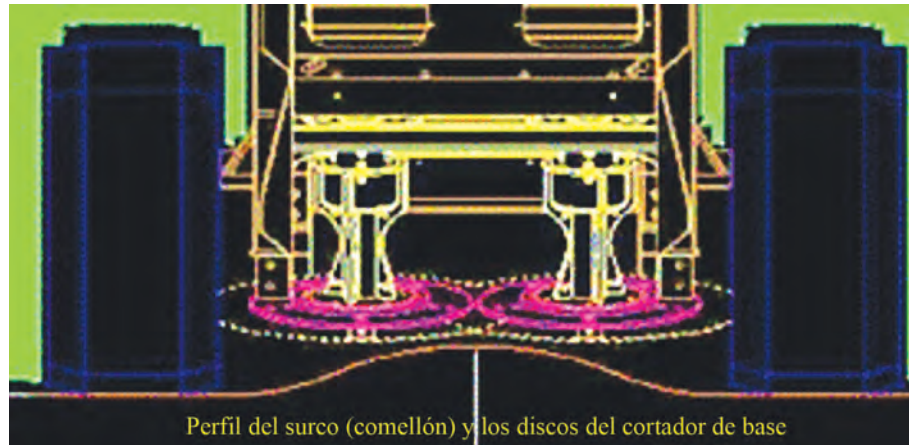


FIGURE 5. Ridge shape and location of the base-cutter discs for ideal cutting conditions (Abadia, 2018).

FIGURA 5. Forma del surco y ubicación de los discos de corte base para las condiciones ideales de corte (Abadia, 2018).

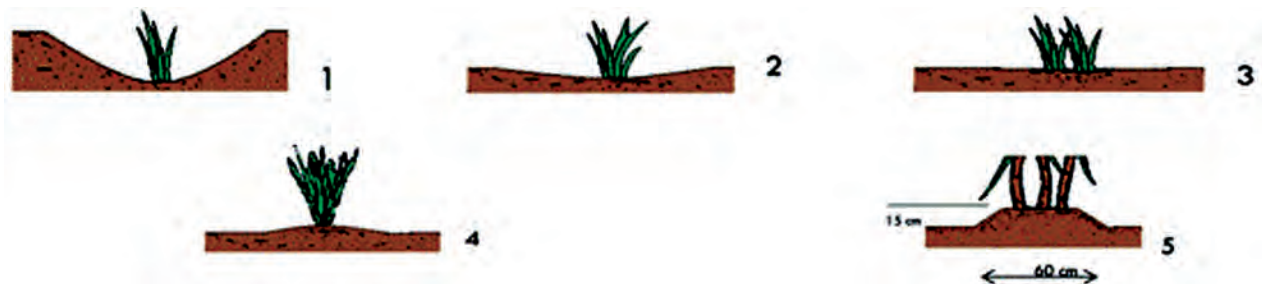


FIGURE 6. Field conditions for agricultural work following sugarcane planting (Abadia, 2018).

FIGURA 6. Condiciones del campo para las labores agrícolas siguientes a la siembra de la caña (Abadia, 2018).

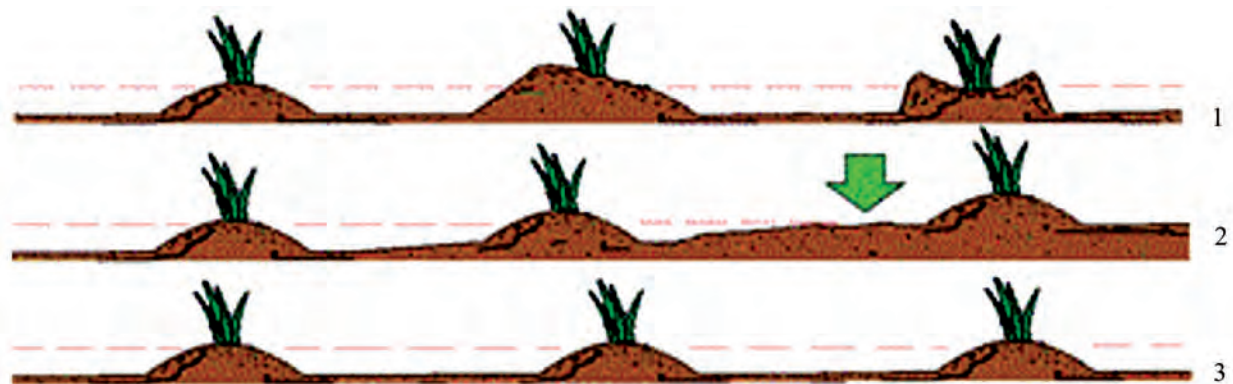


FIGURE 7. Different unsuitable field preparation conditions (1 and 2) and ideal for the mechanized cutting process (3) (Abadia, 2018).

FIGURA 7. Diferentes condiciones de preparación del campo no adecuadas (1 y 2) e ideal para el proceso de corte mecanizado (3) (Abadia, 2018).

Cutting speed. According to Silveira (cited by Águila (2010), when the speed is small, the tearing and breaking of the stem occurs. With increasing speed, the cut is obtained without

La velocidad de corte. Según Silveira (citado por Águila (2010), cuando la velocidad es pequeña se produce el desgarramiento y la rotura del tallo. Con el aumento de la velocidad, el corte se obtiene

tearing and without breakage and the forces of resistance to the cut decrease. When there is an excess of speed, obstructions, damaged cane, short logs, little extraction of residues and overloaded motor occur. In addition, according to Valdés *et al.* (2009), the specific energy consumed during the cutting of the stems decreases as the cutting speed increases, presenting an asymptotic trend from 20 to 30 m/s.

The angle of inclination of the base cutter-disc. When the angle of inclination of the base-cutter disc is incorrect, great wear occurs on the cutter-blade, damage to the stumps and cane left in the field. The cutting angles of the base-cutter disc must correspond to the special conditions of the field, since no crop is totally uniform (Figure 8). It will be necessary, then, to have operators that are capable of adapting and operating in different field conditions. Lack of commitment and inadequate maintenance personnel are the main problems to solve this difficulty (Abadia, 2018). Another important aspect considered by this author is the handling and assembly of the base-cutter blades (Figure 9), which combined with the inadequate cutting height and inadequate angulation of the base-cutter disc, in addition to generating incorporation of foreign matter in soil and stumps up to 0,5% and crushing losses of up to 0,6 tons of cane per hectare, contributes to the accelerated wear of the mimes. In the same way, a longer cutter-blade (Figure 10), avoids the contact of the disc with the ground, the removal of stumps and bursting of the cane and favors an optimal use of the edge that increases the useful life of the tool.

sin desgarramiento y sin roturas y las fuerzas de resistencia al corte disminuyen. Cuando hay un exceso de velocidad ocurren obstrucciones, caña dañada, troncos cortos, poca extracción de residuos y motor sobrecargado. Además, según Valdés *et al.* (2009) la energía específica consumida durante el corte de los tallos disminuye en la medida que aumenta la velocidad de corte, presentándose una tendencia asintótica a partir de los 20 hasta 30 m/s.

El ángulo de inclinación del disco de corte base. Cuando el ángulo de inclinación del disco de corte base es incorrecto, ocurre un gran desgaste en los segmentos de corte, daño a las cepas y caña dejada en el campo. Los ángulos de corte del cortador base deben corresponder a las condiciones especiales del campo, pues ningún cultivo es totalmente uniforme (Figura 8). Será necesario, entonces, tener operadores que sean capaces de adaptarse y operar en diferentes condiciones de campo. La falta de compromiso y personal inadecuado de mantenimiento son los principales problemas para solucionar esta dificultad (Abadia, 2018).

Otro aspecto importante que considera este autor es el manejo y montaje de los segmentos de corte base (Figura 9), que combinado con la altura de corte inadecuada y una angulación inadecuada del cortador base, además de generar incorporaciones de materia extraña en tierra y cepas de hasta 0,5% y pérdidas por machucamiento de hasta 0,6 toneladas de caña por hectárea, contribuye al acelerado desgaste de los mimos.

De igual modo, un segmento de corte más largo (Figura 10), evita el contacto del disco con el suelo, la arrancada de cepas y estallamiento de la caña y favorece un óptimo aprovechamiento del filo que incrementa la vida útil de la herramienta.



FIGURE 8. Recommended magnitudes of the base-cutter angles (Abadia, 2018).

FIGURE 8. Recommended magnitudes of the base-cutter angles (Abadia, 2018).



FIGURE 9. Wear at the rounded ends: a) Due to inadequate cutting height; b) Due to inadequate angulation.

It should not be cut with the tip of the blade (Abadia, 2018).

FIGURA 9. Desgaste en los extremos redondeados: a) Por altura de corte inadecuada; b) Por angulación inadecuada.

No se debe cortar con la punta de los segmentos (Abadia, 2018).

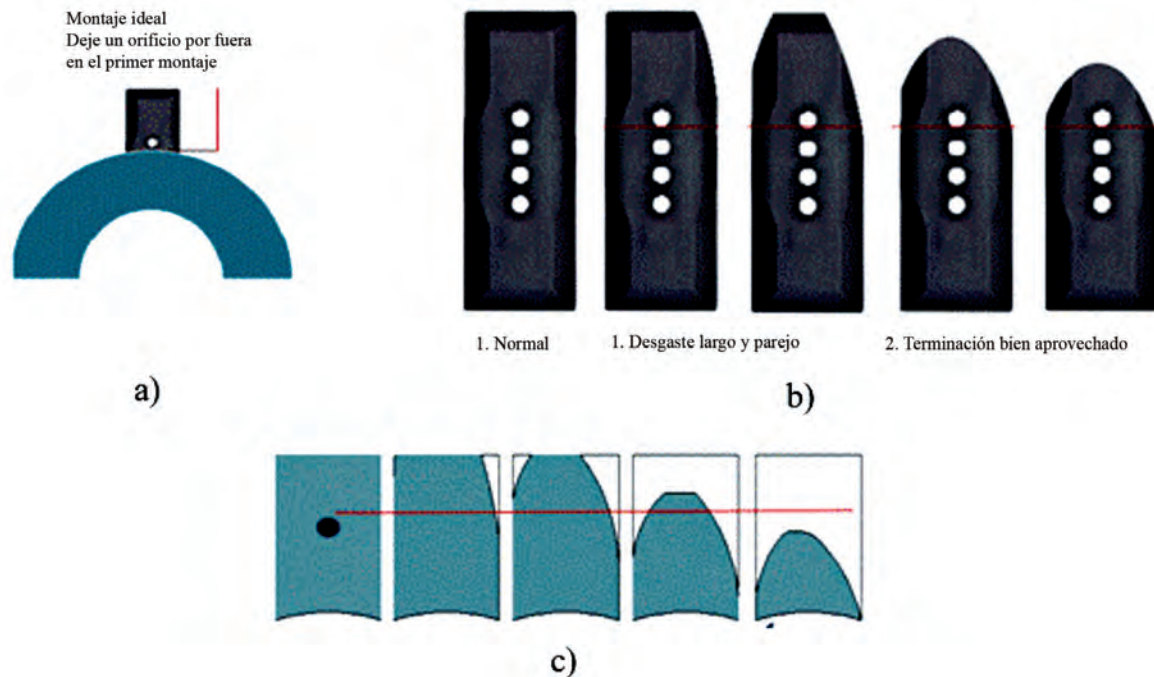


FIGURE 10. Handling and assembly of the base cutter-blades: a) Ideal assembly, b) Wear and completion of the base cutter-blades used correctly, c) Wear and inadequate completion of the base cutter-blades (Abadia, 2018).

FIGURA 10. Manejo y montaje de los segmentos de corte base: a) Montaje ideal, b) Desgaste y terminación de los segmentos de corte base utilizados correctamente, c) Desgaste y terminación inadecuada de los segmentos de corte base (Abadia, 2018).

CONCLUSIONS

- Current harvesters use a base cutting mechanism with a rotating disc that cuts without support and by impact of the sugarcane stalks, where three regions are distinguished: the initial development of the cut (the cutting process occurs, the force cutting reaches the maximum value and the stem structure is destroyed); shear deformation of the cross section of the stem (the cutting action and the advance of the tool occur simultaneously and the cutting force decreases sharply with the progressive decrease of the cutting area); the moment after cutting (the stem is completely cut and the magnitude of the cutting force drops suddenly).
- Abrasive wear is the main phenomenon that threatens the durability of the base cutter-blade of sugarcane harvesters, so it is necessary to consider, during the cutting process, a group of factors such as: the thermal process of manufacture and geometry of the blades; the properties and variety of the cut cane; the field conditions and leveling; cutting speed; the angle of inclination of the base cutting disc and the handling and assembly of the segments, to reduce the effects on the performance of these tools and favor the increase of their durability.

AUTHOR CONTRIBUTIONS:

Conceptualization: R. A. Pérez. Data curation: R. A. Pérez, L. A. Dquinta. Formal analysis: R. A. Pérez, L. A. Dquinta, J. D. Bonilla, C. A. Recarey, O. H. Rodríguez, J. Águila. Investigation: R. A. Pérez, L. A. Dquinta, J. D. Bonilla, C.A. Recarey, O. H. Rodríguez, J. Águila. Methodology: R. A.

CONCLUSIONES

- Las cosechadoras actuales utilizan mecanismo de corte base con disco giratorio que realizan el corte sin apoyo y por impacto de los tallos de caña de azúcar, donde se distinguen tres regiones: el desarrollo inicial del corte (se produce el proceso de corte, la fuerza de corte alcanza el valor máximo y la estructura del tallo es destruida); la deformación por corte de la sección transversal del tallo (la acción del corte y el avance de la herramienta suceden simultáneamente y la fuerza de corte decrece bruscamente con la disminución progresiva del área de corte); el momento posterior al corte (el tallo queda completamente cortado y la magnitud de la fuerza de corte cae repentinamente).
- El desgaste abrasivo es el principal fenómeno que atenta contra la durabilidad de los segmentos de corte base de las cosechadoras de caña de azúcar, por lo que se hace necesario considerar, durante el proceso de corte, un grupo de factores como: el proceso térmico de fabricación y geometría de las cuchillas; las propiedades y variedad de la caña cortada; las condiciones y nivelación del campo; la velocidad de corte; el ángulo de inclinación del disco de corte base y el manejo y montaje de los segmentos, para disminuir las afectaciones en el desempeño de estas herramientas y favorecer el incremento de la durabilidad de las mismas.

AUTHOR CONTRIBUTIONS:

Conceptualization: R. A. Pérez. Data curation: R. A. Pérez, L. A. Dquinta. Formal analysis: R. A. Pérez, L. A. Dquinta, J. D. Bonilla, C. A. Recarey, O. H. Rodríguez, J. Águila. Investigation: R. A. Pérez, L. A. Dquinta, J. D. Bonilla, C.A. Recarey, O. H. Rodríguez, J. Águila. Methodology: R. A. Pérez, L. A. Dquinta, J. D. Bonilla, C.A. Recarey, O. H. Rodríguez, J. Águila.

Pérez, L. A. Dquinta, J. D. Bonilla, C.A. Recarey, O. H. Rodríguez, J. Águila. Project administration: L. A. Dquinta, R. A. Pérez. Supervision: R. A. Pérez. Validation: R. A. Pérez, L. A. Dquinta, J. D. Bonilla. Roles/Writing, original draft: R. A. Pérez. Writing, review & editing: L. A. Daquinta, J. D. Bonilla, C.A. Recarey, O. H. Rodríguez, J. Águila.

Project administration: L. A. Dquinta, R. A. Pérez. Supervision: R. A. Pérez. Validation: R. A. Pérez, L. A. Dquinta, J. D. Bonilla. Roles/Writing, original draft: R. A. Pérez. Writing, review & editing: L. A. Daquinta, J. D. Bonilla, C.A. Recarey, O. H. Rodríguez, J. Águila...

REFERENCES

- ABADIA, R.L.A.: "La cosecha mecanizada de caña de azúcar. Apuntes básicos de mejoramiento", [en línea], En: *Conferencia Red agrícola Trujillo-Perú, agosto, 2018*, Trujillo, Perú, 2018, Disponible en: <https://www.redagricola.com/pe/assets/uploads/2018/08/1--luis-armando-abadia-optimizacion-de-cosecha-mecanica-de-cana-de-azucar.pdf>, [Consulta: 21 de octubre de 2019].
- ABDALLAH, M.Z.E.-D.; SAAD, F.A.; WALEED, M.H.; ABDALLAH, E.E.: "Review of some parameters related to the base-cutter of sugarcane harvesters", *Misr journal of Agricultural Engineering*, 37(4): 325-330, 2020, ISSN: 1687-384X, e-ISSN: 2636-3062, DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/mjae.2020.47247.1012>.
- ABD-EL, M.H.A.; HEMEIDA, B.E.: "Sugarcane mechanical harvesting-evaluation of local applications", *J. Soil Sci. and Agric. Eng.*, 6(1): 129-141, 2015.
- ÁGUILA, J.G.: *Tecnología de fabricación de los segmentos de corte inferior y las cuchillas del aparato trozador de las cosechadoras CASE IH-A7000 en las condiciones de Cuba*, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Tesis (en opción al grado de Ingeniero en Mecanización de la Producción Agropecuaria), Ciego de Ávila, Cuba, 2010.
- CHEN, Y.; GRATTON, J.L.; LIU, J.: "Power requirements of hemp cutting and conditioning", *Biosystems Engineering*, 87(4): 417-424, 2004, ISSN: 1537-5110.
- DAQUINTA, G.L.A.: "Nueva tecnología para la fabricación de la cuchilla del aparato de corte inferior de las cosechadoras de caña KTP", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 5(1): 64-67, 1995, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- DAQUINTA, G.L.A.; DOMINGUEZ, B.J.; PÉREZ, P.O.; FERNÁNDEZ, S.M.: "Indicadores técnicos y de explotación de las cosechadoras de caña de azúcar CASE-IH 7000 y 8000 en la provincia de Ciego de Ávila", *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(3): 3-8, 2014, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- DE ALMEIDA, S.M.; DE ALMEIDA SILVA, de H.; PEREIRA, M.M.; G H; DE MORAES, B.A.; BIANCHI, L.: "Base cut quality and productivity of mechanically harvested sugarcane", *Sugar Tech*, 22(2): 284-290, 2020, ISSN: 0974-0740.
- DE TOLEDO, A.; DA SILVA, R.P.; FURLANI, A.C.E.: "Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane", *Scientia Agrícola*, 70: 384-389, 2013, ISSN: 0103-9016.
- DÍAZ, A.; IGLESIAS, C.C.E.: "Determinación de las propiedades físico-mecánicas de la caña de azúcar como objeto de la extracción de su jugo para la producción de panela", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(2): 18-22, 2014, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- FIELKE, M.J.; RILEY, T.W.; STATTEY, M.G.; FITZPATRICK, R.W.: "Comparison o tillage forces and wear rates of pressed and cast cultivador shares", *Soil & Tillage Research*, 25: 317-328, Elsevier Scienc publishers B. V., Ámsterdam, 1993.
- GONZÁLEZ, S.H.A.; TORO, B.A.; ÁLVAREZ, M.F.; CORTÉS, M.E.A.: "Correlación entre propiedades anatómicas, resistencia a flexión estática y energía requerida para el corte de la caña de azúcar (saccharum officinarum L.)", *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(2): 4709-4720, 2008, ISSN: 0304-2847.
- GUARNIERI, A.; MAGLIONI, C.; MOLARI, G.: "Dynamic analysis of reciprocating single-blade cutter bars", *Transactions of the ASABE*, 50(3): 755-764, 2007.
- HU, D.F.; ZHENG, Y.F.; ZHAO, Y.: "Movement Simulation of Sugarcane Harvester Cutter Based on ANSYS/LS-DYNA", [en línea], En: *International Conference on Engineering Science and Management (ESM)*, Ed. Atlantis Press, pp. 0268-0271, 2016, Disponible en: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/esm-16/25859574>, [Consulta: 21 de enero de 2018].
- JAMADAR, V.; SAWAR, A.; POL, H.; DESHPANDE, N.; SAWANT, S.; PATIL, V.: "Sugarcane cutting machine", *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 4, 2017.
- KROES, S.: *The cutting of sugarcane*, University of Southern Queensland, PhD diss., Toowoomba, Queensland, Australia, 1997.
- MA, S.; KARKEE, M.; SCHARF, P.A.; ZHANG, Q.: "Sugarcane harvester technology: a critical overview", *Applied engineering in agriculture*, 30(5): 727-739, 2014, ISSN: 0883-8542.
- MA, S.; SCHARF, P.; ZHANG, Q.; KARKEE, M.; TONG, J.; YU, L.: "Effect of cane stool density and stubble height on sugarcane stubble damage in Hawaii fields", *Transactions of the ASABE*, 59(3): 813-820, 2016, ISSN: 2151-0032, DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/trans.59.11334>.
- MANHÃES, C.C.M.; GARCIA, F.R.; FRANCELINO, A.N.F.M.; JUNIOR, C.D.; SOLANO, S.C.; DE OLIVEIRA FRANCELINO, H.: "Visible losses in mechanized harvesting of sugarcane using the Case IH A4000 harvester", *American Journal of Plant Sciences*, 5(18): 27-34, 2014, ISSN: 2158-2750.
- MATHANKER, S.K.; GRIFT, T.E.; HANSEN, A.C.: "Effect of blade oblique angle and cutting speed on cutting energy for energycane stems", *Biosystems Engineering*, 133: 64-70, 2015, ISSN: 1537-5110, e-ISSN-1537-5129.
- MATOS, R.N.; GARCÍA, C.E.; GONZÁLEZ, G.J.R.: "Evaluación técnica y de explotación de las cosechadoras de caña Case-7 000", *Revista*

- Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(4): 06-09, 2010, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- MAX, G.J.; PÉREZ, P.R.; PÉREZ, G.J.N.: “Evaluación del corte basal de la cosechadora C-4000 con cuchillas de tres filos”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1): 20-30, 2012, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- MELLO, R. da C.: “Effect of blade shape and speed on cutting forces for sugar cane.”, *Acta Scientiarum-Agronomy*, 27(4): 661-665, 2005, ISSN: 1679-9275.
- MELLO, R. da C.; HARRIS, H.: “Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-de-açúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(2): 355-358, 2003, ISSN: 1807-1929.
- MOMIN, M.A.; WEMPE, P.A.; GRIFT, T.E.; HANSEN, A.C.: “Effects of four base cutter blade designs on sugarcane stem cut quality”, *Transactions of the ASABE*, 60(5): 1551-1560, 2017, ISSN: 2151-0040.
- NARIMOTO, L.R.; BURGESS, L.R.: “Sugar-cane harvesting machine design in the field”, [en línea], En: *Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA, Melbourne, 9-14 August 2015*, Ed. International Ergonomics Association, Melbourne, Australia, 2015, Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Sugar-cane-harvesting-machine-design-%27in-the-field%27-Narimoto-Burgess-Limerick/c45e352b7d-8234250fec8d273c1be88fd1ed2e7d..>
- PATIL, M.; PATIL, P.D.: “Optimization of blade angle for cutting system of sugar cane harvester”, *International Indexed & Refereed Research Journal*, 42(4): 49-52, 2013.
- PÉREZ, R.R.A.; DAQUINTA, G.L.A.; BONILLA, R.J.D.; RECAREY, M.C.A.; PÉREZ, O.C.B.; GÓMEZ, B.J.E.: “Desempeño de los segmentos de corte base en las cosechadoras de caña de azúcar Case-IH 7000”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(3): 15-23, 2018, ISSN: 2071-0054.
- PERSSON, S.: “Basic force, stress, and energy concepts”, En: *Mechanics of cutting plant material, Chapter 6*, ser. ASAE, vol. I, St. Joseph, Mich., USA, pp. 125-265, 1987.
- REZENDE, S.A.A.: *Simulação numérica aplicada ao corte basal dos colmos de cana-de-açúcar*, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação para a obtenção do título de Mestre, Lavras-MG, Brasil, 88 p., 2020.
- SHEN, C.; CHEN, Q.M.; LI, X.W.; TIAN, K.P.; HUANG, J.C.; ZHANG, B.: “Experimental analysis on single-stalk cutting of hemp”, *International Agricultural Engineering Journal*, 25(4): 187-196, 2016, ISSN: 0858-2114.
- SITKEI, G.: “Cutting of agricultural materials”, En: *Mechanics of agricultural materials*, Amsterdam, The Netherlands, pp. 439-457, Elsevier, Chapter 17, 1986.
- SRIVASTAVA, A.K.; GOERING, C.; ROHRBACH, R.P.; BUCKMASTER, D.R.: *Engineering principles of agricultural machines*, Inst. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI, USA, publisher: American society of agricultural engineers St. Joseph, 1993.
- TAHSIN, M.D.; NAIK, R.; RAI, D.: “Design and Development of Low Cost Sugarcane Harvester for Chhattisgarh Region”, *Advances in Life Sciences*, 5(18): 7681-7687, 2016, ISSN: 2278-3849.
- VALDÉS, H.P.A.; GONZÁLEZ, D.; MARTÍNEZ, A.: “Determinación experimental de propiedades físico-mecánicas de la caña de azúcar para su procesamiento en molinos forrajeros”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(2): 1-6, 2008, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- VALDÉS, H.P.A.; MARTÍNEZ, R.A.; AJALLA, R.; BRITO, R.E.; ALBÓNIGA, G.R.: “Influencia del ángulo de deslizamiento y la velocidad de la cuchilla sobre la energía específica durante el corte de tallos de caña de azúcar”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(1): 21-26, 2009, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VALEIRO, A.; BIAGGI, C.: *Revisión crítica de la evolución tecnológica de la cosecha de la caña de azúcar en la Argentina*, Revisiones-RIA, Trabajos en prensa, 2019.
- ZASTEMPOWSKI, M.; BOCHAT, A.: “Modeling of Cutting Process by the Shear-Finger Cutting Block”, *Applied Engineering in Agriculture*, 30(3): 347-353, 2014, ISSN: 0883-8542.

Rigoberto Antonio Pérez-Reyes, Profesor Auxiliar, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Facultad de Ciencias Técnicas, Ciego de Ávila, Cuba. Carretera a Morón km 9½, CP: 65 300, Teléfono (33) 21 7009, Fax 53 33 225768, e-mail: rigobertopr@unica.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9265-5535>
 Lázaro Antonio Daquinta-Gradaille e-mail: daquintagradaille@gmail.com ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7723-5324>

Jorge Douglas Bonilla Rocha, e-mail: jorgedbr@unica.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6250-1885>

Carlos Alexander Recarey-Morfa, e-mail: recarey@uclv.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0408-4032>

Omar Hilario Rodríguez-Aguilar, e-mail: omarr@unica.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5151-4584>

Julio Águila-Gómez: e-mail: julio@unica.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3577-1668>

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.