

EFICIENCIA EN EL USO DE COMBUSTIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) EN LA REGIÓN GOLFO DE MÉXICO

EFFICIENCY IN THE USE OF FUEL FOR SUGAR CANE (*Saccharum* spp.) PRODUCTION IN THE GULF OF MEXICO REGION

Debernardi de la Vequia, H.*; Ortiz-Laurel, H.; Rosas-Calleja, D.

Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 94946.

*Autor de correspondencia: debernardi@colpos.mx

RESUMEN

La cantidad de combustible diesel utilizado en los procesos productivos de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) impacta significativamente en los costos de producción del cultivo. En este estudio se comparó la cantidad de diesel consumido en producir, cosechar y transportar caña de azúcar en 14 ingenios azucareros de la región Golfo durante la zafra 2014-2015. Los tractores y alzadoras consumieron un promedio de 316 g kW h⁻¹, mientras que las unidades de transporte de tallos tipo "torton" tuvieron un rendimiento de 2551 g km⁻¹. El Ingenio Central Progreso fue el mayor consumidor de diesel, con 196.3 L ha⁻¹, mientras que el menor fue El San Pedro con 36.9 L ha⁻¹. Respecto al rendimiento promedio de caña, el diesel utilizado por Central Progreso fue de 3.4 L t⁻¹ de caña, mientras que San Pedro consumió 0.62 L t⁻¹, representando 18.2 %. Respecto al traslado de la caña, el consumo promedio en los 14 ingenios fue de 2.5 L km⁻¹, mientras que en alce de caña se consumieron 0.4 L t⁻¹. La cantidad de diesel consumido fue significativo y se debe a la obsolescencia y escaso mantenimiento de las unidades automotores en campo y de transporte, labores inadecuadas y excesivas al carecer de tecnologías más eficientes, y con las que se promuevan prácticas agrícolas innovadoras y sustentables en la producción del cultivo.

Palabras clave: innovación, eficiencia por uso de combustible, costos de producción, transporte, labores culturales.

ABSTRACT

The amount of diesel fuel used in sugar cane (*Saccharum* spp.) productive processes impacts significantly the production costs of the crop. In this study the amount of diesel consumed in the production, harvest and transport of sugar cane by 14 sugar factories in the Gulf region during the 2014-2015 sugar harvest was compared. The tractors and cane loader machines consumed an average of 316 g kW h⁻¹, while the "torton" type transport units had a yield of 2551 g km⁻¹. The sugar factory, Central Progreso, had the highest diesel consumption with 196.3 L ha⁻¹, while El San Pedro had the lowest with 36.9 L ha⁻¹. Regarding the average cane yield, the diesel used by Central Progreso was 3.4 L t⁻¹ of cane, while San Pedro consumed 0.62 L t⁻¹, representing 18.2 %. With regard to cane transport, the average consumption in the 14 sugar factories was 2.5 L km⁻¹, while 0.4 L t⁻¹ was consumed in cane lifting. The amount of diesel consumed was significant and is due to the obsolescence and scarce maintenance of the automotive units in the field and for transport, inadequate farming tasks, and excessive because they lack more efficient technologies, and with which innovating and sustainable practices in the crop production can be promoted.

Keywords: innovation, efficiency from fuel use, production costs, transport, farming tasks.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 11, noviembre. 2017. pp: 81-86.

Recibido: mayo, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

La cantidad de combustible utilizado en las operaciones mecanizadas para la producción de caña de azúcar; desde la preparación de suelos, siembra, aplicación de agroquímicos, cosecha y transporte, está influenciada significativamente por cuatro factores: las condiciones mecánicas y de logística operativas de los automotores utilizados en campo y de transporte, empleados tanto en la preparación del suelo como en la cosecha del cultivo; la variabilidad en el trayecto a recorrer para trasladar la caña cosechada del campo al ingenio; el tamaño de los predios cañeros; y la presencia de piedras en el campo, tanto en cantidad como en tamaño. La zona productiva de caña de azúcar de la región Golfo la integran 18 ingenios azucareros, que en conjunto suman una superficie de 320 279 ha, la cual representa 41 % del nacional, donde 75 % de los predios tienen una superficie de cuatro hectáreas o menos. Durante la zafra 2014-2015 se molieron 18 475 005 t de caña de azúcar, de las cuales 7.14 % se cosechó mecánicamente, dando lugar a un rendimiento promedio de 57.7 t ha⁻¹, inferior a la media nacional (CONADESUCA, 2015). Igualmente, se dispone de un parque vehicular automotor para transporte de 4002, entre camiones para cargar de entre 10 y 25 t, y tracto-camiones para arrastre de remolques para carga de hasta 35 t. En automotores de campo se dispone de 1277 tractores agrícolas de diferentes capacidades, principalmente para labores agrícolas, 884 cargadoras de caña y 61 cosechadoras autopropulsadas (Mejía-Saenz *et al.*, 2010). En América Latina y Sudáfrica el consumo promedio de diesel por camiones del tipo "torton" es de 2.5 km L⁻¹, que transformados a potencia efectiva corresponden a 0.345 L kWh⁻¹. Este consumo específico es representativo en unidades con excelentes condiciones mecánicas del motor y transmisión (Grisso *et al.*, 2007). Respecto al traslado de los tallos del campo hacia el Ingenio se pueden enumerar por deficiencias de que adolecen una alta proporción del parque vehicular, tales como las unidades con muchos años de servicio, contaminantes, con escaso mantenimiento en sus componentes de transmisión y motriz, además de la importancia de la distancia de acarreo de la caña desde el campo hacia el ingenio (Chetthamrongchai *et al.*, 2001; De Faria y Da Silva, 2015). En esta región la longitud del trayecto promedio a recorrer es de alrededor de 32 km, donde esas unidades pueden alcanzar velocidades de 40 a 70 km h⁻¹ y, para finalizar, examinar la importante aportación del grupo de alzadoras de caña al flujo de la carga hacia las factorías, lo cual repercute en su eficien-

cia, consumo de combustible y afectaciones grupales al costo de producción del cultivo (Dines *et al.*, 2012; Scheidl *et al.*, 2015). Lo anterior abre la oportunidad de proponer estrategias de optimización de la eficiencia de uso, reducir derroches, disminuir los costos de producción y centrar nuevos objetivos hacia una industria más eco-compatible. Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la cantidad de combustible diesel utilizado por los diferentes entes implicados para realizar las labores de campo, cosecha y traslado de caña de azúcar, dentro de las superficies productivas que abastecen a las diferentes factorías azucareras de la Región Golfo de México y su relación con la productividad del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se aplicaron cuestionarios para la recolecta de información sobre el carácter productivo del cultivo de caña de azúcar en 14 factorías de azúcar de la Región Golfo de México, asociadas a registros sobre el consumo de combustible diesel por las unidades automotores que se utilizan en diferentes labores agrícolas, así como en la cosecha del cultivo en ciclos planta y resoca (Debernardi de la Vequia *et al.*, 2016). Es conveniente aclarar que en el trabajo no se consideró a las cosechadoras autopropulsadas, debido a la escasa e inconsistente información obtenida. Para los cuestionarios se fijaron entrevistas aleatorias con productores, personal técnico de los Ingenios cooperantes y operadores de las unidades de transporte, incluyendo todos los aspectos posibles del estado de la mecanización en labores de campo y cosecha de la caña, además de su traslado al ingenio, donde el parámetro principal fue el registro de la cantidad de combustible utilizado (Ahmed y Alam-Eldin, 2015). Las labores mecanizadas de campo fueron: destrucción y arranque de cepa, aradura, subsoleo, rastreo-paso 1, rastreo-paso 2, surcado, cultivo-1-plantilla, cultivo D-F (despacho-fertilización), (Figura 1 A-B). Igualmente, se registraron datos sobre las funciones operativas y de consumo de combustible de las alzadoras de caña (Figura 1 C-D) y de los camiones de transporte.

Los productores de caña de azúcar, arrendadores de maquinaria agrícola y transportistas entrevistados están afiliados a los ingenios: San Miguelito, El Carmen, Central Progreso, La Providencia, Central Motzorongo, Constancia, La Margarita, El Refugio, Tres Valles, Potrero, San Pedro, La Gloria, El Modelo y Mahuixtlán (Figura 2).



Figura 1. Automotores agrícolas con equipos para realizar labores culturales al cultivo de la caña de azúcar.

En la misma Figura 2 se muestran las coordenadas de la ubicación geoespacial de la región Golfo productora de caña de azúcar.

Para el acarreo de caña desde el campo hacia el Ingenio el registro del consumo de combustible se contabilizó con base en camiones tipo "torton" o de doble eje trasero tipo tándem, con una capacidad promedio de carga de 20 a 25 toneladas y cuyo consumo promedio de diesel registrado fue de $2.5 \text{ km} \cdot \text{L}^{-1}$ (Figura 3).

Es importante señalar que no se consideró en el estudio el tipo y calidad de los caminos, así como de la topografía sobre las que se sitúan las superficies cultivadas que abastecen a cada factoría, ya que el propósito del estudio fue ofrecer un primer panorama del estatus sobre el consumo de diésel y, con base en los resultados, ofrecer rutas de seguimiento que coadyuven a una producción rentable y sustentable de la caña

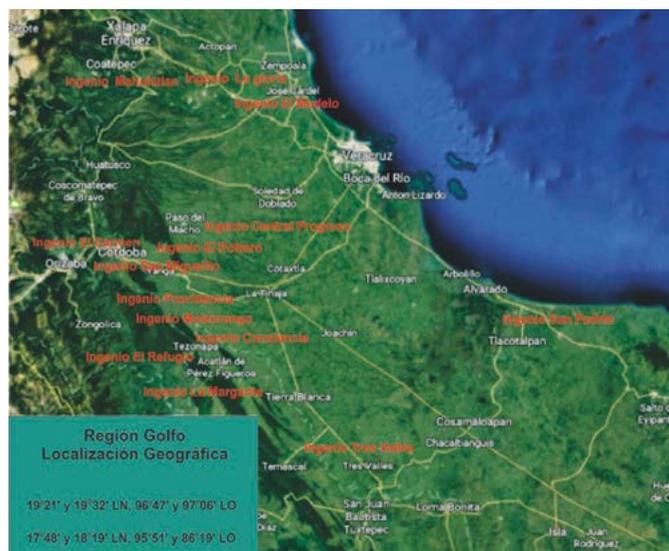


Figura 2. Ingenios azucareros de la Región Golfo consultados para este estudio.

de azúcar (Braunbeck y Albrecht-Neto, 2014; Inderbitzin y Beattie, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las labores de campo generalizadas y más importantes son el cultivo y el despacho o labor combinada (dos labores de cultivo+fertilización). Estas se realizan de forma mecánica en 75 % de la superficie de la región para el ciclo soca. En la Figura 4 se sintetiza el consumo de combustible para realizar esas labores por cada factoría azuca-

ra. La factoría con mayor consumo de combustible diesel en realizar esas dos labores fue el Ingenio Central Progreso con 3.40 L t^{-1} de caña molida y el de menor consumo fue Ingenio El Modelo con 0.54 L t^{-1} . Destaca para Ingenio Central Progreso que 15 % de la superficie en producción es irrigada, y muestra orografía más accidentada y pedregosidad (de mediana a alta) en 77 % de los terrenos. Estos últimos factores en conjunto colapsan el rendimiento operativo de la factoría a 1 ha día^{-1} , e igualmente contribuyen a registrar menores rendimientos de producción respecto a la media nacional (56.51 t ha^{-1} , zafra 2014/2015). El Ingenio El Modelo dispone de riego en 95 % de su superficie productiva, una orografía tipo planicie con superficies cañeras ligeramente mayores a la media nacional y cuyos terrenos presentan escasa o nula pedregosidad. Lo anterior le confiere rendimientos operativos promedio de 4 ha día^{-1} , que asociado a sus altos rendimientos de producción (82.95 t ha^{-1} , zafra 2014/2015), le confieren



Figura 3. Configuraciones básicas de los camiones de carga tipo "torton".

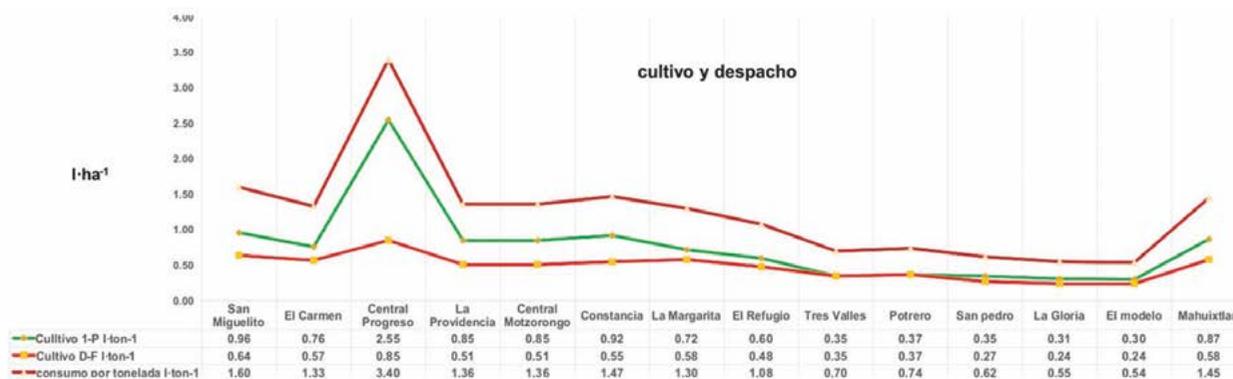


Figura 4. Consumo de combustible para las labores de cultivo y despacho en socas en la región Golfo.

destacada eficiencia en el uso de combustible.

Otro aspecto a destacar es el tamaño de los equipos de campo y no exactamente vinculados con la potencia de los tractores, ya que un alto porcentaje de los que operan

en la región Golfo son de 71 kW [95 hp] y con un consumo promedio de diesel de 12.2 L h⁻¹, evaluado dentro del área cañera del Ingenio Central Progreso. Por las características de su enclave se registran pérdidas operativas de alrededor de 20 %, lo que eleva el consumo de combus-

tible para las labores culturales mecanizadas a 122 L ha⁻¹, lo que resulta en 2.2 L t⁻¹ de caña molida para cada labor. La Figura 5 muestra un comportamiento similar respecto a la cantidad de diésel utilizado para labores agrícolas que lo indicado en la Figura 4, aunque en este caso las

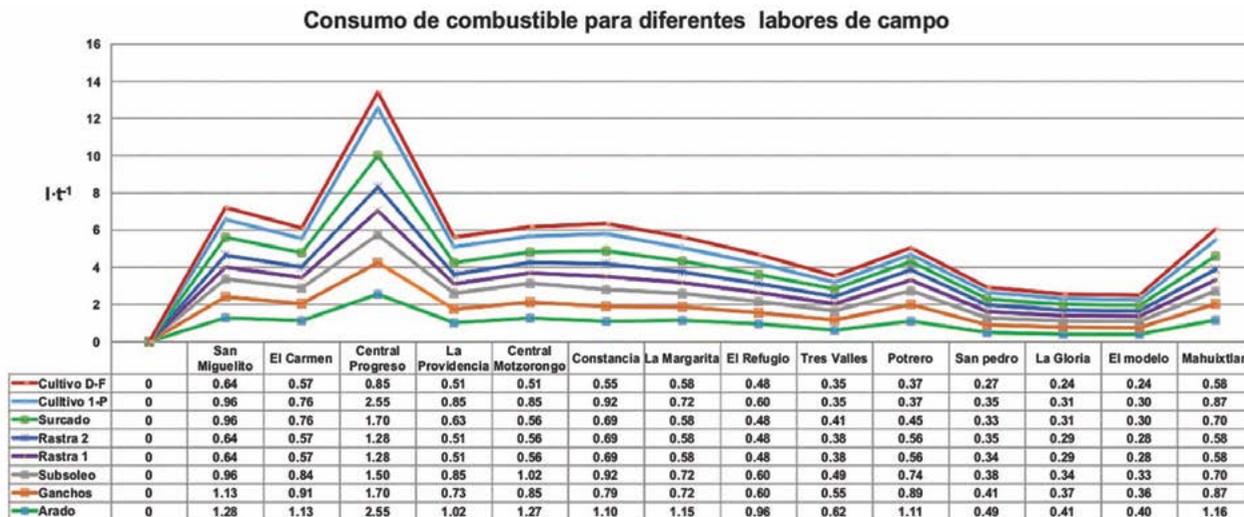


Figura 5. Consumo de combustible para la siembra de plantillas.

cantidades son mayores puesto que se refieren a siembras nuevas (superficies que se incorporan al proceso productivo de caña) y de reemplazo (renovación de cañaverales), es decir, que ambos entran al grupo de ciclo planta. Aquí, es conveniente señalar que el tamaño de la superficie sembrada para esta variable obedece a políticas productivas de cada ingenio asociadas a la capacidad de molienda de la factoría y a los niveles de productividad en campo (Vilailucka *et al.*, 2016). En la contabilización se observa que el mayor consumo de combustible fue para Ingenio Central Progreso con 13.4 L t^{-1} de caña molida, mientras que el menor consumidor de diesel fue Ingenio El Modelo con 2.5 L t^{-1} de caña molida.

En el cálculo anterior se incluyen todas las labores culturales que se realizan en la producción del cultivo (algunas se duplican) con equipo acoplado al tractor agrícola. Así que, analizando la información de los cuestionarios se desprende que un alto porcentaje, tanto de tractores como de alzadoras empleadas, se encuentra con un grado avanzado de obsolescencia, por lo que el consumo promedio de diesel fue de 316 g kW-h^{-1} . Es importante señalar que un alto porcentaje de las máquinas alzadoras son en realidad tractores agrícolas modificados para realizar exclusivamente la tarea de carga (Mejía Saenz *et al.*, 2010), por lo que su eficiencia productiva dependerá mucho del diseño de los mecanismos para ejecutar la tarea de carga, de la facilidad de su movilidad en el campo, y de la rapidez de actuación del operador, que combinados tendrán un efecto sobre la eficiencia del uso de combustible (Inderbitzin y Beattie, 2012).

La Figura 6 muestra la cantidad de diesel consumido por las máquinas alzadoras de caña, y del transporte de los tallos. Se observa que la factoría con el mayor consumo conjunto fue el Ingenio El Carmen con 3.34 L t^{-1} de caña molida, mientras que el menor consumidor fue Ingenio San Pedro con 2.07 L t^{-1} . Un aspecto importante a destacar es la distancia a recorrer dentro de las zonas de abasto hacia los Ingenios, ya que en el Ingenio El Carmen el trayecto a recorrer promedio es de 65.0 km , mientras que para el Ingenio San Pedro la distancia promedio es de 32.5 km . En las alzadoras de caña con una edad hasta de cinco años el consumo promedio de diesel contabilizado es de 236 g kW-h . En la región de estudio este grupo representó 25% del total de estos equipos; el resto presenta graves signos de envejecimiento debido a un mantenimiento básico a sus unidades de transmisión y motriz,

en parte a su descapitalización, ya que para ser rentable debiera asignárseles una cuota de 300 t día^{-1} por frente de corte cuando en la realidad solo se llega a 160 t día^{-1} , así que para este grupo en general el consumo promedio de diesel es superior a los 316 g kW-h^{-1} . Aunque no se realizó una evaluación integral de la influencia del tamaño de los predios cañeros sobre el consumo de combustible de los automotores agrícolas es conveniente señalar que si el terreno además de pequeño es de configuración irregular, con pendientes y con suelos pobres, son factores asociados a la baja productividad, por lo que es de suponer que los rendimientos serán bajos y se agrava el problema de un consumo alto de combustible por tonelada producida (Helenice de Oliveira *et al.*, 2015; Vilailucka *et al.*, 2016). El caso representativo es el Ingenio El Carmen, donde el tamaño promedio de los predios es de 3.5 ha y con gradientes promedio que oscilan desde 3% a 15% .

CONCLUSIONES

El Ingenio Central Progreso fue el mayor consumidor de diesel en realizar las labores agrícolas mecanizadas en ciclo planta con 13.7 L t^{-1} de caña molida, mientras que el menor fue Ingenio El Modelo, con 2.49 L t^{-1} .

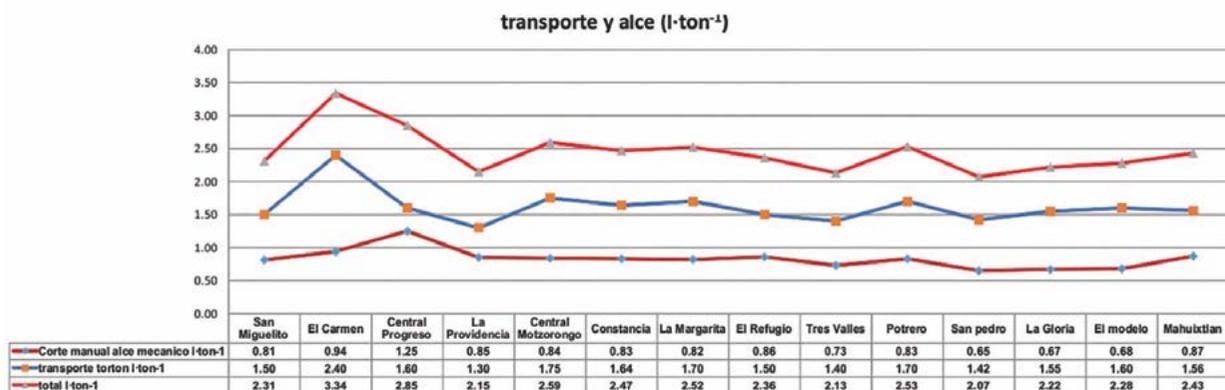


Figura 6. Consumo de diesel durante el transporte y de las alzadoras de caña.

En el ciclo de soca el consumo de combustible mostró tendencias similares; el valor más alto fue para Ingenio Central Progreso con 3.40 L t^{-1} . Cuando el Ingenio El Modelo cuantificó el menor consumo con 0.54 L t^{-1} respecto al alce mecánico de la caña, la cantidad promedio de diesel utilizado fue de 0.6 L t^{-1} de caña molida. Finalmente, el rendimiento en consumo de diesel por los camiones "tipo torton" fue de 2.5 km L^{-1} , considerando un consumo óptimo de 0.5 L t^{-1} de caña molida en el recorrido de trayectos no mayores a 25 km. La factoría que cuantificó el mayor consumo en transportar la caña cosechada fue Ingenio El Carmen con 3.34 L t^{-1} , mientras que Ingenio San Pedro fue el que registró el menor consumo, con 2.07 L t^{-1} de caña transportada.

LITERATURA CITADA

- Ahmed A.E., Alam-Eldin A.O.M. 2015. An assessment of mechanical vs manual harvesting of the sugarcane in Sudan-The case of Sennar Sugar Factory. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 14(2): 160-166.
- Braunbeck O.A., Albrecht Neto E. 2014. Transport logistics of raw material and waste of sugarcane. *In: Sugarcane bioethanol: R&D for Productivity and Sustainability*. Barbosa Cortez L.A. (Coord). Ed. Blucher. São Paulo, Brazil. pp. 487-504.
- Chetthamrongchai P., Auansakul A., Supawan D. 2001. Assessing the transportation problems of the sugar cane industry in Thailand. *Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific* No. 70. 31-40.
- CONADESUCA. 2015. Informe Estadístico del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar. Zafra 2008/09 – 2014/15. SAGARPA. México. 548 p.
- Debernardi de la Vequia H., Ortiz Laurel H., Rosas Calleja D. 2016. Energía disponible a partir de biomasa de residuos de caña de azúcar (*Saccharum* ssp). *Agroproductividad* 9: 68-73.
- De Faria L.F.F., Da Silva J.E.A.R. 2015. Effects of maintenance management procedures in sugarcane mechanic harvesting system equipment. *Eng. Agríc., Jaboticabal* 35: 1187-1197.
- Dines G., Rae S.M., Henderson C. 2012. Sugarcane harvest and transport management: a proven whole-of-systems approach that delivers least cost and maximum productivity. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology* 34: 1-9.
- Grisso R.D., Perumpral J.V., Zoz F.M. 2007. Spreadsheet for matching tractors and drawn implements. *Applied Engineering in Agriculture* 23: 259-265.
- de Oliveira Florentino H., Vaz Pato M., Jones D., Cantane D.R. 2015. Production and Management of Sugarcane Biomass. *In: Process Optimization. Biomass Production and Uses*. Jacob-Lopes E., Queiroz Zepka L. (Eds.). Ed. InTech. Rijeka, Croatia. pp. 12-28.
- Mejía Saenz E., Rivera Alvarado J.C., Oviedo Navarro E., Debernardi de la Vequia H., Tiscareño López M. 2010. Estudio de caracterización de zonas potenciales de mecanización en las zonas de abasto cañeras. COLPOS-SIAP. SAGARPA. 154 p.
- Murray T.J., Meyer E. 1984. The effect of transmission options on the performance of tractors hauling sugarcane. *Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association* 58: 219-222.
- Inderbitzin M., Beattie R. 2012. Improving the harvesting and transport of whole crop harvested sugar cane. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology* 34: 1-11.
- Scheidt H.A., Simon A.T., Pacagnella A.C.J., Pereira Salgado A.J. 2015. Environmental impacts of mechanization in Brazil's sugar and ethanol industry: the cutting, loading, and transportation process case. *Environmental Progress and Sustainable Energy Sustainability* 34: 1748-1755.
- Vilailucka P., Sethanana K., Moonsria K. 2016. Simulation of sugar cane harvesting and transportation in Nakhon Sawan, Thailand. *Proceedings of the 4th. IIAE International Conference on Industrial Application Engineering. The Institute of Industrial Applications Engineers. Japan.* pp. 514-519.

