

**Evaluación de pérdida de caña de azúcar en
la cosecha mecanizada y transporte: El caso
del Ingenio de Barahona, República
Dominicana**

**Junior Gómez Pinales
Joel Israel Hernández Martínez**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2014

ZAMORANO
CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE AGRONEGOCIOS

Evaluación de pérdida de caña de azúcar en la cosecha mecanizada y transporte: El caso del Ingenio de Barahona, República Dominicana

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agronegocios en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Junior Gómez Pinales
Joel Israel Hernández Martínez

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2014

Evaluación de pérdida de caña de azúcar en la cosecha mecanizada y transporte: El caso del Ingenio de Barahona, República Dominicana

Presentado por:

Junior Gómez Pinales
Joel Israel Hernández Martínez

Aprobado:

Fredi Arias, Ph.D.
Asesor Principal

Ernesto Gallo, MSc., MBA.
Director
Departamento de Administración de
Agronegocios

Karen Gómez, Ing.
Asesora

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Evaluación de pérdida de caña de azúcar en la cosecha mecanizada y transporte: El caso del Ingenio de Barahona, República Dominicana

**Junior Gómez Pinales
Joel Israel Hernández Martínez**

Resumen. El objetivo de este estudio es identificar las pérdidas totales generadas durante el proceso de cosecha mecanizada y transporte de caña de azúcar para el periodo de cosecha (zafra) 2013-2014 en el Ingenio de Barahona, República Dominicana. Mediante toma de muestras en los principales puntos del proceso, tales como: dejada en campo, trasiegos de autovolteo a cabezal, mesa acondicionadora, transporte en vía férrea, dejada en vagones y descarrilado de vagones. Estudiado a través de análisis de tendencia central y dispersión, una prueba de separación de media Duncan ($P \leq 0.05$) y un modelo lineal para la determinación de la pérdida total. Obteniendo como resultado una pérdida de 20,720.56 toneladas métricas (Tm) equivalente a US\$ 372,970.00, dentro del cual la mesa acondicionadora representa un 66% de la pérdida. Destacando como conclusiones los incentivos para la realización de estudios en el proceso de cosecha manual y transporte de la caña larga y creación de un plan de acción para mejorar la eficiencia de la mesa acondicionadora; y el mejoramiento del estado de los vagones y la vía férrea.

Palabras clave: Cabezales, descarrilado, mesa acondicionadora, trasiego.

Abstract. The objective of this study is to identify the total losses generated during mechanized harvesting and transportation for the harvest period (zafra) 2013-2014 in the Barahona's Sugar Mill, Dominican Republic. By sampling at key points in the process, such as: leftover field, racking from autovolteo to trucks, conditioning table, railway transport, leftovers in trail wagons and derailed wagons. Studied through analysis of central tendency and dispersion, a test of Duncan mean separation ($P \leq 0.05$) and a linear model for the determination of the total loss. Resulting in a loss of 20,720.56 metric tons (Tm) equivalent to US\$ 372,970.00, which the conditioning table represents 66% of the lost. Emphasizing as conclusions to encourage the realization of similar studies in the manual harvesting process, the long cane transport and the action plan, to improve the efficiency of the conditioning table, improve the condition of the wagons and the railway.

Keywords: Trucks, derailed, conditioning table, racking.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
4. CONCLUSIONES	11
5. RECOMENDACIONES	12
6. LITERATURA CITADA.....	13
7. ANEXOS	14

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros Página

1. Análisis de tendencia central y dispersión para los procesos evaluados 8
2. Análisis de separación de media de los coeficientes 8
3. Cuantificación de pérdida total para la zafra 2013-2014..... 9

Figuras Página

1. Flujo de proceso de cosecha mecanizada y transporte 4
2. Esquema de distribución de submuestra en lotes ya cosechados. 5
3. Dimensiones de la submuestra en lotes ya cosechados 5
4. Ciclo del trasiego entre autovolteo y cabezal 5
5. Distribución de los puntos de submuestreo en la vía férrea 6
6. Área de las submuestras en la vía férrea 7
7. Promedio de pérdida en tonelada métrica por procesos zafra 2013-2014 9
8. Pérdida total en US\$ por procesos zafra 2013-2014 10

Anexos Página

1. Diagrama de cosechadora mecánica de caña con sus diferentes sistemas 14

1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es uno de los cultivos de mayor producción en el mundo, con una producción de 1.832 billones de toneladas métricas (Tm), equivalente a US\$ 57.85 billones de dólares aproximadamente. Los principales países productores son: Brasil 40%, India 20% y China 7%. Estos son capaces de abastecer más del 65% de la producción azúcar de caña mundial. El caribe representa un 1.29% de la producción mundial y la República Dominicana aporta un 20.59% de la producción caribeña (FAOSTAT, 2012).

La producción y elaboración de azúcar contribuye en aproximadamente un 0.6% al producto interno bruto (PIB) de la República Dominicana, por lo que es importantes garantizar la eficiencia de producción, transporte y procesamiento, para reducir las pérdidas entre sus eslabones y promover el incrementos del mismo (Banco Central de la Republica Dominicana, 2012).

El ingenio Barahona está ubicado en la provincia de Barahona, en la República Dominicana, tiene una capacidad instalada para moler 4,536 Tm de caña por día, equivalente a un 14% a del total de los ingenios y un 7% de la exportación nacional, quien cuenta con un área de producción aproximadamente de 9,000 ha (INAZUCAR). En el año de 1999 el Ingenio Barahona es arrendado al Consorcio Azucarero Central, S.A. (CAC), conformado por un grupo empresarial Dominicano-Franco-Canadiense, mediante la ley de capitalización de las empresas del estado. En el año 2000, la administración del Consorcio Azucarero Central es transferida a inversionistas dominicanos guatemaltecos (Consorcio Azucarero Central).

En los diferentes países donde se cultiva caña los costos de la cosecha y transporte, representan aproximadamente entre 25% al 35% de los costos totales de producción (Amú Caicedo, 2010). Cuba, Brasil y Australia son algunos de los países que han desarrollado modelos de gestión logística para el transporte de caña de azúcar ayudados con herramientas automatizadas y modelos matemáticos que les ha permitido disminuir los costos de cosecha. Estos modelos han sido desarrollados de acuerdo con las condiciones específicas de cada país y del ingenio, lo que dificulta su adopción inmediata en el ingenio de Barahona. Por tanto, es esencial desarrollar investigaciones y modelos de trabajo que mejoren la eficiencia del abastecimiento de caña en las condiciones y características propias de la zona azucarera del país, y sobre todo, con una aplicación práctica (Amú Caicedo, 2010).

En Colombia los ingenios, conscientes de la necesidad de disminuir los costos de la cosecha, han venido realizando inversiones en la cosecha mecanizada integral con cosechadoras (Anexo 1) que hacen varias operaciones tales como: corte, picado de los tallos (troceado), limpieza de la caña y cargue al equipo de transporte (Galvis, 2010). La cosecha mecanizada representa aproximadamente el 60% de la cosecha de caña para el ingenio de Barahona, por lo que es preciso enfocar el análisis a mayor profundidad en este proceso (Consortio Azucarero Central).

Los medios de transporte constituyen un eslabón de vital importancia en la cadena de cosecha, transporte y recepción de la caña de azúcar, la organización de estos eslabones facilita el aumento de la productividad del sistema de transporte (Matos & Garcías, 2012). El transporte por ferrocarril de caña constituye una variante económica importante, tanto en República Dominicana como para Cuba quienes emplean los denominados carros jaula para el transporte de la caña, los cuales tienen una capacidad de 5 a 9 Tm y su velocidad de traslación es inferior a los 60 km/h (Martín Carvajal *et al.* 2013).

Bajo las presente limitante el estudio busca evaluar y cuantificar las pérdidas totales de los procesos de cosecha mecanizada y transporte durante el periodo de cosecha (zafra) 2013-2014 en el ingenio de Barahona, por lo que es necesario la determinar los coeficientes de pérdidas que se generan durante los procesos de cosecha y transporte para el periodo evaluado. Además nos permitirá reconocer los puntos de mayor generación de pérdidas durante los eslabones de cosecha y transporte.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo entre Enero y Mayo del 2014 en la zonas de producción del Consorcio Azucarero Central, S.A. (C.A.C.), ubicado a 29 km de la provincias de Barahona, Región Sur de la República Dominicana, con una altura de 16 msnm, una precipitación anual y temperatura promedio anual de 605 mm y 27°C respectivamente.

Se evaluaron las pérdidas de caña de azúcar durante el proceso de cosecha mecanizada, acondicionamiento y transporte, mediante una categorización de los principales puntos de este proceso (Figura 1), donde existe pérdida de caña debido a equipos y problemas de logística, los cuales son definidos como: dejada en campo, trasiegos de autovolteo a cabezal, mesa acondicionadora, transporte en vía férrea, dejada en vagones y descarrilado de vagones (Ecuación 1), cada punto evaluado es considerado un proceso subsiguiente a la cosecha mecanizada la cual proporciona trozos de caña de 30 ± 10 cm., La recolección de dato se realizó de manera aleatoria en cada uno de los puntos. Se utilizaron diferentes metodologías de muestreo: unas adaptada para el estudio y otras generadas por el estudio.

$$PT = DJC + TAV/C + MA + TVF + DJV + DCV [1]$$

- PT: Pérdida totales, corresponde a la sumatoria de la pérdida de caña de azúcar generada en todo los puntos de muestreo que se tomaron en cuenta en la investigación.
- DJC: Dejada en campo, representan la cantidad de caña que haya quedado tras la cosecha mecanizada.
- TAV/C: Trasiago de autovolteo a cabezal, comprende la cantidad de caña que cae durante la traspaso de los autovolteos a los cabezales.
- MA: Mesa acondicionadora, son la porciones de caña de azúcar que se consideran útil, y se encuentra mezclado con los residuos generado por la mesa acondicionadora.
- TVF: Transporte en vía férrea, hace referencia a la caña que cae durante el recorrido del tren hasta el centro de recepción en el ingenio de Barahona.
- DJV: Dejada en vagones, corresponde a la caña dejada en los vagones una vez finalizada la descarga en el centro de recepción.
- DCV: Descarrilado de vagones, representa la caña pérdida debido al descarrilamiento o volteo de los vagones, durante el transporte hacia el centro de recepción del ingenio de Barahona.

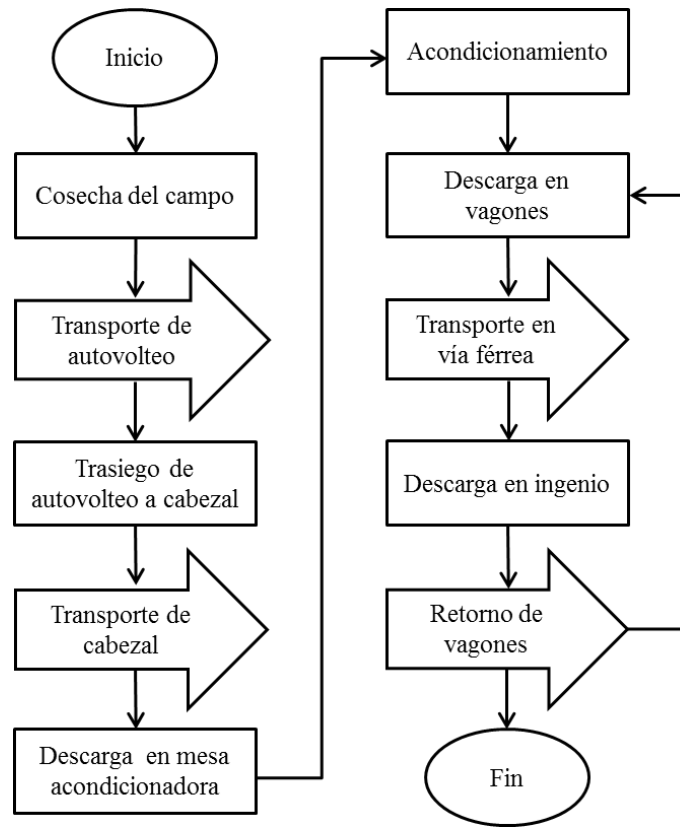


Figura 1. Flujo de proceso de cosecha mecanizada y transporte.

Dejada en campo. Para cuantificar la caña dejada en el campo se recolectó y se pesó: caña corta y tocones (porción de la cepa que sobresale en más de 2 cm) según la metodología desarrollada por Sopena y Rodríguez (2014), pero disminuyendo el número de submuestras de 15 a 3 (Figura 2) y aumentando el área de la muestreo de 0.5×0.8 m a 10×10 m (Figura 3), los cambios son considerado según la metodología desarrollada por Consorcio Azucarero Central (2008)^a, los cuales son significante para un lote de 1.5 ha ya cosechados.

^a Departamento de Control de Calidad, Consorcio Azucarero Central. 2008. Evaluación de caña dejada en campo, Barahona, República Dominicana.

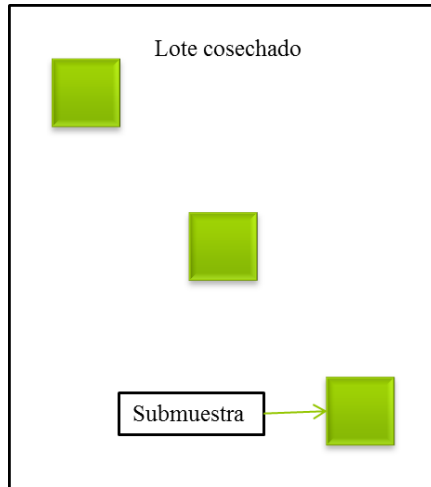


Figura 2. Esquema de distribución de submuestra en lotes ya cosechados.

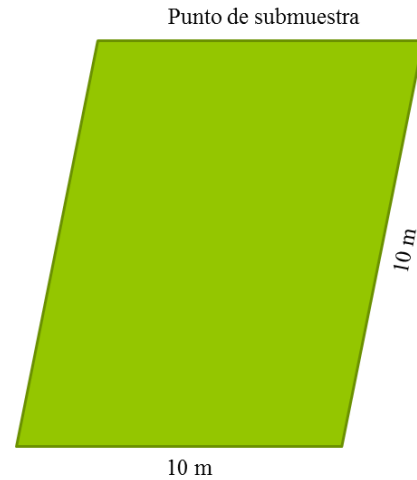


Figura 3. Dimensiones de la submuestra en lotes ya cosechados.

Trasiego de autovolteo a cabezal. Las zonas para trasiegos corresponden a los lugares específicos en el cual se lleva acabo el traspaso de caña del autovolteo al cabezal (Figura 4). Para su evaluación se seleccionaron zonas con ≤ 12 horas después de la cosecha y se estableció un área de 50×10 m, en la cual se recolecto y se pesó la caña entera y aplastada. Para estimar el peso real de la caña aplastada se ajustó con un coeficiente de corrección de 1.372^b (para considerar la pérdida de peso por daños mecánicos y deshidratación).

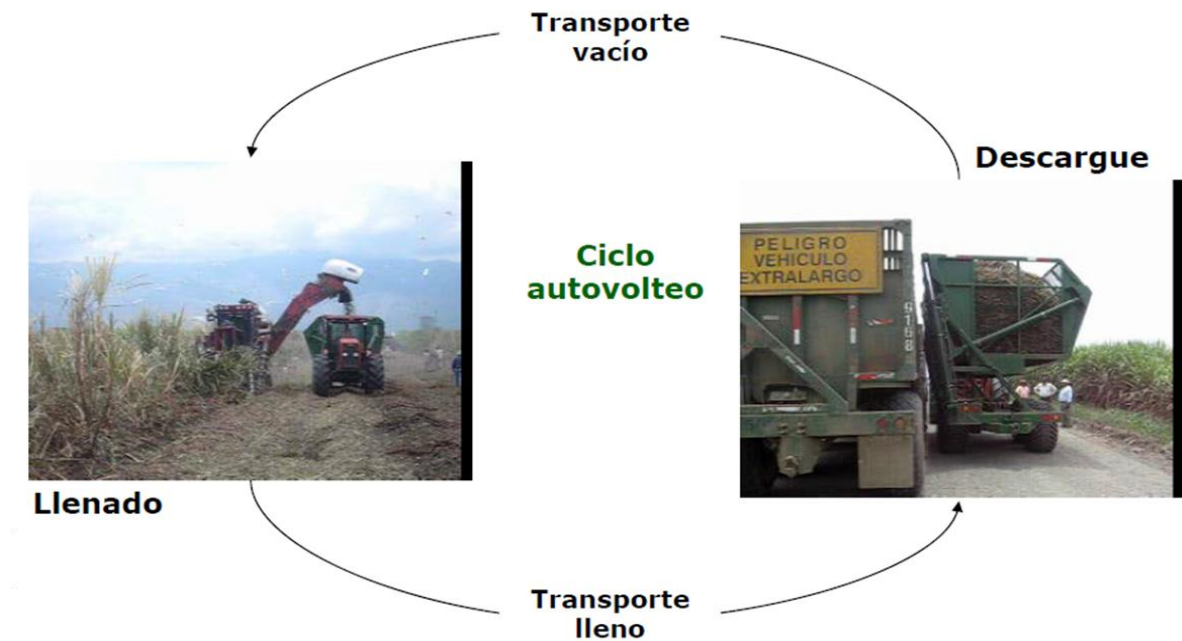
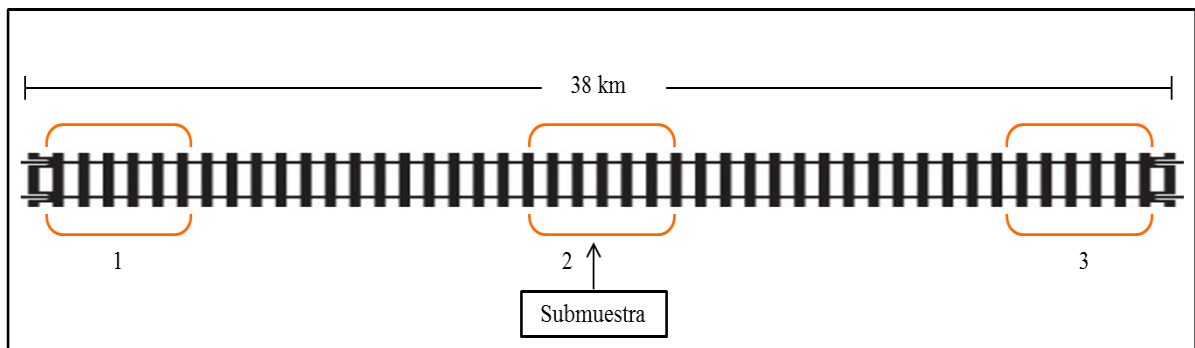


Figura 4. Ciclo del trasiego entre autovolteo y cabezal (Isaacs, 2007).

^b Valor determinado por los autores para el estudio.

Mesa acondicionadora. Está ubicada previo al envío de la caña en los vagones con el propósito de realizar una limpieza en seco de la caña corta y larga, separando la tierra y hojas que llegan con la caña, producto de los procesos cosecha mecanizada, alce y transporte. Para determinar la caña corta y trozos descartado por la mesa acondicionadora se realizaron 14 muestras de las tolvas de residuos según la metodología desarrollada por el Consorcio Azucarero Central (2013)^c, en la cual se separaron y se peso como caña corta, cepa y cogollo.

Transporte en vía férrea. Para determinar la caña corta que cae durante el transporte en vagones del ferrocarril, se utilizó la metodología desarrollada por el Consorcio Azucarero Central (2014)^d. Esta vía férrea costa de 38 km de distancia desde la zona de producción hasta el centro de recepción del ingenio, en los cuales se realizaron 3 muestras (Figura 5) con un área de 200 × 3 m (Figura 6), mediante una distribución de muestreo sistémica a 12.5 km de distancia, se realizaron tres repeticiones en que se cuantifico la caña corta que cae en un periodo ≤ 12 horas.



- 1 Grúa colorado
- 2 Grúa mena
- 3 Palo alto/ guayacanes

Figura 5. Distribución de los puntos de submuestreo en la vía férrea. Se muestran los distintos puntos seleccionados de manera sistémica en el transcurso de la vía férrea.

^c Departamento de Control de Calidad, Consorcio Azucarero Central. 2013. Evaluación de pérdida de caña en mesa acondicionadora, Barahona, República Dominicana.

^d Departamento de Control de Calidad, Consorcio Azucarero Central. 2014. Evaluación de pérdida de caña en vía férrea, Barahona, República Dominicana.

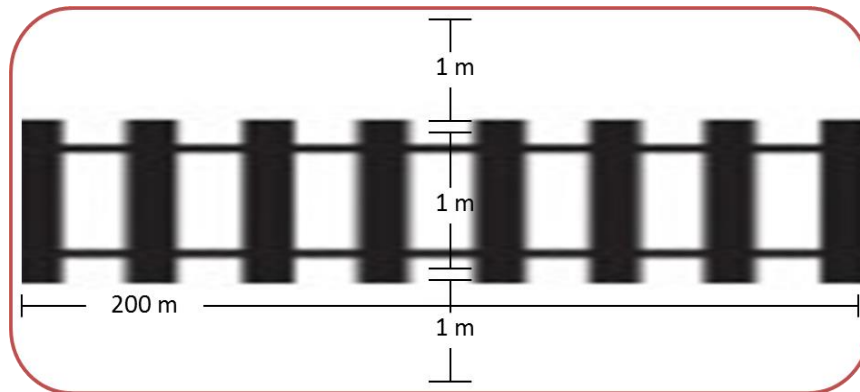


Figura 6. Área de las submuestras en la vía férrea. Se muestran las dimensiones utilizadas para la recolección de la caña caída durante el recorrido del tren.

Dejada en vagones. Para determinar la caña dejada en los vagones, se muestrearon 48 vagones dividida en tres etapas y cada etapa consta de 16 vagones muestreados, en los cuales se recolectó y se pesó la caña corta encontrada.

Descarrilado de vagones. Durante el transporte de la caña en la vía férrea se presentan problemas mecánicos debido a mal mantenimiento, lo que provoca el descarrilamiento de los vagones y pérdida de la caña. Para determinar la caña perdida durante la zafra 2013-2014, se tomaron los pesos promedio de 53 vagones descarrilados.

Análisis estadístico. Se utilizó el programa estadístico Statistical Analysis Systems (SAS®) Versión 9.1. Mediante la utilización de un Diseño Completo al Azar (DCA) para cada uno de los procesos evaluados, para realizar un análisis de medidas de tendencia central y dispersión. Además se utilizó el Modelo Lineal General (GLM) para realizar el análisis ANDEVA y la prueba de separación de medias Duncan ($P \leq 0.05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de tendencia central y dispersión demuestra las características de las muestras realizada en cada uno de los procesos evaluados, donde se determinaron los coeficientes para evaluar la pérdida total (Cuadro 1). La cual nos permite evaluar y considerar si los valores obtenidos son representativos para cada proceso.

Cuadro 1. Análisis de tendencia central y dispersión para los procesos evaluados.

Procesos	Unidad	Promedio \pm D.E.	Varianza	Número de muestra
Dejada en campo	Tm/ha	1.083 \pm 0.477	0.227	84
Trasiego		0.016 \pm 0.006	0.000	3
Mesa acondicionadora	Tm/cabecal	0.134 \pm 0.053	0.003	14
Vía férrea	Tm/día	5.656 \pm 0.558	0.311	3
Dejada en vagones	Tm/vagón	0.005 \pm 0.003	0.000	48
Descarrilado		6.422 \pm 1.215	1.261	53

D.E.: Desviación estándar.

A través de la prueba Duncan ($P \leq 0.05$) se realizó un análisis de separación de media para conocer la diferencia significativa entre los procesos, en la cual se determinó que no existe diferencia significativa entre los procesos de trasiego, mesa acondicionadora y dejada en vagones, pero en los demás procesos existe diferencia significativa (Cuadro 2). Para los procesos: descarrilado de vagones y vía férrea se atribuyen al mal estado de la vía férrea y los vagones o uso inadecuado de los mismos; para el proceso de dejada en campo se atribuye a las condiciones de topográficas y al mal uso de los equipos por los operarios.

Cuadro 2. Análisis de separación de media de los coeficientes.

Procesos	Unidad	Promedio
Dejada en campo	Tm/ha	1.083 ^c
Trasiego		0.016 ^d
Mesa acondicionadora	Tm/cabecal	0.134 ^d
Vía férrea	Tm/día	5.656 ^b
Dejada en vagones	Tm/vagón	0.005 ^d
Descarrilado		6.422 ^a

^{a, b, c y d}: Letra iguales en la misma columna no existe diferencia estadística ($P \leq 0.05$)

Los promedios obtenidos por procesos estudiados son utilizados para cuantificar el impacto en tonelada métrica por unidades consideradas para la zafra 2013-2014 (Figura7). Dentro de los cuales se puede identificar que los procesos de descarrilado, vía férrea y dejada en campo son los que presentan mayor pérdida por unidad.

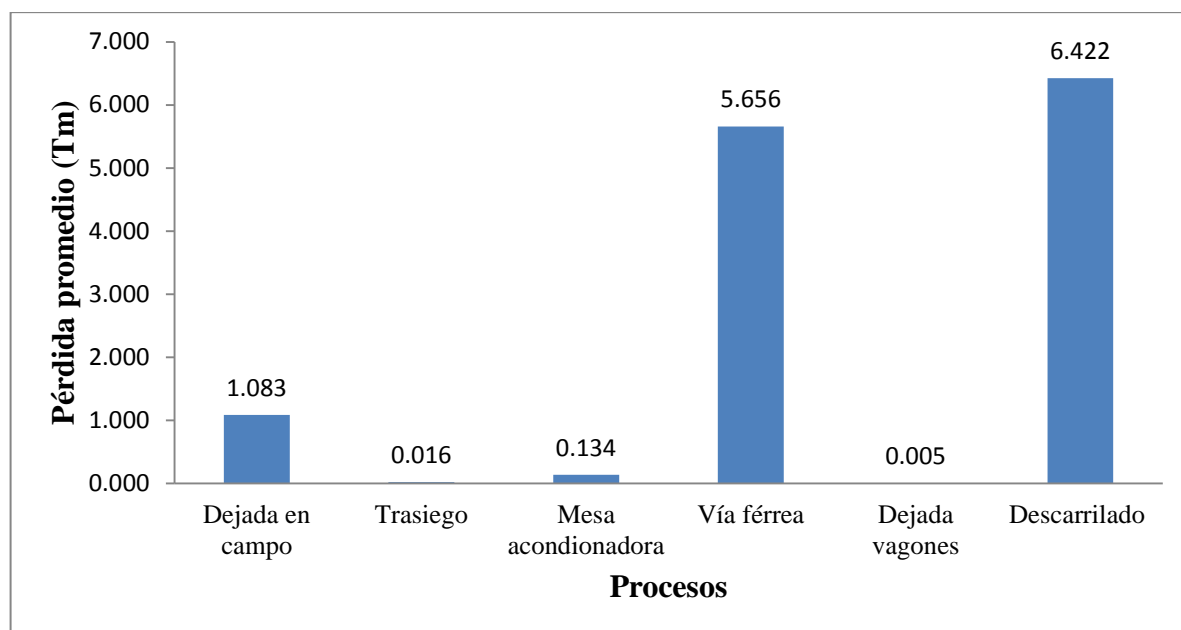


Figura 7. Promedio de pérdida en tonelada métrica por procesos zafra 2013-2014.

La pérdida total evaluada corresponde a 20,720 Tm equivalente a US\$ 372,970, evaluada mediante el producto del promedio de pérdida por procesos en Tm por las unidades correspondiente para la zafra 2013-2014 (Cuadro 3). La cual es afectado principalmente por las pérdidas generadas durante la mesa acondicionadora el cual representa US\$ 244,485 representando el 66% de las pérdidas totales, debido a la cantidad de cabezales que pasan por este proceso. Seguido del proceso dejada en campo el cual genera una pérdida de US\$ 97,849 (26%), la vía férrea con US\$ 17,816 (6%) (Figura 8).

Cuadro 3. Cuantificación de pérdida total para la zafra 2013-2014.

Procesos	Unidad	Coefficiente	Cantidad	Pérdida total (Tm)	Pérdida total (US\$)
Dejada en campo	Tm/ha	1.083	5019.44	5436.06	97849.06
Trasiego		0.016	5019.44	80.31	1445.60
Mesa acondicionadora	Tm/cabecal	0.134	101362.00	3582.51	244485.14
Vía férrea	Tm/día	5.656	175.00	989.80	17816.40
Dejada en vagones	Tm/vagón	0.005	58302.38	291.51	5247.21
Descarrilado		6.422	53.00	40.37	6126.59
Pérdida total zafra 2013-2014				20,720.56	372,970.00

1 Tm = 18 US\$, 1 US\$ = 43.6833 RD\$

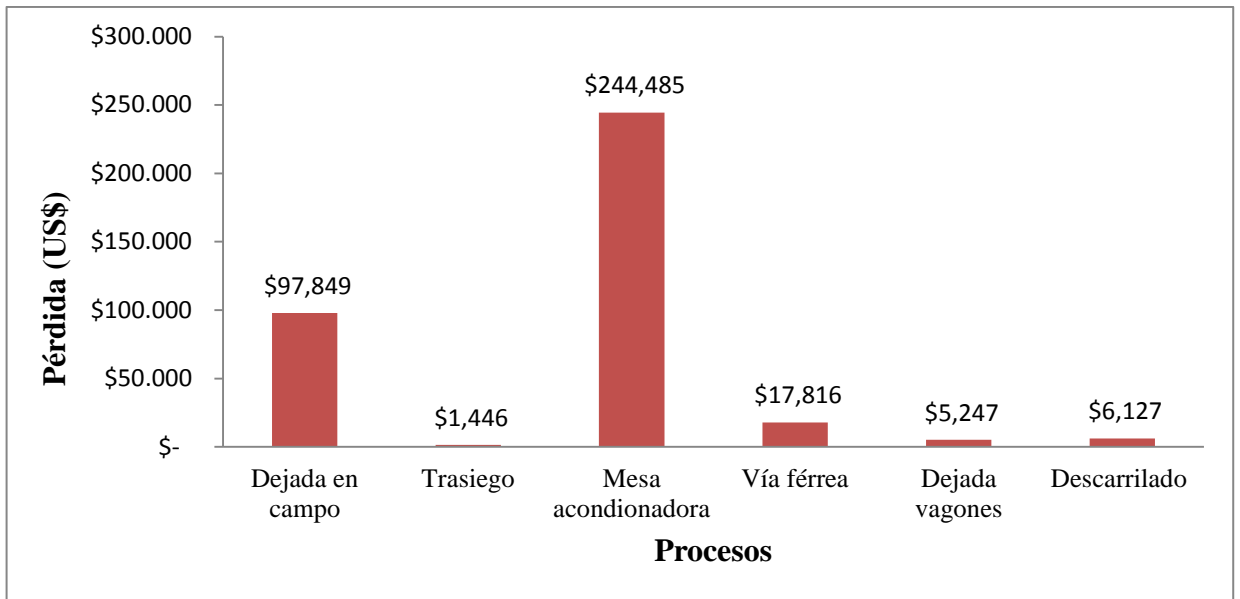


Figura 8. Pérdida total en US\$ por procesos zafra 2013-2014.

La pérdida generada en el proceso dejada en campo representa el 1% del total de producción para la zafra 2013-2014, en comparación a estudios realizado por Sopena y Rodriguez (2014) lo cual es inferior al 3% recomendado como pérdida máxima en el proceso de cosecha mecanizada.

4. CONCLUSIONES

- Las pérdidas totales generadas durante los procesos estudiados representan el 3.93% de la cosecha mecanizada durante la zafra 2013-2014, que corresponde a 20,720.56 Tm equivalente a US\$ 372,970.00.
- Los coeficientes de pérdida para cada proceso evaluado los cuales son: dejada en campo con 1.083 Tm, trasiegos 0.016 Tm, mesa acondicionadora 0.184 Tm, vía férrea 5.656 Tm, dejada en vagones 0.005 Tm y descarrilado 6.422 Tm.
- Los puntos de mayores pérdidas fueron identificado como: mesa acondicionadora con una pérdida económica de US\$ 244,485.14 (66%), seguida por dejada en campo con US\$ 97,849.06 (26%), la vía férrea US\$ 17.816 (6%) y los demás proceso representando el 2% restante.

5. RECOMENDACIONES

- Considerar una mejor calibración de la mesa acondicionadora, la cual genera la mayor pérdida económica de los procesos evaluados.
- Realizar un estudio de costo beneficios para la evaluación de la posibilidad de eliminar la mesa acondicionadora.
- Realizar un análisis de correlación con datos históricos, para evaluar cual parte del proceso es la que más impacta a las pérdidas totales.
- Considerar la reintegración de la caña perdida en el proceso de descarrilado al sistema nuevamente.
- Crear un plan de acción para la reestructuración de la vía férrea y la reparación de los vagones que se encuentran en mal estado.
- Utilizar el método de cosecha mecanizado únicamente para los campos nivelados para reducir la pérdida de caña por problemas topográficos del suelo.
- Disminuir la capacidad de carga de cabezales, autovolteos y vagones, para reducir la caída de porciones de caña durante el transporte de los mismos.
- Realizar este tipo de estudio en el proceso de corte manual con caña larga.

6. LITERATURA CITADA

Amú Caicedo, L. G. 2010. Logística de Cosecha: Evaluación de Tiempos y Movimientos, Indicadores y control. Revista Tecnicaña 26: 25-30.

Banco Central de la Republica Dominicana. 2012. Informe de la Economía Dominicana. Santo Domingo, Republica Dominicana, 156 p.

Camilo Humberto, I. E. 2007. Proyecto: Corte, alce, transporte y entrega caña (CATE) en la industria azucarera. Cali, Colombia, 144 p .

Consorcio Azucarero Central. 2014. Historia (en línea). Consultado 26 de Junio de 2014. Disponible en <http://www.ingeniobarahona.com.do/app/do/empresa.aspx?id=4>.

FAOSTAT .2012. Food and Agruculture Organization of the United Nations (en línea). Consultado 24 de Junio de 2014. Disponible en <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S>.

Galvis Matilla D. E. 2010. Los Sistemas de Corte Mecanizado de Caña de Azúcar. Equipo de Cosecha. Revista Ternicaña 26: 21-24.

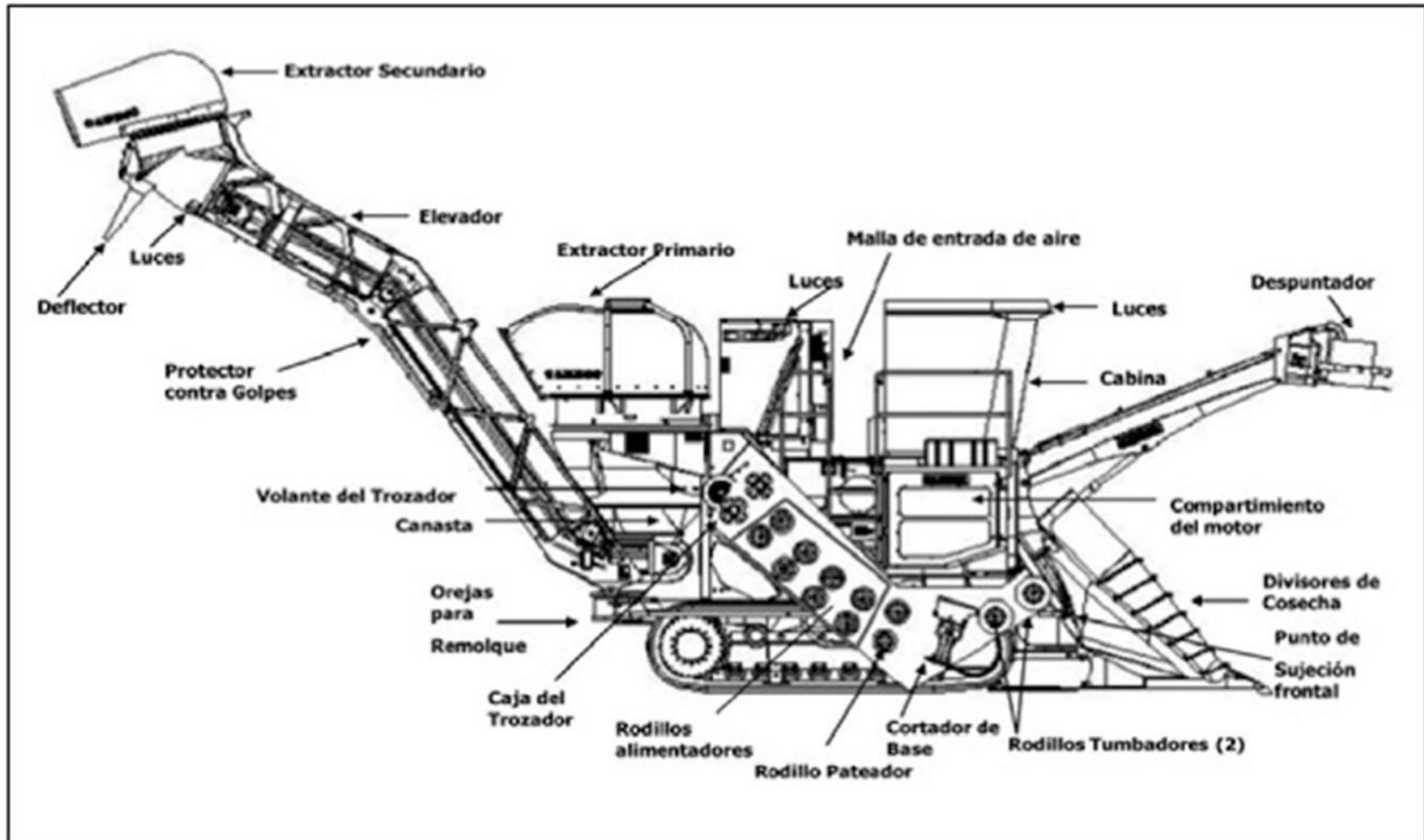
INAZUCAR. 2014. Consorcio Azucarero Central (en línea). Consultado 26 de Junio de 2014. Disponible en http://www.inazucar.gov.do/consorcio_central.htm.

Martín Carvajal, L. O. 2013. Carros jaula ferroviarios: determinación de un escalón en diámetro. Ingeniería Mecánica 16: 52-53.

Matos Ramirez, N. y García Cisneros, E. 2012. Evaluación técnica y de explotación de los camiones. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 21(2): 30-33.

Sopena, R. A. y Rodríguez, R. A. 2014. Recomendaciones para el muestreo de pérdidas de Cosecha en Caña de Azúcar. Tucumán, Argentina, 3 p.

7. ANEXOS



Anexo 1. Diagrama de cosechadora mecánica de caña con sus diferentes sistemas