

ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	
Historia y situación actual de la industria azucarera en Costa Rica	8
LAICA	9
DIECA	12
Marco Metodológico	
Definición del problema	14
Objetivos del estudio	15
Tipo de investigación	16
Sujetos	17
Fuentes de información	17
Conceptualización de variables	18
Evaluación de variables	18
Presentación de los resultados	21
1° Tema	
Los ingenios en Costa Rica y los métodos de cosecha	
Distribución de los industriales en Costa Rica	24
La corta manual	30
Descripción de la operación de cosecha mecánica	37
Historia de la cosecha mecánica.	48
2° Tema	
La selección de variedades adecuadas para la cosecha mecanizada	
Mejoramiento genético	60
Selección de las variedades	63

3° Tema

La maduración de la caña de azúcar

Maduración de la caña	68
Principales factores que afectan la maduración	69
Métodos para medir la madurez	74
Pruebas en el laboratorio	79

4° Tema

La capacidad productiva de los equipos de cosecha en diversas condiciones

Determinando el rendimiento de la maquinaria de cosecha	89
Análisis de las actividades que componen la operación y propuestas de mejora	101

5° Tema

Análisis del desperdicio de caña durante la cosecha mecánica

Desperdicio de caña	123
Velocidad vs calidad	136

Conclusiones generales	143
-------------------------------	-----

Bibliografía	147
---------------------	-----

Glosario	152
-----------------	-----

Anexo. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	160
--	-----

Índice de figuras	163
--------------------------	-----

Índice de fotografías	164
------------------------------	-----

Índice de gráficos	166
---------------------------	-----

Índice de tablas	167
-------------------------	-----

Resumen

El siguiente estudio exploratorio proporciona algunos lineamientos para optimizar la operación de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar para beneficio de las agroindustrias del sector azucarero costarricense. La investigación ayudará a crear conciencia para que las decisiones se fundamenten en datos confiables y representativos.

Para una mejor comprensión de esta exposición, el trabajo está compuesto por cinco temas principales, cada uno se compone de una introducción al área específica de estudio, un desarrollo que incluye discusión de literatura y otros estudios consultados, planteamiento, ejecución y análisis de pruebas de campo que proporcionan datos necesarios para el desarrollo de los objetivos, mientras se presentan los resultados de las diversas situaciones se plantean propuestas de mejora que el lector puede utilizar como referencia para evaluar las condiciones de sus cultivos y emprender la mejora de sus condiciones a partir de lo encontrado aquí. Las conclusiones sintetizan el grado de importancia que se debe de asignar a los problemas detectados a través del capítulo para que los interesados destinen los recursos adecuados para la investigación según los beneficios que se pueden alcanzar si se mejora esa condición.

A manera de introducción se inicia con una breve historia del uso de la caña de azúcar por la población mundial para luego ubicar la historia y situación actual de la industria azucarera en Costa Rica. Se incluyen también generalidades de LAICA y DIECA, instituciones reguladoras de la actividad. Se describe detalladamente el método tradicional de corta de caña para que el lector lo contraste con el método asistido por maquinaria que se pretende optimizar.

Existe un capítulo dedicado al marco metodológico en el cual se plantea el problema, hipótesis, objetivos general y específicos. Se explica el tipo de investigación, la conceptualización y evaluación de las variables.

Los primeros resultados que se presentan corresponden a la evaluación de las condiciones con que cuentan los ingenios de Costa Rica para desarrollar la operación. Se realizó un inventario del equipo de cosecha y se midió el grado de desarrollo a partir de tres indicadores. Para conocer los orígenes de la corta de caña con máquinas se hace un recorrido por la historia pasando por los diferentes conceptos y modelos que se

construyeron para lograr las cosechadoras que actualmente se emplean en nuestro país y el resto del mundo.

La descripción detallada de la maquinaria evidencia algunas limitaciones para recolectar plantas con ciertas características y la preferencia por variedades de caña más compatibles con los sistemas mecánicos. Genetistas y fitomejoradores han logrado manipular genéticamente las plantas de caña para adaptarlas a condiciones especiales, entre ellas la cosecha mecanizada. Se identifican las propiedades deseables en una variedad ideal y se evalúan los procesos de selección empleados por los ingenios para determinar el tipo de caña que sembrarán con fines comerciales.

La maduración en la actualidad depende no solo del ciclo de vida de las plantas sino también del tratamiento agronómico que se le aplique, se busca cosechar la caña al final de la etapa de la maduración, cuando se supone que se presentan las mayores concentraciones de sacarosa. La aplicación de un método confiable que determine el avance en la maduración de un lote es indispensable para determinar una secuencia de corta que favorezca la operación. Se ha destinado un capítulo al análisis de la maduración y su relación con el desempeño de las cosechadoras.

El siguiente tema analiza el rendimiento actual de la maquinaria, determinado a partir de herramientas de ingeniería que proporcionan datos equivalentes a los obtenidos en otros países con aparatos costosos instalados en las cosechadoras. Estos rendimientos se contrastan con aquellos registrados en otras regiones. También se evalúa la eficiencia de la operación en varias condiciones para determinar cuales favorecen el trabajo normal en el campo.

Para finalizar se mide la intensidad con que se presenta un problema que siempre ha existido pero no había sido abordado con propiedad: "el desperdicio", o sea aquella caña que se siembra, fertiliza, cultiva y cosecha, pero nunca llega al ingenio. Se identificaron las categorías del desperdicio y las causa de su existencia, algunas de las recomendaciones que se dan podrían ayudar a los ingenios a administrar los recursos de manera que se minimicen las pérdidas por este concepto.

Como primer anexo se pone a disposición del lector un glosario con términos propios de la industria que son indispensables para el adecuado entendimiento de las actividades que se desarrollan en los ingenios y aquellas conducidas por el autor como parte de la investigación.

La propuesta de mejora se presenta distribuida a lo largo del proyecto a manera de recomendaciones para cada tema y actividad estudiada. Se propone también la adaptación y empleo de algunos instrumentos de medición que fácilmente pueden ayudar a conocer el estado actual de los factores a estudiar y también utilizarse para el control en un eventual programa de mejora. La diversidad de condiciones presentes en los ingenios cubiertos en este trabajo no permite la formulación de una propuesta concreta con cifras y procedimientos exactos que al ser adoptados por los agroindustriales les garantice una mejora. Las propuestas se centran en recomendar las condiciones que favorecen el desempeño general de la operación de cosecha mecanizada, y se explica como los finqueros pueden realizar pruebas más específicas y beneficiarse de las recomendaciones producto de este trabajo de investigación exploratoria.

Introducción

Para autoconservarse, los seres vivos dependen de la disponibilidad del alimento que deben consumir constantemente para producir la energía que les permite vivir, crecer y reproducirse. Esta necesidad se presenta desde que el cigoto se nutre de su contenido citoplásmico durante sus primeros días, pero pronto tiene que asegurar su alimentación injertándose en la pared materna para luego convertirse en huevo y desarrollar sus envolturas y aparato nutriente, que consiste primero en las vellosidades coriales ubicadas en la placenta y luego su sistema de transporte por medio del cordón umbilical. Desde el primer momento somos dependientes del suministro de los elementos formadores de tejido.

Después del nacimiento continuamos siendo dependientes del suministro de los elementos básicos necesarios para desarrollar actividades físicas y mentales, elementos plásticos provistos por proteínas para formar tejidos, hidratos de carbono para la provisión energética, y lípidos para su reserva, además de los líquidos, electrolitos y minerales indispensables para el metabolismo. Durante las primeras etapas de vida fuera del claustro materno estos elementos provienen directamente de la madre, tiempo en que el ser humano depende de la lactancia.

Al salir de un ambiente estéril, rodeado de líquidos nutritivos, y entrar a un nuevo ambiente expuesto a otros elementos, el recién nacido comienza a digerir los complejos polimerizados que contiene la leche materna, y luego incorpora otros elementos de la alimentación exterior y poco a poco su nutrición se basa cada vez más en la interacción con el medio ambiente y el universo que lo rodeará por el resto de su vida.

Los primeros seres humanos tenían que realizar grandes esfuerzos para conseguir su ración diaria de alimento, tenían que cazar y recolectar semillas, frutas, raíces; en general su vida dependía de su fortaleza física y de la suerte, siempre con la duda si en los próximos días comerán. Con el tiempo estos hombres observaron y aprendieron cómo era posible sembrar algunas de las semillas que comían, para que luego su recolección fuera más fácil. Al mismo tiempo, lograron domesticar algunos animales que les ayudarían a cultivar los campos y que también servirían como alimento. El suministro de alimento era más estable, y estos hombres, ahora sedentarios, desempeñaban tareas diferentes y especializadas; unos trabajaban la tierra, otros recolectaban semillas, otros sembraban,

cuidaban animales, mientras que otros construían chozas, acueductos y lo necesario para establecerse permanentemente cerca de los cultivos y las tierras que requerían para abastecerse de alimento.

Con el dominio de algunas técnicas de germinación y cultivo se resolvieron muchos problemas que atormentaban a los primeros habitantes; pero surge una nueva fuente de necesidades para garantizar el suministro de alimentos; ahora era necesario apoderarse de la tierra y se requería de mano de obra con experiencia en el cultivo, se introduce el concepto de riqueza agrícola. Los propietarios de los cultivos tenían que elaborar un plan, cuidar el cultivo, recoger la cosecha, almacenar los sobrantes y negociar el intercambio de su producto por otros necesarios para complementar la alimentación de su familia (el trueque). En estas negociaciones se establecía la cantidad de un producto que había que entregar para adquirir otro; eran comunes los intercambios entre productores de vegetales o granos con criadores de animales, necesarios por su piel para abrigarse y la carne, importante fuente de aminoácidos y grasas. Así que, según las condiciones, algunos productos tenían más valor que otros y consecuentemente unas personas podían adquirir más alimentos y comodidades que otras.

Al igual que nosotros, estos hombres estaban en manos de la naturaleza y en ocasiones eran golpeados por sequías, inundaciones, tornados y otros desastres naturales que destruían sus cultivos y ponían en peligro el suministro de alimento, situación que lleva a algunos a desarrollar ritos mágicos y sacrificios dedicados a los dioses para que los ayuden a cuidar sus cultivos. Mientras tanto otros no tan convencidos de los resultados de la magia optan por apoderarse de las tierras de sus vecinos, y así surge la necesidad de crear defensas y agruparse para protegerse de los otros agricultores. Este fenómeno, cuando los dueños de la tierra utilizan la fuerza como un instrumento para ampliar sus campos es lo que dio origen a lo que actualmente conocemos como la guerra, gran amenaza contra la cantidad y calidad del suministro de alimentos para los pueblos.

Ahora había que labrar la tierra e ir a la guerra, y por lo general no alcanzaba la mano de obra para las dos cosas, así que la fuerza y la suerte volvieron a ser factores determinantes para la disponibilidad de alimentos, ya que con el hambre y la cantidad de muertos por la guerra surgen nuevas enfermedades. Algunos se someten a trabajar y pelear simplemente a cambio de una ración de alimento. Florecen los grandes reinos propietarios de terrenos, animales y mano de obra. Como ya les quedaba poco por

conquistar buscaron nuevas formas de adquirir riqueza e introdujeron valores más estables como los metales, piedras preciosas y la cerámica.

Con la capacidad de navegar los mares se logra comercializar estos artículos en otras regiones y a la vez adquirir nuevos alimentos y productos que resolvieran algunas de las necesidades existentes. Como el comercio abrió nuevas posibilidades de empleo, sólo unos pocos trabajaban la tierra, tenían que satisfacer otras necesidades como la construcción de catedrales, fuertes, conventos y requerían de materiales, herramientas y trabajadores muy especializados como albañiles, carpinteros, escultores, pintores. Aunque todo parecía estar mejor que en épocas pasadas, las guerras estaban presentes y también la incertidumbre de la cantidad de alimentos disponibles para abastecer a una población en aumento.

A partir de 1769 todo marcharía más rápido. James Watt inventó una máquina capaz de sustituir la fuerza del hombre, el vapor trabajaba día y noche produciendo grandes cantidades de bienes, enriqueciendo a unos pocos. La oferta era superior a la demanda y se hizo necesario mejorar los sistemas de transporte alrededor del planeta para colocar los excedentes. La disponibilidad y el precio de los combustibles eran determinantes para el suministro de alimento. Pero los productos extranjeros despertaban gran interés en los consumidores y todos querían comprar cosas que no necesitaban del todo; la moda y el crédito modificaron la razón del por qué se compra, algunos optan por hipotecar su futuro con tal de consumir productos que no necesariamente satisfacen sus necesidades alimentarias.

La producción en masa fue acompañada por un crecimiento masivo de la población, que había demorado 400 años en subir de 400 a 600 millones, y que, en solo 200 años llegaría a más de 6000 millones de habitantes. La producción agrícola aumentó considerablemente para poder satisfacer los requerimientos alimenticios de estas personas, y al igual que la industria, los agricultores aplicarían técnicas y equipos novedosos para sacar el máximo provecho de los suelos, seleccionar las mejores semillas, combatir las plagas, nutrir la tierra y cosechar los frutos. El trabajo interdisciplinario donde se combinan la agricultura, la química, estudio de mercados y el comercio internacional ha sido tan efectivo en cuanto a la tarea de alimentar a las poblaciones que se introduce un concepto imposible de imaginar para los primeros habitantes: la obesidad, un mal que golpea principalmente a las sociedades adineradas; mientras que los menos

“afortunados”, dado que su reducido poder monetario no despierta mayor interés en los productores de alimentos, son víctimas de la pobreza y su suministro alimenticio es reducido y carente del poder nutricional adecuado. En los últimos, años muchas personas han considerado como uno de los culpables del sobrepeso al azúcar, un producto que ha estado presente en la dieta del ser humano desde tiempos remotos. El azúcar siempre ha jugado un papel importante en nuestra alimentación, los primeros habitantes notaron como el jugo de la caña les daba energía y los mantenía fuertes para poder cazar y recorrer largas distancias en busca de otros alimentos. Actualmente se sigue consumiendo, pero la actividad física ha disminuido, causando un excedente de energía que el cuerpo almacena.

Los exploradores se encargaron de llevar la caña de azúcar desde su centro de origen en Asia hacia otros lugares, hay registros de que para el año 3000 A.C la *Saccharum officinarum* estaba diseminada en las regiones de India, China, Nueva Guinea, África Oriental, Madagascar, Medio Oriente, el Mediterráneo, las Islas Canarias, Persia y Hawai. En todas estas regiones se valoraba su jugo como fuente de energía y propiedades medicinales, era un artículo de lujo y se comercializaba a precios elevados. Su introducción en otros territorios continuó conforme el hombre conquistaba nuevas tierras, pero no fue hasta 1493 cuando Cristóbal Colón en su segundo viaje a América trajo la caña a nuestro continente y a partir de ese momento se establecieron plantaciones e ingenios que poco a poco se fueron tecnificando hasta formar un sector agroindustrial importante para la economía del país.

En las últimas temporadas se ha mostrado una baja en los precios internacionales del azúcar y sus subproductos, mientras que el costo de los insumos se mantiene o aumenta, recortando el margen de utilidad que disponen las industrias para operar. La amenaza de nuevos productos sustitutos del azúcar y las tendencias a la reducción de la cantidad de dulce en los alimentos amenazan, la rentabilidad del sector azucarero nacional. Por lo tanto es necesario reducir costos de producción y mejorar los índices productivos para que la actividad azucarera del país siga siendo rentable y atractiva.

Al igual que nuestros ancestros, nosotros dependemos del suministro de los alimentos para subsistir diariamente, pero ahora más que nunca este suministro depende de la eficiencia con la que se dé. El costo de los insumos y las reacciones de las masas ante las

modas y ofertas del mercado tienen tanta importancia para nosotros como la magia y los sacrificios que tuvieron para los aborígenes.

Historia y situación actual de la industria azucarera en Costa Rica

Se estima que la caña de azúcar ha estado presente en Costa Rica desde 1530 cuando el conquistador español Perdrarias Dávila introdujo clones de cañas provenientes de Cuba y Puerto Rico, que fueron diseminados en nuestro territorio. Los primeros trapiches que se instalaron a partir de mediados del siglo XVI eran pequeños y utilizaban bueyes para mover los engranajes y mecanismos del molino. Para 1900 ya existían unos 10 trapiches en Alajuela y Cartago que producían un azúcar rústico que incluso se exportaba. En esta época la actividad se fue tecnificando desde el punto de vista agrícola e industrial, con la importación de maquinaria libre de impuestos y la introducción de nuevas variedades de cañas de Hawai y Cuba. Ya en 1946 se habían establecido 19 ingenios en Costa Rica y en 1956 aumentaron a 25. (Subirós, 1992)

En los inicios de la historia azucarera de nuestro país los agricultores y productores contaban con poca información y tecnología, por lo que comenzaron a experimentar cómo se adaptaban las variedades a los diferentes climas, altitudes, suelos y condiciones para seleccionar las más resistentes y productivas. La preparación de los terrenos se hacía de forma manual o con la ayuda de yuntas de bueyes, el control de plagas también se hacía manualmente, pues no disponían de agroquímicos. Las fertilizaciones eran poco frecuentes y cuando se hacían era con elementos naturales como cenizas, cal y desechos de la cosecha.

A partir de 1940 se da una nueva fase marcada por la incorporación de herbicidas, fertilización, control de plagas y variedades más específicas. En este año fue creada la Junta de Protección de la Agricultura de la Caña (Ley 359) con el fin de mediar entre los productores e industriales y fomentar el cultivo. Luego se extiende la siembra de caña hacia la zona de Puntarenas y Guanacaste, donde se cuenta con condiciones climáticas y topográficas muy compatibles con este cultivo.

LAICA ¹

El 12 de noviembre de 1965 se crea la Liga Agrícola e Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA) (Ley 3579), institución que reemplazaría a la Junta de Protección de la Agricultura de la Caña. LAICA se constituyó como una Corporación de Derecho Público para velar por que cada empresa o agricultor que componen el sector tenga una participación justa en los negocios relacionados con la actividad azucarera. El objetivo es fomentar el desarrollo y estabilizar los factores que influyen en la siembra de caña y sus productos.

Entre las funciones de LAICA destaca su papel regulador, pues crea los métodos para calcular los pagos a los agricultores, inspecciona la calibración de las romanas, equipos de laboratorio y revisa que los ingenios cumplan con normas sanitarias y laborales correspondientes.

La comercialización del azúcar y algunos subproductos se hace por medio de esta institución, que cada temporada hace estimados, coloca la producción en el mercado nacional e internacional y compra el producto terminado a los ingenios, quienes a su vez le compran a los agricultores. Los porcentajes que cada uno debe comprar o vender a otro son establecidos proporcionalmente al volumen que haya manejado en temporadas anteriores. Como plan de incentivo para los pequeños empresarios se asegura que se le comprará un mínimo del 2% de la producción nacional a cada productor, aunque según los cálculos, la cantidad que le corresponda sea inferior a ese 2%.

El azúcar producido en Costa Rica es colocado por LAICA en el mercado nacional según la demanda esperada de consumo para el próximo período, luego se comercializa todo el azúcar restante en los principales mercados internacionales y se firman acuerdos para garantizar la compra y el precio de cierta cantidad de producto, el excedente de azúcar que no se pudiera colocar en el mercado nacional o internacional preferente, se vende a través de la Bolsa de Cacao, Café y Azúcar de New York; en este caso no hay un precio garantizado pues depende de la oferta y la demanda de azúcar a nivel mundial. El gráfico #1 muestra los porcentajes de la producción nacional de la temporada 1999-2000 que se comercializaron en cada mercado.

¹ LAICA no editó un informe estadístico de la Zafra 2000-2001 y alguna información de ese período no se encuentra disponible para el público. Colaboró el Sr. Frank Pessoa del Departamento Técnico de LAICA, entrevistado por el autor.

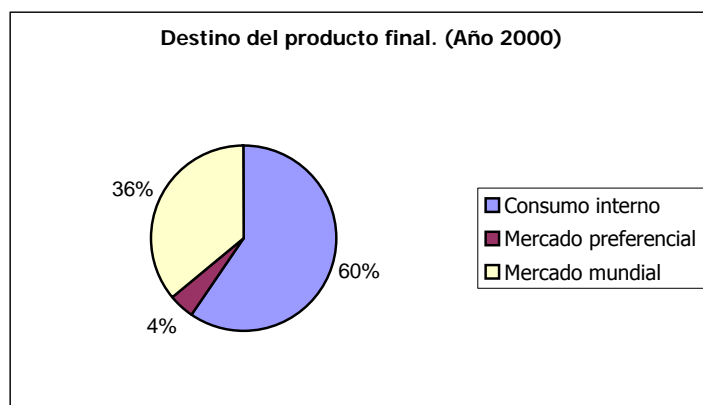


Gráfico #1
Fuente: LAICA.
Elaborado por: el autor.

Las negociaciones con LAICA se hacen a través de las Cámaras de Azucareros y la Cámara de Productores de Caña, compuestas por representantes de los ingenios y agricultores respectivamente, los agricultores o proveedores independientes. Por tener tantos miembros se han dividido en 5 cámaras correspondientes a su ubicación geográfica. Finalmente existe la Federación de Cámaras de Productores de Caña que integra representantes de ambas cámaras quienes son los responsables, junto con LAICA, de tomar las decisiones adecuadas.

El porcentaje de la producción de cada ingenio que se destinará a los mercados nacional, internacional preferente y mundial se determina según el promedio de la producción de los dos últimos años y la cantidad real que entregaron a cada mercado. En caso de que algún ingenio no logre completar la cuota asignada, ésta puede ser completada por otros ingenios que sobrepasen su propia cuota. A los excedentes, o producción que no tiene destino garantizado y debe comercializarse a través de la bolsa de valores se le conoce como azúcar de extracuota.

El azúcar producido entre 1999 y 2000 que se exportó tuvo como principal destino los Estados Unidos, seguido por Marruecos, Rusia y Canadá. Estas ventas representaron un ingreso para el sector azucarero nacional de \$24,945,931. En el gráfico #2 se muestra el porcentaje del azúcar exportado que compró cada país. Otros países que en los últimos diez años han comprado parte de la producción de Costa Rica son: México, Trinidad y Tobago, Corea y Nicaragua.

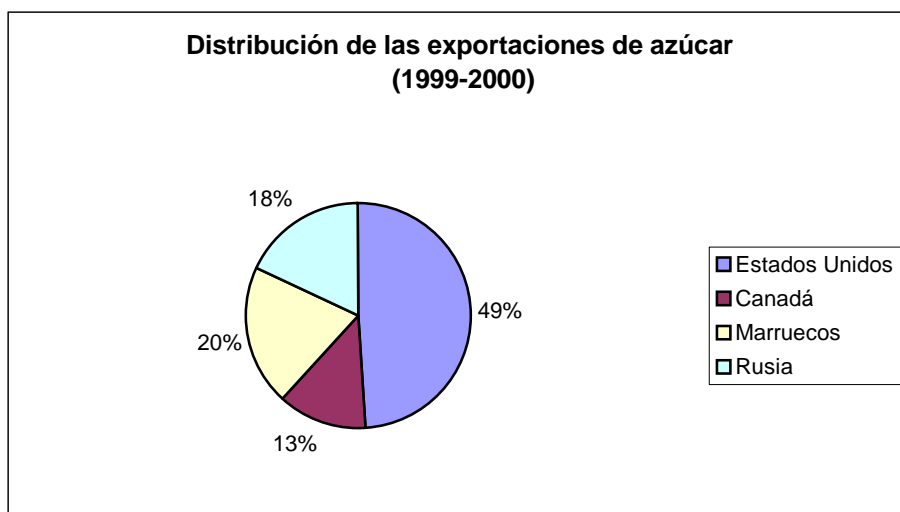


Gráfico #2
Fuente: LAICA
Elaborado por: el autor.

Como muestra el gráfico #3 durante los últimos 6 períodos se ha exportado aproximadamente el 45% de la producción nacional, mientras que el restante 55% se consume internamente.

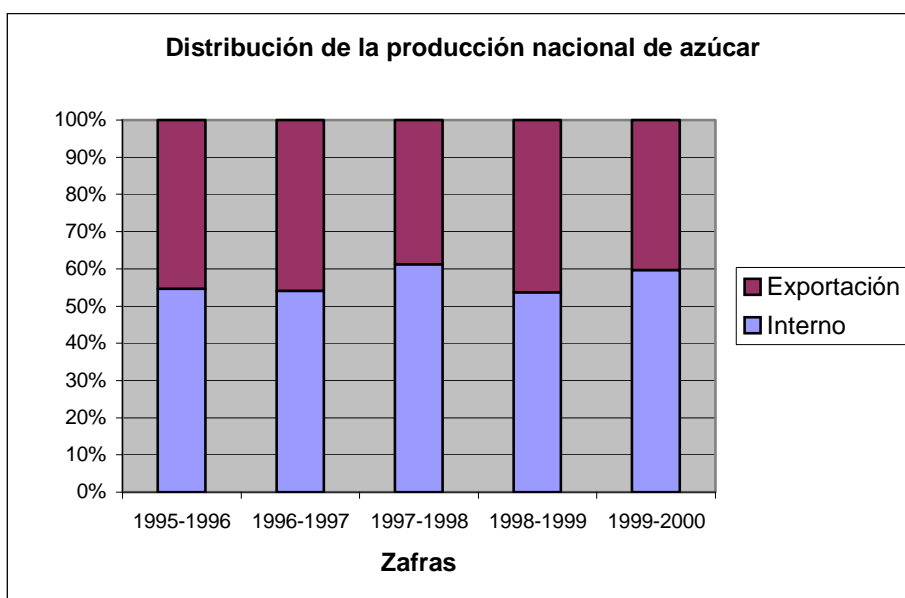


Gráfico #3
Fuente: LAICA
Elaborado por: el autor.

DIECA

Cuando algunos productores de caña de azúcar prosperaron y disponían de mayor capital se dedicaron a invertir en investigación e importación de nuevas variedades y tecnología avanzada que les ayudara a mejorar sus rendimientos, mientras otros productores que no disponían de estos recursos dejaron de ser competitivos. Esta situación motivó a la creación de la Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA) en 1982 mediante los esfuerzos de LAICA, las Cámaras y el Ministerio de Agricultura y Ganadería. El principal objetivo de DIECA es aumentar la productividad a nivel nacional del cultivo, como el resultado de investigaciones y transferencia de tecnología para todos los empresarios que componen el sector azucarero. DIECA evalúa sistemas de riego, fertilización y algunas variedades mejoradas genéticamente que pudieran adaptarse mejor a las condiciones específicas de cada cultivo.

MARCO METODOLÓGICO

Definición del problema

Gracias a la apertura de los mercados y la búsqueda por comercializar bienes y servicios bajo iguales condiciones de competencia, los gobiernos e industrias consumidores de azúcar han logrado en los últimos años adquirir este alimento en regiones con las cuales no habían comercializado regularmente, logrando así comprar a los precios más bajos, dejando de lado a sus proveedores tradicionales. Según Sugar On Line, las industrias azucareras en países como Brasil, Colombia, Guatemala y Nicaragua cuentan con costos operativos más bajos que los necesarios para operar en Costa Rica. Una estrategia adoptada por algunos ingenios en nuestro país con el fin de reducir estos costos de producción consiste en fortalecer la operación de cosechar la caña de azúcar con máquinas diseñadas para este fin, desplazando proporcionalmente la costosa operación tradicional de cortar los tallos con un cuchillo.

Si bien estas máquinas han existido en Costa Rica por más de 25 años, nunca se han realizado estudios formales que describan las actividades que componen esta operación con un criterio integral que busque la compatibilidad entre las tareas, estrategias y la fluidez de la cosecha.

Por lo tanto, este proyecto busca responder a la pregunta: **¿Cómo optimizar la operación de cosecha mecanizada de caña de azúcar para ser implementada en agroindustrias del sector azucarero costarricense?**

Al desarrollar el tema se pretende demostrar que: **Al estudiar las diferentes actividades que componen y se relacionan con la cosecha mecanizada de caña de azúcar es posible detectar, comprender y atacar las causas de los principales atrasos, desperdicios y otros factores que entorpecen la operación.**

Objetivos del estudio

Objetivo general.	Objetivo específico.
Analizar la situación actual de las operaciones de cosecha mecanizada de caña de azúcar en el sector azucarero nacional	<ul style="list-style-type: none">• Identificar los ingenios en Costa Rica que cuentan con este tipo de maquinaria y describir las actividades relacionadas con la cosecha.• Determinar el rendimiento actual y la capacidad productiva de los equipos de trabajo en diferentes condiciones.• Describir el proceso de selección de variedades de las plantas que se siembran con fines comerciales.• Describir la etapa de maduración de la caña, discutir acerca del método utilizado actualmente para medir el avance de esta etapa y experimentar utilizándolo como instrumento de medición.• Analizar la composición del desperdicio de caña, producto de la cosecha.

Tabla #1
Fuente: del autor.

Tipo de investigación

Este estudio ha sido realizado con carácter exploratorio principalmente por la carencia de estudios científicos realizados en Costa Rica donde se analice la cosecha mecanizada de caña de azúcar. En otras regiones del mundo como el sureste de Estados Unidos, Brasil y Australia se han desarrollado investigaciones relacionadas con el tema, pero las condiciones, organizaciones y métodos de trabajo que se presentan son muy diferentes a las que se encontraron en las zonas cubiertas por este proyecto. Esta información puede utilizarse como referencia, pero no es del todo compatible con la realidad del sector azucarero nacional.

Hernández, Fernández y Baptista (2001) explican que "Los estudios exploratorios se efectúan, normalmente, cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes."(59) Luego aclaran: "Los estudios exploratorios en pocas ocasiones constituyen un fin en sí mismos, por lo general determinan tendencias, identifican relaciones potenciales entre variables y establecen el "tono" de investigaciones posteriores más rigurosas. Se caracterizan por ser más flexibles en su metodología en comparación con los estudios descriptivos o explicativos, y son más amplios y dispersos que estos otros dos tipos."(60)

La exploración comienza por identificar los ingenios que califican para ser estudiados y describir las actividades propias de la industria que se relacionan con el tema de la cosecha. Es necesario comprender la organización actual del sector azucarero nacional y la historia de esta actividad agrícola, así como los orígenes de la mecanización de la cosecha a finales del siglo XIX en Queensland, Australia. La recolección y el ordenamiento de estos datos se formó a partir de un modelo de investigación descriptiva, que es descrita por Hernández y sus colegas (2001) de la siguiente manera: " Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades, o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir."(60)

Sujetos

Son sujetos de información e investigación cinco de los 16 ingenios que actualmente operan en Costa Rica. Este grupo tiene la característica común de contar con una operación de cosecha totalmente mecanizada para asistir a la recolección de parte de la caña que procesan en sus instalaciones. Se trabajó con datos suministrados por el personal que labora en estos ingenios en puestos como agrónomos jefes de finca, jefes de taller, coordinadores de mantenimiento, de cosecha y de logística; gerentes generales, agrícolas, industriales y de recursos humanos, operadores de maquinaria, topógrafos, especialistas en riego y genetistas. También se consideró información proveniente de casas comerciales que suplen de maquinaria y repuestos a estos ingenios. La misma maquinaria, las plantas de caña, los terrenos y los caminos son parte fundamental del estudio y también son sujetos de información.

Estos grupos de personas que desempeñan diferentes funciones relacionadas con la operación que se estudia en este proyecto representan, según Arellano (1990) "un conjunto particular de unidades estadísticas, que ni ha sido concebido como población ni tampoco ha sido seleccionado como muestra de una determinada población. Es, simplemente, un conjunto que el investigador tiene a mano y quiere estudiar con fines descriptivos." (62)

Fuentes de información

- Textos especializados.
- Reportes periódicos generados por el sistema de cómputo de los ingenios.
- Informes generales de cada zafra elaborados por los ingenios.
- Informes estadísticos de producción y ventas de LAICA.
- Leyes y reglamentos aplicables al sector.
- Revistas y catálogos.
- Memorias de congresos.
- Entrevistas a funcionarios.
- Pruebas de campo y de laboratorio.

Conceptualización de variables

Variable	Definición conceptual.	Indicadores.
Condiciones de los ingenios	Capacidad de molienda con respecto al equipo de cosecha existente.	Cantidad de caña cosechada diariamente por cada máquina. Porcentaje del total de la caña que procesan que es cortada con máquinas. Porcentaje de la caña mecanizada que se corta sin quemarla.
Compatibilidad de la caña con la mecanización	La variedad ideal de caña de azúcar es aquella que responde favorablemente a las condiciones ambientales y las necesidades de los agricultores, los trabajadores de campo y la industria.	En el caso de la mecanización se pretende conocer si la selección de nuevas variedades se hace tomando en cuenta los requerimientos de la maquinaria.
Madurez de las plantas	"En la caña de azúcar se pueden considerar los estados de maduración botánica, fisiológica y económica... El concepto de maduración económica está sobre la perspectiva de las prácticas agronómicas en busca de condiciones para el beneficio industrial." Cassalet.(Pág.297)	Medición del Brix, para obtener el dato correspondiente a la cantidad de kilogramos de azúcar que se pueden producir a partir de una tonelada métrica de caña.
Rendimientos de la maquinaria de cosecha	"El único camino para que un negocio o empresa pueda crecer y aumentar su rentabilidad es aumentando su productividad. Por incremento en la productividad se entiende el aumento en la producción por hora." Niebel (Pág.1)	El rendimiento se calcula a partir del porcentaje del tiempo total de la jornada que se dedica a realizar actividades productivas.
Desperdicio de caña	El desperdicio de caña corresponde a la diferencia en peso entre la cantidad de caña sembrada en una parcela y la cantidad de caña que fue entregada al ingenio después de haberse cosechado ese terreno.	Clasificación del desperdicio en categorías y analizar el peso correspondiente a cada una y la composición de estos desperdicios: Medición del Brix, Pol, Pureza del jugo, Peso de la Torta Residual, Porcentaje de lodos en el jugo.

Tabla #2
Fuente: del autor.

Evaluación de las variables

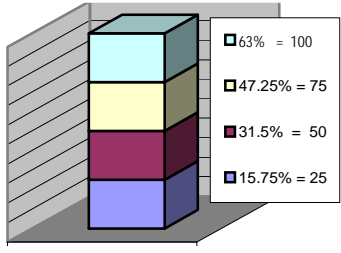
Variable	Instrumentos para medir.	Criterios de evaluación.								
Condiciones de los ingenios	Visitas a los ingenios, entrevistas a gerentes y jefes de departamento. Consultar documentos de LAICA.	Calificación de 1 a 10 (10 es el máximo) Promedio de las evaluaciones de los 3 indicadores. Esta evaluación se detalla en el tema Historia de la cosecha mecánica. Los resultados se presentan en la tabla #8.								
Compatibilidad de la caña con la mecanización	Entrevistas a expertos genetistas e investigadores. Opinión de agrónomos dedicados al cultivo.	Variiedad compatible: concuerda con las características listadas y descritas en el tema: Selección de variedades. No compatible: al no contar con las propiedades adecuadas su rendimiento durante la cosecha mecánica no es el máximo.								
Madurez de las plantas	Prueba en laboratorio denominada Muestreo Precosecha, normalizada por LAICA y descrita detalladamente más adelante.	Inmadura: el agrónomo determina que los niveles aún no son los máximos. Madura: El contenido de sacarosa se encuentra en el punto más alto del ciclo de vida de la planta y si se cosecha en este momento se obtendrá el máximo beneficio económico.								
Rendimientos de la maquinaria de cosecha	Muestreo de trabajo. Medición de áreas y distancias empleando el GPS.	El rendimiento de la operación brasileña es el más alto en la industria a nivel mundial, se ha optimizado al máximo y es la meta para otros países. La escala de evaluación se basa en que el tiempo productivo en Brasil es el máximo alcanzable. (calificación 100)  <p style="text-align: center;">Categorías de rendimiento.</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>63%</td> <td>= 100</td> </tr> <tr> <td>47.25%</td> <td>= 75</td> </tr> <tr> <td>31.5%</td> <td>= 50</td> </tr> <tr> <td>15.75%</td> <td>= 25</td> </tr> </table>	63%	= 100	47.25%	= 75	31.5%	= 50	15.75%	= 25
63%	= 100									
47.25%	= 75									
31.5%	= 50									
15.75%	= 25									
Desperdicio de caña	Recolección, clasificación y pesado de desperdicio en el campo y los caminos. Prueba en laboratorio denominada Muestreo Precosecha.	En Australia se considera como normal y aceptable un desperdicio de 5.2 toneladas de caña por cada hectárea cosechada con máquina. Cifras iguales o inferiores a esta será eficiente . Si la cantidad de desperdicio es mayor a 5.2 ton/ha; la operación se calificará como ineficiente .								

Tabla #3
Fuente: del autor.

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Presentación de los resultados

Arlette Pichardo (1989) define que la palabra *diagnóstico* significa *conocer a través de*, en este caso conocer la situación actual del sector desde el punto de vista de la mecanización, a través de las diferentes condiciones que se presentan y los factores que la afectan. "...se trata, de conocer e interpretar la dinámica de los hechos que se han manifestado en el pasado y que se observan en el presente para prever las probables evoluciones de la situación diagnosticada".(157)

Los resultados primero se presentan en forma de diagnóstico, luego se discuten y analizan. A partir de los hallazgos se recomiendan condiciones que podrían ayudar a mejorar el desempeño de la operación de la maquinaria durante la época de cosecha. Recordemos que éste es un estudio exploratorio y busca identificar aquellas situaciones y relaciones que requieran de estudios más exhaustivos. A lo largo del desarrollo de estos temas se han aplicado herramientas e instrumentos de medición para medir las variables, pero no se quiere dar por entendido que estas son las únicas o las mejores herramientas para lograr las mediciones. Los ingenios e instituciones interesadas podrían contar con mayores recursos y experiencia que les permitan aplicar métodos más exactos y realizar más repeticiones para lograr datos precisos y confiables.

Los alcances de este trabajo son la identificación de los factores que contribuyen al entorpecimiento de la actividad estudiada y recomendar las mejores prácticas luego de analizar cada uno de estos factores. Siempre se mantuvo la intención de profundizar al máximo posible a pesar de contar con las siguientes limitaciones:

- Los ingenios y las fincas son propiedad privada, por lo tanto se pueden reservar el derecho de atender a un estudiante, así como proporcionarle información y recursos para la investigación.
- Las actividades que ahí se desarrollan son netamente comerciales, así que no se pueden realizar pruebas que pongan en peligro la actividad regular o su rentabilidad.
- La caña de azúcar es una planta, un ser vivo que reacciona de diferentes maneras a diferentes condiciones, muchas veces de forma impredecible.

- Estos ingenios se encuentran lejos de San José y visitarlos significa incurrir en gastos que deben ser cubiertos por el estudiante.
- El acceso a los laboratorios es limitado, su disponibilidad depende de una autorización y del trabajo que ahí se esté realizando. Los reactivos y el uso del equipo tienen un costo por cada prueba o repetición.
- La agricultura es una actividad dependiente del clima, las lluvias, vientos, sequías, plagas y temperatura, los cuales son factores cambiantes, difíciles de predecir y generalmente imposibles de manipular. Las observaciones en ocasiones fueron beneficiadas por el clima, en otras perjudicadas.

1° TEMA

LOS INGENIOS EN COSTA RICA Y LOS MÉTODOS DE COSECHA

Distribución de los industriales en Costa Rica

La actividad industrial azucarera en Costa Rica está compuesta por 16 ingenios que LAICA ha organizado en seis zonas según su ubicación geográfica (Ver tabla #2). Hay ingenios distribuidos en todo el país, con diferentes capacidades de producción, métodos de cultivo, transporte e industrialización, dependiendo principalmente de las condiciones ambientales típicas de la zona donde se encuentren. Por ejemplo, los cultivos de la Zona A se encuentran a elevaciones superiores a los 800 metros sobre el nivel del mar y en terrenos quebrados y montañosos, mientras los de la Zona D están a altitudes menores a los 50 metros y en terrenos llanos. De igual forma se identifican diferencias importantes de temperatura, precipitación, tipos de suelos y por supuesto solidez financiera. Estas variables contribuyen a determinar las variedades de caña que se siembran en cada finca, y otras técnicas que serán características de cada zona como: la preparación del terreno, fertilizaciones, riego, método de corta y acarreo.

Distribución de los industriales azucareros por zonas según LAICA

Distribución	Ingenios
Zona A	Atirro
	Juan Viñas
Zona B	Argentina
	Costa Rica
	Porvenir
	Providencia
	San Ramón
	Victoria
Zona C	Cutris
	Quebrada Azul ←
	Santa Fe
Zona D	El Palmar ←
Zona E	CATSA ←
	El Viejo ←
	Taboga ←
Zona F	El General

Tabla # 4

Fuente: LAICA

Elaborado por: el autor.

Nota: Según LAICA, antes del año 2000 la distribución por zonas era diferente.

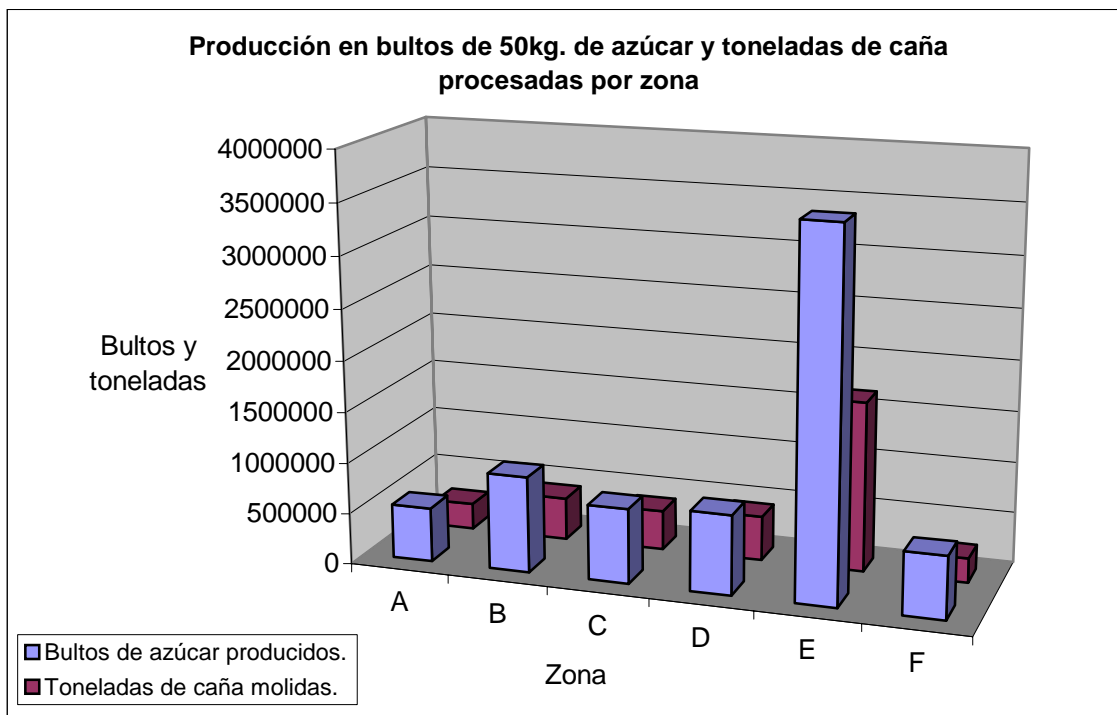


Gráfico #4
 Fuente: LAICA
 Elaborado por: el autor.

Como se aprecia en el gráfico # 4, la cantidad de azúcar que se produce en cada zona es variable, dependiendo de la cantidad de ingenios que se ubican en cada una y de su tamaño; lo mismo ocurre para la cantidad de toneladas métricas de caña que se muelen en cada región. La capacidad de los ingenios se puede medir en capacidad para moler y en capacidad de producir azúcar, Es claro que cuantas menos toneladas de caña se necesite moler para producir cierta cantidad de azúcar, más rentable será ese ingenio. Pero no se trata simplemente del proceso industrial; la producción agrícola juega un papel importante ya que la madurez y el estado de la caña dictarán parte del porcentaje de azúcar que se pueda aprovechar, de igual forma contribuyen al manejo que se le dé a la caña desde que se corta hasta su llegada al ingenio. En el gráfico #5, si se presta atención a los rendimientos del Ingenio El General, se nota como su comportamiento es algo distinto del de los otros ingenios, en este caso la diferencia entre las toneladas de caña molidas y los bultos de azúcar producidos es porcentualmente mayor a la de otros ingenios. Ello sugiere que este ingenio tiene los mejores rendimientos en cuanto al aprovechamiento de la caña de azúcar. En esa zona el clima favorece el proceso de

maduración; este fenómeno se explicará más adelante. El gráfico #6 muestra el redimiendo de tuvieron los 16 ingenios del país durante la pasada zafra, estos valores representan el promedio de la cantidad de kilogramos de azúcar que se lograron extraer a cada tonelada de caña que ingresó al molino. Se resalta en amarillo el Ingenio El General con un rendimiento de 127 kilos de azúcar por tonelada de caña y en rojo se distingue El Palmar, con un aprovechamiento inferior al de todos los otros ingenios. El rendimiento promedio general en Costa Rica para el 2000-2001 fue de 105.37 kg./ton.

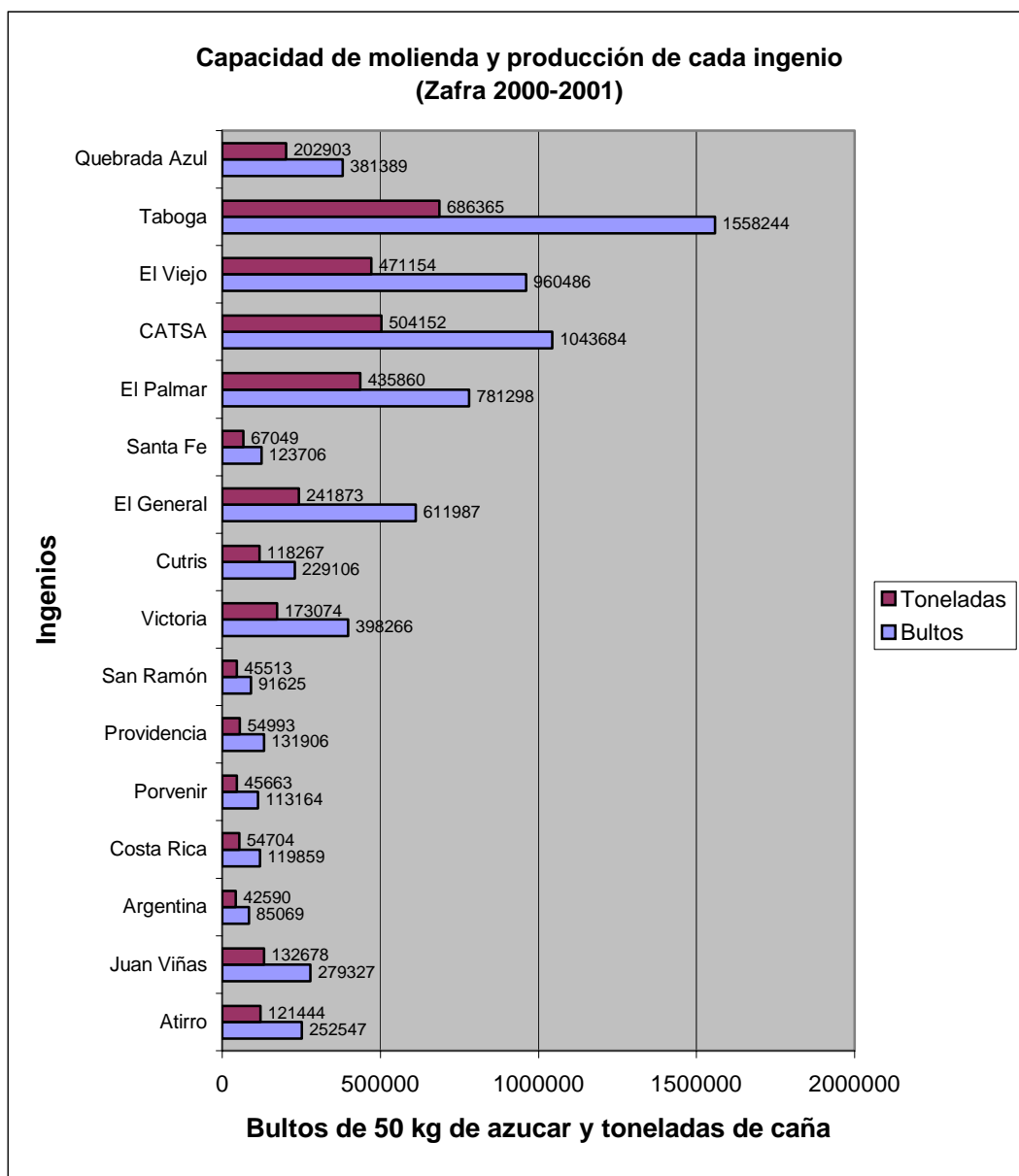


Gráfico # 5
Fuente: LAICA.
Elaborado por: el autor.

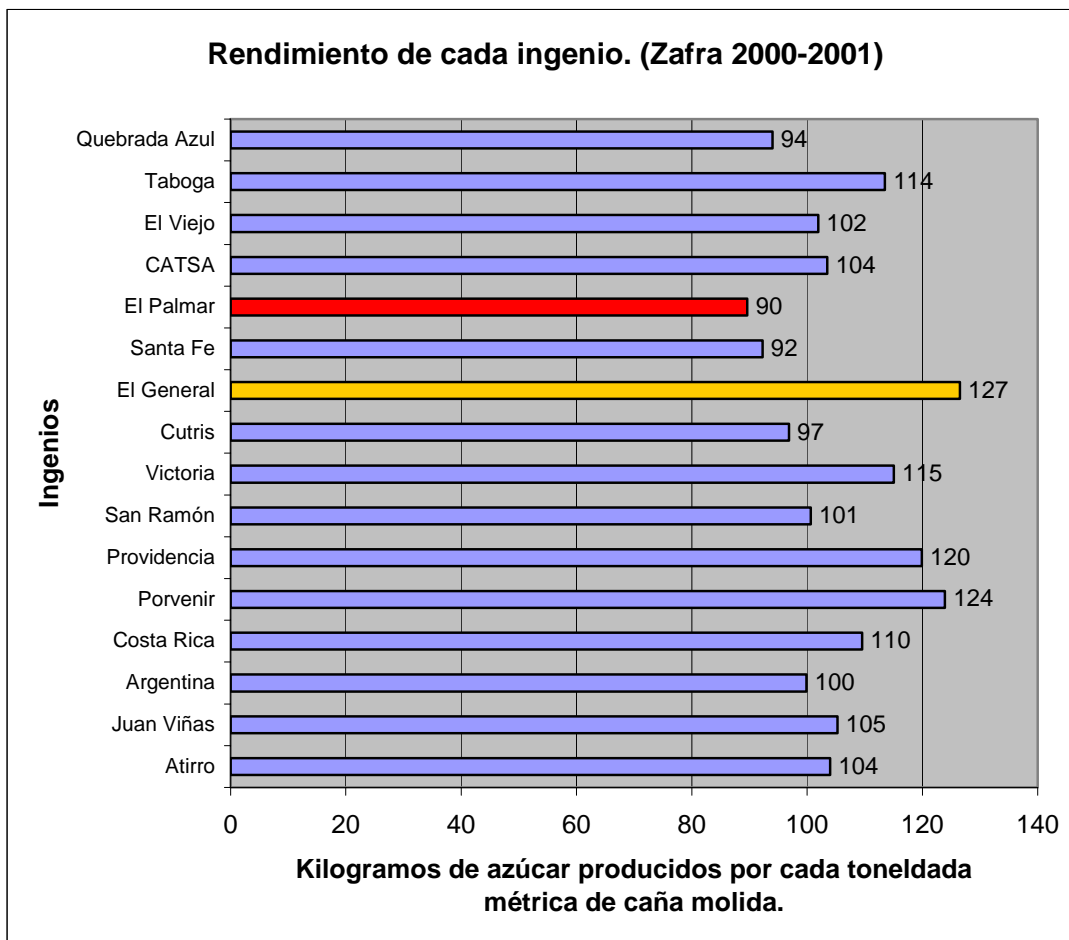


Gráfico #6
Fuente: Del Autor.

En Costa Rica 5 de los 16 ingenios que existen cuentan con máquinas cosechadoras de caña. Estos ingenios (señalados con flechas en la Tabla #2) están ubicados en las zonas D, B y E donde se dan situaciones beneficiosas para el adecuado funcionamiento de una operación de cosecha mecanizada. Otros ingenios del país, aunque cuenten con extensiones grandes de terreno y capital para adquirir cosechadoras, no les es posible incorporar esta operación porque se ubican en terrenos con topografía accidentada, suelos fangosos, el clima no permite el crecimiento de variedades erectas, y otros factores que se detallarán más adelante, que son necesarios para determinar el éxito de la cosecha mecánica.

Si se clasifican todos los ingenios de Costa Rica en dos categorías según la existencia o inexistencia de una operación de cosecha mecanizada, se tiene que los cinco

ingenios sujetos a este estudio procesan el 68% de la caña cultivada en todo el país, dejando un 32% dividido entre los 11 ingenios restantes, en donde la operación es totalmente manual. (Ver gráfico #7)

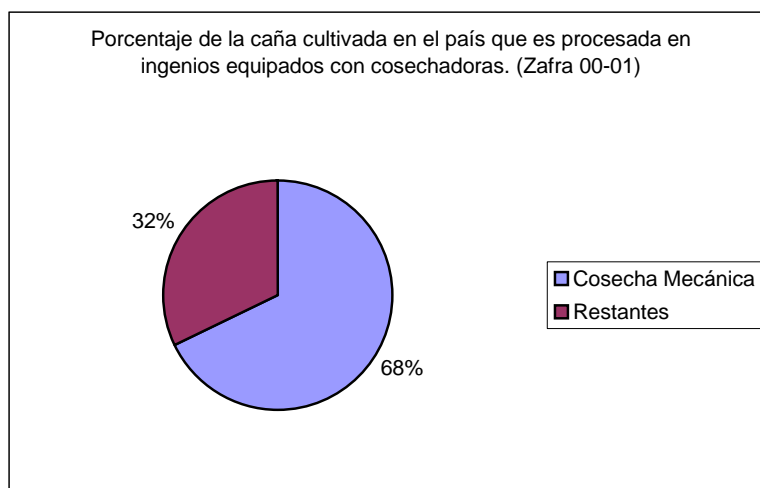


Gráfico # 7
Fuente: del autor.

De igual forma se distribuye la producción de azúcar: el 73% proviene de los cinco ingenios que cuentan con máquinas cosechadoras, mientras que el conjunto de los otros 11 ingenios produce el 27% del total nacional. (Ver gráfico #8)

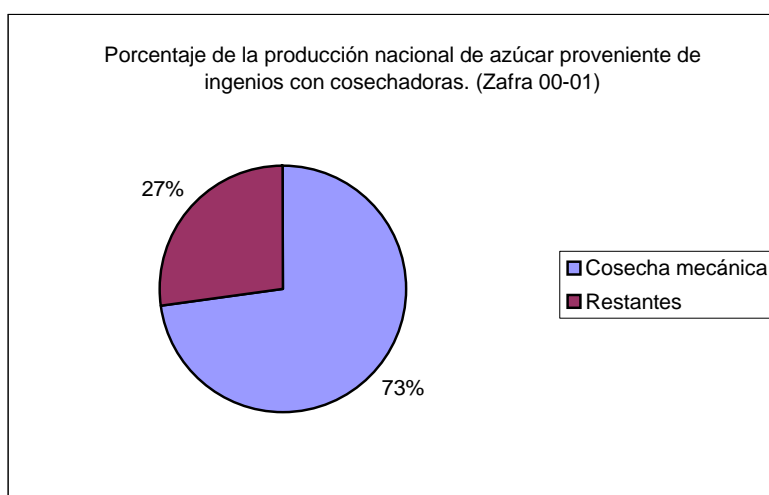


Gráfico #8
Fuente: del autor.

La corta manual

El método de cosecha manual se empleó satisfactoriamente en todas las regiones del planeta donde en algún momento se sembró caña de azúcar, hasta que se presentaron limitantes como la disponibilidad de mano de obra, elevados costos y baja productividad (Ver: Historia de la cosecha mecanizada). Actualmente, la corta manual sigue siendo popular e incluso es la única opción factible de recolectar algunos cultivos.

Cuando se refiere a la corta manual se entiende que es la operación en donde un trabajador corta los tallos con un machete, les elimina el cogollo y los acomoda en la ruma, luego la carga de las carretas que llevarán la caña al ingenio se puede realizar manualmente o con la ayuda de máquinas cargadoras, a este último método se le conoce como cosecha semi mecanizada.

En Costa Rica la mayoría de los ingenios cuentan con cargadoras de caña que facilitan enormemente la labor de los cortadores y al ser más rápidas que la cargada manual se reduce el tiempo que transcurre desde que se quemó el lote hasta que entra al molino para que la caña se procese.

En zonas montañosas como la región central, Turrialba y algunas áreas de San Carlos es imposible transitar las cargadoras y tractores dentro de los lotes por lo quebrado del terreno, entonces es necesario realizar el alza de la caña manualmente. En los ingenios que comprenden este estudio, la totalidad de la caña cortada manualmente se carga con la asistencia de cargadoras, (CAMECO SP1800 y SP2254) gracias a una topografía generalmente plana y la adecuada disponibilidad de estos equipos capaces de cargar de 20 a 50 toneladas de caña por hora, dependiendo de factores como el tamaño de la cargadora, el acomodo de las rumas y capacidad de los camiones.



Foto# 1 Cortadores de caña.



Foto# 2 Cargadora de caña larga.

Los medios de transporte varían de zona en zona e incluso entre fincas. Generalmente se emplean tractores que entran al lote con una carreta y viajan junto a la cargadora que la va llenando, luego sale al camino donde deja la carreta llena y acopla otra vacía para repetir la operación, hasta tener las 2, 3 o más carretas que tirará simultáneamente hasta el ingenio. En fincas donde la distancia al ingenio sea mucha o el trayecto incluya transitar por carreteras principales se prefiere acarrear con "cabezales" y carretas grandes equipadas con frenos, luces y llantas adecuadas para transitar por carretera; en este caso el cabezal no puede entrar al lote, entonces espera en el camino mientras un tractor tira de su carreta junto a la cargadora y se la lleva de nuevo para que la acople y la dirija hacia el ingenio.

El transporte de la caña cortada por el método manual se da principalmente con tractores y camiones particulares, equipados con carretas propias o pertenecientes al ingenio. El pago a estos transportistas se calcula sobre una relación entre el peso en toneladas de caña que llevó y la distancia en kilómetros recorridos por cada viaje. Para esto, antes de iniciar la zafra activa, los ingenios clasifican todos los lotes en categorías según la distancia que los separa del ingenio, y pone esta lista a disposición de los transportistas y los encargados de calcular los pagos. Para cada viaje se llena una boleta que indica el lote de origen de la caña que transporta, el código del transportista y otros datos que se adjuntan a la boleta de pesado. El peso neto real de la caña, se calcula pesando el camión y las carretas llenas antes de entrar al ingenio y restándole el peso del camión y las carretas vacías, que fue determinado al inicio de la zafra y se mantiene en una base de datos en la estación de pesaje. Para evitar diferencias de peso se tiene prohibido a los transportistas intercambiar carretas durante al zafra, y si es necesario hacerlo deben de reportar el cambio y pesar la "tara" o peso del equipo vacío.

El pago a los cortadores se calcula de diferentes maneras y cuya aplicación también varía de finca en finca. Existe un método de pago por metros de surco cortados, donde un supervisor estima el peso que tendría cada metro lineal de la ruma y lo multiplica por la cantidad de metros que cada hombre cortó. Lógicamente surgen diferencias de opiniones debido a la subjetividad del cálculo, ocasionando descontentos y deserción por parte de los cortadores. A la empresa tampoco le resulta beneficioso porque los trabajadores tratan de acomodar mal la ruma para hacerla parecer más larga, pero se torna también más difícil de cargar. El método de pago por metro no es totalmente justo

ya que es normal encontrar surcos con diferente densidad dentro del mismo lote, lo que significa que algunos hombres tendrán que trabajar más duro para cortar la misma distancia que otros, pero aún así la utilización de este método es normal, especialmente en zonas donde la carga de las carretas se realiza manualmente.

En las zonas sujetas a este estudio y en otras del país se aplica un método más confiable que se basa en el peso de la caña que cada hombre cortó durante la jornada. El cortador marca con estacas y boletas con su número personal el inicio y final del porcentaje de la ruma que él cortó (Foto# 3), luego el operario de la cargadora se coloca al principio de la fila, donde hay una marca que le corresponde a un cortador, recoge la caña hasta llegar a la marca de otro cortador, entonces anota la cantidad de "uñadas" (Foto# 4) o cargas completas y medias de las tenazas de la máquina requeridas para recolectar lo cortado por un trabajador. Para calcular el pago se suman la cantidad de uñadas requeridas para recolectar toda la caña que se cortó durante esa jornada por todos los trabajadores y se divide entre la sumatoria del peso neto de todas las carretas que llevaron esa caña al ingenio, obteniéndose así un peso promedio de cada



Foto# 3 Ruma y boleta con datos del cortador.



Foto# 4 La uñada de una SP2254

uñada¹ que se le multiplica a la cantidad de uñadas que cortó cada hombre. Este dato final serían las toneladas de caña que cada persona corto durante la jornada, que se suma diariamente para calcularle el pago semanal. Durante la zafra 2001-2002 el Ingenio Taboga pagó a sus cortadores 790 colones por cada tonelada cortada y según el señor Ronald Calvo, coordinador de cosecha manual de esa empresa, un cortador promedia las cuatro toneladas de caña cortadas por día, lo que supone un salario mensual de

¹ El peso promedio de una uñada es de aproximadamente 350 Kg. para la SP1800 y 480 Kg. para la SP2254. Según mediciones realizadas por el autor en Ingenio Taboga.

aproximadamente 90 000 colones.

Durante este mismo periodo Taboga contrató a 300 cortadores, de los cuales únicamente 23 son costarricenses, y el resto son extranjeros, principalmente nicaragüenses. La empresa cuenta con "campamentos" o edificios de dormitorios, servicios sanitarios, comedor y cancha de béisbol donde se alojan durante la zafra activa. También se recurre al fuerza de trabajo de otros 300 hombres (todos extranjeros) traídos por contratistas quienes venden el servicio de corta a los ingenios. Estos trabajadores no reciben hospedaje, alimentación, herramientas ni transporte de los ingenios, y el pago se hace a través del contratista, quien debe hacerse responsable por los trabajos y mantenimiento de su personal. Al contratista se le pagan 1150 colones por tonelada cortada y debería de pagarle a sus empleados 790 colones por sus servicios y brindarle las condiciones básicas de hospedaje mientras trabajen para él, aunque algunos entrevistados afirman que en ocasiones son víctimas de explotación y estafa por parte de sus empleadores.

Aproximadamente un mes antes de iniciar, la zafra activa los ingenios; colocan carteles en tiendas, bares, parques y varios puntos populares de los pueblos cercanos anunciando el período de contratación de personal para diversas tareas, entre ellas la corta manual de caña. Pero al no poder completar el personal necesario pocos días antes del inicio de labores, se recurre a traer temporalmente cortadores nicaragüenses deseosos de trabajar en actividades pesadas y ganar mejor que en su país. No hay mujeres trabajando en estos puestos, aunque tampoco existe algún impedimento para que no lo hagan.

Este grupo de 600 cortadores completaron la cosecha del 52% de la caña de Taboga para la Zafra 01-02, es decir, cortaron 357 000 toneladas y entre todos ganaron más de 350 millones de colones durante esta temporada.

La corta manual tiene algunas desventajas contra la corta mecanizada como se ha discutido antes, fundamentadas principalmente en el costo que representa para los ingenios el pago de la mano de obra, el manejo y mantenimiento de este personal. Pero desde el punto de vista agronómico el impacto que tiene la cosecha manual sobre el cultivo es significativamente menor al impacto que tiene el proceso mecanizado; según la literatura consultada y la opinión de los agrónomos dedicados a la actividad cañera, un cultivo cosechado siempre manualmente puede ser aprovechado durante 6 ó 7 años antes

de tener que ser renovado, pero si las cosechas se realizan con máquina, la vida útil de las plantas se reducirá en generalmente 2 años. Las principales causas son el deterioro que sufre la cepa y las raíces por el impacto de las cuchillas, un corte que no sea preciso puede eliminar la sepa totalmente o dejar trozos del tallo original, del que luego brotarán tallos débiles y la compactación que sufre el suelo por el tránsito de una máquina de más de 20 toneladas de peso y varios tractores con carretas entorpece el desarrollo radical de la planta.

Otra ventaja de la cosecha manual es que no requiere de condiciones especiales de terreno, los hombres pueden cortar en surcos cortos, inclinados, fangosos y en situaciones donde una máquina no podría trabajar, o no sería rentable por la dificultad de movimiento.

Este método también es el preferido en lotes sembrados con variedades con hábitos de crecimiento en donde los tallos son curvos, se enredan entre los surcos o se doblan y crecen paralelos al suelo. La cosecha de este tipo de plantas con maquinaria generalmente ocasiona daños importantes a las cepas. Suele suceder que un cultivo donde predominan los tallos erectos en posición vertical se doblen y enreden luego de que ese lote se quema.

La quema intencional de las siembras se ha efectuado tradicionalmente en todo el mundo como parte de proceso de corta manual. El objetivo de esta práctica es eliminar las hojas secas y verdes de la caña, dejando el tallo prácticamente limpio de follaje, así el cortador solo tiene que cortarla de raíz, acomodarla en la ruma y luego eliminar lo que quede del cogollo. Algunos agrónomos, jefes de fincas, aseguran que quemando un lote, en ocasiones se puede modificar (aumentar) el resultado de los análisis de laboratorio que pretenden determinar los kilogramos de azúcar que se pueden producir a partir de una tonelada de caña, esto porque la deshidratación que sufre por el calor hace que la concentración de sacarosa sea mayor. No se encontraron estudios formales ni literatura que validaran la hipótesis de que realmente se aumenta la cantidad de azúcar producida y no solamente el resultado del análisis de laboratorio. Durante las observaciones de campo y de los análisis de laboratorio se notó cómo los resultados variaban de mayor a menor con respecto a los estimados de producción cuando se quemaban los lotes, pero no se logró identificar alguna tendencia.

Otra aplicación de la quema corresponde al control de plagas como hongos, insectos, ratas y otros roedores y también ayuda a reducir el porcentaje de materia orgánica en el suelo.

La quema se tiene que programar conjuntamente con el plan de cosecha ya que antes de incendiar el lote, una cuadrilla de hombres que conforma el Equipo de Incendio limpia los bordes del terreno asegurándose que no queden hojas secas por donde el fuego pueda pasar a otros lotes vecinos, también se tiene que tomar en cuenta el sentido y la intensidad del viento. Los ingenios cuentan con personal y equipos dedicados únicamente a esta actividad y su experiencia y atención juegan un papel importante para evitar un posible caos.

Después de quemado los cortadores tienen que iniciar la corta lo antes posible para evitar que la caña se deteriore y sea más difícil la extracción de sacarosa en el ingenio, como regla general se busca que no transcurran más de 24 horas desde el inicio de la quema hasta que la caña llegue al ingenio. Estudios realizados en Colombia dictan que la caña después de 36 horas de la quema está totalmente deteriorada y recomiendan no llevarla al ingenio porque contaminará los jugos de otra caña fresca. En Taboga se ha notado como los cañales que se queman durante el día tienden a perder el porte erecto de los tallos, causando que la caña se caiga y enrede dificultando la tarea de cosecha, especialmente si se pretende hacer con máquina. Esta situación no se torna tan grave cuando al quema se hace de noche.



Foto# 5 Quema de un cañal de día.



Foto# 6 Quema de un cañal de noche.

Nótese en las fotografías como la caña quemada durante el día se ha caído, justo donde está el fuego, mientras la quemada de noche mantiene el porte erecto.

La tendencia actual en los ingenios principalmente de Guanacaste es reducir el porcentaje del cultivo que se corta manualmente, siendo sustituido poco a poco por la operación mecanizada que se analiza en este trabajo de investigación. Sin embargo, se tiene claro que la configuración de las parcelas, equipo de apoyo, variedades de la caña, sistemas de riego y otros factores impiden la transición total hacia la era mecanizada. La mano de obra de los cortadores seguirá cosechando algunas áreas de las fincas hasta que sea posible modificar las condiciones agrícolas, topográficas y logísticas con un enfoque más compatible con los requerimientos de la maquinaria. En el corto plazo se deben replantear los objetivos de la operación de cosecha manual, pues su función será la de complementar el trabajo de las máquinas.

Descripción de la operación de cosecha mecánica



Foto# 7

Para efectos de este estudio se describirá la cosecha mecánica como un conjunto de actividades, equipos y trabajadores que juntos operan para realizar la cosecha. Los alcances de esta operación van desde la selección del lote por cosechar hasta depositar la caña en las carretas que la llevarán al ingenio, pasando por la corta, carga y transporte. En este caso todas estas actividades son asistidas por maquinaria agrícola.

Cada ingenio tiene organizadas las actividades según sus necesidades, condiciones del campo y recursos disponibles, pero el objetivo es básicamente el mismo: la corta de caña para abastecer de materia prima al ingenio de la manera más ágil y rentable.

Se propone que el inicio de la operación sea en el momento en que se toma la decisión de cosechar un lote. Esta decisión está fundamentada en los resultados de los análisis de madurez de los cañales. La prueba consiste en recolectar muestras de diferentes puntos de un lote y en el laboratorio determinar la cantidad de azúcar que se podría producir a partir de esa caña. A estos análisis se les llama Muestreos Precosecha y son la principal herramienta que utilizan los encargados de la cosecha para determinar la secuencia de corta una vez iniciada la zafra.

Inspecciones en el campo ayudarán a determinar si las condiciones del lote son adecuadas para ser cosechado con máquina; se busca que no tengan piedras, que las variedades sean aceptables, que tengan acceso cómodo y otras características que puedan entorpecer la operación. La secuencia y el método de corta que se seguirá durante la zafra se determina en conjunto entre los agrónomos y encargados de cosecha manual y mecánica. El tema: Maduración de la Caña describe detalladamente el

procedimiento de muestreo y de laboratorio empleados en estos análisis, así como la manera en que afectan el desempeño de la operación de cosecha mecánica.

Las cosechadoras de caña modernas son descritas por sus fabricantes como "combinadas", refiriéndose a la capacidad de realizar varias tareas simultáneamente: cortar la caña, picarla en trozos, separar las hojas y cargar las carretas, labores que no eran capaces de realizar las primeras cosechadoras comerciales.

El equipo mecánico que conforma esta actividad generalmente se compone por una cosechadora, dos carretas de autovolteo con sus respectivos tractores y cuatro o más carretas grandes tiradas por cabezales, además es necesario el soporte por parte de uno o más camiones de servicio para el mantenimiento y la recarga de combustible. Cada pieza de equipo es conducida por un operario durante jornadas diarias de 12 horas, mientras que otro lo hará por la noche resultando en el funcionamiento de la maquinaria las 24 horas del día, constantemente por los aproximadamente 125 días de zafra. Los módulos de mecánicos y engrasadores asisten a la maquinaria para evitar que se interrumpan las operaciones por tiempos prolongados. En Estados Unidos y Australia donde la mano de obra tradicionalmente ha sido escasa y costosa se corta caña solamente durante el día y la noche se dedica al mantenimiento y reparación de los equipos de cosecha.

La siguiente descripción se basa principalmente en los modelos CH2500 de CAMECO, y aplican también para las cosechadoras Austoft 7700, su operación y el tratamiento que le dan a la caña es muy similar, de igual forma sus dimensiones, capacidad y equipo de apoyo son totalmente compatibles.

La marca alemana Claas aunque tiene tres modelos de cosechadoras y es popular en algunas regiones del mundo, en Costa Rica ha desaparecido y a pesar de haber dado buenos resultados y ser las únicas cosechadoras que hubo en el país durante la mayor parte de la década de los 80, ninguno de los ingenios visitados mostró interés en volverlas a adquirir. La inexistencia de estas máquinas trabajando en el país impide la observación, descripción y análisis de sus operaciones. Por estas razones no se incluirán las Claas a lo largo del estudio. La literatura y otra información publicitaria no es suficientemente detallada como para dejar de lado las pruebas de campo.

La principal diferencia que existe entre todas las cosechadoras que actualmente operan en Costa Rica se da en el mecanismo para el desplazamiento, las hay de orugas y de llantas. Todos los componentes relacionados con la corta de la caña son exactamente iguales. En la siguiente tabla se listan algunas ventajas y desventajas de estos sistemas.



Cosechadora de orugas	
Ventajas	Desventajas
Menor compactación del suelo.	Más costosa.
Trabaja muy bien en terreno húmedo y fangoso.	No se debe desplazar más de 500 m. sobre suelo firme.
Es más estable y permite un corte más preciso.	Es más pesada.
Aunque no es aconsejable, puede girar en cabeceras inclinadas.	Reparaciones del rodaje son más complicadas y costosas.



Cosechadora de llantas	
Ventajas	Desventajas
Aunque lento, puede desplazarse sin problemas dentro de las fincas.(±10kph)	No puede operar sobre terreno fangoso.
Precio más accesible	Si el terreno no tiene un plano uniforme, la máquina se mueve más y deja un corte disperejo.
El rodaje es más fácil y barato de reparar.	Compacta más el terreno.

Tabla # 5
Fuente: del autor; entrevistas a expertos.

El primer contacto que la máquina tiene con la caña es cuando las uñas de los **divisores** que trabajan al nivel del suelo levantan la caña que se encuentre caída hacia los lados; dos pares de "tornillos sin fin" giran separando la caña, y dirigiéndola hacia la boca de la máquina o hacia el surco de al lado. Estos tornillos giran siempre que se está cortando, y su giro se puede invertir para desenredar alguna caña que estuviera mal colocada. Justo sobre cada par de tornillos hay un



Foto# 8

plato giratorio con cuchillas (cortadores laterales) que tiene la función de cortar la caña que estuviera muy enredada con aquella de los surcos de los lados. El giro de estos platos también puede ser invertido o apagado por el operador.

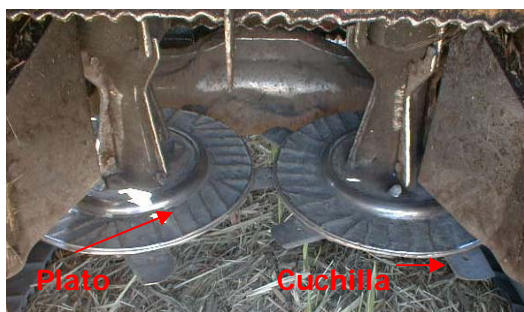
Cuando la caña es erecta y está en posición vertical, los tornillos llevan poco trabajo y básicamente servirán para levantar algunas cañas que hayan sido derribadas por el viento, en este tipo de caña generalmente se apagan los cortadores laterales.

Antes de entrar por la boca de la máquina, a la caña se le corta el cogollo con un brazo de altura variable que en su extremo porta un tambor giratorio con pequeñas cuchillas. Existen dos tipos de "cogollero": uno simplemente corta el tallo a la altura a la que el operador coloque el brazo (Foto #9) y otro más grande tiene varias filas de cuchillas que parten en pedacitos los cogollos (Foto #10). Los fabricantes aseguran que la utilización del cogollero opcional que destroza las hojas ayuda a acelerar el proceso de su descomposición en el suelo, pero no se encontraron estudios ni otra documentación que verificaran esta cualidad.



En cañales que han sido quemados es normal que los operadores apaguen el cogollero y lo coloquen a su altura máxima, ellos lo hacen con el fin de tener mayor visibilidad y porque el cogollo generalmente se quema y no existe la necesidad de cortarlo.

El próximo paso es la corta que se hace a ras del suelo, lo efectúan dos discos con cinco cuchillas cada uno, estos discos giran en sentidos opuestos y se les llama **Cortadores Base**. Las diez cuchillas que son parte de estos cortadores se sujetan a los platos con dos tornillos, tienen 7 huecos en línea que permiten colocarlas en diferente posición según se vayan desgastando.



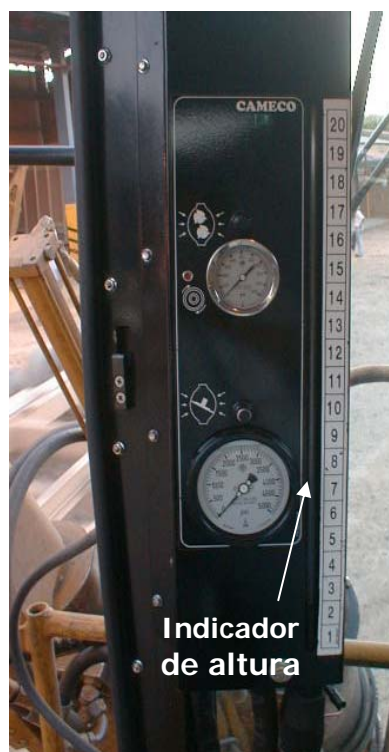
Foto# 11

La altura del corte se puede regular constantemente desde la cabina del operador, al permitir la entrada o salida de fluido hidráulico a los pistones que unen la estructura principal de la máquina con el tren de rodaje (orugas o ruedas delanteras, según el caso). Esta elevación se indica en una columna graduada en el interior de la cabina (Foto# 13), el operador debe de relacionar la altura del surco con la altura de los cortadores base, al final del surco se levantan al máximo para evitar daños a las cuchillas durante el giro; justo antes de iniciar el próximo surco se retoma la altura de corte.



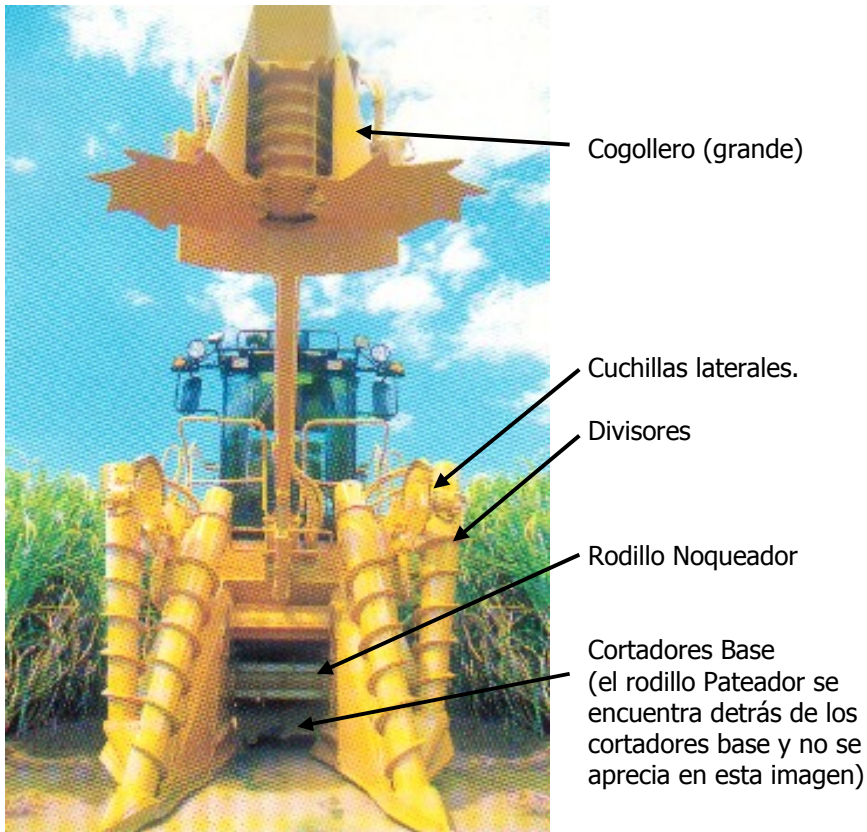
Foto# 12

Si el corte es muy alto quedarán trozos de tallo sin cortar, y si el corte es muy bajo las cuchillas cortarán bajo el nivel del suelo y sacarán la planta de raíz, también arrojarán tierra hacia la caña ya cortada.



Foto# 13

En el momento en que los cortadores base separan al tallo del suelo un rodillo llamado "noqueador" golpea la caña para colocarla en posición horizontal. Este rodillo gira constantemente y dirige los tallos cortados hacia otro rodillo que se encuentra cerca del nivel del suelo y se le conoce como "pateador" ya que tiene la función de levantar la caña caída y la que le pasa el noqueador.

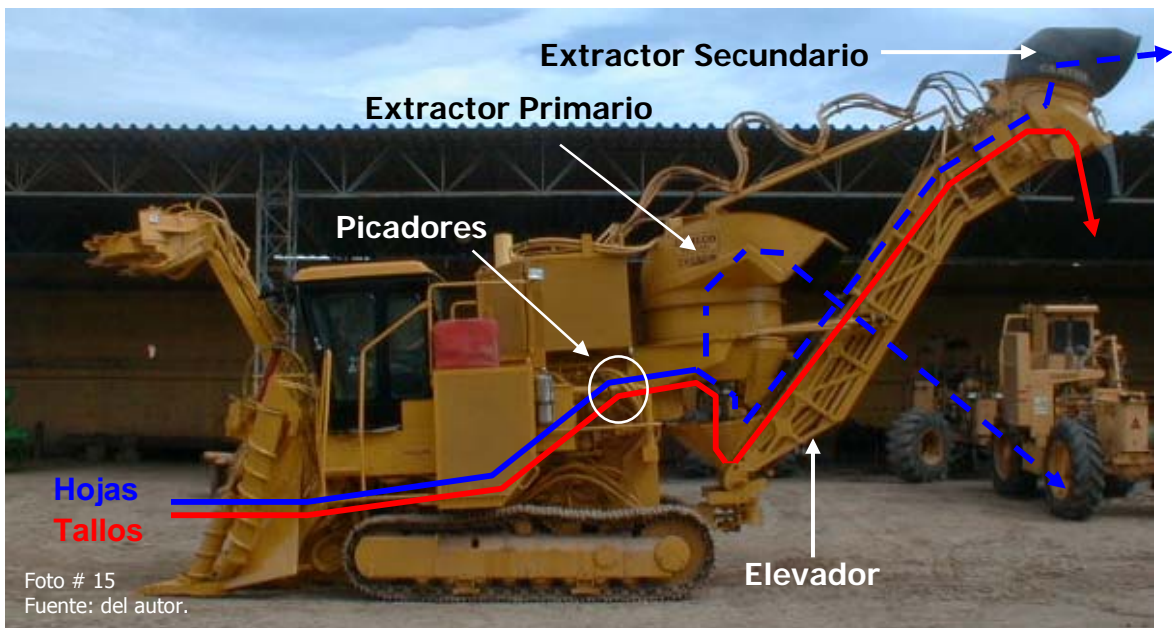


Foto# 14

Ambos rodillos dirigen la caña hacia una serie de rodillos que la transportan hacia atrás y un poco hacia arriba donde se encuentran los **picadores**, que son un conjunto de cuchillas que cortan los tallos en trozos de aproximadamente 25 centímetros. Otra función de los picadores es cortar las hojas que vienen adheridas a los tallos cuando la caña se cosecha en verde.

La caña picada cae luego a una canasta cuyo piso es una cadena transportadora que la lleva por el **elevador** para que luego caiga dentro de la carreta conocida como autovolteo, cuya descripción se hará más adelante.

Sobre la canasta y al final del elevador se encuentran los extractores primario y secundario respectivamente, que son abanicos que soplan hacia arriba succionando las hojas secas y verdes. La caña, como es más pesada, cae sobre la cadena o dentro de la carreta. La siguiente imagen indica el recorrido de la caña desde antes de ser cortada por los cortadores base, pasando por los rodillos hacia los picadores. Los extractores limpian la caña antes de ser transportada por la cadena hacia la carreta y después ser llevada al ingenio.



La carreta donde la cosechadora deposita la caña se conoce como **Carreta de Autovolteo**, pues está equipada con un sistema hidráulico que el permite levantar la canasta y voltearla para depositar su carga en otra carreta más grande. Estos autovolteos son tirados por un tractor que viaja junto a la cosechadora y debe ser conducido justo por debajo de la salida del elevador para que la caña caiga dentro de la carreta y no en el suelo. En Costa Rica predominan dos tipos de autovolteos: el fabricado por CAMECO que es utilizado en los ingenios EL Viejo, El Palmar, Quebrada Azul y pronto CATSA¹ también los tendrá. La capacidad de carga es de aproximadamente ocho y media toneladas². El otro modelo fue originalmente diseñado por la empresa Vanguard y luego se modificó en Taboga, que es el único ingenio del país en utilizarlos, su capacidad es de unas nueve toneladas y media.²

¹ Según entrevista con el Ing. Roberto Mayorga, gerente agrícola de CATSA. Comprarán 8 unidades.

² El peso de la carga depende de factores como la humedad de la caña, cantidad de hojas y el grosor de los tallos.

El autovolteo CAMECO

En Costa Rica hay 22 carretas de este tipo que operan constantemente en la zafra activa, y 4 más que se mantienen como repuesto o para alternarlos con otros mientras reciben mantenimiento o reparaciones. Son fabricados en Estados Unidos en la fábrica CAMECO ubicada en Thibodaux, Lousiana. El ingenio El Viejo logró reproducirlos exitosamente en su taller de maquinaria, reduciendo el costo final en casi \$13000. Este diseño de autovolteos es considerado como estándar en Estados Unidos y Latinoamérica: parte de su éxito se debe a la compatibilidad con las cosechadoras de la misma marca, que dominan el mercado en estas regiones.

El mecanismo de levante está compuesto por cuatro pistones hidráulicos que son comandados por la bomba y mandos del tractor que tira de él. El primer circuito de dos pistones tiene la única función de levantar la carreta hasta la altura deseada (Foto # 16), luego el otro circuito de dos pistones colocados horizontalmente voltean la canasta para vaciar la caña dentro de la carreta grande (Foto # 17).



Foto #16



Foto # 17

Este diseño depende de la carreta grande como soporte para que no se vuelque mientras la canasta está en la posición más elevada. Nótese en la foto # 17 como las dos llantas del lado derecho están en el aire y la estructura del autovolteo se apoya en la otra carreta. En El viejo se han registrado dos vuelcos y en El Palmar uno, la causa de estos tres accidentes fue porque los operadores levantaron la canasta sin estar junto a una carreta, pero esta operación nunca es necesario hacerla. Se puede decir que su operación es segura siempre y cuando se voltee de la manera correcta.

Algunas características de los autovolteos CAMECO

Capacidad	21.5m ³ (± 8.4 ton de caña)
Peso máximo de carga	36.2 toneladas.
Mecanismo de levante	Hidráulico de 2 circuitos.
Altura máxima de volteo	4.26 mts.
Ancho vía (centro de llanta)	1.95 metros.
Costo	\$28700 ¹



Tabla #6

Fuente: del autor, CAMECO, Tricorp. Inc.

Autovolteos "Vanguard / Taboga".

Actualmente hay seis de este tipo operando y uno más como repuesto en Ingenio Taboga. El diseño busca mayor estabilidad durante el manejo en curvas cerradas y terrenos inclinados así como en el momento de voltear. No se han registrado accidentes por vuelco de estas unidades y su diseño les permite voltear la canasta sin necesidad de apoyo adicional.

El sistema hidráulico está compuesto sólo por dos pistones que realizan la tarea de levante y volteo. Primero los pistones levantan la canasta hasta que tope con un soporte, que obliga a la canasta a seguir levantado únicamente un lado, consiguiendo así el efecto de volteo.

Taboga no ha logrado optimizar este modelo y durante la Zafra 01-02 se presentaron muchos problemas mecánicos y de diseño que le impidieron trabajar con constancia, además durante la zafra fueron sujetos a modificaciones para mejorar su desempeño y resistencia.

Las llantas que se utilizaron en estas carretas son de alta flotación, término utilizado para describir la cualidad de compactar muy poco el terreno por donde transitan, lo cual es importante para la protección de las raíces de la caña.

¹ C.I.F en Puerto Limón, transporte marítimo. Precio promedio por la compra de cuatro unidades. Cotizado por Tricorp Inc.

Según Steve Hall de El Viejo, construirlos en su taller costó aproximadamente \$15000 cada uno.

El Ing. Fernando Marengo de El Plamar asegura que comprarlos desarmados redujo el costo final de la compra en un 25%.

Como el diseño adecuado no ha terminado de desarrollarse, constantemente se realizan modificaciones en el rodaje, sistema hidráulico, estructura y la canasta, por eso aunque los siete autovolteos son similares, todos tienen sistemas y piezas algo distintas lo que dificulta sus reparaciones y no ha sido posible mantener un inventario de repuestos adecuado.

Algunas características de los autovolteos Vanguard / Taboga

Capacidad	26.3 m ³ (± 9.2 ton de caña)
Peso máximo de carga	Desconocido
Mecanismo de levante	Hidráulico 1 circuito.
Altura máxima de volteo	3.5 metros
Ancho vía (centro de llanta)	3 metros
Costo	\$20350 ¹

Tabla #7
Fuente: del autor, Taboga



En la imagen del lado se aprecia como un solo par de pistones es responsable de levantar y voltear la canasta, para lograr esto deben de ser más largos y gruesos así que requieren de tractores con bombas hidráulicas de alta capacidad, de lo contrario su operación será lenta. También se nota como las cuatro llantas mantienen contacto con el suelo gracias a su ancho de vía de tres metros, no depende de la otra carreta para su soporte.



Foto #18

¹ Según Edgar Campos encargado de costos en Taboga. Incluye modificaciones realizadas durante los primeros 45 días de zafra.

Otros modelos de Autovolteo

En el mundo existen otros diseños de carretas que cumplen el mismo propósito, entre ellos se mencionan las unidades autopropulsadas de Austoft que se utilizan ampliamente en Australia. Su diseño compacto sugiere una operación muy ágil, y su capacidad supera las diez toneladas de caña. La principal razón por la que no se haya importado esta maquinaria a Costa Rica es su precio elevado y el costo que representa mantener estos equipos inactivos durante los ocho meses que tarda la zafra muerta, en cambio los tractores que actualmente tiran de las carretas de autovolteo se utilizan para labores agrícolas como preparación de terreno, fertilización y control de malezas durante la zafra muerta. La avería de un tractor no significa un gran problema ya que puede ser sustituido por otro de la finca o alquilado, pero una avería de una carreta autopropulsada significa que no puede ser utilizada hasta tanto no se repare.

Austoft equipa estas carretas igual que sus cosechadoras, con rodajes de orugas para terreno húmedo y con llantas para suelos más firmes.



Foto# 19



Foto# 20

Como se detallará más adelante, la eficiencia de los autovolteos está muy ligada al rendimiento final de la operación de cosecha mecánica y su selección, construcción y mantenimiento deben de realizarse conjuntamente con la cosechadora y bajo los mismos parámetros. La avería de un autovolteo o del tractor que tira de éste significa un aumento preocupante en el tiempo perdido de la cosechadora ya que mientras el autovolteo va a descargar no puede cortar caña porque no hay otro donde depositarla.

Otros aspectos por considerar en la selección son la seguridad de los operadores, el ancho de vía que coincida con los entresurcos para que no maltrate la cepa, la compactación del terreno y las dimensiones externas de la canasta y estructura para que no impacten la cosechadora mientras viajan juntas, y aunque parezca elemental, asegurar que la caña caiga dentro de la canasta y no al suelo.

Historia de la cosecha mecanizada

La idea de cosechar caña con la ayuda de maquinaria sofisticada no es algo nuevo; de hecho hay registros que indican la existencia y utilización de cuchillos propulsados por aire, tijeras gigantes y sierras giratorias entre 1880 y 1900 en el estado de Queensland, Australia. El objetivo en esos días era mejorar la eficiencia, reducir el esfuerzo físico y el deseo de innovar.

En 1888 el señor John Rowland patentó en Australia la primera máquina auto propulsada capaz de desplazarse por los campos cortando caña y dejándola tendida en el suelo para luego ser cargada manualmente. Este diseño y otros de la época incluían un motor de vapor, sierras de cadena y bandas transportadoras fabricadas con piel de origen animal.

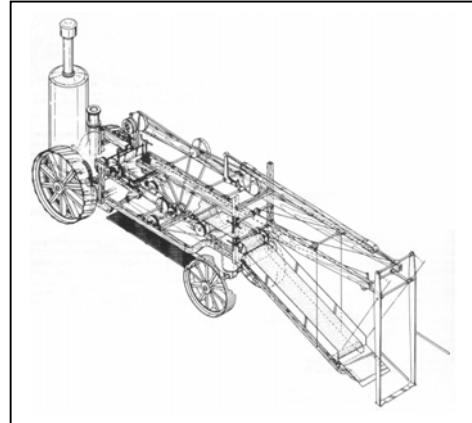


Foto #21 Diseño original de Rowland.

En Estados Unidos, específicamente en Louisiana, A.N.Hadley, el inventor de la cosechadora de maíz, probó su más reciente invención entre 1911 y 1912. Su máquina era gigantesca, pesada y frágil, pero efectiva. Durante las pruebas en Estados Unidos y en Cuba cortó, limpió y cargó caña de manera satisfactoria, pero la falta de fondos, credibilidad y finalmente la muerte de su inventor contribuyeron a que nunca fuera producida con fines comerciales.

Mientras tanto en Australia y Estados Unidos se seguía cosechando caña manualmente gracias a la mano de obra de inmigrantes. Esta operación también se beneficiaría de la tecnología del momento, en Australia se perfeccionaría el diseño del cuchillo cañero luego de que algunos trabajadores comenzaron a doblar intencionalmente sus herramientas, a agregarles peso en la punta e incorporarle una especie de gancho en la parte trasera que los ayudaba a apartar la basura. El "machete australiano" es utilizado actualmente por la mayoría de los cortadores de caña y existen versiones para diestros e izquierdos.

Para los años 40 aún no había sido posible construir una máquina realmente capaz, rentable y resistente como para ser empleada regularmente y la disponibilidad de mano de obra en Australia estaba disminuyendo, entonces se colocaron grúas en la parte

trasera de los tractores para que cargaran en carretas la caña que era cortada manualmente. La operación era un poco más ágil pero aún dependiente de una masa importante de trabajadores.

Cuando estalló la Segunda Guerra Mundial la industria azucarera australiana entró en crisis por falta de trabajadores, que en su mayoría eran italianos y de otros países europeos. Entonces los grandes productores y asociaciones ofrecieron atractivos premios y reconocimientos a quienes aportaran ideas y diseños aplicables a la construcción de una máquina que pudiera ayudarlos a superar la crisis. Esta campaña y la difícil situación que se estaba pasando dio como resultado muchos conceptos interesantes generalmente creados por los mismos productores de caña partiendo de un viejo tractor sobre el cual construían su cosechadora.

Durante los años 50 y principios de los 60 los hermanos Toft lograron sintetizar lo mejor de estos conceptos en una máquina propulsada por motores diesel que a la vez incorporaba algunas aplicaciones hidráulicas, algo muy sofisticado para aquellos tiempos. Su máquina fue probada y mejorada durante varios años hasta que se autorizó su producción en serie.

Massey Ferguson también había logrado un diseño confiable y vendía con éxito su producto para beneficio de los productores de caña australianos. La Toft continuó mejorando e incluyó una función que hoy es estándar en todas las máquinas y consiste en un sistema de cuchillas picadoras que cortan la caña en pequeños trozos de aproximadamente 25 centímetros de largo con el fin de facilitar el flujo de la caña por las bandas transportadoras y el proceso de cargado de las carretas. También se incluyeron abanicos que soplan las hojas fuera de la caña permitiendo que los cañales se cosechen sin ser quemados.



Foto# 22 Cargadora Masterbilt de 1962.



Foto# 23 Primera cosechadora Toft.

Otros inventores como The Luce Cane Harvester Co. manejaban un concepto diferente y creían en que cuanto más grande es la máquina, mejor cosecharía. No obstante, no fue así; su máquina tan grande como una casa tuvo poco éxito en Cuba y Louisiana donde se puso a prueba. Massey Ferguson se popularizó cuando lanzó al mercado una cosechadora muy efectiva con un tamaño similar al de un automóvil de pasajeros, era efectiva y versátil. Se convirtió en uno de los modelos por seguir por el resto de los fabricantes.

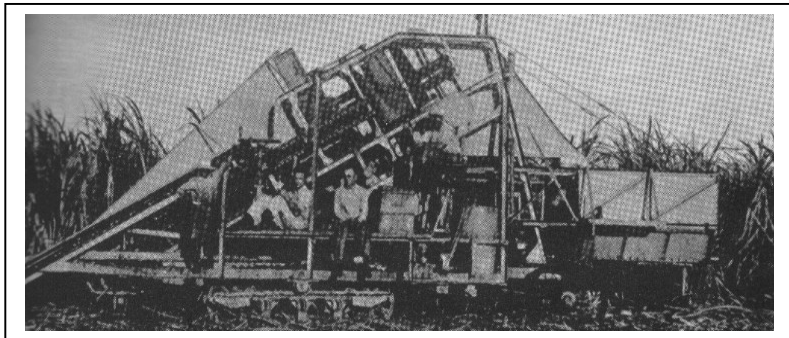


Foto # 24 Cosechadora Luce." Tan grande como una casa."

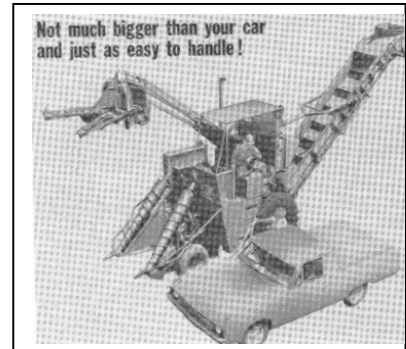


Foto # 25 La compacta de M.F.

La empresa Toft BROS. creció significativamente con el éxito de sus máquinas cosechadoras y luego formalizó alianzas con otras casas fabricantes de maquinaria agrícola a nivel mundial, actualmente se comercializa bajo la marca Austoft y pertenece a la firma CASE International Harvester.

Mientras la Toft se desarrollaba en Australia; en Cuba el dictador Fidel Castro apoyaba un proyecto para mecanizar la corta de caña en los cultivos cubanos. La compañía Gebr. Calas Maschinenfabrik GMBH establecida en la entonces Alemania comunista, desarrollaba una máquina basándose en su experiencia fabricando sistemas para cultivo y manejo de granos.



Foto# 26 Austoft 7700 año 2002

En 1968 Castro las aceptó como exitosas y las bautizó "Libertadoras". Este modelo luego sería readecuado a los estándares alemanes y sería comercializado mundialmente. Claas tuvo mucho éxito comercial en los años 80, pero sus máquinas se volvieron algo obsoletas luego de que Austoft nuevamente mejoró la

eficiencia y redujo considerablemente el tamaño, peso y costo de sus unidades. Claas todavía fabrica cosechadoras de caña y hace dos años lanzó al mercado un modelo más liviano y sencillo llamado Ventor, que aunque no ha tenido el éxito esperado se encuentra activa en el mercado de esta maquinaria.



Foto # 27 Claas Venter año 2001

En Louisiana se encuentra la fábrica CAMECO (Cane Machinery and Engineering Company) de gran trayectoria en otros equipos cañeros como carretas, cargadoras, tractores y a partir de los años 90 cuenta con varios modelos de cosechadoras basados en el diseño actual de Austoft. Con su modelo CH2500, CAMECO ha logrado simplificar aún más el diseño, siendo más cómoda para trabajar y para realizarle servicios de mantenimiento y reparaciones en el campo, además de ser construida incorporando piezas genéricas o de otros fabricante reconocidos y bien representados a nivel mundial como John Deere y Caterpillar, lo cual es una gran ventaja para los propietarios ya que tienen mayor facilidad para adquirir refacciones. CAMECO también produce su modelo CH2600, una gigantesca y poderosa máquina capaz de cosechar 2 surcos a la vez con resultados extraordinarios. Se utiliza principalmente en cultivos en Hawái, donde los rendimientos agrícolas son muy altos, con cañales muy densos.

Actualmente el mercado de cosechadoras de caña está dominado por Austoft y CAMECO. En América Latina (incluyendo Costa Rica) predominan las CAMECO por los excelentes resultados que han demostrado en la región y por la relativa cercanía con los Estados Unidos y el constante comercio e intercambios que se dan entre ese país y los nuestros.



Foto # 28 Cosechadora CAMECO CH2500. 2002



Foto # 29 CAMECO CH2600 de doble surco. 2002

El motivo por el que la mayoría de los ingenios del mundo deciden incorporar este tipo de maquinaria a sus operaciones generalmente va ligado a la carencia del personal necesario para la cosecha y los altos costos que representa esta mano de obra, los mismos que motivaron a los pioneros australianos y estadounidenses para perfeccionar el rendimiento y confiabilidad de las cosechadoras. Pero los beneficios que algunas empresas han percibido han sido mayores. Por ejemplo, el Ingenio El Palmar en Venezuela experimentó como los pueblitos vecinos crecieron rápidamente, transformando una zona tradicionalmente agrícola en un centro urbano. La presión demográfica hacia el ingenio aumentó, ahora los cañales no entonaban con la ciudad en expansión. Algunos vecinos molestos comenzaron a quemar los cañales intencionalmente a sabiendas de que la caña quemada se deteriora rápidamente y el ingenio no estaba preparado para recolectar esa caña a tiempo. La versatilidad de las cosechadoras jugó un papel importante para esta empresa que originalmente las adquirió para tenerlas listas en espera de un incendio criminal donde inmediatamente eran llevadas para que cosecharan la caña antes de que perdiera los niveles deseables de sacarosa. Ahora este ingenio cuenta con 12 cosechadoras (10 son CAMECO CH2500) con ellas cosecha el 64% de su caña y si bien al principio su empleo fue más que nada para emergencias, ahora juegan un papel importante en toda la operación. (www.SugarOnLine.com)

En Costa Rica, la introducción se puede decir que fue motivada por la curiosidad, deseo de innovar o experimentar, pero hasta hace pocos años se le ha dado la importancia que requiere, esta vez porque el costo de los insumos y la baja en los ingresos del sector obligan a la reducción de costos y mejora de la eficiencia.

No se encontraron registros que indiquen la fecha exacta en que se importaron las primeras cosechadoras mecánicas al país. Entrevistas con empleados de las empresas que han dedicado toda su vida a la actividad y han participado activamente en más de 40 zafras indican que las primeras cosechadoras se adquirieron entre 1970 y 1975. Los ingenios que las tenían eran CATSA, El Viejo, Taboga y El Palmar, estas cosechadoras eran marca Toft y el modelo se llamaba Robot, no eran asistidas por carretas de autovolteo, sino que cargaban directamente carretas grandes que luego transportaban la caña al ingenio.

En 1980 se inició la transición de Toft hacia la entonces innovadora Claas, CATSA las adquirió en 1978 y las operaron satisfactoriamente al igual que los otros ingenios. En

1993 Taboga compró su primera máquina CAMECO; posteriormente El Viejo y El Palmar también desplazaron las Claas, El ingenio Quebrada Azul en San Carlos compró CAMECO en el 2000 y 2001, CATSA reemplazó sus Claas con máquinas Austoft que anteriormente habían trabajado en Florida, la compra se hizo así: tres máquinas en 1999, tres más en el 2000 y dos para el 2001.

Los primeros años de esta nueva etapa con maquinaria moderna (CAMECO y Austoft) se caracterizaron por mantener rendimientos de producción muy por debajo de los normales en otros países como Australia, Estados Unidos y Brasil, las cosechadoras presentaban frecuentes problemas mecánicos serios, y la inexperiencia de los operadores y mecánicos hacía difíciles las reparaciones. En 1999 Taboga y El Viejo contactaron asesores australianos con experiencia de más de 30 años en cosecha mecanizada en su país y otras regiones del mundo, ellos han entrenado mecánicos, supervisores y operadores en el manejo y mantenimiento de las cosechadoras. Su ayuda y la dedicación del personal de los ingenios ha dado frutos en forma de una producción constante a lo largo de toda la zafra, caña más limpia, menor daño al cultivo, los daños o fallas ahora son menores, más predecibles y económicas de reparar.

La finca particular Cañera Las Loras ubicada en Chomes de Puntarenas produce caña de azúcar para entregar a El Palmar (aproximadamente 400 toneladas diarias) y Taboga (90 toneladas diarias) y la extensión del cultivo ha justificado la adquisición de dos cosechadoras CAMECO para uso exclusivo de la finca. Las condiciones en las que se desarrolla la operación en esta finca particular son muy distintas a las de los ingenios, por ejemplo: al no tener fábrica de azúcar, no existe la presión por entregar caña constantemente ni en una cantidad determinada para evitar que el ingenio se detenga por falta de caña, así que las reparaciones y el mantenimiento se pueden hacer con más calma. No cuentan con talleres, mecánicos y maquinaria de asistencia tan completos y sofisticados como los ingenios. La operación no se ve afectada por compromisos de compra de caña a otros productores. El presupuesto para el mantenimiento y renovación de cosechadoras es mucho menor al que destinan los ingenios. Por estos motivos no se considera a la Cañera Las Loras como un ingenio con operación de cosecha mecanizada para incluir en este estudio, pero las propuestas, métodos de medición y recomendaciones pueden ser utilizadas como referencia por el personal de esta empresa.

El ingenio Juan Viñas, en Turrialba a mediados de la zafra 2001-2002 incorporó por primera vez la operación de cosecha mecanizada, asistida por una cosechadora de orugas CH2500 de CAMECO modelo 2001. Su uso aún no es constante y no fue posible estudiar la operación, aún no hay datos sobre rendimientos, desperdicios y otra información necesaria para ser incorporada en este trabajo. De la misma manera que el caso anterior, los temas tratados aquí aplican para Juan Viñas.

Las siguientes tablas resumen el inventario actual de maquinaria de cosecha, rendimientos promedio y otros datos relacionados con la mecanización y molienda de la caña de azúcar en los ingenios de Costa Rica.

Inventario de maquinaria para la cosecha de caña de azúcar en Costa Rica *

Ingenio	Cosechadoras				Autovolteos	
	CAMECO Llantas	CAMECO Orugas	Austoft Orugas	Total	CAMECO	Vanguard
Quebrada Azul		2		2	4	
El Palmar	2	4		6	12	
CATSA			8	8		4
El Viejo	2	2	1	5	12	
Taboga		4		4		7
Totales	4	12	9	25	28	11

Tabla # 8

Fuente: Del autor.

* Sin incluir Las Lora y Juan Viñas.

Rendimientos de la operación de cosecha mecanizada

Ingenio	Toneladas promedio cosechadas por día por máquina.	% de la producción de la finca cortado con máquinas.	% de la caña mecanizada que se cosecha en verde.
Quebrada Azul	450	70	40
El Palmar	500	65	0
CATSA	230	41	3
El Viejo	425	85	90
Taboga	600	85	65

Tabla #9
Fuente: del autor

Otros datos de los ingenios

Ingenio	Capacidad promedio de molienda diaria. (toneladas métricas)	Hombres cortando Caña con machete. Promedio diario.
Quebrada Azul	3500	600
El Palmar	5100	200
CATSA	5200	700
El Viejo	4700	250
Taboga	5600	600
Totales	24100	2350

Tabla #10
Fuente: del autor.

La tendencia actual es hacia la corta de caña mecanizada en verde, pues las quemadas sin duda alguna representan un peligro para las comunidades y el medio ambiente. Países de gran trayectoria en el cultivo de caña han planteado regulaciones y plazos para reducir o eliminar la práctica de la quema de los cañales. Por ejemplo, en Colombia a partir del 2005 los productores deberán suspender totalmente los incendios intencionales de sus cultivos (Cassalett, C. 1995), Brasil en 1998 aprobó una ley que dicta que para el año 2006 todos los cultivos con pendientes menores al 12% (que se consideran cosechables con máquina) deben de ser cosechados en verde, y a partir del 2013 será prohibido quemar cualquier área sembrada de caña. (International Society of Sugar Cane Technologists, 2001).

En Costa Rica aún no existen regulaciones, pero los ingenios sienten la presión de las comunidades, son concientes del riesgo y tienen planes de incorporar sistemas de gestión ambiental para una eventual certificación bajo la norma ISO 14000. El Viejo y Taboga han logrado optimizar las operaciones de cosecha y de industrialización para llegar a cosechar la mayoría de su caña en verde. El Ing. Giovanni Díaz, gerente industrial de Taboga, estima que es posible extraer cerca de 10 kilogramos de azúcar adicionales a una tonelada de caña en verde en relación con una tonelada de caña quemada. El ing. Melvin Clachar, jefe de cosecha de CATSA, afirma que en pruebas realizadas en ese ingenio con caña cortada en verde, se presentaron dificultades en la clarificación del azúcar por la presencia de clorofila en los jugos, así que no lograron producir azúcar blanco a partir de materia prima sin quemar.

La caña que ha sido quemada debe de ser lavada con agua caliente antes de ingresar al molino, esto se hace con el fin de remover las cenizas y otras impurezas producto de la quema que oscurecerían los jugos. Al ser cortada la caña queda expuesto el tejido de parénquima (donde se almacenan los azúcares) que al entrar en contacto con el agua caliente del lavado pierde parte del jugo. La caña cosechada en verde no requiere del lavado, así que la totalidad del jugo puede ser aprovechado por el ingenio, explicando así el aprovechamiento adicional que menciona el Ing. Díaz.

Para medir la condición actual y el desarrollo que han logrado los ingenios en la incorporación de la cosecha mecánica se propone consideren tres indicadores que son:

- Toneladas promedio cosechadas por día con cada máquina: este es el resultado de los esfuerzos por optimizar la práctica de operación en el campo, la calidad de las reparaciones durante la zafra muerta, el entrenamiento y compromiso de los operadores y equipos de asistencia. También depende de la coordinación entre departamentos.
- Porcentaje de la producción de la finca cortado con máquina: se refiere al compromiso por parte de la dirección de las empresas por ampliar los alcances de la mecanización comprando más equipo, acondicionando caminos, seleccionando mejores variedades, rediseñando la configuración de las parcelas e involucrando a agrónomos y personal de otros departamentos.
- Porcentaje de la caña mecanizada que se cosecha en verde: este punto mide principalmente dos compromisos: con el medio ambiente y la comunidad al reducir las quemadas y los peligros y molestias relacionados con estas. También el avance al optimizar los procesos industriales en el ingenio para extraer el máximo posible de azúcar de la caña que se entrega. Al cortar en verde se tiene que prestar más atención a la calibración, mantenimiento y operación de la maquinaria para que los niveles de desperdicio y de impurezas se mantengan bajos, así que la corta en verde también se relaciona con un esfuerzo adicional por parte de los encargados de las máquinas. Los agrónomos tienen que adaptar los paquetes nutricionales, y de control de plagas y malezas al cultivo de caña en verde.

El desarrollo conjunto de las actividades relacionadas con estos indicadores no es fácil, pero es vital para consolidar una operación confiable y fluida a lo largo de la zafra. Por eso se considera que el peso de cada indicador de la evaluación de las condiciones de los ingenios tiene el mismo valor: el puntaje en cada indicador contribuye con 1/3 del total de la calificación. La escala de evaluación es de 1 a 10, siendo 10 la máxima calificación.

Los puntajes de obtienen de la tabla #6 que contiene las cifras correspondientes a cada categoría y suministrados por los gerentes agrícolas y jefes de cosecha de cada ingenio para la zafra 2001-2002. Estos números se convierten a escala de 0-10 tomando como 10 el puntaje máximo de cada categoría.

A continuación se presenta la calificación de las condiciones de los ingenios para el desarrollo de una operación de cosecha mecanizada según la evaluación descrita anteriormente.

Ingenio	Toneladas promedio cosechadas por día por máquina.	% de la producción de la finca cortado con máquinas.	% de la caña mecanizada que se cosecha en verde.	Calificación General
Queb. Azul	7.5	8.23	4.45	6.72
El Palmar	8.33	7.6	0	5.3
CATSA	3.8	4.8	0.3	2.97
El Viejo	7.1	10	10	9.04
Taboga	10	10	7.2	9.06

Tabla # 11
Fuente. Del autor.

2° TEMA

LA SELECCIÓN DE VARIEDADES ADECUADAS PARA LA COSECHA MECANIZADA

Mejoramiento genético

La explotación comercial de la caña de azúcar a nivel mundial se inició con clones de *Sacharum officinarum*. En Costa Rica, a principios de los años 30 se introdujeron las primeras variedades específicas para cada región, tales como la P.O.J2878, P.O.J2714, HB1012, y Co281. Entre 1950 y 1960 los rendimientos en producción de toneladas de caña por hectárea subieron notablemente y en ese período se importaron otras variedades provenientes de Barbados.

Después de 1940, año en que se fundó la Junta de Protección de la Agricultura de la Caña que tenía la función de velar por la justicia e igualdad entre todos los productores e industriales, se abre el acceso a estas nuevas variedades incluso para los pequeños productores que no contaban con capital para importar directamente los clones. Así el rendimiento a nivel nacional siguió en aumento y benefició a todos.

Un hecho importante en la historia azucarera nacional ocurrió en 1959 cuando se trajo al país la variedad NCo310, a la que se le atribuye gran parte del desarrollo de la zona agroindustrial de Guanacaste ya que era específicamente seleccionada para cultivarse en condiciones climáticas y de suelos similares. Esta variedad aún se siembra en algunas áreas de la región, pero poco a poco está siendo reemplazada por otras más resistentes a enfermedades, principalmente del carbón.

Actualmente LAICA, DIECA y los ingenios trabajan en la evaluación de diversas variedades disponibles y el mejoramiento de algunas ya existentes en conjunto con los productores de todo el país, quienes siembran y cosechan pequeñas áreas experimentales con el fin de beneficiarse en el futuro de plantas más resistentes y productivas.

Los resultados de estas investigaciones con variedades mejoradas han sido favorables desde el comienzo. En 50 años casi se ha logrado triplicar la cantidad de caña que se produce por unidad de terreno, al ser ahora de 90 toneladas de caña por hectárea (ver Gráfico #7). Estas cifras parecen alentadoras, pero lo cierto es que aún hay mucho por recorrer ya que en sectores agrícolas de Hawai, Australia y Colombia, con más trayectoria que Costa Rica han registrado rendimientos cercanos a las 240 toneladas de caña por hectárea. Parte de este rendimiento excelente se debe a una combinación adecuada de técnicas de cultivo, sistemas de riego, manejo de suelos, fertilización, selección de variedades, configuración de surcos y siembra. En los ingenios Taboga y El

Viejo se experimenta con sistemas de riego por goteo y siembra de dos líneas por surco y se han logrado rendimientos cercanos a las 190 toneladas.

El gráfico #9 muestra la curva de crecimiento a través del tiempo correspondiente al constante aumento en el aprovechamiento del terreno gracias a los esfuerzos de instituciones y agricultores preocupados por mejorar el rendimiento del cultivo.

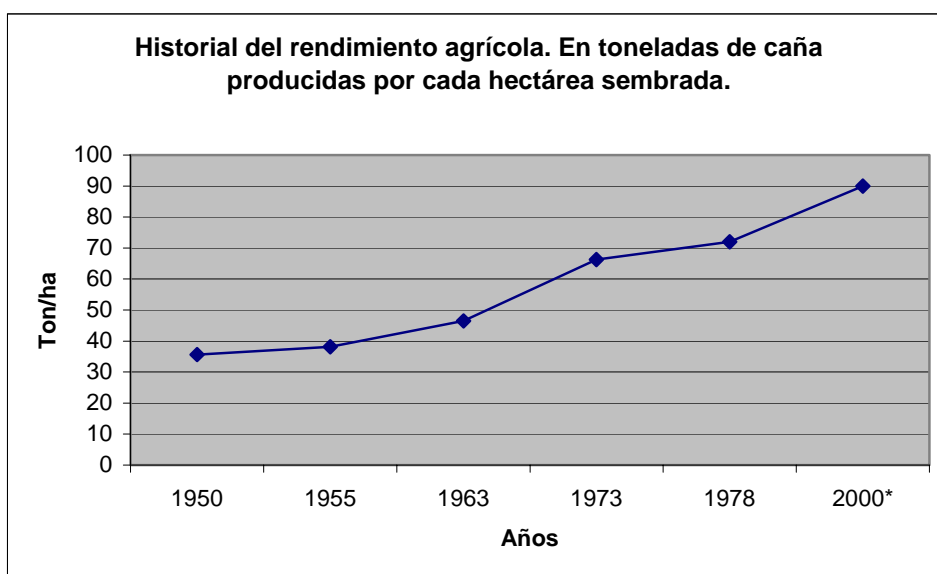


Gráfico #9

Fuente: Desarrollo tecnológico del cultivo de la caña de azúcar. San José, Costa Rica 1982. Ingenio Taboga.

Elaborado por: el autor.

* En Ingenio Taboga, estimado para zafra 01-02.

La variedad ideal de caña de azúcar es aquella que responde favorablemente a las condiciones ambientales y a las necesidades de los agricultores, los trabajadores de campo y la industria. El fitomejorador, o institución que lleva a cabo estas investigaciones y que cuenta con personal e instalaciones necesarias para modificar genéticamente las plantas de caña, debe como primer paso asegurarse de que las nuevas variedades se adapten a las condiciones edafológicas y de clima de la zona donde se pretenden diseminar, ya con la supervivencia asegurada se procede a incorporar una serie de características requeridas por los agricultores, industriales y trabajadores de campo.

Algunas de estas características pueden ser:

- Altura de crecimiento promedio.
- Porte. (Recto hacia arriba, curvo caído, entre otras)
- Resistencia a enfermedades.
- Compatibilidad con cierto tipo de suelo.
- Profundidad de las raíces.
- Grueso del tallo.
- Requerimientos de humedad y luz.
- Edad de maduración.
- Características para la extracción de sacarosa en el ingenio.

La obtención de una variedad requiere del trabajo integrado de genetistas, fitopatólogos, entomólogos y fisiólogos. Es importante que este equipo sepa aprovechar y combinar adecuadamente el recurso genético ya que al lograr una característica se pueden entorpecer otras funciones de la planta. Así que un buen cultivar es: "el resultado de la configuración de las actividades metabólicas o morfológicas de estos genes y su interacción fisiológica positiva con ambientes específicos, que se mantienen en la producción de caña y de azúcar y en la resistencia a plagas y enfermedades." (Cassalett, C. et al. 1995. p65)

Un alto porcentaje de las plantaciones de caña de azúcar se queman en el momento previo a la cosecha manual. En el futuro la quema será menos frecuente o desaparecerá debido a presiones gubernamentales, demográficas y aspectos de consideración ambiental, a la vez la mano de obra disponible a nivel mundial para la corta es cada vez menor y la cantidad de agua utilizable para el riego también será menor, o al menos más costosa; la combinación de estas tres limitantes le abre las puertas a la expansión de la cosecha mecanizada. Las variedades que se desarrollen posteriormente tienen que ser compatibles con esta actividad y los faltantes de recursos que enfrentarán las agroindustrias en el futuro.

Según el genetista Guillermo Rossi y otros expertos consultados, estas son las características deseables en una variedad compatible con la cosecha mecánica:

- Alta producción de biomasa y de azúcar.
- Porte bajo y erecto.
- Altura uniforme de tallos.
- Con raíces profundas y resistentes.
- Menos exigentes en agua y fertilizantes.
- Variedades específicas para cada tipo de suelo.
- Tallos con menos de 30mm de diámetro.

- Capaces de germinar bajo hojas secas.
- Que sus hojas secas se pudran rápidamente.
- Más resistentes a plagas y enfermedades.

La selección de las variedades

Si ya existen variedades que se desarrollaron de manera que favorezcan la cosecha mecanizada, y han dado buenos resultados, incluso en Costa Rica, ¿por qué no se reemplazan las variedades más problemáticas por otras aptas para la mecanización?. Lo cierto es que así se está haciendo, pero este proceso puede tardar cerca de 10 años.

El proceso de selección de variedades es lento y requiere de mucha observación y ensayo. El ingeniero Albar Conejo del Departamento de Investigación de Taboga explica como todo comienza cuando funcionarios de un ingenio viajan a otros países y visitan centros de mejoramiento genético como Canal Point en Estados Unidos y CeniCaña en Colombia, donde solicitan algunos ejemplares que les proporcionan a partir de una gran lista de características del terreno y la región donde se pretende sembrar, además se mencionan otros aspectos como el método de riego que se pretende usar, fertilización, cosecha y el proceso del ingenio. El centro de mejoramiento genético envía a Costa Rica una pequeña muestra (unas 12 yemas) de las variedades que según ellos podrían dar los mejores resultados en esas condiciones. La importación se hace a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería, pues se trata de la introducción de una especie que no es natural de nuestro territorio. Luego pasa a manos de DIECA, quienes se encargan de sembrarla y observarla en su estación experimental Los Diamantes ubicada en Guácimo de Limón, ahí pasará un año completo en observación y verificándose que esos especímenes vengan libres de virus, bacterias y enfermedades que pongan en peligro la vida silvestre y la agricultura del país. Si las plantas sobreviven y no son peligrosas, DIECA las reproduce y envía semillas a los ingenios que así lo soliciten.

En el caso de Taboga, actualmente se experimenta con unas 60 nuevas variedades en pequeñas parcelas ubicadas en varios sectores de la finca que se destinan principalmente a la investigación. En un mismo lote se siembran surcos de cinco metros de largo con cada variedad, todas se siembran en la misma época y reciben el mismo tratamiento de riego, fertilización y trabajos de suelo. A lo largo del primer año se monitorea su crecimiento y la manera en que reaccionan a las diferentes condiciones que

se presentan. Cuando este lote sembrado con muchas variedades alcanza una madurez promedio aceptable, se cosecha manualmente, de la misma forma en que se cortaría cualquier otro lote. La diferencia es que se recolecta cada variedad por separado, para ser pesada y llevada al laboratorio para analizar los rendimientos de producción de azúcar, En la orilla del lote se ha sembrado otro surco con estas mismas variedades, que no se cosecha con el fin de estudiar la curva de madurez, es decir, durante cuánto tiempo los tallos mantienen niveles máximos de azúcar y qué tan pronunciada es la caída de estos niveles después del pico de madurez.

En la fotografía #30 se muestra uno de los surcos de la parcela para la investigación en Taboga con una variedad de caña que reúne muchas de las características deseables para la cosecha mecánica: nótese que la altura es media y uniforme, los tallos no son muy gruesos, el porte es erecto y los tallos botan las hojas secas de forma natural. Esta variedad solo tiene un año de observación en Taboga (más un año en DIECA) y aunque a simple vista parece ideal, aún faltan muchas pruebas y observación antes de que llegue a sembrarse con fines comerciales.



Foto#30 Variedad aparentemente ideal.

Antes de cosecharse, es posible apreciar ciertas características importantes que contribuirán a la decisión de seguir experimentando con estas variedades o desecharlas; entre ellas están: el porte, la altura promedio, el deshoje natural, grueso de los tallos, resistencia al viento fuerte, crecimiento de lalas y mamones y rendimiento en Ton/ha.

A estas observaciones se les agregan luego los datos del laboratorio correspondientes al Brix, Pol y kilogramos de azúcar por tonelada y aquellas variedades que reflejen tener un futuro prometedor seguirán siendo observadas. No se puede sembrar un lote comercial con una variedad que hasta este punto ha mostrado resultados excelentes, porque aún no se conoce su comportamiento a través del tiempo, ni la vida útil de este cultivo. Así que después de la cosecha se observa el proceso de retoño de cada variedad, es común que variedades muy prometedoras tengan una germinación pésima, lo que significa que si se hubieran sembrado con fines comerciales hubieran sido

un terrible fracaso, ya que se espera que las plantas germinen bien después de la corta y lo sigan haciendo por cinco o seis temporadas más. Estas observaciones de crecimiento, madurez, rendimiento industrial y retoño se hacen hasta que el cultivo experimental concluya su vida útil, que puede ser después de 7 años. A lo largo de este período algunas variedades se van descartando y sustituyendo por otras nuevas para también ser evaluadas, las pocas que concluyen el proceso de evaluación se reproducen para ser sembradas en un lote comercial de mediana extensión, allí seguirán siendo evaluadas y eventualmente se sembrarían más terrenos.



Foto#31 Excelente germinación.



Foto#32 Pésima germinación.

Las fotografías 31 y 32 muestran dos secciones de la parcela de investigación en Taboga, que fueron sembradas con dos variedades distintas. Están en el mismo lote, a dos metros de distancia una de la otra, han recibido el mismo riego y fertilización. Cuatro semanas antes de que se tomaran estas fotos se cosecharon al mismo tiempo y por la misma persona, pero una germinó mejor que la otra, a pesar de que originalmente se habían sembrado la misma cantidad de plantas. Esto quiere decir que la variedad de la foto # 32 no sería rentable porque después de la primera cosecha la mayoría de las plantas mueren. Existe la posibilidad de que a variedades tan hermosas como la mostrada en la página anterior les ocurra esto, o que los rendimientos industriales sean pobres, por eso el proceso de selección de variedades es una tarea lenta y tediosa.

Ahora; ¿se consideran en este proceso de selección todos los requerimientos por parte de la operación de cosecha mecánica? Según Conejo, no, porque se pueden seleccionar las variedades por sus características aparentes y hábitos de crecimiento, pero existen limitaciones que impiden probar la reacción de estas variedades ante la operación de cosecha mecánica. Ya que para esto se requeriría de un área muy grande para cada

variedad comparada con la que se destina actualmente, para que las máquinas pudieran cosechar varios surcos y entrar junto a los tractores y carretas de autovolteo, recreando los efectos que sufrirá la planta y el terreno durante la cosecha mecánica. Sería importante observar y medir la facilidad con que la máquina separa las hojas y los cogollos de cada variedad y por supuesto la resistencia de las raíces ante el golpe de los cortadores base. El tránsito de una máquina tan pesada y los tractores que la acompañan compactan considerablemente el suelo, situación que las variedades óptimas deben de superar. De la misma manera que se hace en la actualidad, las parcelas de investigación se deberían de cosechar cada temporada para analizar la germinación y el rendimiento de cada año, pero en este caso cosechadas con máquina.

El problema radica en la cantidad de terreno que se requeriría para realizar estas pruebas, ya que de hacerse habría que sacrificar tierra que actualmente se dedica a la actividad comercial; también se debe tomar en cuenta el costo que representaría el mantenimiento de estos lotes y también existe la limitante de que los centros de mejoramiento genético y DIECA solo envían semilla suficiente para sembrar surcos de 3 a 5 metros de largo y no para sembrar 10 surcos de 50 metros, que sería lo mínimo necesario para cosechar mecánicamente.

En la actualidad, la selección de variedades aptas para cosecha mecánica se hace primeramente solicitándolas para ese fin a centros de mejoramiento que han tenido éxito en esta rama, como Canal Point en Estados Unidos y Queensland en Australia. Se hacen todas las pruebas posibles en Costa Rica y se siembran, confiando en que efectivamente den un excelente resultado con la maquinaria.

Según el agrónomo Hernán Álvarez, gerente de la División Agrícola de Taboga, de las 426 variedades distintas que hay sembradas en los terrenos de esta empresa, únicamente a cinco se les puede catalogar como ideales y totalmente compatibles con la cosecha mecánica y actualmente se siembran con fines comerciales. También asegura que el proceso de selección es muy lento y el requerimiento de estas variedades es a corto plazo, motivo por el cual la renovación de lotes se hace en su mayoría con variedades que ya han dado buenos resultados en la finca antes, especialmente las cinco mencionadas. Las variedades que dan buenos resultados en una parte del ingenio no necesariamente serán exitosas en otro o incluso en otras fincas del mismo ingenio. Recordemos que cada variedad puede responder de manera diferente a las condiciones que se le presenten.

3° TEMA

LA MADURACIÓN EN LA CAÑA DE AZÚCAR

Maduración de la caña

La armonía y compatibilidad entre los diferentes departamentos y actividades agrícolas e industriales que se desarrollan en los ingenios requiere de conocimientos globales por parte de cada encargado. Por su formación académica y profesional los especialistas en su campo conocen poco de las otras funciones que conforman la empresa. Por ejemplo, un agrónomo puede manejar un concepto diferente sobre la maquinaria al jefe de esa maquinaria. De la misma forma, las condiciones de un cultivo pueden ser evaluadas por un encargado de maquinaria bajo criterios diferentes a los que aplica el agrónomo para producir ese cultivo. A lo largo del tiempo esta unidad se logra dar, pero luego de muchos malentendidos y situaciones confusas.

Por este motivo se considera importante la investigación y el análisis de la maduración de la caña, pues es el evento que primeramente determinará la rentabilidad de la plantación y requiere de la integración de departamentos agrícolas y de maquinaria. La comprensión de esta etapa del ciclo de vida de la caña, los métodos para modificarla y para medirla ayudará a unificar criterios y a involucrar a más profesionales de distintas áreas en su estudio y manipulación a favor del bien común.

La maduración es una fase en la vida de la planta, donde se reduce el crecimiento y producción de materia verde, mientras que se comienzan a acumular carbohidratos en forma de sacarosa en las células de parénquima de los tallos de la planta.

La primera etapa de esta maduración se caracteriza por que los entrenudos se alargan, se reduce el porcentaje de humedad, se da un engrosamiento de las paredes celulares y a simple vista se nota como la planta deja caer gran porcentaje de sus hojas y las que mantienen se tornan más amarillas y secas.

Luego se da la etapa final de la maduración, que depende de muchos factores como el tipo de suelo en el que se encuentre el cultivo, el clima, riego, el manejo agronómico que se le dio al cultivo, pero principalmente a la variedad y su capacidad genética para acumular sacarosa. No todas las variedades realizan al mismo tiempo los procesos metabólicos que preparan la planta para madurar, por lo que hay variedades "precoces", o de maduración temprana, de maduración media o tardía. Esta propiedad de las variedades debe ser conocida por los agrónomos encargados de la siembra de manera

que se logre una combinación de variedades que proporcione la cantidad de caña madura necesaria y en el momento oportuno durante la zafra.

Como explica Cassalett, el monitoreo de las condiciones ambientales durante el crecimiento de la planta es de gran importancia para estimar el punto máximo de maduración o modificar las condiciones de humedad para adelantar o extender levemente el proceso. Por ejemplo, se sabe que una vez finalizado el invierno, o suspendido el riego, la caña logrará su máxima madurez 30 a 60 días después. En caso de disminuir la cantidad de humedad en el suelo se tiene que mantener un nivel mínimo, que le permita a la planta continuar con la fotosíntesis, de no ser así morirá.

En ingenios donde se cuenta con destilerías se acostumbra aplicar las vinazas resultantes del proceso como fertilizante para la caña, actividad que afecta negativamente a la maduración porque fomenta el crecimiento vegetativo y ayuda a conservar la humedad del suelo. (Subirós 1992)

Principales factores que afectan la maduración

Cuando la planta se encuentra en desarrollo requiere un suministro adecuado de agua que le permita absorber los nutrimentos del suelo, transportarlos al tallo y asimilarlos para realizar los procesos fisiológicos. Antes de la cosecha se debe reducir la humedad para mejorar la calidad del jugo.

En caso de que el suministro de agua sea muy pobre, a los entrenudos más jóvenes no les llega suficiente agua y dejan de crecer, dejando como consecuencia plantas pequeñas y un bajo rendimiento de toneladas de caña por hectárea.

Es común la práctica de mantener un nivel alto de humedad mientras las plantas crecen e interrumpir el riego unas semanas antes de la cosecha para que la concentración de partículas en el jugo (Brix) sea superior.

Temperatura

La temperatura afecta la absorción de agua y nutrientes por parte de la planta, limitando o acelerando su crecimiento y desarrollo. Según Cassalet, en condiciones tropicales, la temperatura tiene su mayor efecto sobre la calidad del jugo en los períodos secos, cuando la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima oscila entre 11 y 12°C, lo cual estimula el almacenamiento de sacarosa. En las épocas lluviosas, esta oscilación es menor y los rendimientos decrecen. Esta es una de las razones del porqué la zafra activa se da de manera tan intensa y solo durante unos cuatro meses en todo el año. Los cultivos de la zona F que se procesan en el ingenio El General se benefician más que los de otras zonas ya que ahí el diferencial térmico a lo largo del día es mayor.

Desafortunadamente, los factores climáticos, en especial la temperatura, no se pueden controlar según las necesidades del cultivo. Lo que si se puede es identificar el comportamiento del clima en las diferentes regiones y épocas del año para seleccionar las variedades más aptas y programar las actividades según los ciclos climáticos que se presenten.

Luminosidad

Recordemos que la luz es la principal fuente de energía para la fotosíntesis, y la caña es una de las plantas que saca mejor provecho de la luminosidad. Cuando predominan los cielos nublados o los días cortos las plantas tienen menos horas de exposición al sol y una consecuente reducción en los procesos de elaboración y almacenamiento de azúcares.

Estudios realizados por Martín y Eckart (citados por Cassalet et al, 1995) demuestran que al reducir la cantidad de luz disponible, la altura de las plantas aumenta, pero con tallos más delgados, el desarrollo de las raíces es pobre y las hojas se tornan angostas, alargadas, quebradizas y mueren rápidamente, aumentando el porcentaje de materia seca.

Nutrientes

Los nutrientes son esenciales para el crecimiento y desarrollo de la planta, y también afectan la madurez. El nitrógeno está estrechamente relacionado con la producción de materia verde y se debe de suministrar durante la primera mitad del ciclo de vida de la planta para lograr un buen crecimiento, luego se deja de fertilizar con nitrógeno para suspender el crecimiento vegetativo y dar paso a la fase de maduración. El exceso de materia verde (clorofila) dificulta el proceso de clarificación de los jugos en el ingenio y el azúcar tendrá una apariencia más oscura, mientras que lo que se busca es el color blanco puro.

La presencia del fósforo en los jugos es importante para facilitar el proceso de clarificación, pero si se le encuentra en altas proporciones más bien resulta perjudicial. Este elemento es esencial para el desarrollo de la planta, interviniendo en el proceso de respiración para maximizar la utilización del nitrógeno.

Cuando se disminuye la aplicación de nitrógeno se recomienda aumentar la presencia de potasio para que la humedad y los azúcares reductores bajen y se incremente la sacarosa y la pureza, logrando así jugos más ricos.

El agua es indispensable para la vida de las plantas pero tiene que administrarse cuidadosamente para no entorpecer el proceso de maduración. Para que la caña madure y acumule el máximo nivel de sacarosa se necesita reducir la humedad del suelo. Si hay demasiada agua disponible para las plantas, las hojas no se secarán y las raíces absorberán el agua que se acumulará en los tejidos del tallo ocasionando que la proporción de sólidos deseables (Brix) sea baja. Durante el invierno las plantas crecen y se desarrollan, cuando llega el verano comienzan a madurar y consecuentemente acumular sacarosa hasta el momento de la cosecha. El siguiente gráfico ilustra como el rendimiento se presenta de manera inversa al aumento de la precipitación, es decir, contra más lluvia menor rendimiento y viceversa. Estos datos fueron recopilados por Cock y otros autores y son un promedio de las condiciones entre los años 1970 y 1989 en el valle geográfico del río Cauca en Colombia.

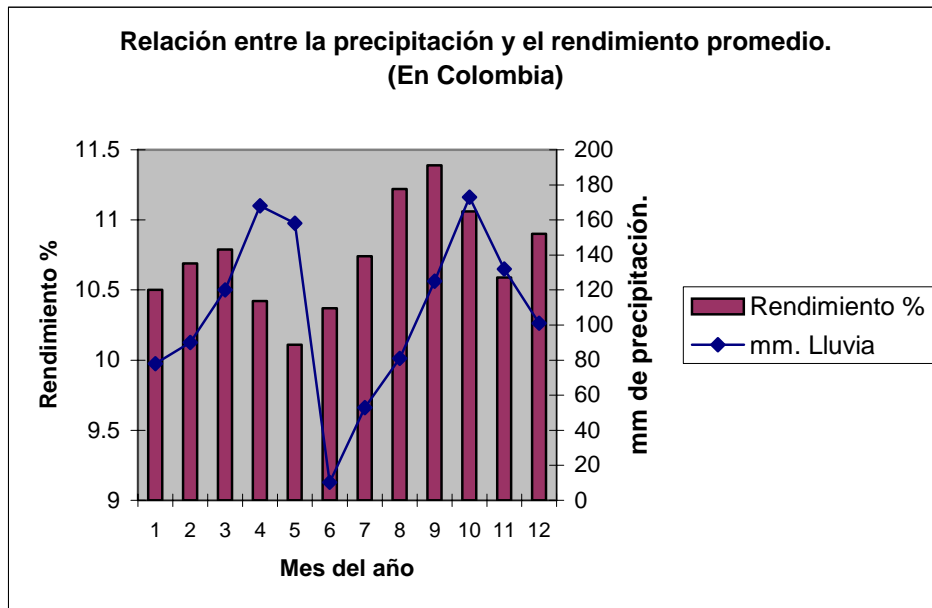


Gráfico # 10
Fuente: Cook et al., 1993
Elaborado por: el autor.

Madurantes químicos

“Un madurante es un compuesto orgánico que, aplicado en pequeñas cantidades, inhibe, fomenta, o modifica de alguna forma, procesos fisiológicos de la planta. En caña de azúcar, estos compuestos actúan como reguladores de crecimiento que favorecen la mayor concentración de sacarosa.

Los reguladores de crecimiento pueden afectar la maduración, ya sea mediante la inhibición del crecimiento sin afectar la fotosíntesis, o actuando sobre las enzimas que catalizan la acumulación de sacarosa: la maduración es un proceso cuyo resultado es un balance entre la fotosíntesis y la respiración.” (Nickell et al, 1972. Citado por Cassalet et al, 1995 p315)

La búsqueda de una mejor maduración de los cultivos data desde los años 1920 cuando al eliminarse manualmente algunas hojas a las plantas, se lograron buenos resultados en la acumulación de sacarosa en caña de azúcar, piña y sorgo. (Arcila, 1986)

En caña los primeros ensayos con madurantes químicos se realizaron en Hawai, Cuba, India, Australia y Barbados entre los años 50 y 60, pero no se mostraron resultados

favorables en el contenido de sacarosa del jugo. A partir de 1970 aparecieron varios compuestos que han dado buenos resultados como madurantes, entre ellos el Roundup (sal isopropilana de glifosato), que normalmente se utiliza como herbicida, pero en la caña trabaja como madurante.

Según Subirós, la aplicación de madurantes en los cultivos de Guanacaste, Puntarenas y zona baja de San Carlos ha dado resultados satisfactorios y es posible que los productores se beneficien con un 20% de incremento en la producción. Este aumento no se refiere a la cantidad de plantas, pero sí al aumento de sacarosa, Brix, Pol y pureza del jugo, que son los factores que determinan el pago de la caña.

Cassalet explica cómo el efecto de la aplicación de Roundup en caña de azúcar se observa a partir de la tercera semana, pero la mayor respuesta ocurre entre 6 y 8 semanas; sin embargo, este efecto persiste hasta 12 ó 14 semanas después de la aplicación.

El madurante se aplica desde el aire por avionetas fumigadoras equipadas para este fin, la solución que se esparce además del madurante contiene un adherente que le permite al producto permanecer en las hojas hasta que la planta reaccione, la selección del adherente dependerá de una serie de factores, principalmente de la variedad. Los lotes se marcan con banderas visibles desde el aire que indicarán al piloto las áreas por tratar.

Lógicamente, si la aplicación del madurante no es uniforme, tampoco lo será la maduración, el viento puede ocasionar que algunas áreas no sean fumigadas y que a otras les caiga una dosis mayor. La calibración de las boquillas tiene que ser adecuada y uniforme y la solución tiene que ser homogénea, ya que hay muchos aspectos por considerar para lograr una buena aplicación.

Cuando un lote recibió una aplicación deficiente, las cañas sembradas en él, aunque todas tengan la misma edad, tendrán madurez con distintos niveles de avance. Este hecho supone que al realizar muestreos para análisis de madurez antes de la cosecha y por casualidad algunos de los ejemplares se tomaron de una sección que no corresponde al estado general del lote, los resultados del análisis de laboratorio estarán sesgados por esas muestras distintas. Es muy difícil determinar la cantidad de tallos requeridos para que la muestra sea representativa del lote en casos como este, donde no se conoce la uniformidad de la madurez.

Es necesario mencionar nuevamente que cada variedad responde diferente a las condiciones que se presenten y la maduración se puede dar de manera distinta. Los agrónomos encargados de las fincas le asignan a cada lote un paquete de manejo específico que sea lo más compatible con las características del suelo, clima, variedad, etcétera. Es común encontrar una finca de 100 hectáreas sembrada con 5 o más variedades distintas según la variación de condiciones dentro de la misma finca. Cuando los siembros son grandes, las aplicaciones de agroquímicos se realizan desde el aire con avioneta o helicóptero, lo que dificulta el tratamiento específico para cada lote, entonces se aplica buscando el mejor resultado en general del área a tratar.

Métodos para medir la madurez

Cuando la planta ha crecido lo suficiente y alcanza cierta edad (aproximadamente 6 meses), deja de crecer y comienza a madurar, acumulando sacarosa de manera progresiva hasta llegar a un nivel máximo que es el momento ideal para cosechar, generalmente después de ese pico viene una caída en los porcentajes de sacarosa, dejando solo un corto período para recolectar la caña con los niveles deseados.

Para identificar este pico y lograr la maximización de la producción de azúcar por área de siembra, se utilizan algunos métodos de observación, muestro y laboratorio.

Una manera de determinar que la planta ha madurado es identificando ciertas manifestaciones externas. "Cuando las condiciones son favorables para la maduración, las hojas en el cogollo, que normalmente son entre 12 y 15, se reducen a un número entre 6 y 10, si la variedad tiene buen deshoje natural. Como resultado de disminución en el crecimiento y el acortamiento de los entrenudos, se forma una estructura similar a una palma y parece que todas las hojas salieran de un solo entrenudo. El color de las hojas se torna amarillo y la textura delgada y quebradiza. Los tallos desprenden la cerosina y cambian de color. Cuando la planta no se cosecha a tiempo, las yemas en la parte superior del tallo brotan y puede aparecer una médula corchosa dando como resultado la muerte del tallo".(Buenaventura, 1986. Citado por Cassalett, C et al. 1995) Este método logra identificar la madurez fisiológica de la planta, pero no se obtienen datos correspondientes al rendimiento industrial.

El método más común y acertado utiliza los mismos equipos de laboratorio y parámetros establecidos para determinar la "calidad" de la caña que normalmente se utiliza para calcular el precio adecuado que se debe pagar a un agricultor independiente que entrega su producción a un ingenio.

El primer paso es recolectar una muestra de la caña del lote al que se le desea conocer la madurez. La muestra debería de ser representativa de la población total de cañas que hay en ese lote, pero los trabajadores encargados de efectuar estos análisis en Taboga no conocen el nivel de confianza que alcanza este procedimiento y afirman que siempre se ha hecho así: se toma una muestra de cinco tallos por cada tres hectáreas de siembra, es decir un lote de 12 hectáreas requiere de 4 muestras que se deben de tomar en las esquinas o lados opuestos y preferiblemente incluir una muestra del centro del lote para asegurar que se están representando las diferentes condiciones que se puedan dar dentro de un mismo lote. Estas muestras se fichan atándoles colillas donde se indica la fecha, procedencia y otros datos necesarios para su identificación en el laboratorio.

El método de laboratorio está normalizado por LAICA, y consiste en simular el proceso de molienda que se daría si esa caña fuera entregada al ingenio. Las cañas de las muestras son desmenuzadas en una pequeña máquina picadora. En este punto se toma una muestra de 500 gramos a la que se le extraen los jugos en una prensa hidráulica normalizada para este fin. Con el empleo de equipos y técnicas de laboratorio auditados por funcionarios de LAICA se determinan los valores del Brix, Pol% en caña, pureza del jugo, humedad total, fibra y rendimiento industrial (kilogramos de azúcar por tonelada).

Este análisis se hace a todas las muestras correspondientes a un mismo lote para que el resultado sea un promedio de las características de todos los tallos que se molieron. El jefe de finca analiza estos resultados y determina el momento ideal para la cosecha.

También se podría evaluar cada muestra por separado y anotar sus rendimientos para luego calcular la madurez del lote promediando esas cifras. La ventaja de este método es que permitiría calcular la desviación estándar para determinar qué tan uniforme es la maduración y detectar problemas en puntos específicos de un lote, como exceso de humedad por ejemplo.

En Taboga se notó como constantemente los resultados de un análisis de madurez no corresponden con los resultados del análisis de pago de caña. Extraña el suceso de que

ambos análisis se realizan bajo los mismos procedimientos y condiciones, con solo uno o dos días de diferencia. El autor evidenció cómo el resultado del análisis del muestreo de madurez de un lote dio un rendimiento de 106.15 Kg. de azúcar por tonelada de caña (K.Az/T.C), lo cual es excelente, así que se comenzó a cosechar. Las carretas que transportan esta caña hacia el ingenio deben pasar por el Core Sampler para tomar una muestra de la caña que transportan para ser analizada al igual que la caña del muestreo de madurez, y con base en este resultado se emite el pago al productor. El resultado de los muestreos para el pago promedio de 13 carretas correspondientes a este lote fue de 87.18 Kg. de azúcar por tonelada de caña. Es muy difícil que el rendimiento de un cañal decaiga en 19 K.Az/T.C en solo unas pocas horas. Ninguno de los textos consultados señala que exista esta posibilidad, lo que sugiere la presencia de un problema metrológico.

La operación de cosecha mecánica resulta afectada por esta discordancia entre resultados de análisis ya que el plan de cosecha se programa según los análisis de madurez, pero al notar que el rendimiento de esos lotes está muy por debajo de lo esperado se suspende la corta para esperar unos días más con la esperanza de que el lote madure más. Eso ocurrió en el caso mencionado en el párrafo anterior, y al igual que en otras ocasiones, la secuencia de cosecha se alteró. En situaciones de este tipo se detiene la cosechadora para que no prosiga con la corta, los jefes de finca sugieren algunos lotes que podrían estar listos para cosecharse, la máquina tiene que ser transportada en plataforma a su nuevo destino, junto con los tractores, autovolteos, carretas y cabezales. En el nuevo lote cosechará y llenarán varias carretas, se prestará atención a los primeros resultados de los análisis para determinar si el rendimiento es aceptable o tendrá que ser enviada a otro lote nuevamente.

Los lotes donde se ha suspendido la corta porque los rendimientos eran bajos, se dejan madurar un poco más antes de ser cosechados nuevamente. Muy pocas veces los rendimientos son superiores a los obtenidos en el primer intento de cosecha, y en ocasiones son peores porque en las plantas han comenzado a decaer los niveles de sacarosa acumulada después de su punto máximo de madurez. Estos hechos señalan que la movilización de los equipos de cosecha no tiene algún beneficio monetario (ya que la caña se paga por su rendimiento), sino que más bien entorpece la operación malgastando recursos y tiempo de trabajo.

¿Cuándo está madura la caña?

Cassalett (1995) afirma al respecto:

“En la caña de azúcar se pueden considerar los estados de maduración botánica, fisiológica y económica. Desde el punto de vista botánico, se considera madura después de la emisión de flores y la formación de semillas que puedan dar origen a nuevas plantas. Si se tiene en cuenta la multiplicación vegetativa que se utiliza en la práctica, la maduración tiene un ciclo más corto y ocurre cuando las yemas están en condición de originar nuevas plantas.

La maduración fisiológica se alcanza cuando los tallos logran su potencial de almacenamiento de sacarosa, es decir, el punto de máxima acumulación de azúcar posible. La caña de azúcar alcanza la maduración botánica antes de la fisiológica; esto significa que la acumulación de sacarosa continúa, por lo general, por 1 ó 2 meses más, después del inicio de la caída de las semillas.

El concepto de maduración económica está sobre la perspectiva de las prácticas agronómicas. En este sentido, la caña se considera madura, o en condiciones para beneficio industrial, a partir del momento en que presenta un contenido mínimo de sacarosa, y un “pol” por encima del 13% con base en el peso de la caña.”

Los ingenios y fincas cañeras son empresas con fines de lucro que buscan lograr el mayor provecho del dinero invertido en el cultivo, así que la definición de madurez que se acopla mejor a los objetivos de este estudio es la madurez económica, donde se espera lograr cierta utilidad al vender la caña, luego de descontar los gastos en insumos como alquiler del terreno, riego, mecanización, agroquímicos, mano de obra, cosecha, y otros.

Es poco probable que se logre la madurez económica sin que las plantas alcancen algún grado de madurez botánica y fisiológica, por eso el determinar la relación que debe de existir entre éstas y otras condiciones para que se tome la decisión de cosechar un lote queda a criterio de los expertos (agronomos o jefes de las fincas).

Pero la gerencia de los ingenios puede establecer parámetros que orienten la toma de decisiones: como el margen de utilidad mínimo por cada lote, fecha máxima para cosechar algún lote, criterio para autorizar una quema, nivel mínimo de confiabilidad para las muestras de madurez, secuencia de corta de los lotes de la finca.

La definición de estas políticas ayudaría a tener una operación de cosecha más fluida y predecible.

La siguiente tabla lista algunos indicadores considerados por los agrónomos para clasificar la caña como inmadura o madura, En el primer caso se debería de continuar con el proceso de cultivo hasta que clasifique como madura y se procede a cosecharla manual o mecánicamente. Se consideran conceptos de la maduración botánica, fisiológica y principalmente económica.

Indicadores de madurez

Caña inmadura	Caña madura
POL menor a 13% del peso total.	POL mayor a 13% del peso total.
Porcentaje de humedad alto, mucho tejido verde. (valores dependen de la variedad)	La humedad ha decaído y hay menor presencia de clorofila.
Cantidad de sacarosa en aumento. (Brix)	Cantidad de sacarosa en su nivel máximo o decayendo.
Su valor monetario aún no es el máximo.	Se lograrán buenas utilidades.
Aún no se ha aplicado madurante o no ha hecho efecto.	El madurante químico aumentó considerablemente la acumulación de sacarosa.
Menos de 48 semanas de edad.	Edad entre 48 y 60 semanas.
	Cualquier caña que califique como inmadura, pero no muestra signos de mejorar alguno de sus niveles y si se espera más tiempo, más bien decaerían.

Tabla #12
Fuente: del autor.
Entrevistas a expertos, literatura consultada.

Pruebas en el laboratorio

Una máquina cosechadora tiene diferentes posibilidades de ajuste que pueden ser modificadas por el operador mientras está cosechando, como la altura de los cortadores base y la altura a la que corta el cogollero. Existen otros ajustes importantes que también contribuyen al desempeño y la calidad del trabajo, pero la altura a la que se colocan estos cortadores es determinante para eliminar partes de la planta que no se desean recolectar, deben eliminarse y quedar tendidas en el suelo dentro del lote.

Por este motivo se considera necesario determinar la composición de estos desechos y el potencial industrial que tienen, es decir ¿Si estos desperdicios de llevan al ingenio, cuánto azúcar se podría producir? Para conocer estos datos se recolectaron muestras de caña en el campo y se realizó el mismo análisis de laboratorio que se hace para el pago de caña y antes de la cosecha.

Las operaciones que se pretenden optimizar a partir de los resultados de estos análisis son las siguientes:

Función de los cortadores base: una serie de cuchillas cortan la caña cerca del suelo, separándola de la raíz, para que seguidamente un sistema de rodillos hidráulicos dirija esa caña hacia los picadores. La cosechadoras CAMECO CH2500 y Austoft 7700 tienen un ajuste de altitud de cortadores base variable de 0 a 20 pulgadas¹ sobre el nivel del suelo. Un ajuste muy bajo significa que las cuchillas trabajan bajo la tierra (recordemos que el surco tiene una altura aproximada de 10 pulgadas) cortando las raíces y enviando las cepas hacia los rodillos. Un ajuste muy alto ocasiona que el corte se haga muy por encima del nivel del suelo, dejando trozos del tallo sin cortar (se les llaman tocones) que representan un desperdicio porque es caña que debería ser recolectada y no dejada en el suelo.

¹ Se utiliza la pulgada como unidad de medición en este tema ya que así está indicado en el panel de instrumentos de la cabina, por consiguiente ésta es la unidad que manejan los operadores y generalmente se utiliza para representar la altura de un surco. (Ver foto #13)

Función del cogollero: cortar la parte superior de la planta que está compuesta por hojas verdes y otros tejidos inmaduros con el fin de que no sea recolectado. Este sistema de cuchillas se puede ajustar en altura de acuerdo con la altura promedio de la caña que se ha cosechado. Este dispositivo puede ser llevado a una altura superior a la de la caña o incluso ser apagado y cosechar sin utilizarlo. Existe la posibilidad de invertir el giro de los tambores porta cuchillas para buscar el sentido en que los cogollos cortan mejor y a la vez se dirigen lejos de la línea de los cortadores base.

Procedimiento para la prueba

Se seleccionó un lote representativo de las condiciones generales de la finca incluyendo variedad, madurez, área, densidad y porte de las plantas. En este caso fue el H10 de Hortigal.

Variedad	Edad	Aplicación de madurante	Porte	Densidad
SP792233	52 semanas	6 semanas	Semierecta	105 Ton/ha

En el lote se tomaron nueve muestras distribuidas en el total del área, Cada muestra se compone de todos los tallos que se encuentren en un metro lineal de caña. Los tallos se cortan a ras de suelo y se recolectan completos incluyendo hojas verdes, cogollo y flor si la tuviesen. El transporte del campo al laboratorio se tiene que hacer con cuidado de no alterar las muestras es decir que no se les caigan hojas, se llenen de tierra, o pisoteen. Con el fin de simular mejor las condiciones reales del proceso se dejaron las muestras bajo el sol durante cinco horas, que es el tiempo aproximado que transcurre desde que la caña se corta hasta que se deposita en los molinos del ingenio.

El primer paso fue separar la planta por componentes y clasificar cada uno en bolsas etiquetadas. Los componentes detectados en este caso fueron:

El tallo: como el objetivo principal del experimento es determinar la cantidad de azúcar que se pierde al no recolectar algunas partes de la planta, se decidió dividir el tallo en 4 partes, simulando diferentes combinaciones de altitudes de cortadores base y de cogollero.

Tacones: son los primeros dos nudos, los más cercanos a la raíz. Se cortaron las primeras 10 pulgadas de cada muestra, porque es el largo máximo que dejaría la máquina con los cortadores base totalmente levantados.



Foto # 33

Tercios del tallo: el tallo restante se cortó en tres partes para determinar si hay cambios según la edad de los entrenudos. El primer tercio está justo sobre los tacones, le sigue hacia arriba el segundo tercio y el tercero es el que está debajo del cogollo.



Foto # 34

Raíces: en este caso como la planta se cortó a nivel del suelo; las raíces primordiales y permanentes quedan bajo tierra, pero la caña suele tener raíces adventicias, principalmente cuando el terreno ha sido regado por gravedad y se inunda, estimulando el crecimiento en los primordios radicales de los nudos inferiores que están expuestos a dicha humedad. Todas estas raíces fueron cortadas y clasificadas en una categoría para determinar si poseen algún contenido de azúcar.



Foto # 35

Lalas: son yemas de los nudos superiores que han germinado, están compuestas principalmente por hojas verdes y sus pequeños tallos son inmaduros. Las cañas caídas suelen tener mayor cantidad de lalas.



Foto # 36

Cogollo: es la parte más joven de la planta y está compuesto por hojas verdes y los entrenudos superiores contienen mucha humedad y clorofila. Cassalet (1995) describe un método muy simple para determinar qué parte de la planta corresponde al cogollo y qué parte al tallo. Simplemente se toma la punta del cogollo con una mano y el tallo con otra, luego se dobla la planta hasta que se quiebre, este será lo que él define como el "punto natural de quiebre" todo lo que esté del quiebre hacia arriba será el cogollo. Se aplicó este procedimiento de separación a todas las plantas recolectadas y los cogollos se clasificaron aparte de los otros componentes.



Foto # 37

La evaluación en el laboratorio se realizó siguiendo cuidadosamente los procedimientos establecidos por LAICA para este tipo de pruebas, que es la misma empleada para determinar la madurez de los lotes antes de cosecharlos y para calcular el pago a los agricultores por la caña entregada. (Folleto: "Reglamento para el pago de la ña de azúcar de acuerdo con su calidad". LAICA 2002)

Cada una de las partes de la caña se trituró en una picadora para simular el proceso de molino en el ingenio. Se tomó una muestra de 500 gramos de material picado y se colocó en una prensa hidráulica que presiona el contenido durante un minuto con una fuerza de 100 toneladas por pulgada cuadrada, eso hace que el jugo salga de los tejidos de la planta. El residuo es una cantidad de fibra compactada a la cual se le llama Torta Residual, su peso se contrasta con los 500 gramos originales. Se busca que su peso sea el menor posible, pues se entiende que lo que le falta a los 500 g. originales fue lo que salió

en jugo. Las siguientes imágenes muestran la prensa hidráulica y el jugo cayendo dentro de un recipiente, al lado, en la fotografía # 39, el autor sostiene una torta residual resultante del prensado de la caña.



Foto# 38



Foto# 39

El jugo se recolecta en un recipiente limpio (foto #38), se toma una gota para determinar el Brix utilizando un Refractómetro ATAGO RX5000∞, luego a 50 ml de jugo se le agrega Octapol (un agente clarificante), la solución se deja reaccionar durante 5 minutos y se filtra para que pueda ser medida por el sacarímetro Autopol IIs.

El procedimiento anterior se repitió para todas las muestras y para otra que consiste en una planta completa, sin separación de componentes, que se utilizará como control.

Además de medir el rendimiento industrial de cada componente, se decidió agregar tierra a una muestra de control en diferentes proporciones, simulando una operación con los cortadores base trabajando bajo el nivel del surco, lo que se sabe ocasiona la entrada de trozos de tierra en el sistema de rodillos de la máquina, luego a la carreta y por su puesto al ingenio. La simulación fue con un 0.5, 1, 5 y 10% de tierra respectivamente para cada prueba. La tierra que se usó fue recolectada de varios puntos del mismo lote donde se tomaron las muestras de caña.

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos como resultado de estas pruebas.

Análisis de Precosecha

	Torta Res.	Brix	POL	Pureza	K.Az/ton	Kg. Miel
Control	119.7	19.59	16.19	82.66	106.15	26.71
Tacones	130	21.3	18.45	86.63	122.3	24.06
1er tercio	118	19.17	16.92	88.26	116.49	23.22
2do tercio	114.4	17.07	14.45	84.66	97.46	24.46
3er tercio	120.8	17.11	13.88	81.13	89.52	24.80
Cogollos	182.7	14.89	9.34	62.71	40.72	38.75
Lalas	22.18	12.27	5.29	43.15	13.78	28.66
0.5% tierra	133	19.38	15.84	81.74	100.07	30.43
1% tierra	126	18.85	15.57	82.57	100.58	30.01
5% tierra	140.5	19.82	16.14	81.45	100.05	31.71
10% tierra	167.3	19.53	16.25	83.18	96.29	32.13

Análisis de porcentaje de Lodos

	Porcentaje
Control	0.1
0.5% tierra	0.1
1% tierra	0.1
5% tierra	0.1
10% tierra	0.2

Tabla #13
Fuente: del autor.

El dato más importante en estas tablas es el valor de la columna K.Az/ton porque es la cantidad de azúcar que se puede aprovechar a partir de esa caña, y es el factor que tiene más peso en el momento de fijar el pago de la caña. A continuación se grafican estos valores. En amarillo se representa el control.

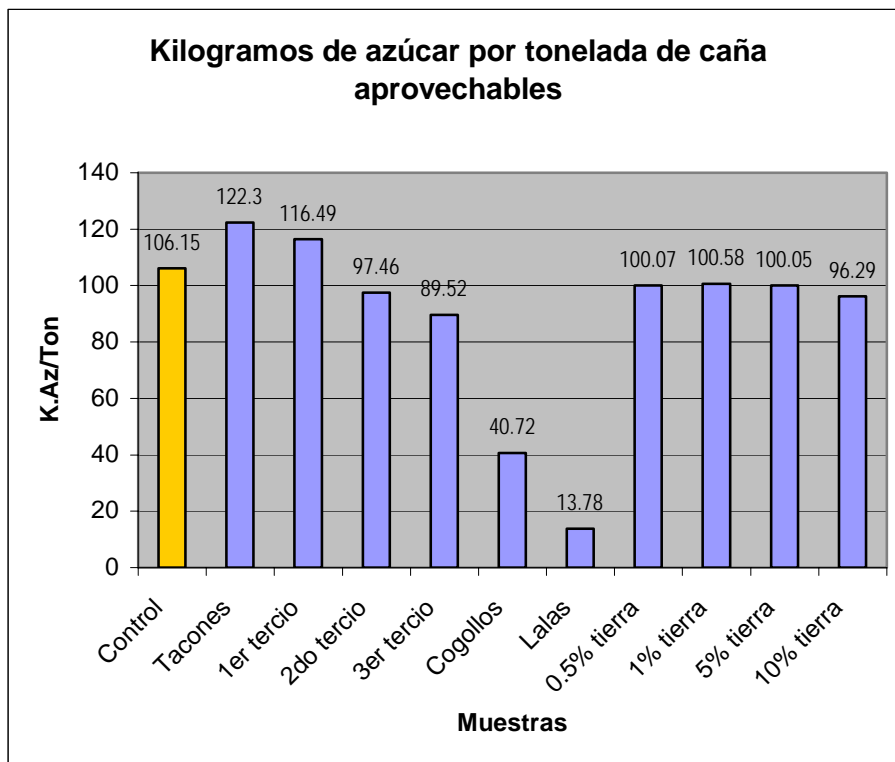


Gráfico #11
Fuente: del autor.

Nótese como los tacones contienen el máximo potencial, pudiéndose extraer de una tonelada un total de 122.3 kilogramos de azúcar, aunque conforme el tallo se aleja de las raíces el rendimiento disminuye. Pero la principal averiguación corresponde a la gran diferencia entre el tercer tercio y el cogollo.

Según literatura consultada el hecho de que las lalas y el cogollo tengan algún contenido de sacarosa se debe a la aplicación de madurante químico que interrumpe el desarrollo vegetativo y estimula el almacenamiento de sacarosas incluso en tejidos inmaduros. De no haberse aplicado madurante en ese lote los rendimientos de estas dos muestras serían cercanos a cero y el del tercer tercio hubiera sido considerablemente menor. Nótese como las partes con más clorofila contienen jugos con menor pureza.

La presencia de tierra en la caña cosechada afecta negativamente los rendimientos. Nótese que los valores de estas muestras son inferiores al control, aunque el material examinado era igual, solamente que con diferentes niveles de tierra agregada.

Conclusiones sobre el resultado del experimento

Es importante que los operadores de la cosechadora aprendan a identificar el punto exacto donde comienza el cogollo, (en este caso denominado punto de quiebre) y que logren un ajuste de la máquina que permita eliminarlo por completo, pero sin eliminar partes del tallo correspondientes al tercer tercio, que sí contienen niveles aceptables de sacarosa. Se sabe que la presencia de clorofila en los jugos entorpece la clarificación en el ingenio, y el cogollo por estar compuesto principalmente por hojas verdes y otros tejidos inmaduros contiene cantidades indeseables de clorofila.

Las variedades en las que los tallos crecen con alturas desiguales dificultan enormemente esta tarea, lo mismo ocurre con aquellas que son derribadas por el viento o por su propio peso y crecen acostadas, paralelas al suelo. Esta experiencia en el laboratorio proporciona evidencia de la necesidad de seleccionar variedades apropiadas.

Lo ideal para una buena separación del tejido inmaduro es principalmente que se trate de una variedad con crecimiento recto y uniforme de todos sus tallos, para que el cortador "cogollero" de la máquina pueda ser colocado a la altura ideal y trabajar todo el surco sin necesidad de corregir constantemente la altura del corte.

Durante las observaciones en el campo se notó como es común que el cogollo luego de ser cortado, cae exactamente en la entrada de la caña a la cosechadora y entra al sistema de rodillos que lo llevan hacia los picadores, el elevador y la carreta. El extractor primario debería de succionar las hojas verdes correspondientes al cogollo, pero la parte más compacta es pesada y no saldrá con la corriente de aire, así que se irá al ingenio.

El sentido de giro de las cuchillas del cogollero es reversible, y los operadores tienen que determinar la manera en que el cogollo luego de ser cortado caiga lejos de la "boca" de la máquina para que no sea recogido.

CAMECO y Austoft ofrecen dos tipos de cogollero, el estándar simplemente corta el cogollo a una altura ajustable, y el modelo opcional es un tambor giratorio compuesto por varias filas de cuchillas que parten el cogollo en pequeños trozos que sí serían succionados por el extractor en caso de que caigan en la entrada de la caña. El cogollero opcional consume más potencia de la máquina, es más pesado y por su gran tamaño dificulta un poco la visibilidad del operador.

La nueva Claas Ventor ofrece un cogollero que además tiene un "tornillo sin fin" que gira y tira los cogollos hacia un lado del surco, evitando de esta manera que caigan en la línea de corte. En Costa Rica no hay máquinas de este tipo trabajando, por lo que no se pudo observar su desempeño.

Los diferentes contenidos de tierra agregados a la muestra de control parecieron no afectar las mediciones de Brix y de Pureza, probablemente porque la fibra de la caña (torta residual) actúa como filtro en el momento del prensado para la extracción del jugo, pero sí se registra una pérdida de aproximadamente 6 kilogramos de azúcar por cada tonelada de caña cuando contienen tierra en porcentajes desde el 0.5 hasta el 5%; cuando la cantidad de tierra es del 10%, las pérdidas se elevan a más de 10 kilos por tonelada. Otra prueba que se realizó posteriormente a los jugos con tierra para determinar el porcentaje de "lodos" que contenían indica que las muestras con 0.5, 1 y 5% de tierra tenían 0.1% de lodos mientras que la muestra con 10% de tierra tenía 0.2% de lodos. Así, es difícil detectar la presencia de ciertas cantidades de tierra a menos que se cuente con un parámetro de control.

Este parámetro se podría establecer mediante la supervisión de la corta de una parte del lote, suficiente como para llenar una carreta, y asegurarse de que la operación sea lo más nítida posible y principalmente que la altura de los cortadores base sea adecuada y que no estén tocando el suelo ni levantando las cepas. Esta carreta se identifica y se lleva al ingenio para que sea analizada igual que las demás. Si posteriormente se detectan bajas en el rendimiento, pero las lecturas del Brix y Pureza se mantienen aceptables, es probable que esté ingresando mucha tierra entre la caña y la altura de los cortadores base y el estado de sus cuchillas tenga que ser revisado.

La prueba confirma que los tacones o las 10 pulgadas inferiores del tallo contienen los niveles máximos de Brix, POL y rendimiento, lo que significa que si el cortador base se lleva muy alto y se dejan tacones, se está desperdiciando la mejor parte de la planta. Están quedando en el lote trozos de caña con un potencial altísimo de aprovechamiento en el ingenio.

La información producto de estas pruebas ayudará a efectuar un análisis más profundo de las diferentes categorías de desperdicio de caña que se dan durante toda la operación en sus diferentes actividades y etapas.

4° TEMA

LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LOS EQUIPOS DE COSECHA EN DIVERSAS CONDICIONES

Determinando el rendimiento de la maquinaria de cosecha

Revistas especializadas para la industria azucarera como The Caneharvester y BSES Bulletin (ambas australianas) hacen referencia a equipos de cómputo instalados en las cosechadoras que utilizan el Sistema de Posicionamiento Global (GPS)(Ver Anexo #2 para la descripción de este sistema) para monitorear el desplazamiento de una cosechadora, sensores en algunos de los mandos de la máquina registran los tiempos en que ciertos componentes están activados y pueden utilizarse como indicadores de rendimiento. Por ejemplo una combinación de actividades como: los cortadores base activados, la máquina desplazándose y la cadena del elevador rotando, es un indicador de que la máquina está cosechando. El GPS identifica los desplazamientos que corresponden a un giro y también cuando la máquina se ha detenido. El operador incluye otros tiempos o clasifica situaciones a través de la computadora personal instalada en su cosechadora. Así, en Brasil y Australia principalmente se ha logrado identificar el tiempo efectivo de la operación y como se distribuye el tiempo restante entre actividades de mantenimiento, servicio o tiempos perdidos.

La medición de estos parámetros es indispensable para asignar los recursos apropiados a las áreas más críticas. También es importante contar con una medida de rendimiento actual que sirva como parámetro de referencia para evaluar el avance de un eventual programa de mejora.

En Costa Rica no se cuenta con estos equipos para realizar mediciones de manera automatizada, su adquisición, importación e instalación están fuera de las posibilidades de este proyecto. Existen otras herramientas de ingeniería que adaptadas y empleadas correctamente pueden proporcionar a un bajo costo los datos necesarios para diagnosticar el rendimiento de la operación de cosecha con máquinas y contrastarlos con aquellas cifras logradas con equipos de alta tecnología empleados en otros países. La herramienta que mejor se amolda a las necesidades y limitantes de este caso es El Muestreo de Trabajo.

“El muestreo de trabajo es una técnica que se utiliza para investigar las proporciones del tiempo total dedicadas a las diversas actividades que componen una tarea, actividad o trabajo. Los resultados del muestreo sirven para determinar tolerancias o márgenes aplicables al trabajo, para evaluar la utilización de las máquinas y para

establecer estándares de producción. Esta misma información se puede obtener mediante procedimientos de estudios de tiempos. El muestreo de trabajo es un método que con frecuencia proporcionará la información con mayor rapidez y a un costo considerablemente menor que por técnicas cronométricas” (Nivel, p577)

Al medir la eficiencia general de las cosechadoras se puede conocer el tiempo real que dedican a producir y el tiempo que se pierde en otras actividades no productivas; a la vez se pueden detectar fallas por parte de la empresa como falta o mal estado de los equipos, problemas de comunicación, capacitación y otros. Para establecer una metodología clara fue necesario realizar una serie de observaciones para hacer un listado de las actividades que se presentan con mayor frecuencia y tasar un índice de probabilidad para la ocurrencia de una actividad productiva. Este premuestreo consistió de 20 observaciones a cada máquina, con un total de 80 observaciones distribuidas a lo largo de 5 días laborales. La observación consiste en programar un reloj de pulsera con cronómetro reversible para que suene una alarma cada 30 minutos. El observador tiene que asegurarse de llegar al sitio donde se encuentra la cosechadora unos minutos antes de que se cumpla el intervalo de media hora y cuidadosamente determina qué actividad se está dando en el instante en que se activa la alarma, luego marca un espacio en la tabla correspondiente a la actividad. Inmediatamente activa el cronómetro para que suene en el momento de realizar la próxima observación, 30 minutos después. En los lapsos intermedios se puede permanecer en el mismo lugar haciendo otras tareas, tratando de identificar situaciones especiales y efectuar varias muestras consecutivas a la misma máquina o se puede desplazar hacia otra cosechadora. Es importante distribuir las muestras a lo largo del día incluyendo la madrugada y la noche, con el fin de representar todos los comportamientos que pudieran estar relacionados con la oscuridad, el cansancio, hambre, calor y otros factores. De igual forma se tienen que incluir en el muestreo las diferentes condiciones que se presenten en la plantación, por ejemplo: condición lluviosa, calor extremo, lotes grandes y pequeños, lotes con caña inclinada, cosecha en fincas particulares que no han sido preparadas para el uso de maquinaria, con parte del equipo de apoyo faltante, con máquinas en mal estado e incluso durante los primeros días de operación por parte de empleados nuevos en esta actividad.

Antes de iniciar con el trabajo de campo es necesario establecer los parámetros y criterios por seguir durante la evaluación, para esto es necesaria la observación minuciosa

de las labores diarias de cosecha para asegurar que se puedan clasificar entre las categorías establecidas la mayoría de las situaciones que se puedan presentar. Escribir estos parámetros permite que otras personas puedan realizar esta prueba incluso en otros ingenios y que los resultados sean comparables entre sí pues siguen el mismo lineamiento. Como la operación por lo general es constante hay que dejar claro el evento que marca el inicio y el que marca el final de cada actividad, para que el encuestador sepa asignar la acción que está presenciando con la categoría adecuada del formulario. Niebel (1995) dice: "Cada elemento debe registrarse en su orden o secuencia apropiados, e incluir una división básica del trabajo que termine con un sonido o movimiento distintivo" luego: "... de modo que las lecturas podrán hacerse exactamente en le mismo punto de cada ciclo" (Pág. 341) A continuación se detallan cada una de las actividades y el conjunto de eventos que las componen.

Definiciones prácticas de cada actividad

Cosechando: Para efectos de esta evaluación se considera que la máquina está cosechando cuando está en movimiento sobre el surco del cañal con los cortadores base girando. Generalmente estará la cadena del elevador en movimiento, pero también puede cosechar una distancia corta acumulando la caña en la tolva



Foto# 40 Actividad normal de cosecha

del elevador mientras se pone en posición el autovolteo, con el fin de alejarse un poco de la orilla y permitirle al tractor girar con más espacio, a esta situación se le considerará parte del giro. Para esta evaluación se tomará "cosechando" únicamente cuando la máquina está cortando caña y tiene la cadena del elevador activada. La fotografía #41 muestra la cadena transportadora del elevador que deja caer la caña picada dentro del autovolteo, depositando caña picada dentro de una carreta. Se dan casos cuando la

máquina tiene que detenerse brevemente mientras cosecha e incluso retroceder unos cuantos metros porque el cañal es muy denso o la caña está caída, pero es un procedimiento normal, que más bien garantiza una buena corta en secciones un poco problemáticas. Estas pequeñas interrupciones corresponden a esta actividad.



Foto# 41 Cadena transportadora de elevador.

Mantenimiento programado Para esta tarea la cosechadora se detiene en un lugar cómodo para trabajar, como en un camino cercano o la cabecera del lote, y el operador, sus ayudantes y un grupo de mecánicos que llega en un camión especialmente preparado para esta tarea, revisan minuciosamente la estructura de la máquina, los sistemas hidráulicos, rodaje, cuchillas, entre otras. Si es necesario se hacen las reparaciones. El mantenimiento incluye la limpieza de la estructura, engrase general, recarga de combustible y afilado o cambio de cuchillas. Hay un horario de servicio para cada máquina y tarda en promedio 2 horas con 20 minutos. Esta revisión se realiza una vez al día durante el turno que opera de día, en la noche no se da mantenimiento, pero sí es necesaria la recarga de combustible, que se hace una vez durante el turno de la noche. Es una operación rápida, que aproximadamente tarda 15 minutos pues consiste únicamente en llevar la máquina fuera del lote, donde le espera el camión de servicio, cargar el combustible, firmar una boleta de control y volver a su sitio de trabajo. En ocasiones si es necesario, se pueden hacer trabajos pequeños como el engrase de una pieza, limpieza de los parabrisas, y otros. Esta actividad comienza en el momento en que la máquina deja de cortar caña e inicia el recorrido hacia el camión de servicio, finalizando en el momento que reanuda la corta de caña u otra actividad. Se puede presentar el caso donde la máquina ha concluido el servicio y está en posición para cosechar, pero no lo puede hacer porque los tractores que le acompañan están siendo recargados con combustible o recibiendo mantenimiento, aquí se considerará



Foto# 42 Recibiendo mantenimiento.

que todavía está dentro del tiempo de mantenimiento programado ya que los tractores también lo reciben y éste es el momento adecuado para hacerles ajustes o reparaciones.

Revisión periódica En Taboga se realizan estas inspecciones por recomendación del Ing. Álvaro Cordero, Coordinador de Cosecha Mecánica. El operador detiene la cosechadora cada 3 horas de operación y revisa los principales componentes. Esta parada tiene una duración aproximada de 10 minutos y le permite al operador detectar cualquier falla antes de que ocasione un daño serio, puede informar a los encargados de mantenimiento la situación para que lleguen preparados al servicio de mantenimiento programado. Esta inspección rápida lo ayuda a estimar la vida útil restante de las cuchillas o enterarse de que alguna se ha quebrado; de encontrar algún problema se repara inmediatamente o se informa al supervisor.

Transporte Es el proceso necesario para llevar la máquina de un lote a otro. Ésta se puede desplazar por sus propios medios si la distancia es inferior a 500 metros o debe ser cargada en una plataforma para transportarla como se ilustra en la fotografía #19.

Se considera que está en actividad de transporte desde que deja de cosechar o abandona la actividad en la que estaba y se comienza a desplazar hacia el nuevo lote o a la carreta. De igual manera el final de la actividad de transporte es el momento en que comienza a cortar el primer surco del nuevo lote o inicia otra actividad como mantenimiento por ejemplo.



Foto# 43 Plataforma para transporte.

Sin autovolteos Se refiere al momento en el que la máquina tiene que detenerse e interrumpir la cosecha porque no hay un tractor con una carreta o un auto volteo en posición para depositar la caña que corta. La causa de esta demora puede tener diversos orígenes, los más comunes que se detectaron son: todas las carretas están llenas y los auto volteos no tienen donde vaciar, uno o los dos auto volteos se quedaron atascados en el barro o en un drenaje mal tapado, al voltear la carga en una carreta se derramó una cantidad considerable de caña y el operador del tractor tuvo que bajarse y levantarla manualmente, retrasando su llegada de nuevo a la máquina. Se considerará como "sin autovolteos" el momento en que la máquina está preparada y en posición para cortar pero no lo puede hacer porque no tiene donde cargar.

Girando Es la maniobra que el operador hace al llegar al final de un surco para girar la máquina 180° y quedar en posición de corta para el siguiente surco. De igual forma lo tiene que hacer el operador del tractor con auto volteo, una vez que la actividad inicia en el momento en que el operario de la cosechadora detiene la cadena de llenado para iniciar su giro, y finaliza en el momento en que la activa nuevamente una vez que el tractor también ha girado y se encuentra en posición para ser cargado. El tiempo promedio que se tarda en realizar esta actividad depende del espacio disponible al final e inicio del lote, del estado del terreno y de la proximidad de drenajes, árboles, cables eléctricos y otros peligros y obstáculos. El pequeño tramo que se corta con la cadena detenida para darle espacio al tractor descrita en la actividad de "cosechando" corresponde a esta categoría (girando).



Foto#44 Girando al final del surco.

Recibiendo instrucciones Únicamente se tomará en cuenta cuando el operador tenga que interrumpir la cosecha para poder atender a un supervisor o compañero que necesite comunicarle alguna indicación, puede ser personalmente o por radio. Cuando esta comunicación se dé sin necesidad de suspender labores no se considerará como tal. En caso de que al operador se le pida realizar alguna tarea, como por ejemplo, bajar de la máquina para verificar si hay suficientes carretas, o que cuente cuantos surcos le faltan para terminar, se considerará el tiempo que tarde haciendo la indicación como parte de una actividad "recibiendo instrucciones".

Esperando quema Es el tiempo que se debe de esperar antes de entrar a un lote que recién ha sido quemado y en donde todavía hay fuego en algunas áreas. En ocasiones la máquina llega al lote, pero aún no ha sido quemado; en estos casos la actividad de transporte termina en el momento en que la máquina baja de la plataforma que se detiene cerca del lote, pero no puede cortar porque hay fuego o no se ha quemado. El final de la actividad "esperando quema" será cuando la máquina retoma nuevamente la posición de cosecha.

Durante el muestreo se observó cómo la máquina termina de cosechar un lote y tiene que esperar cierto tiempo para que se le asigne uno nuevo, que puede ser quemado o en verde. Al presentarse un caso similar se considerará como “esperando quema”, aunque no necesariamente el próximo lote por cosechar tenga que ser quemado. El motivo es porque la causa de la demora en cualquiera de estos casos es la falta de coordinación entre los encargados de ejecutar el programa de cosecha.

Distraído Incluye todas las actividades que el operador pueda estar haciendo en momentos en que las condiciones para cosechar son aceptables, pero no lo está haciendo. Incluye hablar con compañeros, caminar fuera de la máquina, comer, fumar, y otras. Excluye aquellas actividades que correspondan a otra categoría.

Otras actividades Es una categoría que agrupa aquellas acciones que no cumplan los requisitos para ser clasificadas en alguna de las anteriores.

Resultados del muestreo

Al aplicar el instrumento en el campo no sólo se obtienen cifras tentativas sobre la distribución del tiempo diario en las diferentes actividades que componen la operación, sino que también salen a la luz factores limitantes y de logística que podrían entorpecer la toma de las muestras.

Resultados del muestreo a la operación de cosecha mecanizada

Actividad	Puntuación	Porcentaje
Cosechando	44	55
Mantenimiento programado.	4	5
Revisión periódica	1	1
Transporte	5	6
Sin Autovoltos	6	8
Girando	16	20
Recibiendo instrucciones.	1	1
Distraído	0	0
Esperando quema	3	4
Otra actividad	0	0
Totales	80	100

Tabla #14

Fuente: del autor.

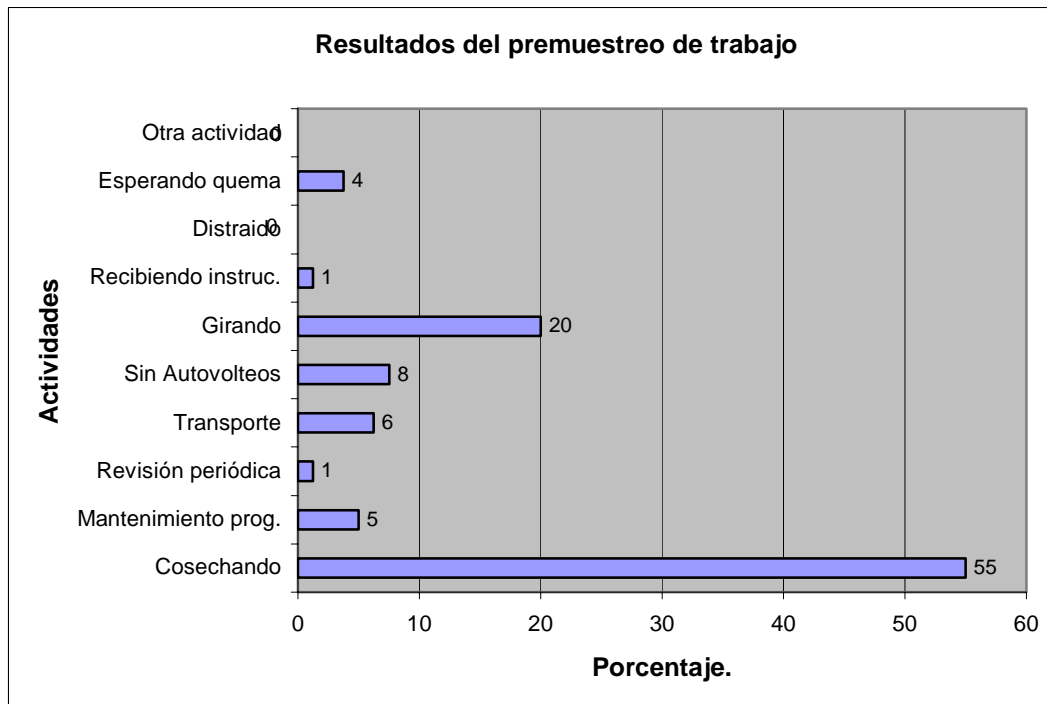


Gráfico # 12
Fuente: del autor.

Según la prueba piloto, la probabilidad de que la máquina se encuentre cosechando en el momento en que suena una alarma cada 30 minutos es de un 55%, y el 45% restante corresponderá a todas las otras categorías (Ver tabla #13 de los resultados) . Ahora es necesario darle al estudio un nivel aceptable de credibilidad.

Con los conceptos bien definidos y un estimado de las probabilidades se calculó el tamaño adecuado de la muestra aplicando la fórmula: (Martin *et al.* 1987, Daniel 1997):

$$n = \frac{4(P * Q)}{L^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra. (Desconocida)

P = Probabilidad de que ocurra el evento buscado (Cosechando = 55%)

Q = Probabilidad de que no ocurra el evento buscado

(Realizando cualquier otra actividad = 45%)

L = Porcentaje de error permitido (5% sería aceptable)

Según P. Armitage y G. Berry (1989) y Wane Martín (1987) coinciden en que una investigación seria y confiable requiere de una precisión igual o superior al 95%, así que se realizaron los cálculos para determinar cuántas observaciones se deben hacer para obtener este grado de exactitud. El resultado pide que se realicen un mínimo de 396 observaciones en el campo durante la zafra activa.

De haber existido estudios debidamente documentados que propusieran una cifra aproximada sobre el porcentaje del tiempo efectivo en la operación de cosechadoras de caña en condiciones similares a las que se presentan en Costa Rica, se podría haber usado esa probabilidad para calcular el tamaño de la muestra, y el muestreo no hubiese sido necesario más que para probar la metodología por emplear y aclarar conceptos prácticos.

El muestreo

Se crearon formularios con 10 filas correspondientes a las nueve actividades descritas anteriormente y una para otras actividades no previstas. Cada columna de la tabla corresponde a una observación y se debe marcar únicamente un espacio, el correspondiente a la actividad que se está llevando a cabo en ese momento.

Si se repite la metodología empleada para el muestreo sería necesario trabajar 25 días seguidos de 8 horas efectivas en el campo para completar la recolección de datos. Si se consideran algunos imprevistos y dificultades como se experimentaron durante la fase de prueba piloto este lapso podría extenderse considerablemente. Así que para el muestreo final se redujo el tiempo entre cada observación a 15 minutos y se aprovecharon los días en que 2 máquinas se encontraban operando simultáneamente en el mismo lote o a distancias cortas entre sí, empleando un cronómetro para cada una, programado para pitar cada 15 minutos pero de forma alterna al otro, dando 7.5 minutos para trasladarse de una máquina a otra y duplicar la cantidad de muestras recolectadas durante esos lapsos.

Una vez recolectadas las 450 muestras que fue posible realizar, se suman los subtotales de cada fila correspondiente a cada categoría, luego se calcula el porcentaje que representa cada una de las actividades con respecto al total de la muestra (450).

Los resultados se presentan en forma gráfica y analizan de acuerdo a la situación que se presenta.

Porcentaje del tiempo dedicado a las actividades de cosecha mecanizada, según muestreo de trabajo

Actividad	Valores en cada sesión. ¹															Totales	Porcentaje
Cosechando	13	13	13	10	9	12	19	14	14	8	10	12	13	11	13	184	40.9
Mantenimiento prog.	4	3	1	2	3	4	0	0	2	3	5	5	4	6	2	44	9.8
Revisión periódica	1	2	2	1	0	1	0	0	2	1	3	1	0	0	0	14	3.1
Transporte	0	1	2	2	0	2	0	0	1	5	2	4	6	6	5	36	8.0
Sin Autovolteos	4	5	4	7	7	4	5	11	4	5	4	4	4	4	4	76	16.9
Girando	5	4	3	3	5	4	3	3	2	6	3	4	0	1	4	50	11.1
Recibiendo instruc.	1	1	0	2	2	0	1	1	2	1	1	0	0	0	1	13	2.9
Distraído	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	7	1.6
Esperando quema	1	0	2	1	1	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	9	2.0
Otra actividad	1	1	1	2	1	2	0	1	0	1	2	0	3	2	0	17	3.8
Totales	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	450	100

Tabla #15
Fuente: del autor.

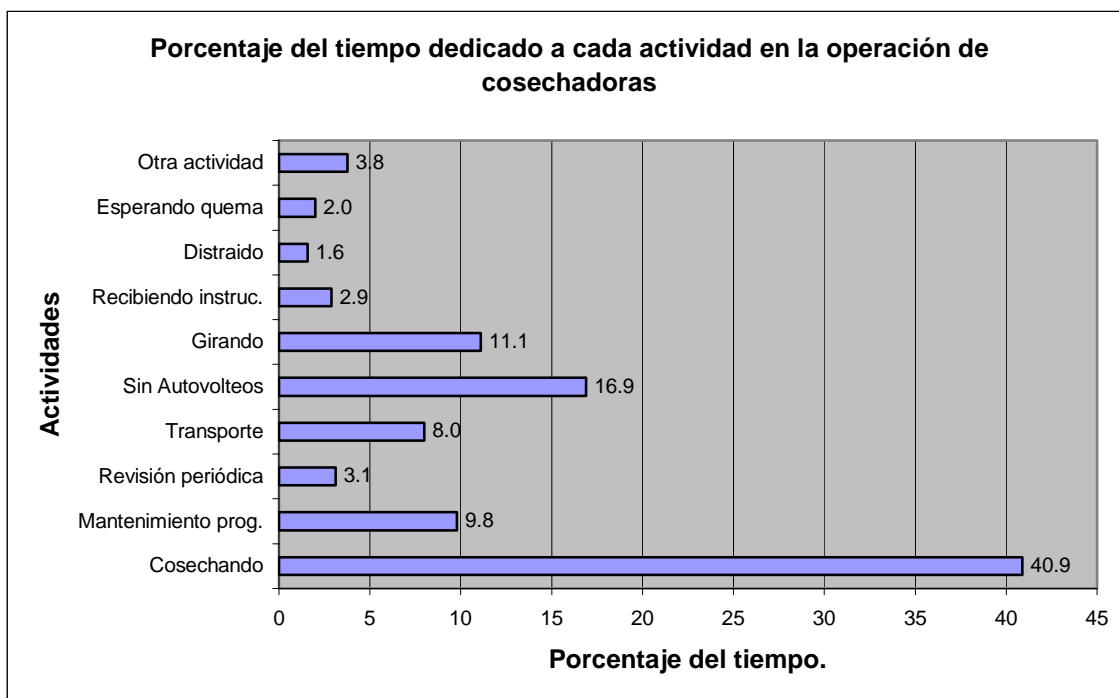
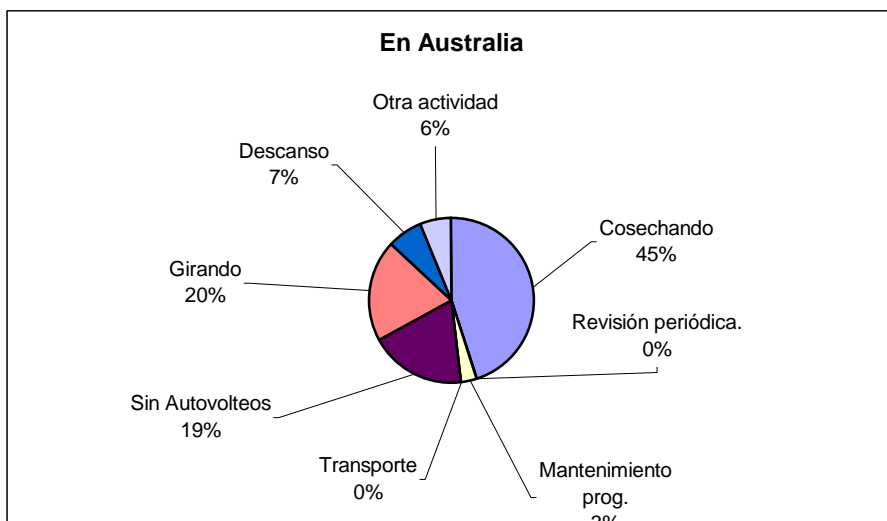
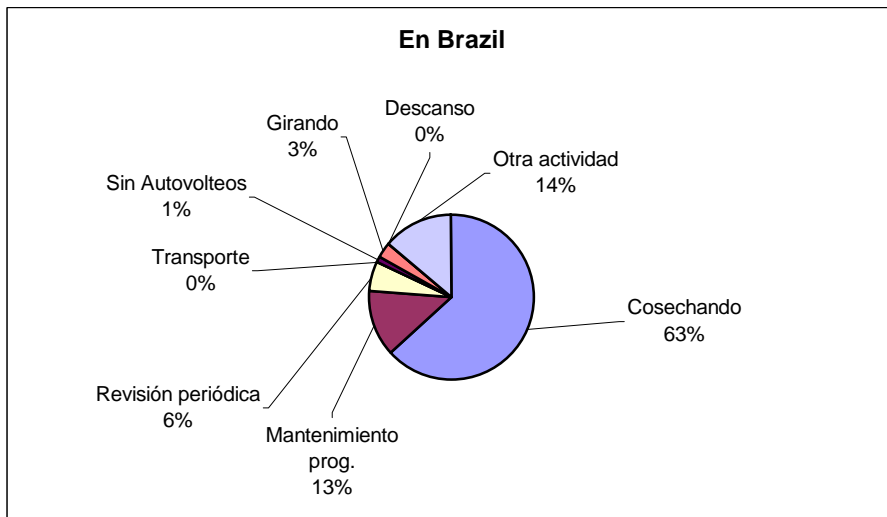
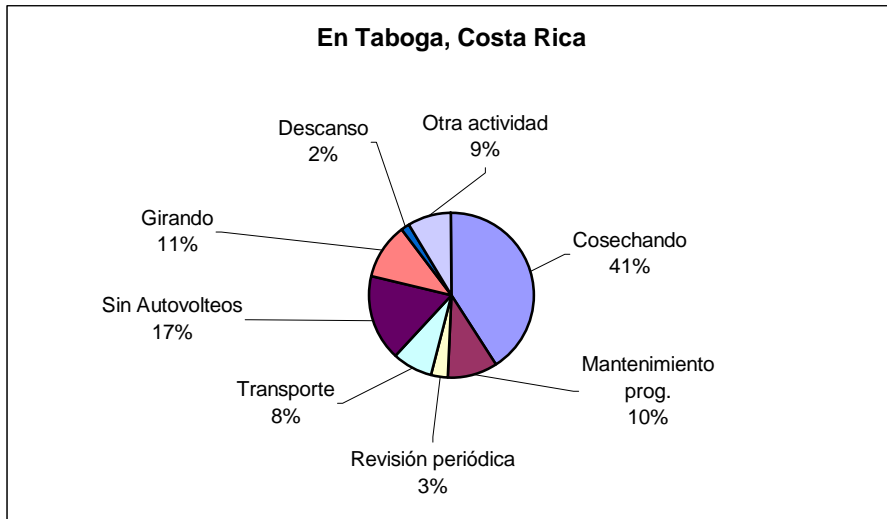


Gráfico #13
Fuente: del autor.

¹ Corresponden al total de observaciones contenidas en cada formulario creado para registrar las actividades.

Comparativo de los rendimientos en Costa Rica, Brasil y Australia



Gráficos # 14 Fuente: del autor, The Caneharvester y BSES.

En los gráfico anteriores de han agrupado algunas categorías con el fin de mostrar una comparación más clara. Por ejemplo en Brasil registran el tiempo que se tubo que interrumpir la corta por exceso de lluvia, como en Costa Rica y Australia la cosecha se hace en los meses más secos del verano, la operación no se interrumpe por esa causa, por lo que no existe esa categoría. En este caso el tiempo correspondiente a la lluvia se le agregó a "otras actividades". En Taboga se clasificaron tiempos dedicados a esperar la quema y recibir instrucciones, lo que no se encontró en los datos de los otros países porque no se detalló o porque no se presentan estas actividades, así que estos tiempos se incluyeron en "otras actividades".

Si se retoma el concepto de "distráido" descrito en paginas anteriores, lo que los australianos clasifican como "descanso" puede considerarse como una categoría similar, siendo el tiempo que el operador deja de cortar dedica para dedicarlo a sí mismo, ya sea necesidad o por gusto.

Nótese como los brasileños han establecido políticas y secuencias de cosecha acertadas y respetadas al punto de lograr que una cosechadora no se movilice si no es para cortar caña. Como lo describe Gary Sandell (2001):¹ "El involucramiento de los agrónomos y topógrafos en la operación de cosecha es total, el diseño de las fincas, lotes y caminos es totalmente compatible con la mecanización de la corta." Este esfuerzo también se refleja en un tiempo para los giros y "sin autovoltos" muy bajo comparado con los datos de los otros dos países. Sandell también comenta como el trabajar las cosechadoras en parejas o tríos y que compartan los servicios, equipos de transporte ayuda a mejorar la eficiencia.

Julian Collins, de la extensión de investigación de BSES atribuye en parte la causa los rendimientos inferiores a los de Brasil a que: en Australia la totalidad de las cosechadoras pertenecen a particulares y no a los ingenios, los agricultores contratan la cosecha y la pagan por tonelada recolectada, así que a los finqueros realmente no les afecta mucho el tiempo que demore la operación y se preocupan más por producir tonelaje que por diseñar lotes totalmente "amigables" con las máquinas.

En Costa Rica se comparten muchas de las características y condiciones con las que se trabaja en Brasil, así que, optimizando al máximo la operación en Costa Rica es posible alcanzar rendimientos similares al los del país suramericano.

¹ Traducción del texto original que es en inglés.

Análisis de las actividades que componen la operación y propuestas de mejora

El gráfico #13 expone los resultados del estudio en donde se determina el porcentaje del tiempo diario que se dedica a cada una de las actividades que normalmente se presentan.

Casi el 60% del tiempo se reparte en actividades que no son realmente productivas.

Parece incorrecto que se interrumpa la corta durante 45 minutos diarios para realizar la revisión periódica. Ciertamente es una actividad necesaria, pero perfectamente se puede hacer durante los muchos períodos en que la máquina no puede cortar porque no tiene los autovoltajes disponibles, que suman más de cuatro horas diarias. Lo mismo aplica para la categoría distraído, si un operador de cosechadora quiere bajarse a fumar un cigarro, a comer o estirar las piernas perfectamente lo puede hacer mientras la máquina está parada por otro motivo, y no se debería de interrumpir la corta con estos fines. Esta situación resulta preocupante pues muestra la falta de interés por parte de los operadores para sacar el máximo provecho del tiempo laboral.

Como medida del desempeño se considera toda actividad que no sea Cosechando como no productiva, aunque es claro que algunas son necesarias para el buen funcionamiento de la operación como por ejemplo la revisión periódica y el mantenimiento programado, pero su ejecución puede ser estudiada y mejorada significativamente.

A continuación se comentan los resultados de las observaciones a las actividades no productivas que representan los mayores porcentajes de tiempo perdido.

Esperando quema

Esta pérdida de tiempo está muy relacionada con el problema metrológico descrito en el tema que trata la Madurez de la Caña. La causa principal de que una máquina no pueda iniciar la corta de un nuevo lote porque aún se está quemando o porque no se le ha asignado uno, es la mala coordinación y la necesidad de improvisar las decisiones a raíz de que los informes de laboratorio de la caña que está siendo cosechada indican niveles de rendimiento bajos. El tener que abandonar un lote y buscar otro que podría estar mejor

(la caña más madura) toma tiempo y requiere de la coordinación entre los jefes de las fincas, supervisor de cosecha y el equipo de incendio, si es que se va a quemar. Cuando se sigue la secuencia establecida de cosecha los lotes se preparan anticipadamente, esto quiere decir que uno o dos días antes una niveladora rellena los canales de riego, zanjas y otras irregularidades para que la máquina pueda trabajar sin riesgo, las cabeceras también son niveladas y se envían cuadrillas de hombres para que corten manualmente la caña que la máquina no podrá alcanzar y la que se encuentra cerca de los canales de drenaje o primarios de riego que no se puedan rellenar. Cuando un lote tiene que ser quemado se hace antes de que la máquina termine de cortar el lote anterior, calculando que ya se haya quemado y enfriado cuando ésta llegue allí, pero que no haya pasado tanto tiempo como para que se deteriore la caña. Todas estas prevenciones aseguran que el tiempo que transcurre entre el final de un lote y el inicio de otro se limite estrictamente a la duración del transporte. Pero el problema se desata cuando repentinamente hay que suspender la corta, alterar la secuencia de cosecha e iniciar en lotes que no han sido preparados o que aún no se han quemado.

Es necesaria la revisión de los sistemas de muestreo y análisis para la madurez y el pago de caña. Si se logra establecer un método de análisis confiable que garantice que se cosechará un lote con cierto rendimiento según el análisis de madurez, y en efecto el informe del análisis para el pago es muy cercano al estimado, no existiría la necesidad de improvisar el programa de cosecha, la secuencia se determinaría de acuerdo con los resultados de muestreos de madurez confiables y acertados.

El tiempo perdido por concepto de esta categoría sería casi nulo, y se reduciría únicamente a imprevistos como por ejemplo ráfagas de viento que retrasen la quema por temor a que se pase a otros lotes.

Transporte

Es una actividad necesaria y se realiza cada vez que se termina un lote. Pero se practica de manera excesiva e innecesaria. La causa principal por la que las cosechadoras pasan el 8% del tiempo siendo transportadas es la falta de coordinación, principalmente al tener que variar el programa de cosecha repentinamente. Nuevamente surge la necesidad de evaluar los sistemas de medición de rendimiento de la caña, si estos resultados fueran

confiables desaparecería la necesidad de movilizar las máquinas antes que terminen de cosechar todo el lote, y por supuesto los transportes ligados a estos traslados se reducirían proporcionalmente.

Las cosechadoras de orugas, por recomendación del fabricante no deben de transitar más de 500 metros sobre terreno firme como caminos de lastre o asfalto por ejemplo, el motivo es que el tren de rodaje es muy rígido y para hacer los giros adecuadamente se necesita que la superficie del terreno sea blanda para que las orugas metálicas se deslicen lateralmente sin que el suelo ejerza mucha resistencia, si el movimiento se realiza sobre un terreno compactado la resistencia al deslizamiento será mayor y fatigará los rodillos, cadenas y otros componentes del tren de rodaje. Este es el motivo por el que las cosechadoras pueden desplazarse continuamente dentro de los cañales sin sufrir daños, pero cuando se trata de desplazarse de un lote a otro, si la distancia es mayor a los 500 metros, el transporte se debe de hacer con la máquina cargada en una carreta especial para ese fin. Las de llantas pueden transitar un poco más, pero su velocidad es lenta y el fabricante también recomienda su transporte en carreta siempre que sea posible para no fatigar la estructura por las vibraciones.

Los lotes están separados únicamente por los caminos, que tienen unos 10 metros de ancho, perfectamente una cosechadora podría acabar con un lote y continuar con el siguiente, en cuyo caso no se requeriría de carreta u otro equipo de apoyo y el tiempo del transporte no sería mayor a los 10 minutos.

La cosecha de los lotes generalmente se hace siguiendo la secuencia de cómo se sembraron, esto quiere decir que un conjunto de lotes vecinos tendrá una diferencia de edad de dos o tres días entre cada lote. Así que en teoría es posible cosechar varios lotes cercanos sucesivamente sin necesidad de hacer desplazamientos con carreta, se puede determinar la madurez de los lotes cercanos para así ir programando una secuencia de corta que siga una ruta donde la distancia entre cada lote no exceda los 500 metros. El inconveniente es que, como se mencionó en temas anteriores la maduración de la caña depende de muchos factores y así lotes vecinos que fueron sembrados con dos días de diferencia, tienen diferencias considerables en el avance de la madurez. Pero si pudiéramos elegir cualquier lote alrededor del que se está cortando en este momento, pero que no esté más allá de un radio de 500 metros, aún tendríamos de cuatro a ocho lotes para escoger. En este punto sí se presenta una limitante seria: el método para

determinar la madurez que se utiliza actualmente no es confiable y la selección del próximo lote a cortar dentro de este campo de acción podría ser incorrecta si se basa en éste análisis de laboratorio. Las consecuencias de una mala elección ya se han mencionado, e inevitablemente acabará aumentando el porcentaje del tiempo que se dedica a transportar la máquina de un lote a otro.

Recordemos que no toda la caña madura de la misma manera ni al mismo tiempo, hay que considerar la variedad, el madurante, el riego, suelo, diferencial térmico, fertilizaciones y humedad.

Recibiendo instrucciones

Las instrucciones que un supervisor o el jefe de la finca le da a un operador de cosechadora tienen como fin aclarar dudas y definir los pasos por seguir para resolver una situación problemática, o simplemente asegurar un buen trabajo. Si bien esos objetivos son para beneficio de la operación, cuando se menciona que los operarios deben de interrumpir la corta por un total de 45 minutos cada día para escuchar estas recomendaciones, surge la inquietud de si se estará destinando demasiado tiempo a dictar indicaciones. En las observaciones de campo se logró apreciar cómo la causa de la mayoría de estas intervenciones era la inseguridad de los operadores, al no saber como enfrentar algunas situaciones. Ellos optan por no actuar y prefieren llamar por radio a su supervisor, a quien deben esperar para que llegue a evaluar la situación. Fueron pocas las veces en que las instrucciones se centraban en la operación de la máquina y el funcionamiento de sus componentes.

Los operadores de cosechadora en Costa Rica no son instruidos para este fin, se seleccionan por su experiencia en la operación de otra clase de maquinaria agrícola y se les permite operar la cosechadora junto a un operador experimentado durante varios días y luego comienza a trabajar solo. La experiencia en el uso de los mandos y ajustes la adquiere con el tiempo, las reparaciones mecánicas las aprende a hacer observando y ayudando a los mecánicos encargados del mantenimiento programado. Unos pocos cuentan con conocimientos adecuados de mecánica pues han aprendido en el taller de servicio de la empresa. En Taboga un operador viajó a Australia con el fin de aprender

sobre la operación de cosecha en ese país pionero y transmitir las experiencias a sus compañeros.

Un operador de equipo agrícola experimentado puede aprender a operar una cosechadora de caña en unas cuantas horas y lograr un buen desempeño en menos de una semana, pero la complejidad de los sistemas hidráulicos, eléctricos y mecánicos que la constituyen requieren de un conocimiento detallado del funcionamiento de cada una de estas partes. Es fácil ocasionarle daños graves y costosos a una cosechadora con solo descuidar unos pocos ajustes e inspecciones. Cuando se compra una nueva cosechadora, CAMECO y Austoft envían un paquete de manuales técnicos. En uno se explica el funcionamiento y métodos de reparación de todos los componentes de la máquina y es destinado a los mecánicos especializados del taller. Otro manual contiene información para los mecánicos y engrasadores que realizan el mantenimiento diario en el campo, incluye información sobre los puntos de engrase, nivel de fluidos, ajuste de picadores, tensión de la cadena del elevador y otros datos generales. Finalmente hay un manual para el operador, en el cual se explica el funcionamiento de los mandos y las posibilidades de ajuste de acuerdo con las condiciones del cañal, también contiene información referente al diagnóstico y mantenimiento básico. Existe una versión de estos manuales editada en español. La presentación y manera en que se describen los conceptos en estos manuales es muy básica, pero completa, es claro que los autores consideraron el hecho de que el nivel de escolaridad de los operadores generalmente es bajo.

Se recomienda que antes de la zafra activa, los ingenios capaciten a cada uno de sus operadores en el funcionamiento, inspección y reparación de la máquina, apoyándose en los manuales del fabricante. Además la capacitación debería incluir la recreación de escenarios confusos que se puedan presentar durante la zafra activa, así los operadores tendrán la oportunidad de discutir con sus compañeros e instructores las posibles acciones preventivas o correctivas por seguir. Temas como la quema, el inicio de un nuevo lote, el transporte, los servicios de mantenimiento y la falta de carretas actualmente causan confusión entre los operadores, quienes deben aguardar para recibir instrucciones. Con una formación más completa los operadores podrían trabajar más seguros y resolver la mayoría de los problemas ellos mismos, el supervisor tendría más tiempo disponible para otras actividades propias de su puesto como determinar la secuencia de la corta y la preparación de los próximos lotes por cosechar.

Esta actividad también incluye la comunicación entre los operadores de cosechadora y de tractores de autovolteo, quienes generalmente hacen señas al compañero para que se detenga y baje de la máquina para decirle algo. Equipar todos los tractores y cosechadoras con radios de comunicación fácilmente solucionaría esta demora.

Mantenimiento programado

Esta es otra actividad de gran importancia para asegurar la continuidad de la cosecha, una sesión de mantenimiento diaria ayuda a garantizar el buen estado de los principales componentes en todo momento, los problemas se detectan antes de que transcurra mucho tiempo como para causar otros inconvenientes. Las dos horas con 20 minutos que se destinan diariamente a este servicio podrían reducirse si los operadores de las cosechadoras tuviesen conocimientos más amplios de mecánica y reparación de las máquinas. Si al acercarse la hora del mantenimiento el operador realiza una inspección rápida del estado general e informa a los mecánicos lo que observó y lista los repuestos y herramientas especiales que podrían requerirse durante la reparación, entonces los camiones de servicio pueden pasar por el taller y las bodegas recogiendo el equipo necesario, luego llegar al lote donde está la máquina y realizar un servicio ágil y eficiente. Suele ocurrir que entre las piezas que cargan normalmente los camiones no está algo que se necesita y hay que ir a buscarlo al taller, retrasando la labor de mantenimiento.

La capacitación de los mecánicos y engrasadores sería de ayuda en la detección y solución de problemas en la máquina, los manuales de servicio deberían de estar disponibles junto a la máquina en todo momento, al igual que el catálogo de partes. Algunos miembros del equipo de servicio de todos los ingenios que cuentan con cosechadoras en Costa Rica han viajado a las instalaciones de CAMECO en Louisiana, Estados Unidos o Austoft en Brasil para asistir a su Escuela de Servicio, donde reciben formación teórica y práctica en el mantenimiento preventivo y correctivo de las cosechadoras, pero no hay transferencia del conocimiento adquirido hacia sus compañeros.

El registro de la frecuencia de la utilización de piezas y herramientas ayudaría a determinar un listado del equipo que debe de transportarse en los camiones de servicio y reducir la cantidad de viajes al taller mientras la máquina está detenida para ser reparada.

Sería beneficioso crear listas de verificación para las cesiones de mantenimiento donde se listen los puntos que se deben de revisar y la manera correcta de realizar el servicio, el trabajo sería más ágil, se asegura que no se olvidará revisar algo y ayudará principalmente a los mecánicos menos experimentados en esta maquinaria.

Girando y Sin autovolteos

Cada vez que la cosechadora llega al final del surco tiene que girar 180° para iniciar la corta de otro surco. Desde el punto de vista operativo no hay una forma práctica de reducir el tiempo que se destina a girar, el hacerlo más rápido representa un mayor esfuerzo para el tren de rodaje y el riesgo de volcar la máquina.

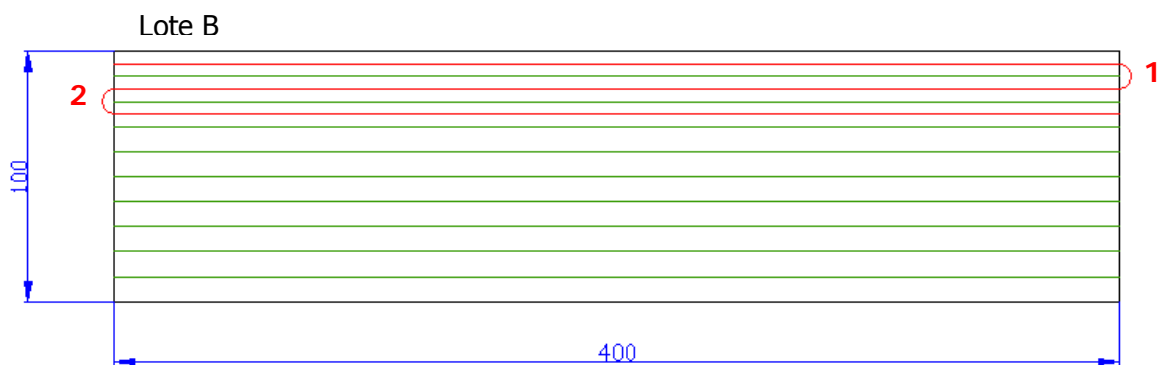
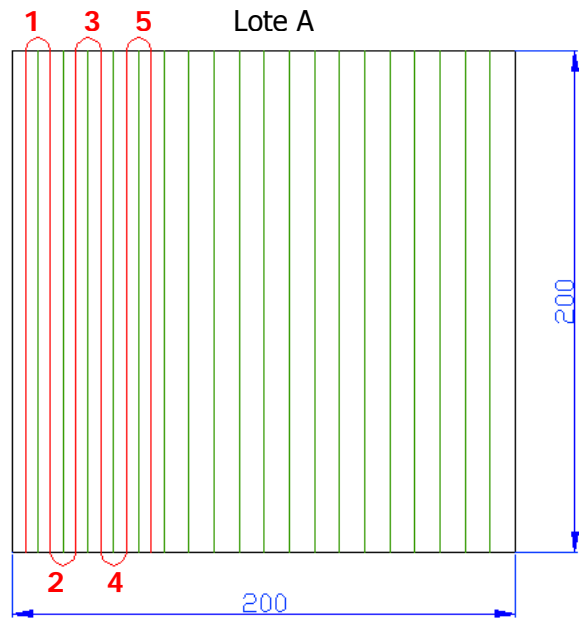
Se decidió encontrar una manera de reducir el porcentaje de tiempo total destinado a girar de una manera práctica, sin comprometer la seguridad de la operación y que este tiempo "ahorrado" pudiera ser empleado en cosechar, aumentando el porcentaje de tiempo realmente efectivo.

Se efectuó una prueba partiendo de un principio muy básico que se ilustra a continuación.

Supongamos que se tienen dos lotes A y B, ambos con la misma área, pero el lote A tiene forma cuadrada y sus surcos miden 200 metros de largo, mientras que el lote B tiene forma rectangular y sus surcos tienen una distancia de 400 metros. Si se quieren cosechar 1200 metros lineales en cada uno de esos lotes, en el lote A hay que cosechar 6 surcos que requieren de 5 giros, y en el lote B hay que cosechar 3 surcos realizando únicamente 2 giros. Este ejemplo explica como entre más largos sean los surcos de un lote menor será el tiempo total que se destine a girar. Las figuras en la siguiente página ilustran ejemplo.

Se pretende conocer si el rendimiento de la cosecha depende en alguna manera del sentido y la longitud de los surcos de un lote, si se diera esta relación se podrían generar recomendaciones para que el diseño de los lotes beneficie esta operación mecanizada. Para verificar que en efecto esto podría ocurrir en la práctica, se realizó una prueba de campo, para la cual se buscaron dos lotes que presentaran condiciones muy similares en cuanto a factores que afectan la cosecha, la única diferencia entre ambos sería el largo de los surcos, uno los tendría largos y otro cortos.

Este lote tiene un área de 4 hectáreas y requiere de 5 giros para recorrer 1200 metros de surco.



Este lote también tiene un área de 4 hectáreas, pero al tener surcos más largos solo requiere de 2 giros para recorrer los mismos 1200 metros cosechando.

Figura # 1
Fuente: del autor.

Los lotes seleccionados fueron Tortugal E15 y Hortigal H9, ambos en Taboga. Las condiciones fueron las siguientes:

- Porte de la caña semierecto con altura promedio similar.
- Densidad de los lotes entre 95 y 100 toneladas por hectárea.

- Equipo conformado por una Cosechadora CAMECO CH2500 y dos tractores de autovolteo. Los mismos operadores trabajaron en las dos pruebas. El acarreo se hizo con cuatro carretas y un cabezal.
- Los lotes no se quemaron.
- Ambos lotes tenían sus dos cabeceras en buenas condiciones.

El lote Tortugal E15 tiene surcos de 640 metros de longitud.

El lote Hortigal H9 tiene los surcos con una longitud de 195 metros.

Se aplicó el muestreo de trabajo a la operación de cosecha bajo los parámetros establecidos con anterioridad, pero esta vez se prestaría especial atención a las actividades denominadas Cosechando y Girando. La prueba consistió de 48 observaciones realizadas una cada 5 minutos durante 4 horas consecutivas. Para asegurar que la corta no fuera interrumpida por largos períodos durante la prueba se aseguró antes de que el rendimiento de azúcar fuera aceptable, que el lote no se fuera a terminar antes del lapso y que todo el equipo de apoyo estuviera trabajando normalmente; también se consideró que la parada para el mantenimiento de ese día ya se hubiera realizado.

Primero se aplicó la prueba en el lote Tortugal E 15 y dos días después se realizó en Hortigal H9. Afortunadamente mientras se realizaban ambos ensayos la operación transcurrió normalmente, registrándose únicamente actividades ya consideradas y en proporciones esperadas, no hubo necesidad de repetir o ampliar alguna de las pruebas.

En efecto, el lote con surcos más largos se registró una reducción importante en el tiempo destinado a girar, pero se incumplió con una de las condiciones establecidas: no se mejoró el tiempo productivo.

Como resultado del ensayo se esperaba que la cifra correspondiente a "Cosechando" en el lote de surcos largos aumentara proporcionalmente según se reducía "girando", pero no fue así. El tiempo total para los giros se comportó de la manera esperada, siendo 43% menor cuando la cosechadora trabajaba en el lote con surcos largos. El porcentaje del tiempo que se destinó a la actividad productiva (cosechar) fue prácticamente igual en las dos pruebas, lo que demuestra que el rendimiento no se mejora sustancialmente cuando los lotes tienen los surcos largos como se esperaba.

Si se observan los valores representados en el gráfico se puede apreciar como el tiempo economizado por concepto de giros en el lote largo, se perdió porque no había carretas de autovolteo disponibles para depositar la caña cortada por la cosechadora.

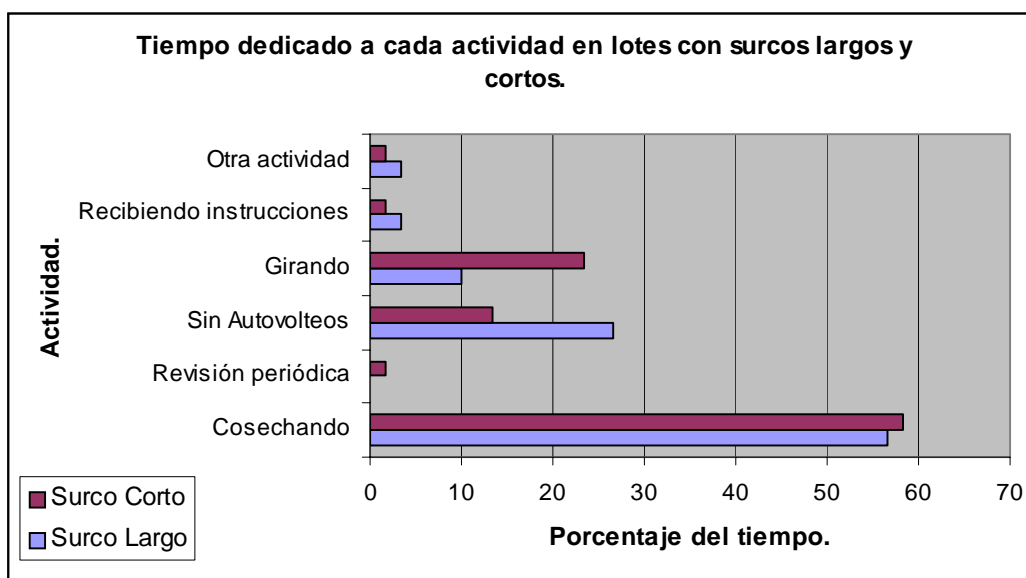


Gráfico # 15
Fuente: del autor.

Luego, analizando el trabajo en el campo se determinó que la causa de este comportamiento es que cuando los surcos son muy largos, los tractores de autovolteo tienen que recorrer una distancia entre la cosechadora y las carretas donde depositan la caña que les toma mayor tiempo que el que tarda la cosechadora llenando el otro autovolteo (cada cosechadora trabaja con dos autovolteos). Cuando uno sale lleno y se dirige hacia las carretas el otro aún no ha llegado y estos lapsos perdidos son equivalentes al tiempo destinado para hacer los giros adicionales en un lote de surcos cortos, donde la distancia es menor y los autovolteos pueden estar listos para cargar nuevamente antes de que el otro se llene. Las siguientes figuras ilustran como en el lote A el recorrido desde la cosechadora hasta la carreta es de 250 metros, mientras en el lote B el autovolteo debe desplazarse 450 metros. Esta diferencia aumentará proporcionalmente en lotes más largos como algunos encontrados en Taboga con longitudes de surcos superiores a los 1000 metros.

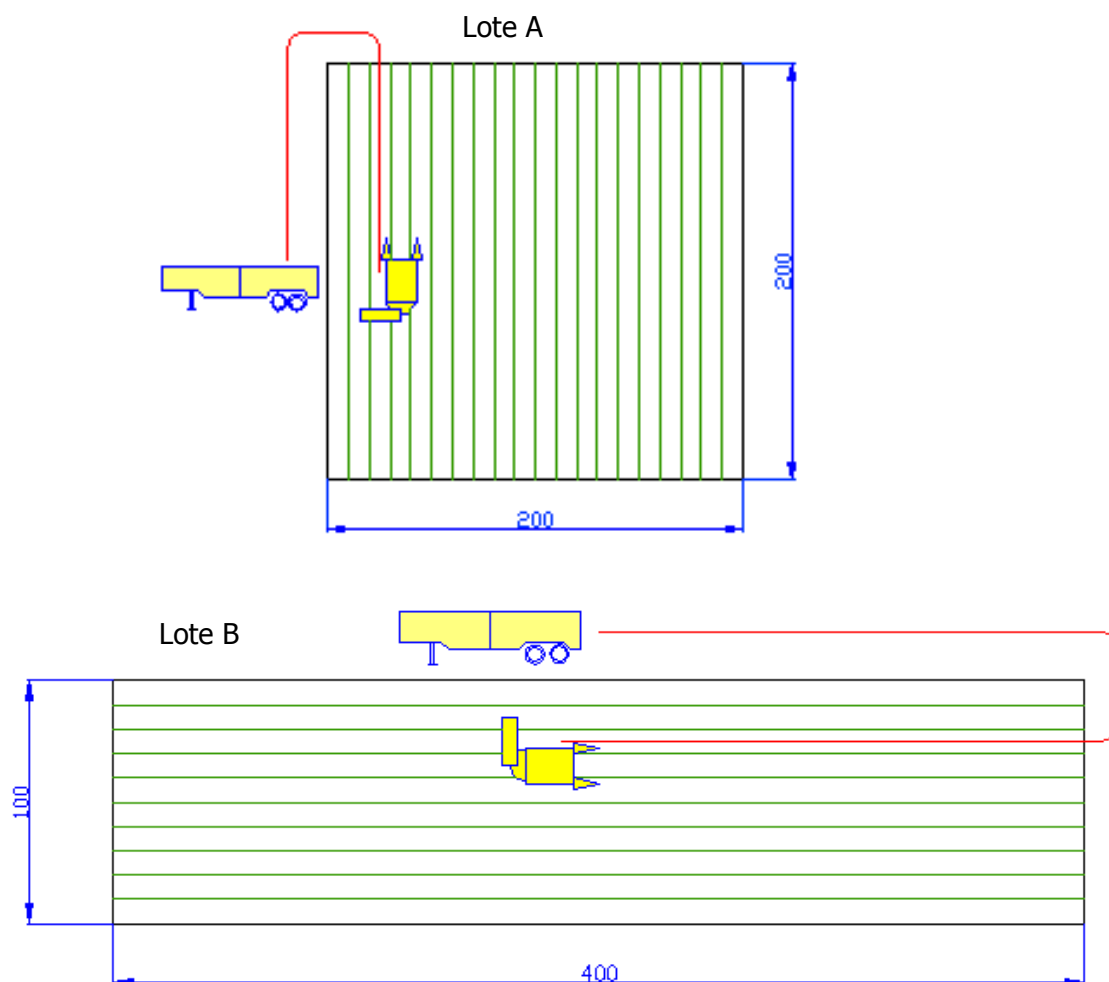
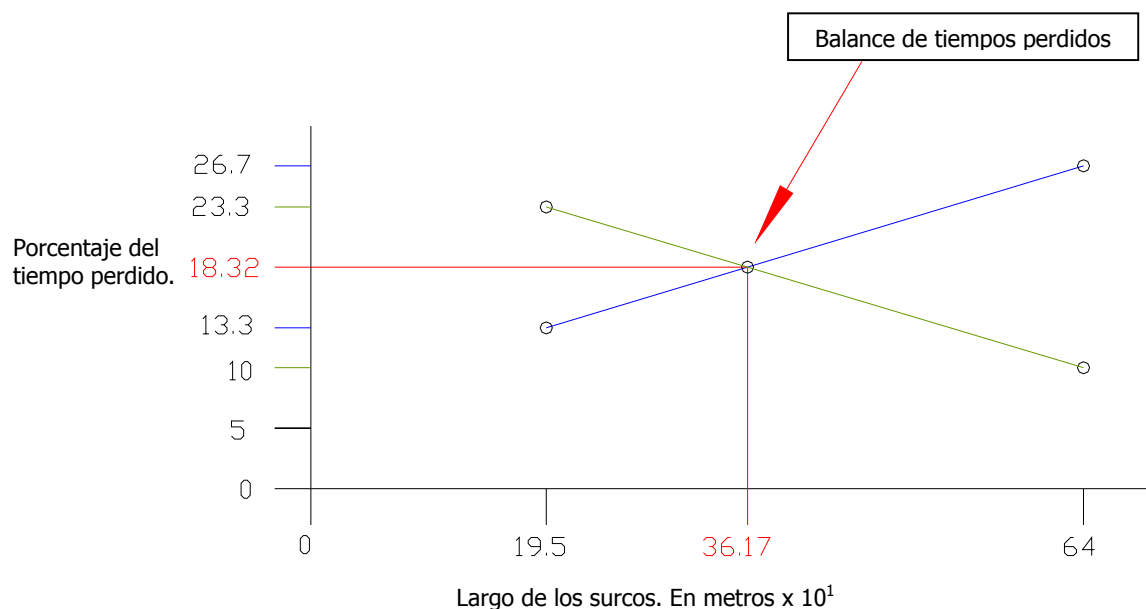


Figura #2
Fuente: del autor.

El estudio aplicado para encontrar el largo ideal de surcos, o el punto en que se minimiza la sumatoria de ambos porcentajes de tiempo revela que el largo de los surcos tiene una relación mínima (casi nula) con el rendimiento general de la operación. A continuación se presenta gráficamente esta situación, en donde se aclara como el valor total se mantiene casi constante mientras que el largo de los surcos se aumenta o reduce. En el próximo gráfico es posible observar como se comportan los porcentajes de tiempo perdido por concepto de giro y de falta de autovolveos con respecto al largo de los surcos de los lotes cosechados.

Comportamiento del tiempo dedicado a girar y perdido por falta de autovolveos según el largo de los surcos



Rojo = Punto de intersección. **Azul** = Sin autovolveos. **Verde** = Girando.

Gráfico # 16
Fuente: del autor.

Sumatoria de porcentajes de tiempo dedicado a "Girando" y "Sin autovolveos" en lotes con surcos de diferentes longitudes

Actividad.	Surcos cortos. 195 metros.	Punto de intersección. 362 metros.	Surcos largos. 640 metros.
Girando.	23.3	18.32	10
Sin autovolveos.	13.3	18.32	26.7
Sumatoria de porcentajes de tiempo.	36.6%	36.64%	36.7%

Tabla # 16
Fuente: del autor.

En las visitas a los ingenios y sus campos se identificó la distribución de algunas plantaciones en CATSA que podría ser ideal para minimizar el tiempo pedido por giros y falta de carretas simultáneamente. Consiste en surcos muy largos (de un poco más de un kilómetro), pero con trochas cada 200 metros por donde pueden salir los autovolteos sin tener que llegar hasta el final del lote. Así se realizan pocos giros y el recorrido hasta la carreta siempre es corto. Estas trochas originalmente son canales secundarios de riego y drenaje que funcionan durante las etapas de crecimiento de las plantas, pero al acercarse la época de cosecha se pueden tapar con una niveladora para convertirlos en caminos por donde puedan transitar los tractores. Esta es la representación de este esquema:

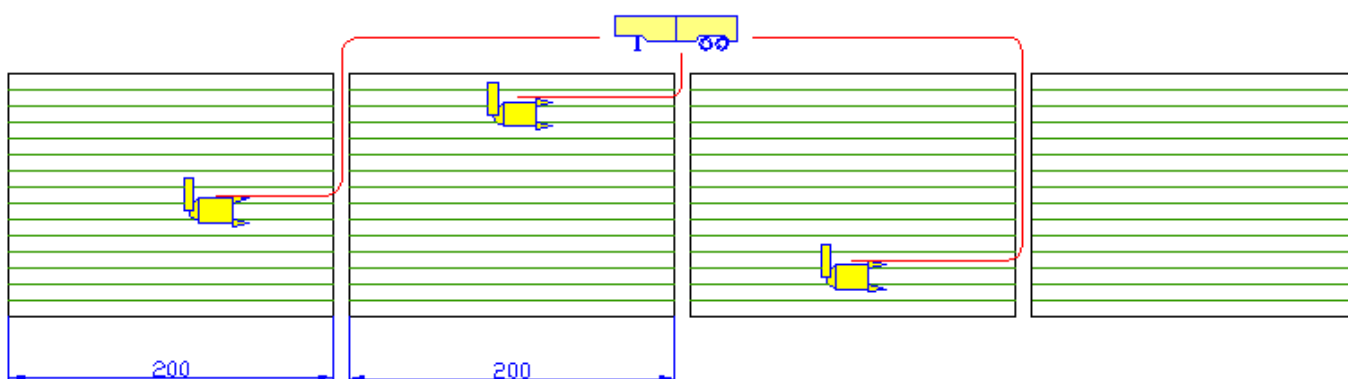


Figura #3
Fuente: del autor.

Desafortunadamente no fue posible realizar observaciones y mediciones de rendimiento apropiadas en estas plantaciones por los siguientes motivos: En CATSA solamente una máquina trabaja con autovolteos. Ahí la operación es poco constante y los rendimientos son muy inferiores a los de Taboga, donde se realizaron las mediciones originales, así que la comparación no sería equitativa. No se estaba cosechando en esas secciones durante las visitas a este ingenio.

En la figura #3, nótese como los autovolteos que acompañan a la máquina que está en el primer cuadrante de este lote solo tiene que recorrer 400 metros para llegar al área de volteo, pero si los surcos no estuvieran interrumpidos por las trochas y tuvieran que llegar hasta el final el desplazamiento sería de 1200 metros.

Con la ayuda del GPS se determinó que la velocidad promedio a la que se desplaza un tractor mientras tira de una carreta de autovolteo llena de caña dentro del lote dirigiéndose hacia la carreta es de 6.5 kilómetros por hora, y para hacer esta medida más aplicable al tema, se puede considerar que se demorará 55 segundos en recorrer 100 metros.

Para determinar la distancia máxima a la que pueden estar las carretas de la cosechadora sin que se interrumpa la operación por falta de autovolteos una fórmula matemática. Para aplicarla es necesario precisar el tiempo promedio que una cosechadora tarda en llenar un autovolteo, éste será el tiempo total disponible por el otro autovolteo para realizar toda la operación de descarga incluyendo los desplazamientos de ida y regreso. También se debe conocer el tiempo promedio que se necesita para hacer la descarga dentro de la carreta, esto comprende extender los pistones para que la canasta se levante y vierta la caña, luego bajar la canasta. Si el operador del tractor se tiene que bajar a juntar caña derramada u otra actividad, el tiempo que se demore se debe de incluir como parte de la descarga.

Estos datos (con sus tiempos en segundos) se incluyen en la siguiente fórmula:

$$\begin{array}{l} \text{Distancia máxima entre} \\ \text{cosechadora y carretas} \\ \text{sin pérdida de tiempo} \end{array} = \frac{(\text{t. llenado} - \text{t. descarga})}{55} \times \frac{100}{2}$$

Apliquemos la fórmula a un ejemplo:

La cosechadora tarda 15 minutos (900 segundos) en llenar un autovolteo.

La descarga toma 4 minutos (240 segundos)

$$\frac{(900-240)}{55} \times \frac{100}{2} = 600 \text{ metros de distancia.}$$

En este caso, si el área de volteo se encuentra a 600 metros de la cosechadora se dará el máximo aprovechamiento del equipo y el rendimiento general será el mejor. Si esta separación se aumenta, la cosechadora tendrá que esperar cada vez que llene un

autovolteo hasta que llegue el otro. Si la distancia se reduce no habrán tiempos perdidos en la cosechadora, pero uno de los tractores tendrá que esperar a que el otro se llene para colocarse en la posición, este caso no es tan preocupante, pero significa tiempo no productivo para esa unidad, y representa un gasto innecesario de combustible y desgaste de componentes. Siempre que sea posible se recomienda ubicar las carretas a la distancia ideal según la aplicación de la fórmula propuesta anteriormente.

Es difícil proponer una separación exacta que se aplique exitosamente a todas las fincas de caña del país, pues el tiempo para cargar un autovolteo dependerá de:

- Capacidad de la canasta.
- Densidad del cultivo.
- Largo de los sucos.
- Condiciones de la cabecera.
- Velocidad de avance y del extractor.

Y el tiempo para descargar dependerá de:

- Capacidad de la canasta.
- Capacidad del sistema hidráulico del tractor.
- Diámetro de los pistones de levante.
- Compatibilidad del autovolteo con la carreta.
- Acción correctiva en caso de derrame.

A lo largo de una temporada de cosecha es posible crear una tabla donde según los factores listados anteriormente se determine la distancia a la que se deben de situar las estaciones de descarga para cada lote.

La aplicación de esta fórmula en repetidas ocasiones en Taboga sugiere que por ningún motivo se ubiquen las carretas a más de 750 metros de distancia de la cosechadora.

Optimizando las condiciones para girar al final del surco

Mientras se realizaban las observaciones para el muestreo de trabajo se apreció como el tiempo requerido para hacer los giros al final del surco era variable, en ocasiones la maniobra era ágil y rápida, en otras lenta y tediosa. La causa parecía ser la falta de espacio para realizar el giro y el terreno abrupto, mientras que en otros lugares la cabecera era ideal para un desplazamiento preciso.

Se decidió estudiar más a fondo este movimiento con el fin de identificar las características físicas de una cabecera que favorece la operación minimizando el tiempo requerido para girar. Adoptar un modelo de cabecera ideal puede aumentar el rendimiento general de la operación de cosecha mecanizada.

El procedimiento consistió en medir el tiempo requerido por las máquinas para realizar el giro según la descripción para esta actividad en el muestreo de trabajo, además se anotarían las características de la cabecera para cada operación.

Se registró la mayor cantidad de muestras posibles con sus respectivos datos y se buscó cubrir equitativamente las diferentes condiciones que se dan en toda la finca, tanto de día como de noche. A este método de muestreo Hernández (2002) lo califica como aleatorio estratificado, y lo define así: "La población se subdivide en estratos: por ejemplo por ámbitos de edad, y de cada estrato se obtiene una muestra al azar. Este muestreo tiene la ventaja sobre el aleatorio simple de que equipara los diversos estratos de esa población evitando sesgos." (Pág. 291) Con el tiempo y los recursos disponibles fue posible recolectar 70 muestras de tiempo de giro y las condiciones en las que se daba ese movimiento.

Las 70 muestras se procesaron con la ayuda del programa estadístico Stat-fit. Se clasificaron en seis categorías según el tiempo de giro correspondiente a cada una. Esta es la menor cantidad de intervalos que se pueden utilizar sin que se pierda información según la aplicación de la siguiente fórmula: (sugerida en Stat-fit)

$$K = (2 N)^{1/3}$$

Donde: N = Cantidad de datos (70) y K = Número de intervalos.

El siguiente gráfico muestra cómo se distribuye en las seis categorías la cantidad de datos correspondientes al tiempo requerido para girar al final del surco y prepararse para iniciar la corta de nuevo en el siguiente surco.

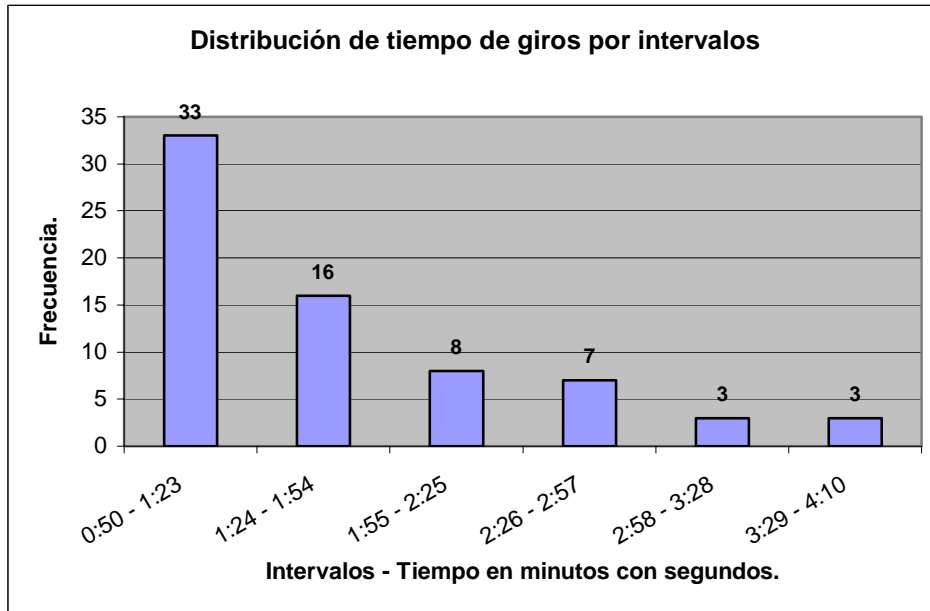


Gráfico # 17
Fuente: del autor.

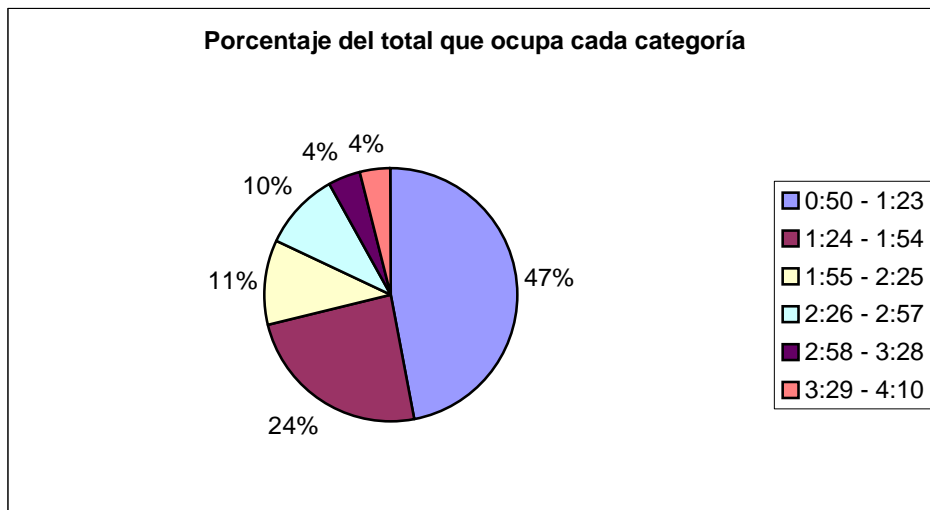


Gráfico # 18
Fuente: del autor.

Tiempo promedio para cada categoría con respecto al porcentaje que cada una representa del total de datos

Intervalo (minutos con segundos)	A 0:50 - 1:23	B 1:24 - 1:54	C 1:55 - 2:25	D 2:26 - 2:57	E 2:58 - 3:28	F 3:29 - 4:10	Total
Porcentaje que representa de la muestra.	47%	24%	11%	10%	4%	4%	100%
Tiempo promedio por intervalo.	1:04	1:36	2:06	2:41	3:08	3:56	
Tiempo multiplicado por porcentaje.	0:30	0:22	0:15	0:16	0:08	0:10	1:41

Tabla # 17
Fuente: del autor.

Como lo detalla la tabla anterior el tiempo promedio para hacer un giro de 180° al final de un surco para las 70 muestras que se estudiaron fue de un minuto con 41 segundos (1:41).

El 47% de las maniobras se ejecutaron en un tiempo entre los 50 segundos y un minuto con 23 segundos, sugiriendo que éste puede ser el rango permitido para un giro óptimo. A partir de observaciones y pruebas en el campo se determina que realizar un giro en menos de 50 segundos no es recomendable, porque la máquina experimenta fuertes vibraciones, las orugas y rodillos se flexionan, el operador tiene menor control sobre ella y golpea algunas cañas que no han sido cosechadas, también aumenta el riesgo de impactar un tractor, carreta u otro obstáculo que existiera.

Para reducir el porcentaje del tiempo total de la operación de cosecha que se dedica a girar (11.1%) se identificaron las características y condiciones en las que se daban los giros con tiempos cortos (Intervalo A) y también los factores que ocasionan un giro más lento y se califican en los intervalos B, C y D. Los intervalos E y F corresponden principalmente a giros interrumpidos por sucesos inesperados. A continuación se detallan estas condiciones.

Lista de características comunes para cada categoría según rango de tiempo necesario para girar

Intervalo de rapidez con que se realizan los giros.	Características.			
	Ancho de la cabecera	Nivel de la cabecera con respecto al lote	Condiciones de los canales secundarios de riego y drenaje	Otras condiciones
A	Mayor a 5.5 metros. Puede ser menor, pero inmediatamente después está el camino (si está al mismo nivel de la cabecera). La máquina puede girar sobre el camino que generalmente tiene más de 8 metros de ancho.	Igual o ligeramente inferior.	Perfectamente nivelados y compactados. La máquina transita sobre ellos con toda facilidad.	No hay barro ni piedras en las cabeceras. Si hay canales cerca, el giro se hace ágil, porque hay suficiente espacio como para no tener que acercarse mucho al borde.
B, C, D	De 3 a 5.5 metros	Superior, el operador tiene que levantar los divisores y cortadores base para no clavarlos en el suelo de la cabecera, luego del giro tiene que volverlos a bajar para retomar el nivel de corte.	Han sido nivelados pero no compactados, el peso de la máquina hace que la tierra se hunda y crea un desnivel.	El área de giro estrecha requiere de varios movimientos hacia delante y hacia atrás, es difícil girar con agilidad. El barro ocasiona que el giro sea más lento. Aunque las condiciones sean buenas, hay un canal primario cerca y el giro se hace con precaución.
E, F	Menor a 3 metros o no existe. El operador tiene que retroceder unos 10 metros antes de girar, pasarse al siguiente surco sobre la caña, cortar esos 10 metros y luego girar sobre el espacio que limpió.	Inferior o superior pero con pendiente muy pronunciada o hay una grada o montículo que golpea la oruga. Si no se gira muy despacio el golpe daña la estructura.	No han sido tapados. Se taparon pero tenían agua y ahora están llenos de barro. Ha crecido caña sobre ellos y no se ven, el giro se debe hacer despacio, con precaución.	En ocasiones el giro se complicó por la presencia de árboles, ramas, postes del tendido eléctrico, un canal de drenaje derrumbado. Aquí se dan las peores condiciones y el giro se afecta por imprevistos.

Tabla # 18
Fuente: del autor.

Ilustración de diferentes condiciones de cabecera

Cabecera ideal Aquí se logran tiempos de giro correspondientes al intervalo A.	Cabecera regular Tiempos para grupos B, C y D.	Cabecera pésima Tiempos para grupos E y F.
		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ El nivel es similar al del lote. ▪ El canal se ha rellenado y compactado correctamente. ▪ Hay más de 5.5 metros para girar. ▪ No hay barro ni piedras. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poco espacio para girar. ▪ Canal muy cerca y no se tapó. ▪ La cabecera tiene un "muro" más alto que el nivel del lote. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No hay espacio para girar. ▪ Hay árboles cerca. ▪ Las ramas crecen sobre la caña. ▪ Hay pendiente positiva al final del surco.

Tabla # 19
Fuente: del autor.

Nótese en la tabla # 17 cómo el promedio del rango ideal correspondiente al grupo A es de un minuto con cuatro segundos, mientras que el promedio para el total del muestreo (70 pruebas) es de un minuto con 41 segundos. Existe una diferencia de 37 segundos. Ya identificadas las condiciones óptimas para realizar los giros en tiempos entre los 50 segundos y un minuto con 23 segundos es posible acondicionar aquellos lotes que presenten características inadecuadas.

Los giros más incómodos correspondientes a los grupos E y F se podrían haber evitado inspeccionando con anterioridad el lote y sus áreas para girar. Se debió remover ramas caídas, abrir los drenajes con tiempo para que salga el agua y luego tapar los canales, estas son algunas precauciones que beneficiarían el rendimiento total de la operación. Se piensa que estos imprevistos ocurren en parte por las alteraciones a la secuencia prevista para la cosecha, cuando se debe iniciar la corta en un lote que no estaba previsto y no hay tiempo para inspeccionarlo y acondicionarlo para la mecanización.

Es importante involucrar a los agrónomos, topógrafos y especialistas en riego a la operación de cosecha mecánica. De esta manera se pueden trazar los canales de manera que no entorpezcan la operación. En el momento de la siembra se debe dejar un espacio no menor a los 5.5 metros sin caña para que sirva como área de giro durante la cosecha.

Si se mejoran las condiciones de giro y se lograra realizar el 90% de las maniobras dentro del rango de tiempo establecido como ideal, y el 10% restante en un tiempo no mayor a 1:54 se puede esperar un aumento del 4% en la producción diaria (Si este tiempo se emplea en cosechar) quedando el tiempo dedicado a girar en un 7.1% del tiempo total de la operación.

En el caso de Taboga, donde cada máquina corta 600 toneladas por día teniendo un tiempo efectivo de corta de 40.9%, si se optimizan las áreas de giro y en efecto se mejora el tiempo efectivo llevándolo al 44.9%, se puede esperar un aumento en la producción diaria de 58.6 toneladas, lo que representa un ingreso adicional para el departamento de cosecha de aproximadamente 64500 colones diarios. Después de una zafra completa sus cuatro máquinas podrían generar una ingreso adicional superior a los 25 millones de colones. (El servicio de cosecha con máquina se pagó en el 2002 a 1150 colones por tonelada de caña entregada al ingenio)

Se sugiere adoptar un modelo ideal de cabecera y conformar ambos extremos de los lotes donde se podrían presentar los tiempos de giro más altos; el beneficio va más allá del aumento del rendimiento; se pueden experimentar reducciones en tiempos dedicados a Mantenimiento Programado y Recibiendo Instrucciones que actualmente ocupan el 9.8 y 2.9% respectivamente del total de la operación. La fatiga de algunos componentes de la máquina se reduce si se evitan los impactos con el suelo, caer en los canales mal tapados y en cabeceras con diferente nivel al del lote. La seguridad de los operadores y otros trabajadores se compromete al acercar las máquinas (que pesan más de 20 toneladas) a los canales principales, el peso podría derrumbar las paredes y causar el vuelco de la misma. Es importante contar con suficiente espacio para movilizarse en estos lugares sin tener que aproximarse al borde del canal; de igual forma las líneas de tendido eléctrico son un peligro potencial y deben de evitarse por completo. Para ello hay que desistir de sembrar caña cerca de estos peligros, o bien cosecharla manualmente.

5° TEMA

ANÁLISIS DEL DESPERDICIO DE CAÑA DURANTE LA COSECHA MECÁNICA

El desperdicio de caña

Gracias al mejoramiento genético de las variedades, la manipulación de la maduración, los sistemas de riego y otras técnicas avanzadas de cultivo se ha logrado aumentar considerablemente el aprovechamiento del terreno dedicado a la siembra de caña, cosechándose cada vez una cantidad mayor de tallos por unidad de área y produciendo más azúcar a partir de esos tallos. Resulta chocante para el observador notar cómo gran parte del producto de esos esfuerzos e inversión en tecnología y mano de obra queda derramado en los campos y los caminos.

Si aplicamos este concepto a otras industrias parecería chistoso imaginar un camión que transporta valores, derramando billetes, monedas y joyas mientras circula por las calles de la ciudad. Es claro que estas situaciones no se presentan con regularidad, pero si se visita una zona azucarera durante la temporada de cosecha resulta evidente que un camión que transporta caña de azúcar y deja trozas de tallos tendidos en el camino es algo normal, incluso se piensa que así ha sido siempre y es algo que tiene que ocurrir. ¿Acaso esa caña que queda en el suelo no representa algún valor monetario?, ¿qué pasaría si recogiéramos toda esa caña y la lleváramos a vender a un ingenio, cuánto dinero nos darían por ella?

Esa caña que se siembra, cultiva y cosecha, pero nunca llega al ingenio representa una cantidad importante de dinero que no se está aprovechando, pero que si representó un costo para el productor que invirtió recursos para que creciera bien.

Uno de los objetivos de este estudio incluye cuantificar ese desperdicio en toneladas de caña, clasificarlo por categorías e identificar las causas. Los ingenios que participan en este estudio no conocen la totalidad de estos datos.

La complejidad del tema y la carencia de los recursos apropiados para realizar las mediciones de la manera deseada son limitantes que impiden conocer las cifras exactas de estos desperdicios en todos los ingenios. La obtención de datos con confiabilidades estadísticas deseables requeriría de facilidades como: transporte continuo, tractores, carretas para el transporte de las muestras, asistentes, alojamiento, instrumentos de medición de servicio pesado y entorpecer las operaciones regulares en los ingenios. El autor aplicó métodos simples asistido con las herramientas disponibles y durante un plazo limitado para obtener cantidades aproximadas de la cantidad de caña que no se

aprovecha en Ingenio Taboga. El fin de estas pruebas es estimar la magnitud del problema e identificar las actividades que más contribuyen a su existencia, y aunque no se conozca con exactitud la cantidad de dinero que anualmente queda tirado en el suelo después de la cosecha, el dato obtenido como producto de estas observaciones puede ser utilizado como referencia y posiblemente despertar el interés de los ingenios en destinar los recursos necesarios para realizar una futura investigación más detallada.

Desperdicio durante la cosecha mecánica

Tacones Como se explicó anteriormente la cosechadora debería de cortar la caña al nivel del suelo de manera que se recolecte la totalidad del tallo pero sin dañar las raíces. Si el operador ajusta los cortadores base más altos que la altura del surco, dejará trozos de tallo que contienen sacarosa y deberían de ser recolectados. Estos "tacones" representan una categoría de desperdicio. Como se determinó en el análisis de laboratorio que se describió en el tema Madurez de la Caña, los tacones corresponden a la parte de la planta donde se encuentra la mayor concentración de jugo y de sacarosa. Este desperdicio significa mayores pérdidas monetarias que desperdicios de otras partes de la planta en cantidades (peso) similares.

Caña pegada La caña que no es alcanzada por las cuchillas de los cortadores base queda pegada a las raíces y no es recolectada por la máquina, convirtiéndose en otro tipo de desperdicio.

Caña picada Es caña que fue cortada por los cortadores base, subió por el sistema de rodillos hidráulicos y se cortó en trozos por los picadores, luego debería de caer en una pequeña tolva que alimenta la cadena del elevador y la deposita dentro de la carreta de autovolteo. Este derrame ocurre después de pasar por los picadores, generalmente por una mala colocación del elevador sobre la carreta, ocasionando que parte de la caña caiga al suelo.

Procedimiento para la medición

Los ingenios realizan mediciones periódicas del desperdicio de caña que queda en un lote después de ser cosechado en su totalidad. Estas pruebas se utilizan como parámetro de evaluación del desempeño de los operadores de las cosechadoras. No se presta mucha atención al desglose de este desperdicio ni se analiza las proporciones en que se presentan y los factores de los que dependen.

El procedimiento que se utiliza actualmente consiste en marcar cinco puntos formando una línea diagonal a lo largo del lote, en cada uno de estos puntos se marca un área de 6 metros de largo por 5 de ancho, formando un rectángulo de 30 metros cuadrados. Luego se sacan todas las hojas secas y recolecta absolutamente toda la caña que califique en alguna de las categorías descritas anteriormente. Finalmente a partir de la sumatoria de todos los datos obtenidos se calcula cuantas toneladas de caña quedaron como desperdicio por cada hectárea de ese lote después de la cosecha.

Para las pruebas hechas por los ingenios, la cantidad de repeticiones y el área evaluada en cada una se mantiene constante sin importar el tamaño del lote. Esto quiere decir que cuanto más pequeños sean los lotes mayor será la confiabilidad de la medición. Antes de realizar una prueba, no se consideran los niveles de exactitud deseados ni se calcula el tamaño adecuado de la muestra para obtener esa exactitud.

Se recomienda tomar decisiones a partir de datos confiables, a menos que se presenten limitantes importantes. En este caso simplemente se tiene que calcular el tamaño de la muestra con base en fórmulas estadísticas y realizar la prueba en el área indicada por la fórmula. Como casi todos los lotes tienen extensiones de terreno diferentes y densidad de caña diferente, se calculó la muestra para un lote en el cual hay sembradas 100 toneladas de caña, luego se puede adaptar a un lote de cualquier extensión y tonelaje. Los registros de mediciones anteriores en Taboga indican que el desperdicio de caña que queda en los lotes es en promedio 3.85 toneladas para cada hectárea de terreno para la operación de cosecha mecánica. (El dato incluye todas las categorías de desperdicio descritas anteriormente.) Este dato se usará como referencia para calcular la ocurrencia del suceso, que puede ser definido como: el porcentaje de las 100 toneladas del lote que quedarán como desperdicio.

En Taboga el tonelaje promedio de los lotes es de 90 toneladas de caña por hectárea, de las cuales 3.85 quedarán en el lote como desperdicio. Esto corresponde al 4.3 % de la producción de caña.

La fórmula empleada es citada por Hernández Sampieri y otros (2001)(Pág. 210):

$$n' = \frac{S^2}{V^2} = \text{Tamaño provisional de la muestra}^* = \frac{\text{varianza de la muestra.}}{\text{varianza de la población.}}$$

*Se corrige después con otros datos, ajustándose si se conoce el tamaño de la población.

Donde:

n' = Tamaño provisional de la muestra.

N = Tamaño de la población : 100 toneladas de caña.

\tilde{y} = Valor promedio de una variable: 4.3%

Se = Error estándar: 5% sería bueno.

V^2 = Varianza de la población. (Se^2) : 0.0025

S^2 = Varianza de las muestra expresada como la probabilidad de ocurrencia de \tilde{y} : $p(1-p)$:
 $0.043(1-0.043) = .041$

Para corregirlo al tamaño de la población se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Tamaño final de la muestra: } n = \frac{n'}{1+n'/N}$$

Los cálculos con los datos existentes indican que para lograr una exactitud cercana al 95% es necesario examinar el 14.16 % del tonelaje contenido en cada lote.

Para ilustrar, a continuación se calcula el tamaño de la muestra o extensión de terreno que se tiene que evaluar para un lote en Taboga y obtener datos con un margen de error cercano al 5%. El lote "La Montaña E10" con un área de 7.85 hectáreas y una densidad de 95 toneladas de caña por hectárea, es decir, en todo el lote hay 745.75 toneladas de caña de las cuales se deben de analizar 105.5 (14.16%). El área total que se debe cubrir para analizar esas 105.5 toneladas es de 1.1 hectáreas. Si se recolecta y clasifica toda la caña encontrada en 1.1 hectáreas del lote se puede determinar cuál fue el porcentaje de la caña que se desperdició producto de la cosecha. Así la fórmula estadística se puede adaptar a cualquier siembra de caña donde se desee controlar el desperdicio con exactitud.

Los resultados de las mediciones de desperdicio de caña que se realizaron dentro de seis lotes distintos se presentan en los siguientes gráficos.

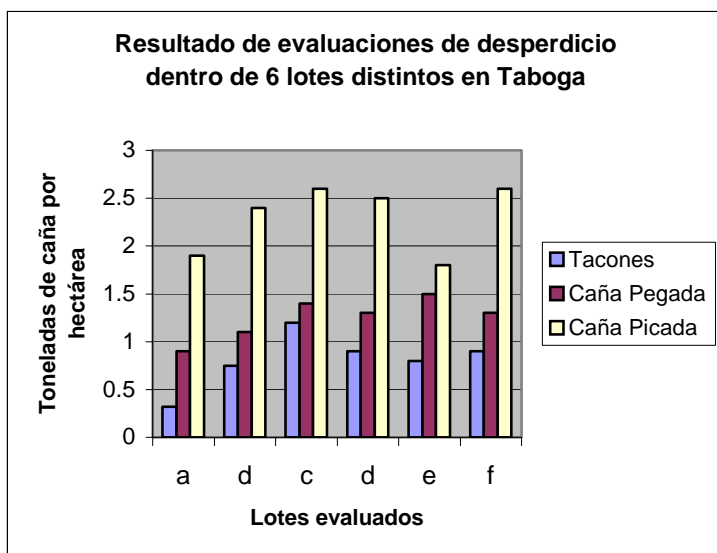


Gráfico # 19
Fuente: del autor.

Para simplificar el análisis se escogieron lotes con densidad de 90 toneladas de caña por hectárea, igual al promedio de Taboga, así que la sumatoria de estas tres categorías de desperdicios de caña dentro de los lotes indica que el 4.8% de la caña que crece dentro de determinado lote no será cosechada y quedará tendida dentro de ese mismo lote en forma de alguno de estos tipos de desperdicio. La proporción en que se detectaron las categorías se detalla en la próxima tabla.

Desperdicios de caña dentro de los lotes

Tipo desperdicio	Toneladas/ Hectárea	Porcentaje de la caña del lote
Tacones	0.81	0.9%
Caña Pegada	1.25	1.4%
Caña Picada	2.3	2.5%

Tabla #20
Fuente: del autor.

Otras categorías de desperdicio no cuantificadas anteriormente.

Caña succionada por el extractor Las cosechadoras tienen un abanico succionador de aire que tiene la función de separar las hojas de los trozos de caña. Esto se da gracias a que las hojas son muy livianas y suben con la corriente de aire, mientras que la caña como es más pesada cae dentro de la tolva. El problema se presenta principalmente cuando los tallos son delgados y pesan menos, entonces algunos pueden ser succionados por el extractor. La velocidad de este abanico es ajustable y el operador debe detectar esta situación para reducir la fuerza de succión del extractor. Este desperdicio es difícil de cuantificar porque la caña succionada impacta las aspás del abanico y sale destruida dificultando su recolección para ser medida. Las observaciones en el campo indican que esta cifra es cercana a 0.13 toneladas de caña por hectárea. La caña que es succionada por el extractor generalmente corresponde a la parte más alta o final de la planta, donde el tallo es más delgado y liviano. En el experimento realizado por el autor y descrito en el tema Madurez de la Caña se explica como en esta parte se encuentran los niveles más bajos de sacarosa, así que el potencial económico e industrial de esta categoría de desperdicio es menor.



Foto # 45

Caña derramada en las áreas de volteo

Cuando un autovolteo descarga la caña dentro de las carretas se da la posibilidad de que parte de esta caña caiga al suelo. Si se recoge inmediatamente se puede echar de nuevo a la carreta y llevarla al ingenio, pero por lo general es pisada por las llantas de algún tractor o carreta, quedando sin jugo, sucia e inutilizable. Si el operador del tractor se dedica a recoger la caña que derrama se demora más en volver a colocarse junto a la cosechadora y sin duda alguna aumentará el porcentaje de tiempo perdido de la



Foto # 46

operación de cosecha para la categoría denominada Sin Autovolteos en la aplicación del muestreo de trabajo. El rendimiento general de la operación se perjudica si se considerara levantar manualmente la caña derramada como una actividad propia de la cosecha mecanizada.



Foto# 47

Para cuantificar esta categoría de desperdicio primeramente se llenaban sacos con la caña que caía cada vez que un autovolteo vaciaba su carga dentro de una carreta, con la idea de pesar esa caña al final del día, pero se notó como los operadores de los autovolteos modificaron su trabajo normal al sentir que su rendimiento estaba siendo medido, llenaban menos las carretas y demoraban más haciendo la operación con el fin de tirar menos caña al suelo. Para reducir el sesgo se decidió visitar el área donde se iban a colocar las carretas antes de que se iniciara la corta de un nuevo lote y se aseguró de recolectar y desechar toda la caña tirada que estuviera en esa área, para que cuando iniciaron las operaciones en ese lugar no hubiera ni un solo desperdicio en el suelo. Después de doce horas de operación se procedió a recolectar toda la caña que estuviera en esa misma área. La ausencia de una persona observando las operaciones continuamente contribuyó a que el trabajo se realizara con naturalidad.



Foto# 48

La caña recolectada se separó en dos categorías: caña en buen estado y caña que había sido pisada por los tractores o camiones. La caña en buen estado simplemente fue pesada, pero la caña pisoteada había perdido su jugo y se había secado por el sol, lo que significa que 1 Kg. de caña en buen estado no corresponde a la misma cantidad que 1Kg. de caña pisada y seca. Para conocer el peso que se pierde por el maltrato, se tomaron 50 Kg. de caña en buen estado y se tiraron sobre un camino donde no había más caña y que pudiera ser vigilada constantemente. La caña fue pisada por camiones varias veces a lo largo del día para simular las condiciones en el área de volteo, y se dejó en el suelo durante doce horas para que el sol la secase igual que como ocurrió en el campo. Se

recolectó nuevamente esa caña para ser pesada, la relación con el peso original da un factor de corrección que si se aplica al peso total de caña pisada que se recolectó en el campo permite estimar el peso que esa caña tenía antes de ser pisada.

50 Kg. de caña en buen estado = 21.5 Kg. de caña pisada (12 hrs)

Como resultado de las observaciones se determinó que en promedio se derraman 0.736 toneladas (736 Kg.) de caña mientras se realizan las transferencias del autovolteo a la carreta durante un día completo de operación (24 horas, 2 turnos de 12 horas cada uno) por cada máquina cosechadora que se encuentre operando. En el caso de Taboga que cuenta con cuatro, la fuga de materia prima durante esta actividad representa un desperdicio de 2.94 toneladas cada día de zafra.

Caña en los caminos Es la caña que se cae poco a poco de las carretas mientras van camino al ingenio. La cantidad de caña desperdiciada correspondiente a esta categoría se determina mediante al diferencia entre el peso de la carreta en el lote y su peso al llegar al ingenio, este faltante se supone que cayó al suelo.

La medición de esta categoría requeriría de una estación de pesaje para cabezales y carretas con capacidad de más de 40 toneladas instalada en cada uno de los lotes donde se realice la prueba para hacer la medición inicial y luego volver a pesar en la romana existente en el ingenio. Como no existen estas estaciones en el campo ni intentó utilizar otros instrumentos de pesaje portátiles que se pudieran emplear en esta investigación se buscó otros métodos como el equipo de romanas independientes que se utilizan para pesar cada esquina de los automóviles de competición para luego ser balanceados en peso moviendo partes de un lado a otro o de adelante hacia atrás en el vehículo. Se le consultó al propietario de este equipo si era posible realizar la medición en el cañal, su respuesta fue que no por las siguientes razones: la capacidad máxima es de tres toneladas (se requieren 40), es necesaria una base sólida (concreto o asfalto) y perfectamente nivelada para colocar las romanas y el vehículo por pesar, el equipo cuenta con sensores para solo cuatro llantas (los cabezales tienen 18) y finalmente el costo de cada medición supera los 50 000 colones. Otro método requeriría la posibilidad de transitar a la misma velocidad que el camión que transporta la caña (35 kph en aprox.) por la distancia desde el lote

hasta el ingenio de una manera que permita ir recolectando toda la caña que derrama, a la vez se requiere que el aparato que transporta al observador tenga la capacidad de transportar la caña recolectada del suelo, y el observador debe de tener la habilidad de reconocer de entre toda la caña que otros camiones han derramado durante meses de zafra cuáles trozos de caña han caído de esa carreta en específico, todo sin perder de vista la carreta para efectivamente recolectar todo lo que bota. Como no ha sido diseñado un aparato o método capaz de asistir al observador en este tipo de mediciones se optó por emplear un sistema menos exacto pero más fácil de aplicar repetidamente.

La prueba que se decidió practicar consistió en tomar 50 trozos de caña de diferentes partes de una carreta que se encuentra en el campo. Una vez que el camión la engancha y se comienza a desplazar, dos observadores la siguen muy de cerca en un automóvil o motocicleta, cada uno observa detenidamente un lado de la carreta y viene contando la cantidad aproximada de trozos de caña que caen en cada momento, un GPS ayuda a monitorear la velocidad promedio, mínima y máxima del recorrido, así como la distancia total del trayecto, al llegar al ingenio se suman los datos de cada observador. Los cincuenta trozos de caña son pesados en el laboratorio para determinar el peso promedio de un trozo de caña contenido en esa carreta. Ese peso promedio es multiplicado por la cantidad de caña que los observadores determinaron había caído durante el trayecto. Es importante calcular el peso de un trozo para cada carreta que se observa porque la caña no siempre es igual y las máquinas se pueden calibrar para que corten los tallos en largos diferentes.

Un rápido análisis donde se consideran varios aspectos relacionados con la factibilidad y precisión de un método de pesado con romanas en el campo, contrastado con el método empírico descrito anteriormente muestra como, aunque se compromete la exactitud de los datos, el último resulta más práctico por su versatilidad y poco requerimiento de equipo o herramienta especial.

El valor de 1 representa POCO O NO FACTIBLE y 5 representa MUCHO, TOTALMENTE FACTIBLE. También se utilizan valores intermedios para representar proporcionalmente el nivel de factibilidad. La puntuación para un método perfecto sería de 25.

Factor por considerar	Método de medición	
	Pesado con romanas	Conteo de trozos que caen
Existencia y disponibilidad del equipo necesario para realizar las pruebas	1	5
Qué tan barato resulta hacer cada muestra	2	4
Facilidad para hacer múltiples repeticiones	5	4
Realizable en diversas zonas dentro y fuera de la finca	1	5
Exactitud de los datos finales	5	2
Puntuación final de cada método	14	20

Tabla # 21

Fuente: del autor.

La aplicación del método empírico como instrumento de medición arrojó los siguientes datos:

En promedio, durante cada viaje que hace un camión con una carreta, a esta se le caen 0.034 toneladas (34 Kg.) de caña que quedan sobre el camino a lo largo del recorrido.

En Taboga cada cosechadora corta en promedio 600 toneladas de caña por día, y cada carreta transporta en promedio 27.69 toneladas. Así que se deben realizar 21.7 viajes por día para transportar esa caña al ingenio, y si en cada viaje se derraman 34 kilogramos, y hay cuatro máquinas trabajando el desperdicio correspondiente a esta categoría es de 0.737 toneladas por día de zafra.

Es interesante como se comporta el desperdicio a lo largo del recorrido de la carreta. Como se aprecia en los siguientes gráficos más de la mitad de la caña que se cae lo hace durante los primeros 500 metros del recorrido y después de recorrer un kilómetro la frecuencia con que caen los trozos de caña al suelo disminuye considerablemente lo que lleva a concluir que para trayectos mayores a los 1000 metros el desperdicio será similar sin importar qué tan largos sean los recorridos.

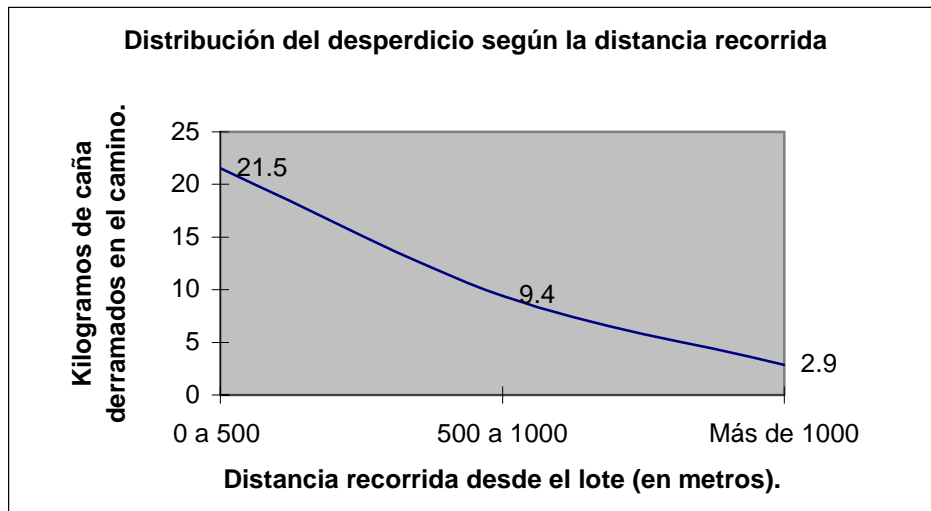
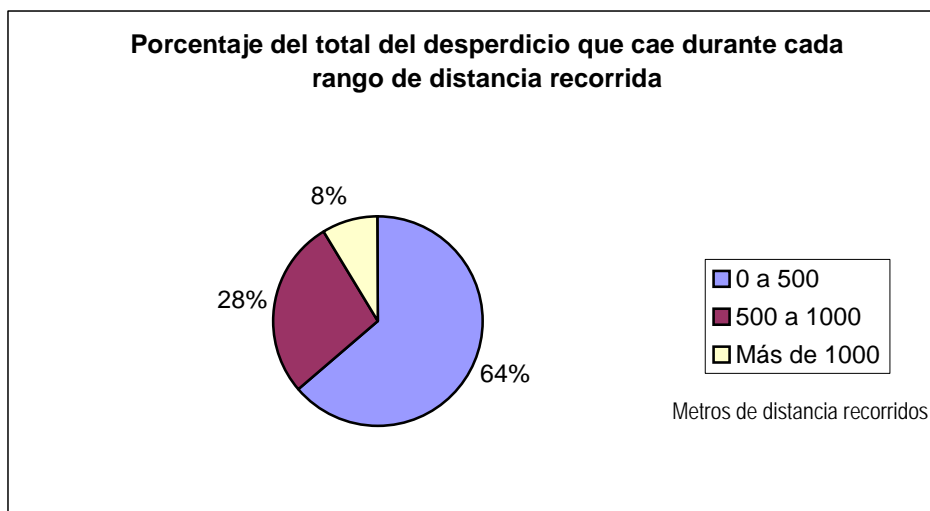


Gráfico # 20
Fuente: del autor.



Gráficos # 21
Fuente: del autor.

Se ha logrado clasificar y cuantificar el desperdicio de caña a lo largo de todo el proceso de la cosecha, pero recordemos que la composición de los tipos de desperdicio puede variar con respecto a otra categoría, y de igual forma variar el valor comercial de la caña correspondiente. Así que se ha calculado el valor monetario en colones que se deja de percibir por causa de estos desperdicios. Se ha utilizado como referencia los resultados del análisis de laboratorio realizado en el tema Maduración de la Caña, donde se calculó la composición y el valor de las partes de la planta, para la caña picada, pegada, en las áreas de volteo y en los caminos se utilizará el valor correspondiente al Control de aquella

prueba, pues incluía la planta completa. Los tacones corresponden a la misma descripción de los analizados en esa ocasión. Se sabe que la caña succionada por el extractor primario corresponde principalmente a tercer tercio del tallo.

En la próxima tabla se detalla cuanta caña y en que proporciones se desaprovecha por cada hectárea cosechada, también se incluyen los datos de rendimiento de la caña necesarios para determinar el precio a pagar por una tonelada de caña. Recordemos que estos datos corresponden a siembras con densidad de 90 Ton/Ha y fueron determinados con los métodos descritos anteriormente y aplicados en Taboga.

Análisis del desperdicio de caña por cada hectárea cosechada

Desperdicio	Ton / Ha	Kg. azúcar/Ton	Kg. Miel/Ton	Valor Monetario*
Tacones	0.81	122.3	24.06	¢ 7393
C. Pegada	1.25	106.15	26.71	¢ 10007
C. Picada	2.3	106.15	26.71	¢ 18413
Succ. Extractor	0.13	89.52	24.8	¢ 882
Áreas volteo	0.1	106.15	26.71	¢ 801
Caminos	0.74	106.15	26.71	¢ 5924

Total de desperdicio	5.33 Toneladas por hectárea	43420 Colones por hectárea
-----------------------------	-----------------------------	----------------------------

Tabla #22
Fuente: del autor.

* En colones, precio del azúcar: 71.8 por Kg. , miel: 14.38 por Kg. En junio 2002. Según Frank Pessoa, Departamento Técnico LAICA.

Según estas evaluaciones se puede estimar la cantidad de dinero que se deja de percibir por que la caña no se aprovecha en su totalidad, como ejemplo se calculará este monto para Taboga, donde cada una de las cuanto máquinas cortan aproximadamente 600 toneladas diarias, ahí la densidad promedio de los lotes se de 90 ton/ha, así que se cosechan unas 26.6 hectáreas por día, con un desperdicio de ¢43420 por hectárea: En Taboga queda en el suelo caña con valor de ¢1157866 cada día de zafra. (142 toneladas)

La magnitud del problema justifica el estudio más detallado de las causas de los desperdicios, aquí se han propuesto clasificaciones e instrumentos simples de medición, así como la manera de estimar el valor monetario de cada categoría, hora los interesados cuentan con una base para iniciar las mediciones en sus fincas y los procesos de mejora en este campo. Se sugiere que se ataquen primero aquellas categorías de desperdicio que

contribuyen en mayores porcentajes al total del desperdicio. Estos porcentajes se presentan en el gráfico siguiente:

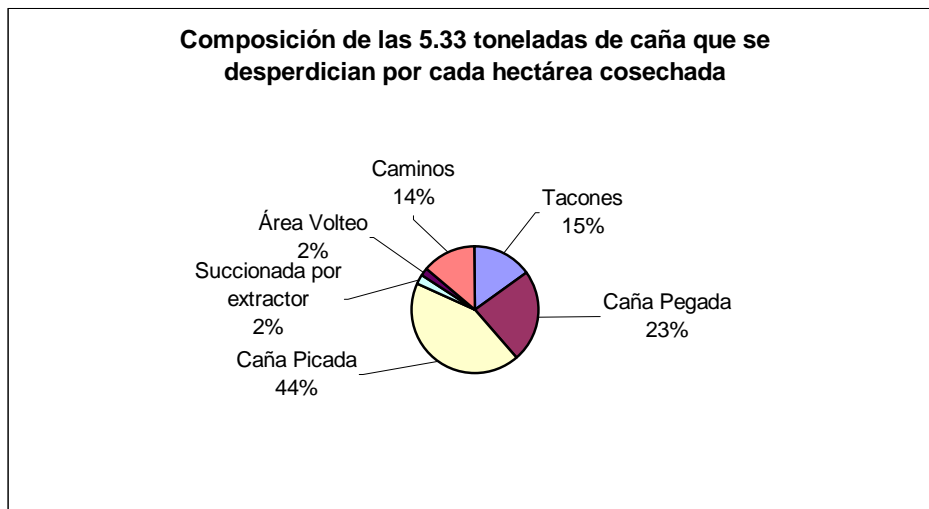


Gráfico # 22
Fuente: del autor.

Las tres principales clases de desperdicio son la caña picada, la pegada al suelo y los tacones, todas son dentro del lote y dejadas por la cosechadora. Las observaciones indican que los tacones se dejan principalmente cerca de las cabeceras de los lotes, la causa es que el operador de la cosechadora sube el nivel de los cortadores base unos 10 metros antes de llegar al final del surco. Lo hace porque ahí se encuentran la mayor cantidad de obstáculos como piedras, canales mal tapados, desniveles y cabeceras más altas que el nivel normal del lote, si no se levanta el nivel de corte al aproximarse al final del lote se corre el riesgo de enterrar los divisores o impactar algún obstáculo quebrando cuchillas u ocasionar daños serios a la maquinaria. Los tacones representan un porcentaje importante del desperdicio y su valor potencial es muy alto, ya se ha discutido la importancia de contar con cabeceras y áreas de giro adecuadas para beneficiar el aprovechamiento del tiempo, y ahora se presenta otra forma de generar mayores utilidades si en efecto se mejoran los niveles del terreno y se eliminan los obstáculos.

La caña picada tirada en el lote y la que no se cortó dependen principalmente de la actividad de cosecha, cuando la máquina se desplaza por los surcos cortando caña y depositándola en los autovolteos, observaciones en el campo y literatura consultada sugieren una estrecha relación entre la velocidad de desplazamiento y estos tipos de desperdicio. En las próximas páginas se estudiará esta dependencia.

Velocidades vs. calidad

Con el fin de reducir la cantidad de caña que no se aprovecha se estudió la velocidad de avance de la máquina cosechadora, un factor que según varios investigadores que se citarán más adelante, está directamente relacionado con el desperdicio y el aumento en la cantidad de elementos no deseables entre la caña recién cosechada, como por ejemplo hojas verdes y secas, tierra y raíces.

Es válido decir que el suministro de caña es la esencia de la industria del azúcar. La calidad de la caña¹ determina el valor de una siembra y la posibilidad de competir por un lugar en el mercado mundial. Por eso entregar la mayor cantidad de caña con la más alta calidad es el objetivo de cualquier productor ya sea el mismo ingenio o particular.

Pero la cosecha es una de las actividades más costosas que enfrentan los productores, y para sacara el máximo provecho de la operación de cosecha mecanizada parece lógico pensar que si se cosecha rápido se reducen los costos y se aumenta la utilidad. Desgraciadamente cosechar a alta velocidad aumenta el porcentaje de desperdicio y de materia extraña en la caña, en otras palabras, menor cantidad de caña y de mala calidad.

Entonces ¿cómo encontrar el punto de balance entre la calidad de la caña y las utilidades de la cosecha?

En 2001 el Dr. Cam Whiteing, un investigador de la organización BSES en Australia realizó una serie de pruebas para determinar la relación entre la tasa de entrega de la cosechadora y la calidad de la caña. El resultado de sus 50 experimentos con diferentes velocidades de operación señala dos puntos principales: que la pérdida de caña está fuertemente relacionada con la velocidad del extractor primario y al aumentar la velocidad de desplazamiento de la máquina (para aumentar la tasa de entrega) la calidad decaía. La siguiente tabla muestra sus resultados.

¹ En este caso la calidad se refiere a los porcentajes de materia extraña y de fibra en la caña entregada al ingenio.

**Prueba de velocidades de avance y extractor
por el Dr. Withening.**

	Desplazamiento rápido Extractor rápido (Estándar en Australia)	Desplazamiento lento Extractor Lento (Óptimo según Whiteing)
Ha cosechadas por hora	0.8	0.7
Toneladas cosechadas / ha.	74	80
% de fibra (torta residual)	15.6	15.7
% materia extraña (ME)	10.3	10.1
Tasa de entrega (ton/hr)	87	79

Tabla # 23
Fuente: BSES.
Elaborado por: el autor.

Como es de suponer, al viajar más lento se cosechará menos área por unidad de tiempo, en este caso se cosecharon 1000 metros cuadrados menos que cuando se corta a alta velocidad, pero lo interesante del caso es la manera en que comporta el rendimiento del lote, aprovechándose 6 toneladas más de caña que de ser cosechadas a alta velocidad hubieran quedado tiradas en el suelo como desperdicio. Los porcentajes de materia extraña y de fibra se mantienen prácticamente iguales a lo largo de las pruebas a diferentes velocidades, señal de que la operación del extractor primario a bajas revoluciones no necesariamente permite el paso de más hojas entre la caña limpia.

Para aplicar esta prueba en Costa Rica primero fue necesario hacer ciertas mediciones para averiguar datos desconocidos pero indispensables, como la tasa de entrega y la velocidad promedio de cosecha. Este último dato fue fácil de establecer con la ayuda de un GPS para uso personal que determina la velocidad a la que se desplaza la máquina mientras cosecha y al final de la prueba calcula la velocidad promedio durante la corta. Para hacerlo más representativo la medición se hizo a todas las máquinas, con todos los operadores y durante el día y la noche, todos estos datos se promediaron dando como resultado que en Taboga las cosechadoras operan a una velocidad promedio de 4.7 kilómetros por hora mientras cosechan lotes de caña en verde (Whiteing analizó solo la corta de caña en verde).

La tasa de entrega de la cosechadora se refiere a la cantidad de caña que sale por el extremo superior del elevador para caer dentro de una carreta, esta entrega se mide en toneladas de caña por hora. Como no se puede cosechar continuamente y depositar caña

dentro de una carreta durante una hora sin interrupciones, se midió el tiempo necesario para llenar una carreta de autovolteo y se determinó el peso promedio que éstos cargan. A partir de estos cálculos se establece que al tasa de entrega promedio de las cosechadoras en Taboga es de 68 toneladas de caña verde por hora, 11 toneladas menos que lo óptimo según Whiteing y 19 menos del promedio australiano.

Publicaciones consultadas hablan de velocidades de cosecha en Australia superiores a las normales en Costa Rica y mencionan desplazamientos de hasta 12 kilómetros por hora en cañales erectos y con bajas densidades (menos de 80 toneladas por hectárea) , pero no se encontró algún estudio o información que precise la velocidad promedio a la que se cosecha en ese país. El autor del estudio tampoco precisa las velocidades exactas. Así que se calcularon las velocidades del desplazamiento que deberían de mantenerse para entregar las 79 y 87 toneladas por hora que se mencionan a partir de la operación y capacidad de las cosechadoras y carretas disponibles en Taboga. (Whiteing también utilizó CAMECO CH2500 año 2001 de orugas) Estas velocidades son las siguientes:

Tasas de entrega y velocidades para la prueba de desperdicio.

	Estándar en Costa Rica	Óptimo según Whiteing	Estándar en Australia
Ton/Hora	68	79	87
Velocidad	4.7 kph	5.5 kph	6.2 kph

Tabla # 24
Fuente: del autor.

La velocidad del extractor primario se calibró según especificaciones de CAMECO, siendo lenta entre 800 y 900, media de 900 a 1000 revoluciones por minuto, y rápida entre 1000 y 1150 revoluciones por minuto.

El ensayo se realizó empleando el GPS como herramienta para fijar la velocidad de las cosechadoras durante las diez observaciones a cada una de las tres velocidades. Durante las pruebas se realizaron análisis de impurezas a la caña y que caía dentro de las carretas de autovolteo y así asociar los porcentajes de materia extraña con la velocidad. Estudios realizados en Lousiana demuestran que por cada 1% de incremento en el porcentaje de materias extrañas entre la caña la cantidad de azúcar final que se podría producir a partir de una tonelada de caña se reduce entre 0.85 y 1.22 kilogramos.

(Jackson y Waguespack. 2001). Legendre (1991) también identificó esta relación, en sus pruebas la reducción del azúcar fue de entre 1.36 y 2.56 kilogramos.

Luego de haber cosechado una hectárea a la misma velocidad, se realizaron los análisis de desperdicio.

**Resultados y comparativos de prueba de desperdicios
a diferentes velocidades de avance y giro de extractor
Ensayo dirigido por el autor en Taboga**

	Estándar en Costa Rica 4.7 kph Extractor lento	Óptimo según Whiteing 5.5 kph Extractor medio.	Estándar en Australia 6.2 kph Extractor rápido.
Ha cosechadas por hora	0.35	0.41	0.45
Toneladas recolectadas por ha.	81.5	81.2	75.8
% de fibra (torta residual)	No se analizó.	15.7	15.6
% materia extraña (ME)	11.3	11.8	14.4
Tasa de entrega (ton/hr)	70	74	83
Desperdicio en el lote (ton/ha)	3.21	3.51	8.91
Toneladas cosechadas por día por máquina (20hrs)	570	665.84	682.2

Tabla # 25
Fuentes: BSES y del autor.

Las evaluaciones en Taboga confirman cómo el desperdicio de caña aumenta conforme se incrementa la velocidad de desplazamiento y del extractor primario, pero a velocidades menores a los 5.5 kilómetros por hora los porcentajes de caña tirada se mantienen constantes, así que en cuanto a desperdicio no resulta efectivo desplazarse a menos de 5.5 kph.

El porcentaje de materia extraña en la caña cosechada es más bajo cuando se trabaja lento y aumentó considerablemente cuando se cosechó a una velocidad promedio de 6.2 Kph. En el estudio en Taboga el porcentaje de ME a alta velocidad fue de 4.1% mayor que el mismo estudio en Australia, esta diferencia es probable que se deba a la inexperiencia de los operadores costarricenses para trabajar a estas velocidades, recordemos que en Costa Rica generalmente se cosecha 1.5 kph. más lento.

Se logró observar como la causa principal del alto desperdicio adicional cuando se cosecha rápido es la dificultad para coordinar los movimientos entre la cosechadora y el autovolteo, resultando difícil llevar la carreta justo por debajo del "chorro" de caña que sale del elevador de la cosechadora. La evaluación del desperdicio en el suelo verifica esta apreciación, ya que la mayoría de la caña encontrada califica como "caña picada" y los porcentajes de "caña pegada" y "succionada por el extractor" se mantienen cercanos a lo normal. Es posible que con un poco más de práctica y experiencia se mejore la coordinación entre los operadores de la cosechadora y el autovolteo.

A lo largo de la prueba se logró clasificar la materia extraña por componentes y se identificó la proporción que cada una representa del peso total de la materia extraña encontrada en la caña cosechada.

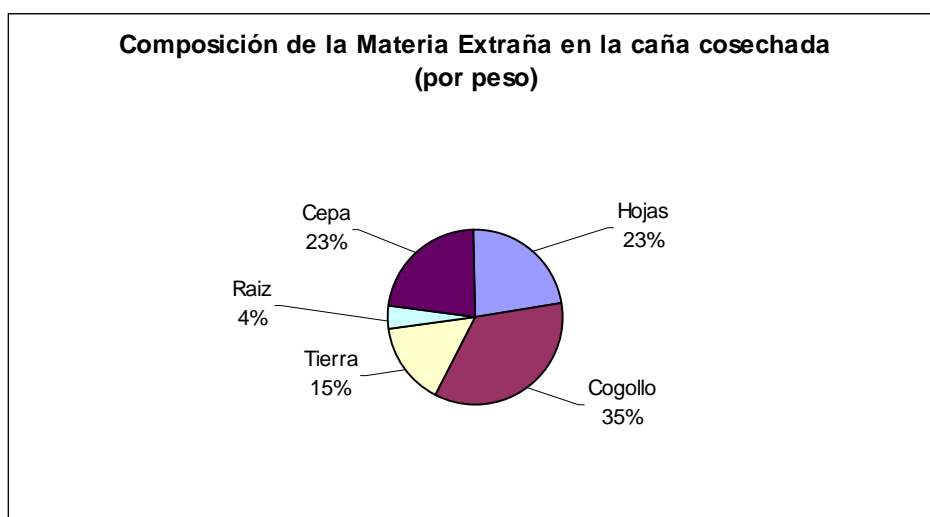


Gráfico # 23
Fuente: del autor.

Al mantener una velocidad baja de avance y de giro del extractor, fue posible recolectar 5.7 toneladas más de caña por cada hectárea que no se aprovecharon cuando la operación fue rápida.

Al ser el rendimiento promedio de los cañales en Taboga 90 Ton/ha y cada máquina corta aproximadamente 600 toneladas por día, el desperdicio de caña aumentaría en 38 toneladas por día si la velocidad de operación se iguala al estándar australiano, pero si se aumenta la velocidad a 5.5 kph el desperdicio aumentaría en solo 2 toneladas por día.

Cuando la velocidad fue media se lograron cosechar 95.8 toneladas de caña adicionales con respecto a la velocidad de avance más lenta. Pero la diferencia entre la velocidad media y la alta fue solo de 16.2 ya que gran parte del tonelaje adicional quedó derramado como desperdicio.

En conclusión es posible aumentar un poco la velocidad de avance de las cosechadoras escalonadamente hasta llegar a promediar los 5.5 kilómetros por hora como lo establece el Dr. Witheing y se ha verificado por el autor con este ensayo. Preocupan las condiciones inadecuadas de algunas áreas para el giro, cercanía de drenajes y terrenos inclinados, donde sería más difícil controlar la máquina si transita a mayor velocidad. El proceso debe ser planeado y bien controlado y supervisado para evitar que se aumenten niveles no deseados como el de Materia Extraña y Desperdicio. Se recomienda que aumenten la velocidad de avance aquellos operadores a los cuales se les pueda calificar como experimentados, cuidadosos a los detalles y comprendan la relación que existe entre la velocidad y el rendimiento general de la operación. Deben aprender a identificar y respetar el punto donde la velocidad compromete la calidad de su trabajo.

CONCLUSIONES GENERALES

Conclusiones generales

Al haber finalizado este estudio exploratorio quiero expresar lo enriquecedor que resultó en el campo profesional y como experiencia personal, ya que al enfrentarme al trabajo de campo se me permitió acercarme a la realidad del complejo mundo agropecuario en su problemática, limitaciones tecnológicas y económicas.

Es importante aclarar que este estudio estuvo basado principalmente en la experiencia en Taboga, el ingenio que atendió mi solicitud y manifestó gran interés en realizar un estudio profesional de su operación y proporcionó ayuda técnica y económica para que ahí se desarrollaran la mayoría de las pruebas.

Los ingenios que en Costa Rica cuentan con maquinaria para la cosecha mecanizada son pocos, pero procesan mucha más caña que los ingenios que no han incorporado maquinaria. Con esta afirmación no se quiere dar a entender que las cosechadoras fueran la innovación que los llevó a ese nivel, ni se está proponiendo a los ingenios pequeños adquirirlas para que mejoren la producción de caña y de azúcar. La ideal es que un porcentaje muy importante del azúcar consumido en el país y exportado es fabricado a partir de caña cortada con máquinas, desde este punto de vista la optimización de la cosecha mecánica es una meta que se deben plantear LAICA, DIECA y aquellos que conforman el sector azucarero nacional. La reducción de costos operativos y el aumento en la capacidad y la calidad de la producción nacional ayudará a colocar nuestro azúcar en una posición más favorable en un mercado internacional que es cada vez más exigente.

Recordemos que el principal objetivo de DIECA es aumentar la productividad del cultivo a nivel nacional, pero esta productividad no debe ser solo en cantidad de caña por unidad de terreno; en esta investigación se han descrito muchas formas de aumentar la producción (que debe ser medida a la entrada del ingenio) sin modificar las condiciones agronómicas ni la densidad del cultivo, básicamente mediante diversas formas de reducir el desperdicio.

Es importante actuar en conjunto con esta institución ante la realidad de que las variedades que se cultivan actualmente no son del todo ideales para la mecanización y los procesos de selección de las variedades a sembrar en el futuro no garantizan una

clasificación adecuada. Otra área que requiere de estudio es el diseño de los canales de riego y los desniveles y movimientos de tierra necesarios para dirigir el agua hacia las plantas, que representan obstáculos con los que las cosechadoras tienen que luchar diariamente, poniéndolas en peligro, fatigando componentes y alargando los recorridos de los autovolteos hacia las carretas. El riego y el drenaje son componentes indispensables para el cultivo, pero existen sistemas presurizados y removibles que requieren de poca o ninguna alteración de la topografía y proponen un entorno más compatible con la mecanización.

Con respecto al objetivo planteado para estudiar el rendimiento y la capacidad productiva de los equipos de cosecha se concluye que: la manera empírica como se ha implementado y desenvuelto la corta con máquinas en Costa Rica no ha permitido alcanzar el rendimiento posible con el equipo actual. En 25 años de existencia de esta actividad no se han identificado las condiciones que atentan contra la continuidad y el grado con que cada una perjudica el rendimiento general, su desconocimiento permite que se siga invirtiendo en diseños y distribuciones poco deseables en un proceso de optimización. En el máximo desempeño registrado en Costa Rica la maquinaria corta caña solo el 41% del tiempo, y en el peor de los casos los datos sugieren cifras cercanas al 15%; mientras que en Brasil donde la operación se ha estudiado científicamente y se trabaja bajo condiciones similares a las nuestras los rendimientos son considerablemente superiores. En nuestro país se han descuidado pasos claves para la buena práctica en el campo como la capacitación, evaluación y selección del equipo, control estadístico y el planteamiento de políticas y estrategias. En las pruebas realizadas se logró modificar el rendimiento de la operación al variar ciertas condiciones, lo que indica que es posible alcanzar niveles iguales o superiores a los registrados en Brasil si se administran los recursos científicamente.

La maduración es la fase del ciclo de vida de la caña que agrega valor al cultivo, actualmente es posible programar y modificar esta faceta para estimular aún más la concentración de sacarosa. Los laboratorios en los ingenios están equipados con sacarímetros, refractómetros y otros equipos capaces de determinar con exactitud el valor industrial de una muestra de caña. Aun así las operaciones se interrumpen y los programas se alteran porque los análisis precosecha indican que la madurez del cañal era adecuada y luego durante la corta se demuestra que no era así. Un procedimiento no

confiable atenta contra el éxito de la implementación de mejoras al sistema de cosecha en el campo operativo, de servicio, coordinación y diseño de las fincas. Hay espacio para mejorar el procedimiento establecido para determinar la madurez de un lote. Los equipos precisos son importantes para una buena medición, pero también lo es la selección del tamaño de la muestra y su aleatoriedad, así como la identificación y manejo de las cañas desde que son recolectadas hasta que ingresan al laboratorio.

El desperdicio producto de la cosecha corresponde a uno de los factores negativos más costosos pues indirectamente representa también desperdicio de fertilizante, agroquímicos, terreno, combustibles y mano de obra, la caña cuesta cultivarla y es absurdo dejar que parte del fruto de mucho esfuerzo se pierda en el suelo y los caminos por la falta de conciencia y diseño inapropiado de algunos equipos. Cualquier aumento en el rendimiento de la maquinaria, la confiabilidad de los muestreos de madurez y una adecuada selección de variedades inevitablemente aumentarán la cantidad de caña desperdiciada si antes no se ejecutan medidas correctivas para atacar las principales causas de los derrames. El objetivo que se busca al mejorar el rendimiento es cortar más caña por unidad de tiempo, pero el mismo efecto se puede lograr si se reduce el desperdicio, lo ideal es un programa conjunto donde se mejoren varias condiciones simultáneamente. Para lograrlo es indispensable involucrar a representantes de los diversos departamentos que componen las divisiones agrícola e industrial para que las actividades se realicen pensando en el bien común y con la vista hacia el objetivo principal del sector: producir más azúcar con menores costos. Este estudio es evidencia del potencial que hay en la operación de cosecha mecanizada como herramienta para lograr el objetivo, abasteciendo a la fábrica con más caña, fresca, sin quemar y con niveles aceptables de pureza. Si los esfuerzos de diversos departamentos se centran en colaborar en la optimización, las cosechadoras pueden mejorar la participación de Costa Rica como productor de azúcar en la región.

Después de recorrer los temas de este proyecto, al lector le queda claro como el entorno en la agricultura es dinámico y las condiciones cambian entre fincas, ingenios y zonas, no solo el clima sino la geografía, política y las finanzas. Las investigaciones que cada ingenio decida realizar deben ser constantes y adaptadas a su ambiente.

Hace pocos meses los empresarios y funcionarios de los ingenios contaban con poca información confiable y representativa de la situación actual con respecto a

automatización de la corta de caña, a partir de observaciones generales se fueron desarrollando argumentos que le dieron origen a esta investigación.

A lo largo del estudio se han discutido los principales factores que intervienen en la operación y los temas de mayor importancia relacionados con cada uno. Las discusiones se basan en resultados de mediciones y pruebas de campo y laboratorio. Se han logrado identificar las áreas que requieren de mayor estudio por parte de los ingenios, así como fortalezas con las que se cuenta actualmente y es posible aprovecharlas en el corto y mediano plazo si se implementan una serie de mejoras propuestas en los respectivos temas. La síntesis de los alcances y la utilidad que los hallazgos afirma que la investigación cumple el propósito de un estudio exploratorio: ahora los ingenios cuentan con estudios formales en la mayoría de los áreas relacionados con la cosecha y se han detectado relaciones importantes entre variables y la manera en que estas afectan y como se pueden modificar para beneficio. Las cifras obtenidas en las diversas pruebas servirán como punto de partida para investigaciones más detalladas. Como es característico en este tipo de investigaciones, los contenidos son amplios y dispersos facilitando así la comprensión del entorno donde se desarrolla la operación sujeta al análisis.

Los trabajos con seres vivos, dependientes de las condiciones edafoclimáticas y la ubicación, políticas y grado de avance de cada uno de los ingenios imposibilita al investigador dar un plan concreto a seguir para mejorar el rendimiento.

El fruto de este trabajo son una serie de recomendaciones que los ingenios y aquellos productores independientes que piensen en optimizar o incorporar la mecanización de la corta pueden seguir, lograrán rendimientos aceptables si las adaptan a sus necesidades. Se ha presentado evidencia suficiente como para asegurar que: Estudiando las diferentes actividades que componen y se relacionan con la cosecha mecanizada de caña de azúcar es posible detectar, comprender y atacar las causas de los principales atrasos, desperdicios y otros factores que componen la operación. Es un logro importante pues invita a los empresarios a seguir considerando a la cosecha mecanizada como una herramienta que ayudará al aumentar la rentabilidad en sector azucarero costarricense.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía consultada

Arellano, Galgames, et al. **Elementos de investigación: la investigación a través de su informe.** San José: EUNED, 1990.

Armitage y Berry. **Estadística para la investigación biomédica.** Editorial Doyma. 1989.

Australian Sugarcane. Editor: James Holden. Junio y Julio de 1999. Queensland, Australia. 1999.

Barquero, Alfredo. **Administración de los recursos humanos. Vol I, II y III.** San José: EUNED, 1992.

Barrantes, Echevarría, Rodrigo. **Investigación: un camino al conocimiento, un enfoque cualitativo y cuantitativo.** San José: EUNED, 2000.

Campos, A; Gamboa, J.L. **Liga Agrícola e Industrial de la Caña de Azúcar en Cosa Rica.** San José: LAICA. Departamento Técnico, 1992.

CAMECO Industries Inc. **CH2500 Combine Operators Manual.** Part No.1006. Lousiana: CAMECO, 2000.

CAMECO Industries Inc. **CH2500 Combine Service and Repair Manual.** Part No.1007. Lousiana: CAMECO, 2000.

Cassalett, C. et al. **El cultivo de caña en la zona azucarera de Colombia.** Cali: CENCAÑA, 1995.

Chiavenato, Idalberto. **Administración de los recursos humanos.** México: Mc Graw Hill, 1994.

Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). **Boletín informativo**. San José: DIECA, 1983.

GEPLACEA (Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar) **Estatutos y Reglamentos**. Programa de difusión. México, 1987.

Gómez Barrantes, Miguel. **Elementos de estadística descriptiva**. San José: EUNED, 2001.

Hernández Chavarría, Francisco. **Fundamentos de epidemiología. El arte detectivesco de la investigación epidemiológica**. San José: EUNED, 2002.

Hernández Sampieri, Roberto. et al. **Metodología de la investigación**. México D.F: McGraw Hill Interamericana, 2001.

International Society of Sugarcane Technologists. **Proceedings of the XXVI Congress. 17-21 September 2001, Brisbane, Australia**. Mackay: D.M. Hogarth, 2001.

Jackson, Richard y H. Waguespack. **Harvester trails and extraneous matter in the Louisiana Sugar Industry**. Louisiana: American Sugarcane League, 2001.

James C.P et. al. **Cane Sugar Handbook. A manual for cane sugar manufacturers and their chemists**. 12a edición. New York: John Wiley & Sons, 1993.

John Deer Inc. **Dejando una huella leve...** Texas, 1999.

Kerr, Bill y Blyth, Ken. **100 Years of Mechanical Cane Harvesting**. Brisbane, Australia: Canegowers, 1993.

Martin. S.Wayne et al. **Veterinary epidemiology**. Iowa: Iowa State University Press, 1987.

Muchow, R.C et.al. **Improved harvest management systems approach.** Queensland: Australian Sugar Cane Tech, 2000.

Niebel, Benjamín. **Ingeniería Industrial: métodos, tiempos y movimientos.** Tercera edición. México: Alfaomega, 1995.

Pichardo, M. Arlette. **Evaluación del Impacto Social,** San José: Editorial U.C.R., 1989.

Render, Barry y Heizer, Jay. **Principios de administración de operaciones.** México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1996.

República de Costa Rica. **Código de Comercio y Ley de Sociedades Anónimas Laborales.** 4 edición. San José: Editec Editores, 2001.

República de Costa Rica. **Código de Trabajo y Ley de Protección al Trabajador.** 5 edición. San José: Editec Editores, 2001.

Shadid, A. **La producción cañera y azucarera en Costa Rica.** San José: COMEX, 1992.

Solomon, E.P. et.al **Biología.** México: Nueva editorial Interamericana, 1987.

Subirós Ruiz, Fermín. **El cultivo de la caña de azúcar.** San José: EUNED, 2000.

GLOSARIO

Glosario

Es importante la descripción de algunos conceptos y términos que son propios de la industria azucarera, muchas de las técnicas y procedimientos que se aplican regularmente en los ingenios y su entorno han sido formulados o adaptados por los mismos trabajadores, motivo por el cual no existe un lenguaje común con otros sectores agroindustriales. Resulta indispensable el manejo de esta terminología informal para desenvolverse satisfactoriamente en el ambiente y poder formular las preguntas y conversaciones necesarias para la recolección de datos. Muchos de los operarios de maquinaria y empleados de talleres han dedicado toda su vida laboral a la actividad azucarera y han adoptado estas expresiones como parte de su lenguaje cotidiano y resultaría difícil para el investigador extraer las ideas de una entrevista con un trabajador azucarero si no maneja este vocabulario. El significado de algunas palabras empleados en el ambiente azucarero tienen sentidos algo distintos a aquellos a los que se refieren las definiciones encontradas en diccionarios.

A continuación se presenta un glosario con la interpretación de estas palabras.

Acarreo

Se entiende por acarreo todas las operaciones relacionadas con el transporte de la caña de azúcar de la plantación a la planta procesadora. El acarreo da inicio en el momento en que un tractor se dirige al campo para que le llenen las carretas en los lotes donde fue cortada la caña. En ocasiones se llenan carretas pequeñas que se vierten en carretas más grandes que luego hacen el transporte al ingenio, ahí se debe colocar el tractor o camión que tira de la carreta en un área donde se extrae una muestra de la caña que transporta, luego pasa a una romana antes de ingresar al área de descarga. Todo este proceso es controlado y documentado por medio de boletas que lleva el chofer y se le agregan datos en cada operación que realiza, en el punto de descarga se entrega la boleta para ser procesada y documentada.

Autovolteo

Es una carreta con capacidad de transportar unas 8.5 toneladas de caña picada, es tirada por un tractor y viaja junto a la cosechadora cuando está cortando, una banda de

trasmisión arroja los trozos de caña picada dentro de esta carreta hasta que se llene, entonces sale del lote y se coloca junto a otra carreta más grande que está en el camino, y un sistema hidráulico incorporado levanta el autovolteo y vierte las cañas dentro de la plataforma, para luego volverse a ubicar junto a la cosechadora.

Cabecera

Como cabecera se le conoce al espacio donde la cosechadora de caña debe de realizar un giro de 180° al llegar al final de un surco para iniciar la corta del siguiente. La cabecera no necesariamente tiene que ser visible, si hay caña sembrada hasta el final del lote, junto a un canal o árboles, el operador "hace" la cabecera girando sobre la caña. En otros casos habrá un camino al final o inicio de un lote, entonces el giro se hace sobre el camino, que cumple al función de cabecera.

Caña larga

Se refiere a la caña que es cortada manualmente, ya que los cortadores solo les quitan las hojas y una pequeña parte del tallo, quedando cañas de 1.5 metros de largo. En una carreta ocupa aproximadamente el doble del volumen que la caña picada.

Caña picada

Es cosechada por métodos mecánicos, la cosechadora automáticamente elimina gran parte de las hojas y corta la caña del suelo, luego la pasa por una serie de rodillos hacia unas cuchillas que parten las cañas largas en trozos de 25 centímetros que luego son cargados en las carretas. En una carreta se puede transportar el doble en peso que la caña larga, porque los trozos pequeños se acomodan mejor y llenan todos los espacios de la carreta.

Cargadora

Se refiere a la máquina que levanta las cañas del suelo cortadas manualmente y las carga en una carreta. Normalmente se refieren a la grande y pequeña, por la diferencia en la capacidad de carga entre los dos modelos más comunes.

Cogollo

Es la parte superior del tallo principalmente compuesto por hojas verdes y otros tejidos inmaduros. Es la parte más joven de la planta, su jugo es de poco valor y contiene clorofila que dificulta la clarificación del azúcar.

Core Sampler

Aparato instalado en la entrada de los ingenios, antes de la romana. Está compuesto por una sierra cilíndrica que baja a través de la caña cargada en las carretas y toma una muestra de aproximadamente 5 kilogramos de caña que son empacados e identificados para ser entregados al laboratorio para que, con base a los análisis de esta muestra se calcule el valor de la caña transportada en esa carreta.

Cortadores

Trabajadores responsables de realizar la corta manual, con cuchillo. Su función es la de cortar las cañas, eliminarle las hojas y partes del tallo que no son necesarias. Deben de colocar la caña en filas rectas de manera que puedan ser recolectadas fácilmente por las máquinas cargadoras. Normalmente se cuenta con "cortadores de ficha" que son contratados por el ingenio para trabajar durante la temporada y también se recurre a los servicios de empresas contratistas que cuentan con sus propios cortadores.

Descogolle

Es la operación de eliminar la parte superior de la caña, donde está la mayor cantidad de hojas, para dejar el tallo lo más limpio posible. El descogolle lo pueden hacer los cortadores con la caña en el suelo o lo puede hacer la máquina cosechadora con un brazo de altura ajustable con cuchillas giratorias que el operador debe ajustar constantemente para que no queden muchas hojas y para no cortar porciones de tallo.

Lalas

Son yemas que han activado su crecimiento. Ocurre principalmente en el tercio superior del tallo. Es un aspecto indeseable, pues tienen poco jugo y mucha clorofila.

Lote

Es un terreno sembrado con caña que ha sido nivelado, generalmente con la ayuda de sistemas láser para asegurar un nivel y flujo de agua adecuado, ya que la caña requiere de riego constante. Cada lote tiene un código, y un conjunto de lotes conforman una finca. Se mantienen registros detallados de cada lote de las actividades de cosecha y las propias del cultivo. La extensión y forma son muy variables y dependen en parte de la pendiente, el riego y el tipo de suelo.

Quema de la caña

Consiste en incendiar ciertos lotes sembrados de caña unas horas antes de la cosecha. El fin de esta práctica es el de eliminar gran parte de las hojas para que queden los tallos descubiertos y se facilite la labor de cosecha. Otro motivo para quemar es el control de plagas como insectos, culebras y roedores. Es importante la preparación de una quema, hay que cortar la caña al rededor del lote para que el fuego no siga avanzando y hay que considerar la intensidad y dirección del viento.

Romana

Es el área de pesaje antes de entrar al ingenio. Consiste en una plataforma de concreto de 20 metros de largo por 5 de ancho donde se pesan los camiones y tractores con las carretas cargadas de caña, a este total se le tiene que restar el peso del tractor y la carreta, para saber el peso de la caña. Para eso se pesan los equipos descargados y se mantiene una base de datos con los códigos de cada equipo y su peso. La romana está conectada a la red de cómputo así que cada vez que se da una operación de pesado se actualiza la base de datos y se hace la operación de restar el peso del transporte. Todos estos números se imprimen en la boleta que trae el chofer y es firmada por el "romanero" o encargado de hacer las mediciones de peso en ese momento.

Ruma

Cuando los trabajadores cortan la caña por el método manual colocan las varas transversalmente en una fila llamada ruma, de manera que queden acomodadas para que posteriormente lleguen las cargadoras a recolectarlas. Los cortadores deben que tener el

cuidado de agrupar las hojas y basuras lejos del alcance de la cargadora para que no se mande basura adicional al ingenio.

Tacones

Son porciones de tallo que no fueron recolectados por la cosechadora mecánica debido a que el ajuste de las cuchillas estaba muy alto. Es precisamente en esta parte del tallo donde se encuentra la mayor concentración de sacarosa, y los nuevos brotes serán débiles, porque crecerán a partir de las yemas de estos "tacones", en lugar de retoñar directamente de la raíz.

Uñadas

Es la caña que se recoge en una sola operación de carga de las cargadoras, la cantidad de uñadas recogidas en cierta área se documenta y es un factor determinante para calcular el pago a los cortadores y los rendimientos (toneladas por hectárea) de cada uno de los lotes cosechados. Se trabaja con uñadas grandes (± 650 Kg.) y pequeñas (± 245 Kg.) correspondientes a dos modelos de cargadoras.

Zafa activa

Temporada de cosecha, durante aproximadamente 125 días el ingenio, talleres, transportistas y otros departamentos trabajan las 24 horas del día con el fin de cosechar y procesar toda la caña posible. En esta época los equipos y el personal se trabajan intensamente y sin interrupciones ocasionando mucho desgaste. Es necesario contratar a otras empresas especializadas para que refuercen ciertas áreas como la corta, acarreo, mantenimiento, seguridad y operarios de maquinaria. Normalmente comienza en noviembre y concluye en abril.

Zafa muerta

Época en que no hay cosecha, durante este tiempo el ingenio y la mayoría de la maquinaria de desarma y se reconstruye completamente para reparar los daños y desgastes ocurridos durante la zafa activa, se hacen modificaciones para mejorar el rendimiento en la próxima corta, se resiembran algunas fincas, nivelan terrenos, limpieza de drenajes y otras tareas de mantenimiento. Se mantiene únicamente al personal permanente.

- Los siguientes términos son descritos en el artículo 68 del "Reglamento para el pago de la caña de azúcar de acuerdo a su calidad" de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar.

Brix

En forma rigurosa, Brix es la cantidad de sólidos en una "solución de sacarosa pura", expresados como porcentaje en peso; determinados con el hidrómetro de Brix o cualquier otra medida de la densidad convertida a la escala Brix. Por extensión, Brix representa los "sólidos aparentes" que contiene una solución de azúcar.

Extracción

Indica la porción de un componente específico de la caña que pasa al jugo mezclado. Usualmente se expresa como porcentaje de la cantidad extraída al total presente de caña.

Fibra

Es la materia seca e insoluble en agua que contiene la caña.

Jugo absoluto en caña de Azúcar

Debido a la presencia de "agua coloidal" y las variaciones en los análisis de la porción moledora del tallo de la caña, se adaptará la definición dada por el ISCT: Quer dice textualmente: "Todos los sólidos disueltos en la caña más toda el agua". También "Caña menos fibra"

Liquidación

Es el pago a un precio provisional o no de los kilogramos de miel final.

Métodos Directos de Análisis de Caña de Azúcar.

Aquellos en que se toma para su análisis y evolución una muestra representativa de la caña tal como es recibida en el ingenio. De esta muestra después de ser homogenizada y desintegrada en equipos adecuados, se obtienen dos porciones: una sólida, que guarda relación directa la fibra de la caña y permite determinar este constituyente. La porción

líquida guarda relación con el Jugo Absoluto y permite determinar el contenido de sacarosa en caña.

Molienda

Es el período de la zafra durante el cual el ingenio mueve toda la caña extrayendo el azúcar y miel respectiva.

Pol

Se define como el resultado que se obtiene de polarización directa o sencilla en un sacarímetro, de una solución, o del "Peso Normal" de un material sacarino en solución.

Al igual que con el Brix el término se emplea en los cálculos como sustancia (Pol Por ciento Caña, Extracción de Pol, etc)

Debido a que el valor real de la sacarosa se ve afectado por las sustancias no sacarosas presentes en la solución, se usa "Sacarosa Aparente" como equivalente al Pol.

Pureza

(Factor Coeficiente de Pureza) Expresado en términos de porcentaje la proporción en que se encuentra la sacarosa o Pol respecto a los sólidos totales, en cualquier materia de ingenio azucarero.

Rendimiento

Sin otro calificativo se refiere al peso de azúcar comercial" que se obtiene de una determinada cantidad de caña. No se toma en consideración la composición o análisis del azúcar. Se puede expresar en forma porcentual o en kilogramos por tonelada métrica de caña.

Riqueza de la Caña

Con este término se hace referencia al contenido de sacarosa o Pol en la porción moledera del tallo. La razón de pesos de sacarosa o caña se expresa en forma porcentual.

Sacarosa

Compuesto puro cuya fórmula corresponde a la estructura Alfa – D – Glucopiranosil – Beta – D – Fructofuranósido. Cristaliza en prima del sistema monoclinico. En solución produce rotación del plano de la luz polarizada. Una solución "normal" de sacarosa contiene 26000 grs. (pesados en el aire) de sacarosa pura, disueltos en agua destilada y ajustada la solución a un volumen de 100 ml exactos a 20 grados centígrados. Esta solución polarizada a 20 grados en un tubo de 200 mm, con longitud de onda correspondiente a la luz D de sodio, tiene una rotación de 100 grados S (grados de azúcar) de acuerdo con la Escala Internacional de Azúcar.

Sólido por refractómetro, Brix por Refractómetro

Porcentaje en peso de los sólidos disueltos, determinado por medio de refractómetro.

Sólidos Totales, Sólidos Totales por Desección o Materia Seca

Peso del residuo expresado como porcentaje, que queda después de secar una cantidad determinada de una materia.

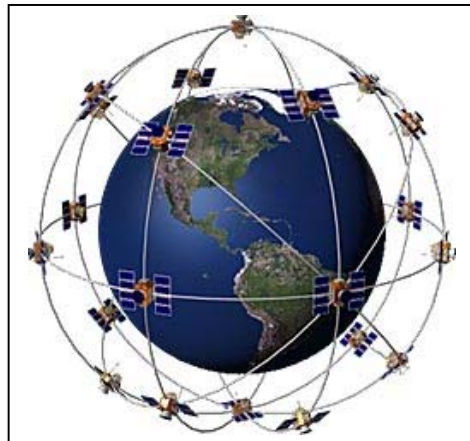
ANEXO # 1

EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (G. P. S)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El Sistema de Posicionamiento Global o G.P.S sus siglas en inglés es un sistema de navegación basado en una red de 24 satélites colocados en órbita por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Este sistema de creó con fines militares pero se amplió su acceso para uso civil a partir de 1980. Este sistema es de uso gratuito, trabaja las 24 horas del día y no es afectado por las diferentes condiciones climáticas.

Los satélites del GPS circulan la tierra dos veces al día a través de una órbita muy precisa a unos 20000 kilómetros de distancia de la tierra y a una velocidad de 11200 kilómetros por hora. Los satélites cuentan con paneles solares que les permiten funcionar continuamente, pero además tienen baterías de reserva que garantizan su



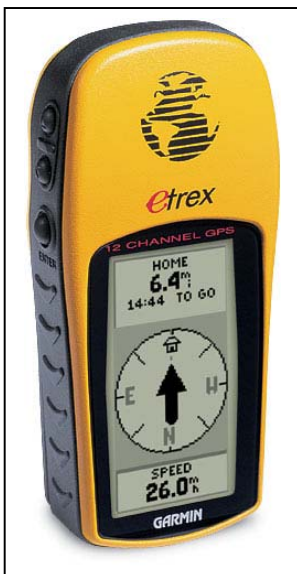
servicio incluso durante eclipses solares. Constantemente estos satélites mandan señales hacia la tierra, las cuales son captadas por los receptores de GPS, los cuales toman la diferencia de tiempo entre una señal y otra para calcular la posición y el desplazamiento, es necesario que el receptor tenga acceso a por lo menos tres satélites simultáneamente de manera que pueda hacer la triangulación que determinará la posición del receptor, si la señal de más satélites puede ser percibida el receptor la usará como referencia y mejorará la precisión del dato especialmente la altitud sobre el nivel del mar o el desplazamiento vertical. Los receptores de GPS modernos para uso civil son tan exactos que pueden ubicar cualquier punto en el planeta (incluyendo el fondo marino y el aire) con un margen de error de solo 3 metros.

A lo largo de este proyecto el autor utilizó un aparato Garmin para uso personal capaz de registrar:

- Velocidad de desplazamiento.
- Velocidad promedio.
- Tiempo efectivo y muerto de un desplazamiento.

- Distancias y recorridos.
- Área de un terreno.
- Altitud.
- Pronósticos del tiempo requerido para completar un desplazamiento.
- Y otras funciones.

El empleo de esta herramienta contribuyó a realizar mayor cantidad de pruebas y a lograr datos muy acertados en diversas áreas del estudio.



La información e imágenes contenidas en este anexo se tomaron de la página en Internet de Garmin, uno de los principales fabricantes de aparatos y explotadores del servicio de GPS.

Fuente de información e imágenes: <http://www.garmin.com>

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Cantidad de giros necesarios en lotes con diferentes formas	108
2	Distancia de la cosechadora a la carreta en diferentes estilos de lote	111
3	Modelo de lote que favorece el desempeño de la maquinaria	113

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

1	Cortadores de caña	30
2	Cargadora de caña larga	30
3	Ruma y boleta con datos del cortador	32
4	Uñada de una SP2254	32
5	Quema de un cañal de día	35
6	Quema de un cañal de noche	35
7	Cosechadora con su autovolteo	37
8	Detalle de los divisores de una cosechadora	40
9	Cogollero pequeño (estándar)	40
10	Cogollero grande (opcional)	40
11	Cortadores base	41
12	Pistón de levante de cortadores base	41
13	Indicador de altura de corte de cortadores base	41
14	Vista frontal de una cosechadora con sus componentes	42
15	Recorrido de la caña y la separación de las hojas dentro de una cosechadora	43
16	Levante de un autovolteo CAMECO	44
17	Volteo de un autovolteo CAMECO	44
18	Volteo de un autovolteo Vanguard / Taboga	46
19 ^a	Autovolteo autopropulsado Austoft de llantas	47
20 ^a	Autovolteo autopropulsado Austoft de orugas	47
21 ^b	Diseño original de Rowland	48
22 ^b	Cargadora Masterbilt de 1962	49
23 ^b	Primer cosechadora Toft	49
24 ^b	Cosechadora Luce "Tan grande como una casa"	50
25 ^b	La compacta de Massey Ferguson	50
26 ^a	Austoft 7700 año 2002	50
27 ^c	Claas Ventor año 2001	51
28 ^d	Cosechadora CAMECO CH2500	51
29 ^d	CAMECO CH2600 para doble surco	51

30	Variedad aparentemente ideal	64
31	Excelente germinación	65
32	Pésima germinación	65
33	Tacones	81
34	Los tres tercios del tallo	81
35	Tallo con raíces	81
36	Lalas	82
37	Punto de quiebre del cogollo	82
38	Prensa hidráulica para extraer el jugo en el laboratorio	83
39	Torta residual	83
40	Actividad normal de cosecha	91
41	Cadena transportadora del elevador	92
42	Recibiendo mantenimiento	92
43	Plataforma para transporte	93
44	Girando al final del surco	94
45	Caña succionada por el extractor primario	128
46	Caña derramada en un área de volteo	128
47	Operador juntando la caña que derramó	129
48	Pesado de caña durante una medición del desperdicio	129

Fuentes:

Todas las fotografías fueron tomadas por el autor, con las siguiente excepciones:

a: <http://www.caseih.com>

b: Kerr, Bill y Blyth, Ken. **100 Years of Mechanical Cane Harvesting.** Brisbane, Australia: Canegowers, 1993.

c: Folleto publicitario publicado por Claas y suministrado por Impagro S.A.

d: <http://www.camecosugar.com>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

1	Destino del producto final	10
2	Distribución de las exportaciones de azúcar	11
3	Distribución de la producción nacional de azúcar	11
4	Producción en bultos de 50kg de azúcar y toneladas de caña procesada por zona	26
5	Capacidad de molienda y producción de cada ingenio	27
6	Rendimiento de cada ingenio	28
7	Porcentaje de la caña cultivada en el país que se procesa en ingenios equipados con cosechadoras	29
8	Porcentaje de la producción nacional de azúcar proveniente de ingenios con cosechadoras	29
9	Historial del rendimiento agrícola. En toneladas de caña procesadas por cada hectárea sembrada	61
10	Relación entre la precipitación y el rendimiento promedio (en Colombia)	72
11	Kilogramos de azúcar por tonelada de caña aprovechables	85
12	Resultados del premuestreo de trabajo	96
13	Porcentaje del tiempo dedicado a cada actividad en la operación de cosechadoras	98
14	Comparativo de los rendimientos en Costa Rica, Brasil y Australia	99
15	Tiempo dedicado a cada actividad en lotes con surcos largos y cortos	110
16	Comportamiento del tiempo dedicado a girar y perdido por falta de autovoltos según el largo de los surcos	112
17	Distribución de tiempo de giros por intervalos	117
18	Porcentaje del total que ocupa cada categoría	117
19	Resultado de evaluaciones de desperdicio dentro de 6 lotes distintos (en Taboga)	127
20	Distribución de desperdicio según la distancia recorrida	133
21	Porcentaje del total del desperdicio que cae durante cada rango de distancia	133
22	Composición de las 5.33 toneladas de caña que se desperdicia por cada hectárea cosechada	135
23	Composición de la materia extraña en la caña cosechada	140

ÍNDICE DE TABLAS

1	Objetivos del estudio	15
2	Conceptualización de variables	18
3	Evaluación de variables	19
4	Distribución de los industriales azucareros por zonas según LAICA	25
5	Ventajas y desventajas de las cosechadoras de llantas y de orugas	39
6	Características del autovolteo CAMECO	45
7	Características del autovolteo Vanguard / Taboga	46
8	Inventario de maquinaria para la cosecha de caña en Costa Rica	54
9	Rendimientos de los ingenios	55
10	Otros datos de los ingenios	55
11	Calificación general de las condiciones de los ingenios	58
12	Indicadores de madurez	78
13	Análisis de Precosecha y Porcentaje de Lodos	84
14	Resultados del premuestreo a la operación de cosecha mecanizada	95
15	Porcentaje del tiempo dedicado a las actividades de cosecha mecanizada, según muestreo de trabajo	98
16	Sumatoria de porcentajes de tiempo dedicado a "Girando" y "Sin autovolteos" en lotes con surcos de diferentes longitudes	112
17	Tiempo promedio para cada categoría con respecto al porcentaje que cada una representa del total de datos	118
18	Lista de características comunes para cada categoría según rango de tiempo necesario para girar	119
19	Ilustración de diferentes condiciones de cabecera	120
20	Desperdicios de caña dentro de los lotes	127
21	Evaluación de métodos de medición	132
22	Análisis del desperdicio de caña por cada hectárea cosechada	134
23	Prueba de velocidades de avance y extractor. Por el Dr. Cam Withening	137
24	Tasas de entrega y velocidades para la prueba de desperdicio	138
25	Resultados y comparativos de prueba de desperdicios a diferentes velocidades	139

