

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a figure on horseback, a crown above, and two lions on either side. The shield is set against a background of green hills and a blue sky. The Latin motto "BIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CETERA" is inscribed around the perimeter of the seal.

**EXPERIENCIAS EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA COSECHA MECANIZADA DE
CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN EL INGENIO SANTA ANA,
ESCUINTLA, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA**

CLYDE ROBERTO LEMUS RAMÍREZ

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

“EXPERIENCIAS EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA COSECHA MECANIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN EL INGENIO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA”

DOCUMENTO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

CLYDE ROBERTO LEMUS RAMÍREZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO
EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO:	Dr. LAURIANO FIGUEROA QUIÑÓNEZ
VOCAL PRIMERO:	Dr. ARIEL ABDERRAMÁN ORTÍZ LÓPEZ
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. MSc. MARINO BARRIENTOS GARCÍA
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. MSc. OSCAR RENÉ LEIVA RUANO
VOCAL CUARTO:	Br. ANA ISABEL FIÓN RUIZ
VOCAL QUINTO:	Br. LUIS ROBERTO ORELLANA LÓPEZ
SECRETARIO:	Ing. Agr. CARLOS ROBERTO ECHEVERRIA ESCOBEDO

Guatemala, septiembre de 2012

Guatemala, septiembre de 2012.

Honorable Junta Directiva

Honorable Tribunal Examinador

Facultad de Agronomía

Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el documento de graduación, titulado:

“EXPERIENCIAS EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA COSECHA MECANIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR
(*Saccharum officinarum* L.) EN EL INGENIO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA,
CENTROAMÉRICA”

Como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Atentamente,

CLYDE ROBERTO LEMUS RAMÍREZ

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Padre celestial, creador del cielo y de la tierra por permitirme alcanzar un título profesional, el cual he anhelado toda mi vida.

VIRGEN MARIA: Por el gran amor y devoción que te tengo, en los momentos más difíciles de mi carrera nunca me has abandonado.

MIS PADRES: Clyde Aníbal Lemus Vélez (Q.E.P.D.). Por regalarme la vida.

Carmen Luisa Ramírez de Méndez: Sin tu sacrificio, apoyo y amor incondicional esto no fuera posible, por enseñarme a ser un hombre trabajador, fuerte y luchador en la vida. Todos mis éxitos te los dedico.

Félix Eugenio Méndez Argueta: por ser un excelente padre, por tus consejos, paciencia y el apoyo que me has brindado siempre a lo largo de mi juventud,.

MI ABUELA: Carmen Oralia Soto Santizo: tu amor es infinito, por criarme y corregirme cuando lo necesité y enseñarme a ser honrado, honesto y sincero, gracias por todas tus oraciones.

MI ESPOSA: Alexandra Quintana de Lemus: Tu amor y comprensión, tu apoyo a sido vital para la culminación de éste tan anhelado proyecto profesional.

MI HIJO: Rodrigo Lemus Quintana: Tu eres mi inspiración cada día, gracias por llenar mi vida de tantas alegrías y que mi triunfo sea un orgullo para tí en la vida.

MI HERMANO: José Manuel Méndez Ramírez: por tu amor sincero, eres una bendición para nuestras vidas, y que esto sirva de ejemplo para alcanzar tus metas.

MIS SUEGROS: Edgar Quintana y Eluvia Andrade de Quintana: por darme la oportunidad de entrar en sus vidas, quererme y tenerme siempre en sus oraciones.

AGRADECIMIENTOS

A:

EMPRESA:

Grupo Corporativo Santa Ana S.A.: Por haberme dado la oportunidad de iniciar mi carrera y depositar su confianza en mí para desarrollarme laboralmente desde Enero del año 2003 a la fecha. En especial a:

Ing. Javier Fernández Rodríguez

Ing. Juan Luis Ponce Flores

Ing. Fernando López Bautista

Ing. Leonardo Cabrera Velásquez

MIS ASESORES:

Ing. Agr. M.S.C. Manuel de Jesús Martínez Ovalle.

Ing. Agr. Juan Pablo Porres Esquiná.

Por su colaboración y entrega en la realización del presente trabajo.

MIS AMIGOS:

Marco Cancino, Juan José Chinchilla, Manolo Martínez, Ramiro Pazos, Rafael Baldizón, Juan Pablo Noriega, Miguel Mancilla, Alfredo Martínez, Marco Coronado, Eddie Ruano, Carlos de León, Marvin Acevedo. Por su sincera y verdadera amistad y apoyo incondicional en todo momento.

MI FAMILIA:

Por todas sus muestras de cariño y aprecio que han llenado mi vida de tanta felicidad, gracias los quiero mucho.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
Índice General.....	i
Índice de Figuras.....	vi
Resumen.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1 Marco conceptual.....	4
3.1.1 Descripción general del cultivo de la caña de azúcar.....	4
3.1.1.1 Morfología de la caña de azúcar.....	5
3.1.1.1.1 Raíz.....	6
3.1.1.1.2 Tallo.....	6
3.1.1.1.3 Hoja.....	6
3.1.1.1.4 Inflorescencia.....	7
3.1.1.2 Requerimientos climáticos y edáficos.....	7
3.1.1.2.1 Temperatura.....	7
3.1.1.2.2 Precipitación.....	8
3.1.1.2.3 Radiación solar.....	8
3.1.1.2.4 Viento.....	8
3.1.1.2.5 Requerimientos edáficos.....	8
3.1.1.3 Variedades de caña de azúcar cultivadas en la zona cañera de Guatemala..	9
3.1.1.4 Labores agrícolas en el cultivo de la caña de azúcar.....	10
3.1.1.4.1 Limpieza y adecuación del terreno.....	10
3.1.1.4.2 Preparación de suelos.....	10

	Página
3.1.1.4.3	Establecimiento de semilleros..... 11
3.1.1.4.4	Siembra..... 12
3.1.1.4.5	Fertilización..... 12
3.1.1.4.6	Control de malezas..... 13
3.1.1.4.7	Control de plagas y enfermedades..... 14
3.1.1.4.8	Riego de caña de azúcar..... 15
3.1.1.4.8.1	Requerimientos hídricos de la caña de azúcar..... 15
3.1.1.4.8.1.A	Germinación..... 15
3.1.1.4.8.1.B	Macollamiento..... 15
3.1.1.4.8.1.C	Rápido crecimiento..... 16
3.1.1.4.8.1.D	Maduración..... 16
3.1.1.4.9	Inhibidores de la floración..... 16
3.1.1.4.10	Maduración de la caña de azúcar..... 17
3.1.1.4.11	Cosecha de caña de azúcar..... 18
3.1.2	Planeamiento de la cosecha de caña de azúcar..... 19
3.1.2.1	Frentes de corte de cosecha de caña de azúcar..... 21
3.1.2.2	La quema de la caña de azúcar previo a la cosecha..... 22
3.1.3	Sistemas de cosecha..... 23
3.1.3.1	Tecnologías de recolección de caña de azúcar..... 23
3.1.4	Sistemas de cosecha de caña de azúcar en Guatemala..... 25
3.1.4.1	Sistema de cosecha manual..... 25
3.1.4.2	Sistema de cosecha mecanizada..... 29
3.1.5	La cosecha mecanizada en el Ingenio Santa Ana..... 32
3.1.5.1	Requisitos para la operación de la cosecha mecanizada..... 36
3.1.5.1.1	Ventajas de la cosecha mecánica..... 37

	Página
3.1.5.1.2	Desventajas de la cosecha mecánica 38
3.1.5.1.2.1	Industriales..... 38
3.1.5.1.2.2	Agronómicas..... 38
3.1.5.2	Cosechadoras mecánicas..... 39
3.1.5.2.1	Eficiencia de la cosechadora de caña de azúcar..... 41
3.1.5.3	Ventajas y desventajas de la cosecha mecanizada en verde..... 44
3.1.6	Consideraciones en la operación de cosecha que pueden influir en la disminución del rendimiento de azúcar en campo y fábrica..... 46
3.1.6.1	Pérdida de humedad..... 46
3.1.6.2	Pérdidas de caña de azúcar en campo..... 47
3.1.6.3	Deterioro del jugo..... 47
3.1.6.4	La quema..... 48
3.1.6.5	Tiempo entre la quema y la molida..... 49
3.1.6.6	Grado de madurez de la caña de azúcar..... 49
3.1.6.7	Variedades y plagas..... 50
3.1.6.8	Tipo de corte..... 50
3.1.6.9	Condiciones climáticas..... 50
3.1.6.10	Cantidad y tipo de materia extraña..... 51
3.2	Marco Referencial..... 53
3.2.1	Características generales de la zona..... 53
3.2.1.1	Región Sur Central (Frente A)..... 53
3.2.1.2	Región Sur Oeste (Frente K)..... 53
3.2.1.3	Región Sur Este (Frente H)..... 54
4	OBJETIVOS..... 56
4.1	General..... 56

	Página
4.2	Específicos..... 56
5	METODOLOGÍA..... 57
5.1	Fase de gabinete..... 57
5.2	Fase de campo..... 57
5.3	Fase de interpretación de resultados..... 57
6	RESULTADOS..... 58
6.1	Evolución de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el Ingenio Santa Ana..... 58
6.2	Selección de áreas para cosecha mecanizada..... 59
6.2.1	Áreas mecanizables. Tipo A..... 59
6.2.2	Áreas potencialmente mecanizables. Tipo B..... 59
6.2.3	Áreas no mecanizables. Tipo C..... 60
6.2.4	Inspección de pantos para cosecha mecanizada..... 60
6.2.4.1	Ubicación..... 60
6.2.4.2	Topografía..... 60
6.2.4.3	Condiciones del cañal..... 60
6.2.4.4	Infraestructura presente..... 61
6.2.4.5	Estructura del suelo..... 61
6.2.5	Identificación y delimitación de áreas problema..... 62
6.2.5.1	Áreas con piedra..... 62
6.2.5.2	Áreas con problema de humedad..... 62
6.2.5.3	Surcos cortos y cuchillas..... 62
6.2.5.4	Obstáculos físicos para la operación..... 63
6.2.6	Evaluación de labores agrícolas que afectan cosecha mecanizada..... 63
6.2.6.1	Cultivo..... 63

	Página
6.2.6.2	Aporque y desaporque..... 63
6.2.6.3	Riego y drenajes..... 63
6.2.7	Determinación de logística para cosecha mecanizada..... 64
6.2.7.1	Circuitos por finca y pante..... 64
6.2.7.2	Estaciones de transferencia de caña..... 64
6.2.7.3	Infraestructura pendiente..... 64
6.2.8	Consideraciones para el diseño de áreas nuevas o programadas para renovación que serán cosechadas mecánicamente..... 65
6.2.8.1	Diseño de los pantes..... 65
6.2.8.2	Orientación y conformación de los surcos..... 66
6.2.8.3	Rondas y calles intermedias..... 66
6.2.8.4	Remover rumas y restos de construcciones..... 66
6.3	Métodos aplicados en el Ingenio Santa Ana para optimizar la explotación del sistema de cosecha mecanizada..... 68
6.3.1	Control de la quema..... 68
6.3.2	Disponibilidad mecánica..... 70
6.3.3	Descripción de las prácticas realizadas en campo para la supervisión del corte de cosecha mecaniza..... 74
6.3.3.1	Antes de operación en campo..... 74
6.3.3.2	En operación..... 75
6.4	Resultados de las evaluaciones de calidad de corte..... 81
6.5	Resultados de la eficiencia en la operación de cosechadoras de caña..... 84
6.6	Resultados de los índices de contenido de materia extraña..... 87
7	CONCLUSIONES..... 90
8	RECOMENDACIONES..... 92

9	BIBLIOGRAFIA.....	93
10	APENDICES.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Mapamundi. Movimientos de difusión de la caña de azúcar.....	5
Figura 2. Métodos de recolección de caña de azúcar y sus operaciones tecnológicas..	24
Figura 3. Fotografía de Sistema de cosecha manual.....	26
Figura 4. Rendimiento promedio de corte manual en Guatemala.....	27
Figura 5. Rendimiento promedio por zafra Toneladas/hombre/día de cortadores de Cuadrilla y voluntarios, sistema de cosecha manual, Ingenio Santa Ana.....	28
Figura 6. Fotografía Sistema de cosecha mecanizada, Ingenio Santa Ana.....	29
Figura 7. Área en porcentaje de cosecha mecanizada en el período 2000/2001 al 2011/2012 en la agroindustria azucarera de Guatemala.....	31
Figura 8. Distribución porcentual de área a cosechar mecánicamente por los Ingenios Azucareros de Guatemala en la zafra 2011-2012.....	31
Figura 9. Histórico de toneladas cosechadas mecánicamente durante las últimas 8 zafras en el Ingenio Santa Ana.....	34
Figura 10. Tendencia porcentual del sistema de cosecha manual vrs. mecanizado, en las últimas 8 zafras, Ingenio Santa Ana.....	35
Figura 11. Esquema de los componentes básicos de una cosechadora de caña de azúcar.....	40
Figura 12. Comparativo de eficiencias promedio entre Ingenios de Guatemala en relación a las toneladas métricas cortadas por hora en cosechadoras de caña de azúcar, zafra 2011/2012.....	43

Figura 13.	Mapa de ubicación de los 3 frentes de cosecha mecanizada que operan en fincas administradas por el Ingenio Santa Ana en la Costa Sur de Guatemala.....	55
Figura 14.	Hectáreas de caña en el Ingenio Santa Ana cosechadas por los dos sistemas: manual y mecanizado, en las últimas 8 zafras.....	59
Figura 15.	Esquema del diseño ideal de campo para la explotación del sistema de cosecha mecanizada, desarrollado en el año 2005 en el Ingenio Santa Ana.	67
Figura 16.	Comparativo en porcentaje de caña entregada al Ingenio antes de 36 horas entre la quema y la molida proveniente de la cosecha mecanizada, resultado de las últimas 5 zafras (07-08 a 11-12).....	69
Figura 17.	Diagrama de mantenimiento diario de cosechadoras de caña de azúcar.....	72
Figura 18.	Diagrama de mantenimiento diario de tractores.....	73
Figura 19.	Forma correcta de corte por inclinación natural de la caña (postramiento).....	75
Figura 20.	Esquema de la forma correcta de como girar con la maquinaria al final del surco o en rondas.....	77
Figura 21.	Forma correcta para operación de inicio de corte de brechas.....	81
Figura 22.	Comparativo de las toneladas/hectárea dejadas en campo después del corte mecanizada vrs. recuperación en toneladas/hectárea por efecto del zanateo...	82
Figura 23.	Comparativo de las últimas 8 zafras de la variación de porcentaje de arranque de cepas por efecto del corte mecanizado, Ingenio Santa Ana.....	83
Figura 24.	Resumen comparativo de la variación del costo de maquinaria por tonelada de caña cosechada en función de la eficiencia y producción en toneladas/hectárea.....	84
Figura 25.	Resumen de los costos promedio/hectárea de las últimas 8 zafras utilizando el sistema de cosecha mecanizada.....	86

Página

Figura 26.	Resumen del índice en porcentaje de materia extraña en cosecha mecanizada, período de zafra 04-05 a la zafra 11-12, Depto. Cosecha Mecanizada, Ingenio Santa Ana.....	87
Figura 27 A.	Diagrama para inspección de pantes para cosecha mecanizada.....	95
Figura 28 A.	Diagrama para identificación y delimitación de áreas problema.....	96
Figura 29 A.	Diagrama para la evaluación de labores agrícolas que afectan el operación de cosecha mecanizada.....	97
Figura 30 A.	Diagrama para la determinación de la logística de carga y transporte.....	98

“EXPERIENCIAS EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA COSECHA MECANIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN EL INGENIO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA”

“OPTIMIZATION EXPERIENCES ON MECHANICAL HARVESTING, IN SUGAR CANE (*Saccharum officinarum* L.) IN THE MILL SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, CENTRAL AMERICA”

RESUMEN

El presente trabajo describe las experiencias adquiridas en relación a la optimización de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en el Ingenio Santa Ana, actividad que se inició a finales de la década de los '90 y que año con año ha incrementado su participación, actualmente el 34% del área es cosechada mecánicamente y un 66% se cosecha de forma convencional (corte manual y alce mecánico), y representa cerca del 25% de los costos de producción del cultivo, por lo tanto es importante dar a conocer metodologías que se han desarrollado y perfeccionado a lo largo de los últimos 8 años, en las cuales se demuestra que la explotación del sistema de cosecha mecanizada se hace más efectiva cuando las cualidades técnicas de la maquinaria responden a las condiciones creadas en el campo, brindando elementos básicos para poder elegir la forma ideal de diseño y clasificación de áreas, los criterios técnicos que se han tomado en cuenta para asegurar el éxito de dicha actividad son: clasificación de fincas, distanciamiento de siembra, topografía, diseño de pantes (orientación y longitudes), suelo, variedades de caña de azúcar, maduración inducida, riego, siembra, mecanización de terrenos pre y post cosecha, renovaciones entre otras. De tal forma que se han creado las condiciones que permiten optimizar el uso de la maquinaria, logrando incrementar la eficiencia de cosecha en toneladas/hora en un 40% lo cual ha impactado directamente en el costo de la hectárea cosechada mecánicamente en un ahorro del 62% entre la zafra 04-05 y la zafra 11-12, de igual forma con la implementación de rutas de mantenimiento preventivo de la maquinaria se ha logrado incrementar la disponibilidad mecánica a un 85% lo cual permite responder rápidamente a las altas exigencias de entrega de materia prima a la fábrica del Ingenio.

Por otro lado, los métodos aplicados para mejorar la calidad en el proceso de cosecha como por ejemplo el control de las horas quema, han demostrado que en las últimas 2 zafras el 99% de la caña que se programó para quema, ingresó al Ingenio en un tiempo no mayor a 36 horas después de iniciada dicha actividad, ya que con una correcta supervisión y balance de saldos se ha logrado mantener parámetros aceptables.

Con respecto a los resultados de las evaluaciones de calidad de corte se ha logrado un avance muy importante con el proyecto de recuperación de caña dejada en campo por efecto de la cosecha mecánica con la implementación de zanateros, ya que desde la zafra 04-05 hasta la zafra 11-12 obtuvo una recuperación promedio del 56% de la caña dejada en campo después del corte mecanizado, equivalentes a 0.78 toneladas/hectárea recuperadas. De igual forma cabe resaltar que se redujo el indicador del porcentaje de arranque de cepas de caña por efecto de la cosecha mecanizada, de un 5.5% en la zafra 04-05 a 1.48% en la zafra 11-12, resultado de la mejora continua en el diseño de los campos y de la correcta supervisión de la operación del sistema de cosecha mecanizada. Y en relación al índice de materia extraña “trash” se puede concluir que para las últimas 3 zafras éste porcentaje se estabilizó en un promedio de 7.81% lo cual indica que las prácticas realizadas para mejorar el desempeño de los sistemas de limpieza de la cosechadora funcionaron correctamente y de igual forma se han desarrollado criterios más amplios para establecer el momento óptimo de la quema de la caña de azúcar, ya que es el factor más importante para reducir o incrementar los índices de materia extraña. Y que afectan directamente la calidad del jugo en los procesos de fabricación de azúcar.

Por último se recomienda investigar variedades de caña que se adapten más fácilmente al sistema de cosecha mecanizada para disminuir las pérdidas de toneladas/hectárea dejadas en campo y monitorear el cumplimiento de las labores post cosecha para garantizar el aumento en la productividad de la maquinaria y el cultivo en las siguientes zafras.

1. INTRODUCCION

Con el presente trabajo, se recapitula los conocimientos adquiridos en los últimos años en relación a la actividad de cosecha mecanizada de caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.) en el Ingenio Santa Ana, de tal forma que es posible contribuir a documentar aspectos importantes que beneficien la planificación y organización de dicha actividad productiva, ya que las perspectivas de la producción cañera se basan fundamentalmente en el aumento constante de los rendimientos agrícolas, es decir, aumentar la producción en toneladas de caña de azúcar por hectárea, y que al ser cosechadas, se pueda cumplir con los estándares de calidad y cantidad exigidos en el campo y en la fábrica del Ingenio para garantizar un rendimiento industrial (libras de azúcar por tonelada de caña) satisfactorio de acuerdo a las metas fijadas dentro de la empresa.

Debido a que la operación de cosecha representa cerca del 25% de los costos de producción del cultivo, es necesario dar a conocer aspectos importantes en el proceso de la optimización de la cosecha mecanizada, de tal forma que la información que se presenta en éste documento ha sido sistematizada, y registrado metodologías que se han desarrollado y perfeccionado a lo largo de los últimos 8 años, ya que se ha demostrado que la explotación se hace más efectiva cuando las cualidades técnicas de la maquinaria responden a las condiciones creadas en el campo, brindando elementos básicos para poder elegir la forma ideal en el diseño y selección áreas, rutas de mantenimiento mecánico de la maquinaria, medición de indicadores y parámetros de eficiencia y calidad de la operación.

Resultado de todo lo anterior se ha logrado disminuir considerablemente las pérdidas de caña (Ton/Ha) en campo por efecto del corte mecanizado, menor deterioro al cultivo y mejorar la calidad de materia prima desde el momento en que se efectúa la quema hasta que se traslada a la fábrica.

De la mano de las técnicas desarrolladas para la optimización de la cosecha mecanizada se ha obtenido una disminución considerable en el costo/tonelada cosechada y los menores impactos en las diferentes etapas del proceso. Por ello es necesario entender la mecanización de la cosecha como una alternativa importante para el futuro y que debe mejorar permanentemente para que sea cada vez más viable.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a una fuerte expansión del cultivo de la caña de azúcar en Guatemala en los últimos años, y que la actividad de la zafra se limita a realizarse en la época de verano (noviembre a mayo), los ingenios han tenido que aumentar su capacidad de molienda diaria para cumplir con dicho período. Este incremento también influye en el proceso de cosecha, ya que se hace necesario recurrir a tecnologías integrales más avanzadas que contribuyan complementar y garantizar el abastecimiento ininterrumpido de la cuota diaria de molienda de caña de azúcar requerida para el máximo aprovechamiento de la capacidad instalada en la fábrica.

Por lo tanto en el Ingenio Santa Ana, la cosecha mecanizada de caña de azúcar viene siendo una actividad que año con año ha incrementado su participación, actualmente el 34% del área es cosechada mecánicamente y un 66% se cosecha de forma convencional (corte manual y alce mecánico).

Las condiciones requeridas de trabajo para que el sistema de cosecha mecanizada opere efectivamente no son, en la mayoría de los casos, las mismas en las cuales se desarrolla actualmente el sistema de cosecha convencional – corte manual y alce mecánico, por lo que es necesario tomar en consideración varios factores para que la operación de cosecha mecanizada sea una actividad eficiente y se obtengan buenos rendimientos agrícolas como los son: clasificación de fincas, distanciamiento de siembra, topografía, diseño de pantes (orientación y longitudes), suelo, variedades de caña de azúcar, maduración inducida, riego, siembra, mecanización de terrenos pre y post cosecha, renovaciones entre otras. Sin embargo, de nada vale haber realizado un adecuado trabajo en las labores antes mencionadas, si no se pone igual importancia a la hora de recolectar la producción, por ello es importante mencionar los criterios técnicos para la ejecución y optimización de la operación de cosecha mecanizada.

El no contar con las condiciones adecuadas de terreno y logística, repercute en un incremento directo e indirecto en el costo de la tonelada producida y cosechada, ya que esto ocasiona problemas de ineficiencia y daño en maquinaria y equipo, despoblación acelerada del cañal, incremento de caña dejada en el campo,

entre otros. Por lo que el presente trabajo llena un vacío en la descripción del proceso de cosecha mecanizada y los logros obtenidos en el Ingenio Santa Ana de tan importante labor.

3. MARCO TEORICO

3.1. Marco Conceptual

3.1.1. Descripción general del cultivo de la caña de azúcar.

Según Subirós (1995) la caña de azúcar es una planta tropical que pertenece a la familia de las gramíneas y es de la tribu Andropogoneae. La caña de azúcar que actualmente se cultiva es un híbrido muy complejo de dos o más de las cinco especies del género *Saccharum*: *S. barben*, *S. officinarum*, *S. robustum*, *S. smense* y *S. spontaneum*. Muchas de estas especies sufrieron cruzamientos naturales, originando un género muy diverso.

Subirós (1995) explica que estudios realizados por investigadores sobre el origen de la caña de azúcar, reportan y concuerdan que *saccharum spontaneum*, *sinense* y *barben* se desarrollaron en el área de Birmania, China, e India en el Asia meridional. Las formas relativamente jugosas de las dos últimas especies fueron utilizadas en los comienzos del cultivo y procesamiento de la caña de azúcar en la India y China. Cuando dichas especies se extendieron a otras regiones sufrieron de alguna forma diversos cruzamiento con otras gramíneas apareciendo, las especies *robustum* y *officinarum* en las islas del sureste de Indonesia, y en el área de Nueva Guinea respectivamente.

La caña se extendió de forma muy lenta, y llega al sur de España 773 d. de J.C. y Sicilia (950 d. de J.C.). La ruta hacia el oeste continuó, y la caña llega a Madeira en 1420 y a las islas canarias, desde donde Cristóbal Colon la llevo al nuevo mundo en 1493. El cultivo se extendió de Santo Domingo a varios países como México, Brasil, Perú, y a las islas de las Indias occidentales o Antillas llegando hasta Hawái en el año de 1700.

Sánchez (2004) expresa en su obra que el origen exacto de la caña de azúcar es todavía materia de investigación, y que según los estudios de Brandes realizados en 1956, se considera que el cultivo tuvo su origen en el archipiélago de Melanesia en Nueva Guinea, 8 000 a 15 000 años antes de Cristo, de donde se difundió posteriormente hacia las islas vecinas, la China y la India. Reconoce además que Barber en 1931

marcó su origen en la India y Chatuverdi en 1951 lo situó en China.

Sánchez (2004) describe que el criterio mayormente aceptado es el de Nueva Guinea, por la presencia de una de las mayores colecciones del género *Saccharum*. Se asume que desde aquí se difundió a través de tres grandes movimientos:

1. Islas Salomón y Caledonia:
2. Indonesia, Filipinas o India:
3. Islas Fiji, Tonga, Samoa, Cook, Marquesas, Hawai y Oceanía:

Estos tres grandes movimientos pueden ser observados en el mapamundi que se muestra en la siguiente figura:

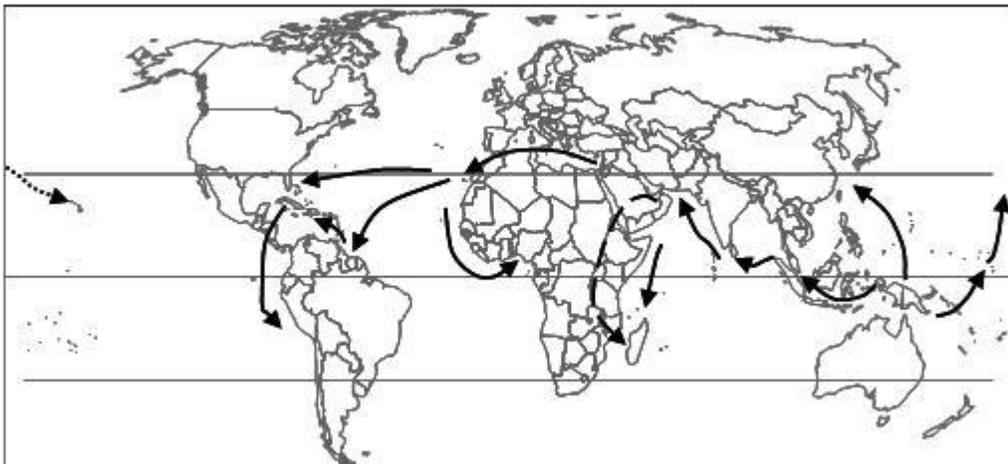


Figura 1. Mapamundi. Movimientos de difusión de la caña de azúcar. Fuente: Sanchez (2004)

3.1.1.1 Morfología de la caña de azúcar

Subirós (1995) indica que la caña de azúcar es una gramínea clasificada como C4, porque es la que mejor utiliza la energía solar la cual aprovecha para sus procesos fisiológicos y al igual que otras plantas está constituida por raíces, tallos, hojas y flores, las cuales se describen a continuación:

3.1.1.1.1. Raíz

El sistema radicular de la caña funciona como anclaje para la planta y para la absorción del agua y los nutrientes minerales del suelo. Son de forma cilíndrica y están formadas por la cofia, el punto de desarrollo, la región de elongación y la región de pelos radiculares. La cofia es la encargada de darle protección al punto de desarrollo de los daños mecánicos puesto que las raíces continuamente llegan al contacto con partículas densas del suelo y con rocas (Subirós 1995).

3.1.1.1.2. Tallo

La caña de azúcar se desarrolla en forma de matas, procedentes de trozos del tallo, sus hábitos de desarrollo, son diferentes, pero en general producen tallos de 2 a 3 m de longitud por año, formando tres canutos por mes, con un aproximado de tallos de 1 hasta 23 por macolla, según la variedad, estos se dividen en primarios, secundarios y mamonos. Los tallos también sirven como tejidos de transporte de agua y nutrientes extraídos del suelo para abastecer la punta que está en crecimiento. El tallo está compuesto por: la epidermis o corteza; los tejidos y fibras que se extienden en toda la longitud del tallo, poseen aproximadamente un 75% de agua. Y está formado por dos partes diferentes que son nudos y entrenudos los que difieren o cambian con las diferentes variedades en longitud, diámetro, forma y color.

El tallo de la caña de azúcar se considera como el fruto agrícola, ya que en él se distribuye y almacena el azúcar. Se va acumulando en los entrenudos inferiores disminuyendo su concentración a medida que se asciende hacia la parte superior del tallo (Subirós 1995).

3.1.1.1.3. Hoja

Las hojas de la planta de caña son la fábrica donde las materias primas: agua, dióxido de carbono y nutrientes se convierten en carbohidratos bajo la acción de la luz del sol. Las hojas son laminas largas, delgadas y planas que miden generalmente entre 0.90 a 1.5 m de largo y varían de 1 a 10 cm de ancho, según la variedad. La vaina o parte inferior de la hoja que está pegada al tallo en el nudo es el soporte de la lámina

de la hoja. Es de forma tubular más ancha en la base y gradualmente se estrecha hacia la banda ligular. Las hojas están a menudo cubiertas con pelos y tienen numerosas aberturas que se conocen con el nombre de estomas (Subirós 1995).

3.1.1.1.4. Inflorescencia

Es una panícula formada por pequeñas flores perfectas y sedosas llamadas espigas. La floración es un proceso natural que ocurre cuando las plantas han completado su ciclo vegetativo para iniciar el período reproductivo. No todas las variedades de caña de azúcar florecen con la misma intensidad, ya que hay factores genéticos que regulan la floración y factores ambientales que a su vez la inducen (Subirós 1995).

3.1.1.2. Requerimientos Climáticos y Edáficos

Orozco (1995) indica que la temperatura, la humedad y la luminosidad, son los principales factores del clima que controlan el desarrollo de la caña. La región cañera de Guatemala está localizada en la planicie costera del Océano Pacífico en las regiones fisiográficas de la Llanura Costera del Pacífico y Pendiente Volcánica Reciente y está comprendido en las coordenadas 13° 55' 14" Latitud Norte y 90° 30' 45" Longitud Oeste.

3.1.1.2.1. Temperatura

La caña de azúcar es una planta tropical y se desarrolla mejor en lugares calientes y soleados. La temperatura óptima para la germinación de las yemas y el desarrollo del cultivo se ubica entre los 27°C y 33°C. A valores de 20°C el crecimiento disminuye notoriamente. En Guatemala, en la zona cañera el clima es cálido húmedo con temperaturas que van desde los 22°C en las zonas altas a 35°C en las cercanías al océano pacífico (Orozco 1995).

3.1.1.2.2. Precipitación

El suministro de agua, ya sea en forma natural o mediante el riego, es necesario durante todo el período de crecimiento. En promedio, se requieren de 1,200 a 1,500 milímetros anuales, distribuidos de la mejor manera posible durante el período vegetativo). En la zona cañera de Guatemala las precipitaciones oscilan desde los 1,500 hasta los 3,000 milímetros anuales (Orozco 1995).

3.1.1.2.3. Radiación Solar

La radiación solar es la principal fuente de energía para el almacenamiento de sacarosa, ya que a menor luminosidad menor almacenamiento de azúcares. La caña de azúcar pertenece al grupo de plantas que posee un sistema fotosintético C4, capaz de fijar de manera más eficiente la luz. Lo ideal es que, durante todo el ciclo, la planta disponga de buena luminosidad (Orozco 1995).

3.1.1.2.4. Viento

En ocasiones cuando la velocidad del viento es superior a los 40 km/h puede ocasionar daños en el follaje, aumentar la evapotranspiración, reducir el crecimiento y causar la ruptura de los tallos reduciendo significativamente el rendimiento de la caña (Orozco 1995).

3.1.1.2.5. Requerimientos Edáficos

Subirós (1995) indica que la caña de azúcar se cultiva con éxito en la mayoría de suelos, estos deben contener materia orgánica y presentar buen drenaje tanto externo como interno, y que su pH oscile entre 5.5 a 7.8 para su óptimo desarrollo, características que deben permanecer al menos en los primeros 50 cm del suelo donde se ubican la mayor cantidad de raíces. El nivel freático debe estar ubicado preferentemente a profundidades mayores de 75 cm.

De igual forma Orozco (1995) describe que los suelos de la zona cañera de la costa sur de Guatemala son derivados de ceniza volcánica, producto de la actividad histórica de la cadena de volcanes circundantes.

El pH de la zona es generalmente ácido y medianamente ácido en las zonas altas, y neutro a ligeramente alcalino en las zonas cercanas al mar; su riqueza en materia orgánica hace que se consideren como suelos de alta fertilidad natural.

3.1.1.3 Variedades de caña de azúcar cultivadas en la zona cañera de Guatemala.

Soto, Orozco y Ovalle (1998) indican que comercialmente en la Agroindustria Azucarera de Guatemala existe una diversidad de variedades de caña de azúcar, siendo las más importantes por su productividad de azúcar la CP72-2086, CP73-1547, CP88-1165, CG98-010, MEX79-431, PGM89-968 y CP88-1105.

De igual forma los mismos autores mencionan que durante el período de 1990/2010 en la composición varietal de la Agroindustria Azucarera Guatemalteca, se observó un predominio de las variedades CP provenientes de la Estación Experimental de Canal Point, Florida. Destaca la variedad CP 72-2086 que en la zafra 2002/2003, ocupó el 75 por ciento del área sembrada. A la variedad CP72-2086 se le ha denominado “Supervariación” porque ha ocupado más del 40 por ciento del área sembrada durante más de 10 años y, con más de 8 toneladas de azúcar por hectárea.

A partir de la detección de la Roya naranja en Guatemala, en 2007, el área de la variedad CP72-2086 ha disminuido y ha crecido el área de la variedad CP88-1165.

Actualmente se realizan pruebas regionales y trabajos de mejoramiento genético en variedades, cuyo objetivo es el de obtener cultivares con características relevantes de un prototipo ideal, las cuales son: Hábito de crecimiento erecto aún después efectuada la quema y deshoje fácil, las “socas” o retoños deben producir una buena población de tallos, el sistema radicular debe ser desarrollado con capacidad de profundizar para que proporcione un buen anclaje, diámetro de tallos > 25 mm, el tallo no debe florear ni formar corcho, también se requiere una mínima cantidad de: pubescencia, raíces aéreas y brotación de yemas, ausencia de rajaduras en la corteza, entre 13% y 16% de fibra, alto rendimiento en toneladas y azúcar, tolerancia a enfermedades como carbón (*Ustilago scitaminea*), Mosaico (virus), Roya (*Puccinia melanocephala*),

Escaldadura (*Xanthomonas rubrilineaus*), Raya Roja (*Pseudomonas rubrilineans*) y Síndrome del Amarillamiento de la Caña (Sc YLV).

3.1.1.4. Labores agrícolas en el cultivo de la caña de azúcar

Chaparro (2002) indica que un cultivo comercial de caña de azúcar, que se pretende aprovechar durante varios años, con buen desarrollo y buenos rendimientos, requiere de un manejo adecuado desde su inicio, el cual inicia con una buena preparación de suelos.

3.1.1.4.1. Limpieza y Adecuación del terreno

Según Chaparro (2002) la preparación del terreno consiste en llevar a cabo una secuencia de labores para proporcionar a la semilla una adecuada condición en su germinación, enraizamiento, absorción de agua y nutrientes, ya que se pretende aprovechar durante varios años. La vida útil de una plantación de caña de azúcar oscila alrededor de los cinco años dependiendo su producción anual.

Daza (2002) describe que cuando el área seleccionada es nueva deben eliminarse árboles, troncos, piedras o cualquier otro tipo de obstáculos, para ello se recomienda utilizar un tractor de oruga tipo “buldózer” para facilitar la operación. También conviene subsolar el terreno con “riper” para sacar las raíces gruesas y piedras del subsuelo.

Una vez sean removidos todos los obstáculos del terreno se procede a realizar un levantamiento topográfico del área que permita diseñar la dirección y longitud de los surcos en función del riego, drenaje y cosecha.

3.1.1.4.2. Preparación de suelos

Chaparro (2002) indica que dentro de las labores para una buena preparación de suelos se recomienda el paso de subsolador a 50 cm de profundidad para romper estratos o capas compactas del suelo, situadas por debajo del nivel de corte del arado y para que la planta desarrolle un sistema radicular más profundo.

También Flores (1976) describe que se debe realizar los pasos de arado a 40 cm de profundidad, que persigue romper y descompactar el suelo, a la vez de destruir e incorporar las malezas y los residuos de cosechas, anteriores. Con ella se incrementa la porosidad y el movimiento del agua a través del perfil, lo que representa una importante labor de saneamiento, mediante el descenso del grado de saturación y el incremento de aireación.

Daza (2002) indica que seguido del arado se hacen dos pasos de rastra en forma cruzada a 25 cm de profundidad para romper los grandes terrones que deja la aradura y que obstaculizan las posteriores labores de labranza y siembra. Luego realizar el nivelado cuyo objetivo es acondicionar el relieve o topografía del terreno, para mejorar la eficiencia del riego, drenaje así como una buena cama de siembra, inmediatamente después se realiza el surqueado que es la última labor de la preparación de suelo para la siembra, su trazado se hace en función del riego, del drenaje y de la mecanización del cultivo, especialmente la cosecha, sus distanciamientos oscilan entre 1.5 a 1.75 metros.

3.1.1.4.3. Establecimiento de Semilleros

Subiros (1995) menciona que esta es una etapa especial en el programa operacional de la siembra, porque permite obtener material de buena calidad, facilita una rápida germinación, buen vigor y macollamiento, una mayor homogeneidad en la plantación; una mayor vida y altas posibilidades de tener una plantación con elevada capacidad productiva.

Orozco y Buc (2010) indican que en lo posible el área de semilleros debe estar cerca del lugar de siembra comercial para disminuir costos en transportes, además permite una mejor sincronización entre el corte de la semilla y la siembra. Las áreas conocidas por sus altas infestaciones de roedores deben evitarse. Los suelos para semilleros, en lo posible deben ser de textura franca, fértiles y profundos con topografía plana y de fácil drenaje. El área debe contar con facilidades para regar inmediatamente después de la siembra.

Los mismos autores comentan que los semilleros de caña de azúcar se categorizan de la siguiente forma: Semillero del mejorador, semillero básico, semillero semicomercial y semillero comercial

La semilla del semillero del mejorador proviene de los nuevos híbridos que han pasado una serie de tamices desde la germinación de la semilla sexual hasta la selección en evaluaciones regionales, este material es genéticamente puro y libre de enfermedades sistémicas y sirve para iniciar un semillero básico.

El semillero básico se establecen con semilla tratada hidrotérmicamente a 51°C por 10 minutos, luego 12 horas a temperatura ambiente y de nuevo 1 hora a 51°C, el sistema de multiplicación puede ser por medio de plántulas provenientes de yemas extraídas o por el método de multiplicación convencional, la semilla obtenida en este semillero poseerá un 100% de pureza varietal.

El semillero semicomercial se establece con semilla proveniente del semillero básico, se siembra comúnmente con una densidad de 10 a 12 yemas vegetativas por metro lineal o bien por transplante de plántulas provenientes de yemas extraídas, lo cual hace que partiendo de una misma cantidad de semilla básica, las áreas de semillero sean diferentes, con cabe en el manejo agronómico se espera producir semilla con un 99% de pureza varietal y niveles bajos de enfermedades sistémicas.

El semillero comercial se establece con semilla proveniente del semillero semicomercial, la semilla que aquí se produce deberá poseer al menos un 98% de pureza varietal y niveles bajos de enfermedades sistémicas.

3.1.1.4.4. Siembra

Flores (1976) indica que la siembra se realiza entre los meses de noviembre a enero. La orientación de dicha labor deber de preferencia de norte a sur para lograr una mayor captación de la luz solar. Se recomienda que el material de siembra sea de semilleros comerciales sanos y vigorosos, con una edad de seis a nueve meses. El tapado de la semilla se puede realizar de tres formas: manualmente utilizando azadón, con tracción animal, y mecánicamente, la profundidad de siembra oscila entre 20 a 25 cm, con una distancia entre

surco de 1.5 a 1.75 metros, finalmente la semilla debe quedar cubierta con 5 cm de suelo, y se recomienda la aplicación de 1 riego para garantizar la germinación de la semilla.

3.1.1.4.5. Fertilización

De igual forma Flores (1976) comenta que el cultivo posee altos requerimientos nutricionales en consideración a su elevada capacidad de extracción y remoción de nutrientes del suelo y alta producción de materia verde y seca, incluso a corto plazo puede agotar los suelos. Esta situación exige el uso de fertilizantes químicos u otros tipos de materiales orgánicos para restituir lo que la planta ha consumido.

Subirós (1995) indica que la absorción de elementos nutritivos por la planta es variable, según el estado fenológico, durante las fases iniciales los requerimientos son bajos, luego al comenzar el desarrollo de la zona radicular y el desarrollo del follaje se incrementan las necesidades de nutrientes. Dentro de los nutrientes que son mayormente consumidos por la caña están el Potasio, Nitrógeno, Calcio, Magnesio y Fósforo.

También Subirós (1995) agrega que el cultivo demanda elevadas cantidades de nitrógeno (100 a 200 Kg/ha) y potasio (125 a 160 Kg/ha) y relativamente reducidas de fosfato (20 a 90 kg/ha), para un rendimiento promedio de 100 toneladas de caña/ha. En la madurez, el contenido de nitrógeno en el suelo debe ser lo más reducido posible para una buena recuperación del azúcar.

Para una buena fertilización en el cultivo se recomienda realizar análisis de suelo previo a la siembra y análisis foliar a los 4 meses de edad para conocer el estado nutricional de la planta.

3.1.1.4.6. Control de malezas

Subirós (1995) indica que la caña de azúcar es normalmente de un crecimiento lento al inicio del ciclo y por tal razón necesita todas las ventajas que se le puedan dar para competir contra las malezas que poseen un desarrollo más rápido y vigoroso. El período crítico de competencia abarca desde la emergencia hasta los 5 meses de edad, donde el cultivo se ve afectado en su desarrollo por la competencia de agua y

nutrientes con una diversidad de malezas que provienen de muchas especies de hoja ancha las cuales tienen raíces superficiales (5-10cm) y gramíneas que poseen raíces más profundas (hasta 20cm) .

Leonardo (1998) describe que el control de malezas se planifica en función de las especies y disponibilidad de agua en el suelo, de ello depende el método de control, el cual puede ser químico, manual y mecánico, si se efectúa un control químico también deben planificarse los herbicidas adecuados y su dosificación que generalmente van acompañados de productos coadyuvantes. En Guatemala se utilizan 26 grupos de herbicidas para el control de malezas.

También Leonardo (1998) comenta que para la caña hay dos épocas de aplicación, la preemergente, que es cuando las malezas aun no han emergido del suelo, y la postemergente, cuando las malezas alcanzan de 4 a 5 hojas y prácticamente su germinación es generalizada en todo el campo, por lo que el establecimiento de estas etapas es importante para determinar el producto y dosis a aplicar.

3.1.1.4.7. Control de Plagas y Enfermedades

Subirós (1995) indica que debido a que la caña de azúcar es un monocultivo extensivo, crea el ambiente propicio para que algunas plagas se desarrollen y reproduzcan al disponer de una gran cantidad de sustrato para alimentarse, actualmente se encuentran identificadas más de 1,500 especies de insectos que son considerados como plaga del cultivo.

Subiros (1995) también comenta que estudios han demostrado que el uso indiscriminado de insecticidas químicos provoca mayor resistencia en los insectos y presentan alteraciones en el equilibrio biológico, por lo que se han desarrollado métodos de control menos perjudiciales, ejemplo de ello es control biológico integrado que tiene como propósito combinar en forma razonable y armónica una serie de tácticas para reducir el daño de las plagas a escalas tolerables mediante el cual se emplean enemigos naturales, hospederos genéticamente resistentes, liberación de depredadores y parásitos endógenos tales como parásitos y patógenos que actúan sobre la incidencia de las plagas.

Marquez y Lopez (2006) describen que el cultivo también es afectado por otros factores biológicos entre los que se cuentan múltiples enfermedades patológicas, como los causados por hongos, bacterias y virus que afectan la caña de azúcar, entre las principales que afectan la zona cañera de Guatemala se han identificado: carbón (*Ustilago scitaminea* Sydow), raquitismo (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*), roya (*Puccinia melanocephala* H. Sydow) Escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson.), Virus de la hoja amarilla (*Polerovirus*), este complejo patogénico ha obligado a la agroindustria azucarera a realizar cambios sustanciales en la composición varietal en sus plantaciones y establecer líneas de selección y mejoramiento genético para obtener nuevas variedades con los niveles de resistencia de plagas y adaptabilidad a las condiciones.

3.1.1.4.8. Riego en caña de azúcar

Subirós (1995) indica que el riego tiene como objetivo suplir el agua que la planta requiere cuando no es suministrada de manera natural y así completar de manera satisfactoria su desarrollo. La cantidad debida concuerda con el desarrollo fisiológico del cultivo para tratar de proporcionar la mínima cantidad posible sin provocar efectos negativos en el rendimiento. La determinación del momento óptimo de aplicación del riego es de suma importancia desde el punto de vista agrícola, industrial y económico.

3.1.1.4.8.1. Requerimientos Hídricos de la caña de azúcar

Subirós (1995) comenta que el uso consuntivo depende del estado de desarrollo en que se encuentre el cultivo, para fines ilustrativos se dividen en cuatro: germinación, macollamiento y cierre, rápido crecimiento y maduración, la duración de cada etapa puede variar en función de condiciones ambientales y de la variedad.

3.1.1.4.8.1. A. Germinación

Subirós (1995) describe que comienza cuando el cultivo ha sido recién sembrado y aún no ocurre emergencia o cuando el retoño no ha emergido, en esta etapa el factor de Kc puede oscilar desde 0.4 hasta 0.6, ésta etapa puede llegar hasta los 85 días después de siembra o corte.

3.1.1.4.8.1. B. Macollamiento

Subirós (1995) indica que en esta etapa inicia la proliferación de tallos, desarrolla una mayor cantidad de follaje y comienza a cerrar, al disponer de mayor área foliar puede interceptar mayor radiación solar, así mismo su crecimiento radicular se incrementa y con ello la capacidad de captar más agua a mayor profundidad, por lo cual la evapotranspiración aumenta. Estudios en la Isla Mauricio han permitido estimar que la planta evapotranspira el 40% de la evaporación.

3.1.1.4.8.1 C. Rápido Crecimiento

Orozco (1995) señala que el cultivo experimenta un desarrollo vigoroso y completo y por lo general el porte permanece aún erecto. El incremento del área foliar sigue y la misma está en estrecha relación con la curva evapotranspirativa, los requerimientos de agua son mayores que en las fases anteriores.

Subiros (1995) también comenta que un aspecto importante es que si por algún motivo se presentara un estrés de humedad moderado en las fases anteriores, los efectos negativos que podrían ocasionar en el rendimiento final no serían tan severos como en esta fase.

Por lo general el déficit hídrico repercute más en la elongación del tallo que en la extensión de las raíces. Bajo ésta condición la fotosíntesis y, por lo tanto, la acumulación de sacarosa, pueden ocurrir de manera elevada en el tallo.

3.1.1.4.8.1. D. Maduración

Subirós (1995) comenta que en esta fase se reduce la evapotranspiración, la pérdida de humedad se ha estimado entre el 70% y 90% de la evaporación, la pérdida de agua favorece la concentración de sacarosa, y así, esto favorece a la extracción de azúcar en el corte, alce y transporte.

3.1.1.4.9. Inhibidores de la Floración

Subirós (1995) también indica que desde el punto de vista productivo la floración es indeseable debido a que puede disminuir el rendimiento de caña y sacarosa por unidad de área, en experimentos de

campo se ha determinado que la caña que florea el 35% puede perder de un 15% a 20% de su rendimiento normal.

Según Subirós (1995) esta reducción en el rendimiento se debe a tres implicaciones importantes:

- El gasto de energía que involucra el proceso, ya que la energía es tomada del tallo en forma de sacarosa cuando ésta se invierte.
- La formación de “corcho” que disminuye el peso del tallo y reduce la recuperación de sacarosa durante el procesamiento.
- La formación de “lalas” (brotación de yemas laterales) en el último tercio del tallo, como consecuencia de la pérdida de la dominancia apical. Esto ocasiona una disminución en la calidad de los tallos y además implica un gasto de energía adicional.

De igual forma Subirós (1995) indica que actualmente se utilizan varios métodos que interfieren en el proceso de la floración: Empleo de variedades no floreadoras, edad del cultivo, regulación del foto período, temperatura, manejo del riego y control químico. De los anteriores, el control más difundido es el químico, debido a efectividad con al que actúan estos productos, ya que paralizan el desarrollo de la yema vegetativa sin destruirla y evitar la diferenciación de la yema floral.

3.1.1.4.10. Maduración de la caña de azúcar

Subirós (1995) indica que la maduración es el proceso fisiológico por el que la producción de materia verde de la planta se reduce para dar paso a la acumulación de carbohidratos en forma de sacarosa en las células de parénquima del tallo, cuando cada entrenudo completa su desarrollo se produce el engrosamiento de las paredes celulares, marcada disminución de la humedad y alargamiento del entrenudo, también se observa aumento de la materia seca, acumulación de sacarosa y caída de las hojas. .

El mismo autor describe que adicionalmente la maduración está gobernada por una serie de factores muy relacionados entre sí, algunos son: Variedad, humedad del suelo, temperatura, radiación solar, suelo y prácticas de cultivo.

La aplicación de maduradores químicos está dirigido a promover la maduración en cañas que se cosechan en los primeros dos tercios de la zafra, durante los meses de noviembre a febrero, su principal ventaja es la de aumentar el Brix, Pol y pureza del jugo y por lo tanto los niveles de sacarosa que en determinados casos llegan hasta un 20% en sacarosa, también se presentan las ventajas de mayor eliminación de basura a la hora de quemar, lo que favorece la recuperación de sacarosa en la fábrica.

Los productos más importantes utilizados como maduradores son: Fusilade (Propanoato Arílico Fluazifop P-Butil), Roundop Max y SL (Glifosato ácido fosforoso), Select y Touchdown (Glifosato trimesium), actualmente se investiga en la utilización de productos no herbicidas que tienen un efecto sobre la maduración tal como el fosfato de potasio (Subiros 1995).

3.1.1.4.11. Cosecha de caña de azúcar

Subiros (1995) indica que ésta actividad agrícola representa el último paso en la producción del cultivo de la caña, para lo cual deben tomarse en consideración algunos criterios como lo son: Estimar la producción de caña, programación de la época de inicio y fin de la cosecha, evaluar la disponibilidad de recursos tales como transporte, mano de obra, maquinaria y otros servicios, disponer de datos de análisis de madurez, capacidad de molienda de caña del ingenio, edad de las plantaciones y considerar las variedades de caña que se cosecharán de acuerdo con su época de maduración.

Bolaños y Oviedo (2006) consideran que la cosecha de la caña tiene como meta final entregar al ingenio tallos de caña de azúcar de buena calidad, medida por el contenido de sacarosa, por lo que se hace necesario cortar las puntas o cogollos en la operación de recolección debido a que las puntas y las hojas de la caña contienen poca sacarosa disminuyendo el rendimiento de azúcar.

Meneses (2012) indica que en Guatemala la cosecha de caña de azúcar representa cerca del 33 por ciento de los costos de producción del cultivo; por lo que cualquier variación en esta labor afectará significativamente la rentabilidad del cultivo en comparación con otras labores.

En Guatemala, a la época de cosecha de caña de azúcar también se le conoce como “zafra”, dicho periodo inicia normalmente en la segunda semana del mes de Noviembre y finaliza a finales del mes de Abril o inicios de Mayo, dependiendo de la variabilidad de las producciones de los ingenios, pero lo más conveniente es que se programe la zafra en la temporada de verano, debido a que al momento de iniciar la temporada de invierno (segunda semana de mayo) la cosecha de la caña de azúcar se vuelve operativamente complicada en el campo, causando daños a la plantación y maquinaria debido a las condiciones de humedad en el suelo, también se complica el suministro de materia prima provocando interrupciones frecuentes en el ingenio por falta de caña.

Meneses (2012) describe que a zafra en Guatemala consta de tres periodos o tercios; el primer tercio comprende los dos primeros meses (noviembre y diciembre), el segundo tercio es en enero y febrero, y el último tercio comprende los meses de marzo y abril e incluso las dos primeras semanas de mayo.

Meneses (2012) señala que actualmente en Guatemala operan 12 ingenios azucareros que administran el 82 por ciento de las tierras cultivadas, con una capacidad de molienda de 135,000 toneladas de caña por día, y resultado de ello, para la zafra 2010-2011 se cosecharon 231,000 hectáreas de caña de azúcar, donde se produjeron 19, 219,653 toneladas de caña.

Por tal motivo es muy importante para cada administración planificar su cosecha en función de obtener los mejores resultados en cuando a producción en toneladas de caña por hectárea y que permita alcanzar altos rendimientos de azúcar por tonelada de caña cosechada.

3.1.2. Planeamiento de la cosecha de caña de azúcar

Subiros (1995) menciona algunos criterios que deben atenderse son los siguientes:

- Estimar la producción de caña. Esto servirá para conocer otros requerimientos como necesidad de mano de obra, maquinaria, ingresos económicos por venta, entre otros.
- Programar la época tentativa en que comenzará y finalizará la cosecha. Esto permitirá ubicarla en el período donde la concentración de sacarosa pueda ser mayor.
- Conocer la capacidad de transporte para garantizar que la caña pueda ser acarreada lo antes posible sin detrimento de la calidad.
- Conocer la disponibilidad de mano de obra.
- Disponer de información de los análisis de madurez. Los análisis de pol de la pureza del jugo, el contenido de sacarosa, los azúcares reductores y humedad de la caña entre otros, son de suma utilidad para decidir si una determinada área se cosecha o no.
- Definir el tipo de cosecha: si será manual, semimecánica o completamente mecánica.
- Conocer la disponibilidad de recibo y la capacidad de procesamiento del ingenio. Si hay muchos productores que entregan caña un momento determinado y esta es mayor que la capacidad de la fábrica, se producirán retrasos en la molienda y por lo tanto pérdidas significativas en el rendimiento, en especial de sacarosa.
- Considerar los tipos de suelo y la topografía. En suelos ligeros la maduración es más rápida, si se comparan con los suelos arcillosos, porque estos últimos retienen mayor humedad. Es preferible no cosechar muy tarde las secciones bajas, para que, cuando inicie el invierno, los tallos alcancen la mayor altura que sea posible y el exceso de humedad no los afecte demasiado.
- Conocer la disponibilidad de riego. Las áreas que se cortan temprano (diciembre y enero) deben disponer de riego; de lo contrario, sufrirán estrés por sequía durante el verano, en especial si este es prolongado.

- Conocer la edad de las plantaciones. Es importante saber si se está cosechando una plantación nueva (plantilla o caña planta), socas o resocas. Las resocas son áreas que por algún motivo no pudieron cosecharse en la última zafra y tiene más edad que la que deberían tener para procesarse. También la edad tiene relación con el rendimiento agrícola (por lo general a menor edad, menor producción de caña), aspecto que también debe atenderse.
- Considerar las variedades que se cosecharán de acuerdo con su época de maduración. Deben establecerse prioridades en relación con la época en que maduren las variedades (tempranas, medias o tardías) y si florecen, entre otras.
- Conveniencia o no del uso de madurantes químicos. Si se hace uso de estos productos, es necesario que se cosechen en el momento oportuno, de lo contrario, puede producirse una disminución en el rendimiento de sacarosa y se perdería el efecto que se busca, cual es el de madurar la caña.
- Determinar la capacidad que se tiene para brindar el mantenimiento a las plantaciones, después de efectuada la cosecha. Es necesario conocer las necesidades de maquinaria, personal, equipo y otros, para no tener atrasos en el cuidado de la nueva caña y no se afecte negativamente el rendimiento del siguiente ciclo.
- Prever las posibles quemaduras no programadas. En ocasiones se producen accidentes por incendios (involuntarios o deliberados) que provocan cambios en la programación de la cosecha. Según sea la capacidad de respuesta, así se evitarán reducciones importantes en el rendimiento, tanto en el peso de los tallos como en el contenido de sacarosa.

También Subirós (1995) indica que con base en las consideraciones anteriores y otras que pueden ser importantes en un momento determinado, se elabora el programa de cosecha. Conviene primero hacer una programación general de todo el período y otra específica que deberá ser confeccionada y revisada cada semana para aplicarse durante ese mismo lapso.

Deberá mantenerse una comunicación permanente, así como también buenas relaciones entre todas las dependencias, para que la cosecha sea lo más eficiente posible y se suministre continuamente caña de buena calidad a la fabrica. Lo anterior permitirá, además, hacer cambios sin afectar de manera importante las demás actividades.

3.1.2.1. Frentes de corte en cosecha de caña de azúcar

Subiros (1995) menciona que los frentes de corte se establecen tomando como base la capacidad de molienda del ingenio y varios de los factores antes citados.

Un frente de corte es un conjunto de unidades de producción (lotes) localizado en un punto determinado del área total de cultivo. En este se dispone de personal y equipo mecánico suficiente para suministrar a la fábrica cierta cantidad de caña con maduración óptima, de acuerdo con una cuota diaria asignada previamente. La caña propia del ingenio junto con la de los productores (independientes, particulares o colonos) completan la cuota requerida durante el día.

Según Subiros (1995) en el momento de establecer las aperturas de los frentes, debe realizarse un balance entre las distancias de las plantaciones y la fábrica. Si se cosecha en áreas distantes, el tiempo necesario para el desplazamiento y recibo de la caña será alto y posiblemente falte en un momento dado, con la consecuente paralización de la fábrica. Por el contrario, si se cosechan primero sólo áreas cercanas a ella, en ese momento, no habrá problemas de abastecimiento, pero con seguridad se tendrán si no se dispone de suficiente equipo, cuando deban acarrear las que se encuentren distantes.

3.1.2.2. La quema de la caña de azúcar previo a la cosecha

Subiros (1995) indica que la quema de la caña que se realiza antes de la cosecha, tiene como objetivo principal eliminar follaje seco, basura y, en general, materia extraña, para facilitar la corta, tanto la manual como la mecánica y aumentar la eficiencia de la labor. La quema no elimina el follaje de la parte superior del tallo, sólo lo deseca. Esta práctica también contribuye a facilitar otras labores agrícolas durante el

mantenimiento de la plantación como el riego y el uso de cultivadores mecánicos. Sirve además para disminuir poblaciones de algunas plagas (insectos y roedores).

Subiros (1995) señala la quema es una labor de sumo cuidado que debe estar en manos de personas muy capaces y responsables, porque si se comete un error o descuido, el fuego puede pasar a las plantaciones vecinas o a otras áreas, extendiéndose sin ningún control, con las consecuencias del caso. Son necesarias algunas labores, tales como hacer las rondas y eliminar el material seco alrededor de la sección que va a quemarse. Conviene siempre contar con una “tanqueta” con agua para ir apagando las llamas de los bordes, una vez que el fuego se ha establecido y eliminado el material seco.

Subirós (1995) también comenta que esta labor debe iniciarse en el lugar opuesto a la dirección del viento, avanzando en forma lenta, realizando el encendido por puntos cada 8 o 10 metros de largo. Luego, cuando el fuego del lado opuesto al viento ha ingresado lo suficiente, se hace lo mismo por los bordes y por último en el lado donde se tiene el viento a favor.

La condición ideal para hacer la quema es cuando el viento se encuentra calmado, para que sea lenta. Se acostumbra hacerla en las primeras horas de la noche; sin embargo, cuando hay ráfagas fuertes, debe esperarse y efectuarse en horas de la madrugada porque hay menos viento. El tiempo entre la quema y el ingreso de personal de corta manual debe ser lo suficiente para que este pueda laborar sin dificultad por las brasas, pero solo el necesario para evitar que la caña no se deteriore. Si la cosecha se va a realizar en forma mecánica, la quema del cañal puede hacerse poco tiempo antes del ingreso de las cosechadoras. No conviene quemar más caña que aquella que no es posible cortar y procesarse debido a la razón antes mencionada.

Muchas de las variedades tienden a perder el porte erecto cuando se hace esta labor, en especial si la altura es considerable, lo que dificulta al momento del corte.

Díaz (2001) también establece que, la quema de la caña de azúcar es una operación muy importante para la cosecha mecanizada, permitiendo obtener alta capacidad de corte, buena visibilidad y diseños de equipos más sencillos en cuanto a sus sistemas de limpieza.

3.1.3. Sistemas de cosecha

Pulido (2006) menciona que, en la literatura especializada se reconocen diversas tecnologías aplicadas en los sistemas de cosecha. En lo fundamental utilizan el principio de la quema de la caña. Entre los más conocidos se encuentra el *sistema Australiano*, el cual emplea cosechadoras de proceso tecnológico integral o completo y limpieza neumática; el *sistema Hawaiana* caracterizado por el empleo de empujadores (push Rake) o cortadoras en forma de V y grandes grúas alzadoras, así como limpieza húmeda en las instalaciones complementarias beneficio y el *sistema Barbados*, que incluye la utilización de cortadoras acopladas a tractores de diferentes potencias, limpieza por despaje manual y alza mecanizada con alzadoras convencionales.

3.1.3.1. Tecnologías de recolección de la caña de azúcar.

Pulido (2006) también indica que el proceso tecnológico de la cosecha o recolección de la caña de azúcar está constituido por un conjunto de operaciones, las cuales incluyen la realización de las siguientes funciones generales:

- Corte de tallo a ras de la superficie del suelo.
- Separación del cogollo.
- Limpieza del tallo
- Trozado de la caña
- Acumulación de la caña en el suelo
- Alce de la caña al medio de transporte

Pulido (2006) describe que en la actualidad este proceso se realiza manualmente en muchas áreas cañeras del mundo, aunque con el transcurso de los años se han introducido diferentes máquinas y equipos que de una u otra forma han contribuido al aumento del nivel de mecanización de la cosecha de la caña.

Los sistemas de cosecha o recolección de la caña de azúcar más utilizados en la actualidad son: el

manual, el semimecanizado y el mecanizado. En la figura 2 se muestra un esquema con los distintos métodos utilizados en el mundo y las operaciones tecnológicas que realizan:

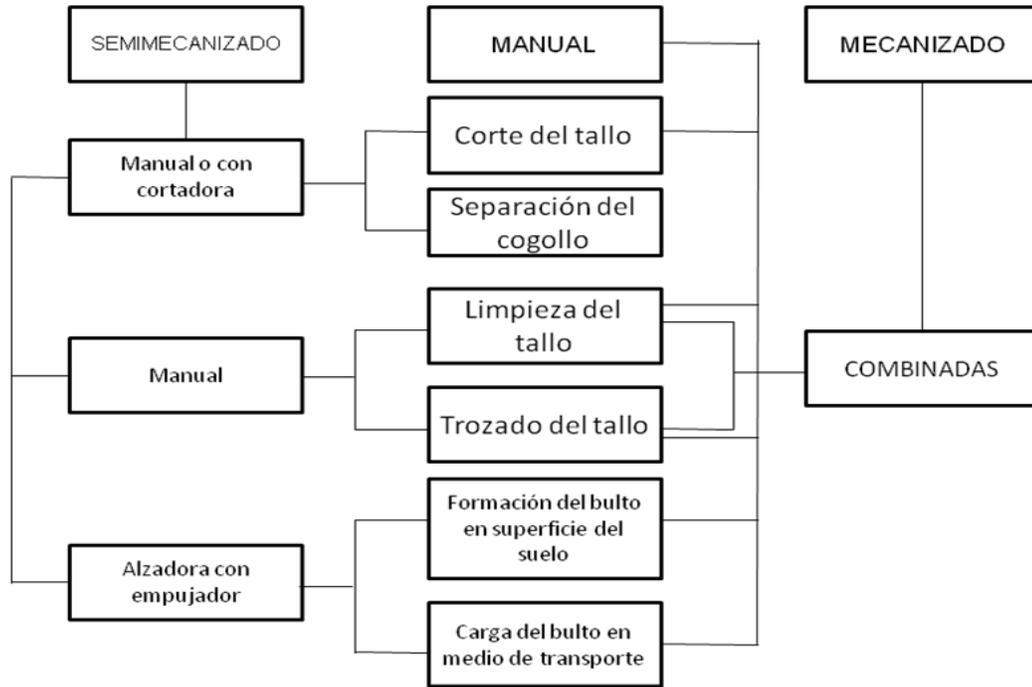


Figura 2. Métodos de recolección de caña de azúcar y sus operaciones tecnológicas. Fuente: Pulido (2006).

3.1.4. Sistemas de Cosecha de Caña de Azúcar en Guatemala

La cosecha es un conjunto de operaciones tecnológicas, las cuales constituyen la etapa final del proceso productivo del cultivo de la caña de azúcar. La misma consta de tres operaciones básicas, corte, alza y transporte. En Guatemala se pueden realizar de dos formas posibles; La cosecha manual, que es el método de recolección escogido en la mayor parte del mundo y es realizada por grupos de personas o cortadores de caña, que diariamente se les asignan áreas para dicha actividad, y el pago se calcula en función de las toneladas de caña cortadas por día, el promedio de corte toneladas por día/hombre es de 5 toneladas. Y la cosecha mecanizada, que en los últimos años se ha incrementado debido a que muchos ingenios aumentaron su capacidad de molienda diaria, por lo que es necesario contar con sistemas de cosecha que garanticen un

suministro constante de materia prima las 24 horas del día a la fábrica. Además la eficiencia de este sistema puede llegar a cosechar un promedio de 500 toneladas/ día/ cosechadora.

Meneses (2012) indica que en la zafra 2010/2011 se cosechó el 88 por ciento (16.9 millones de toneladas de caña) en forma manual y el 12 por ciento en forma mecanizada. La cosecha de caña quemada fue del 87.77 por ciento, principalmente de la caña que se cortó en forma manual.

3.1.4.1. Sistema de cosecha manual

Pulido (2006), indica que éste sistema de cosecha es aquel en donde el conjunto de operaciones de corte y alza se realizan manualmente. La operación de transporte se lleva a cabo por medio de carreta tiradas por animales, tractores con remolques o en camiones. En muchos países la cosecha todavía se realiza de forma manual, utilizando diversos tipos de instrumentos, fundamentalmente el machete o la mocha. La cosecha manual requiere de obreros con altas habilidades, ya que una cosecha inadecuada trae consigo pérdidas tanto de caña como de azúcar, dando un jugo de mala calidad y causando problemas en la planta procesadora para retirar los cuerpos extraños de la misma. En la figura 3 Se muestra un sistema de cosecha de caña de forma manual.



Figura 3. Sistema de cosecha manual. Fuente: Pulido (2006)

Meneses (2012) indica que en Guatemala, este sistema se transformó a partir de 1981, cuando se introduce el sistema de corte de caña con Machete australiano y el alce mecánico, en sustitución del sistema Maleteado (cortar la caña, trocearla, cargarla, acomodarla y amarrarla) que tenía entre 1 a 1.5 toneladas de caña/hombre día “tchd”. Con el nuevo sistema se simplificó la labor del cortador a cortar, acomodar la chorra y despuntar, la labor de carga y acomodamiento de la caña fue realizado con la alzadora mecánica.

Meneses (2012) menciona que con la implementación del sistema, ya en la zafra 1981/1982 la eficiencia del cortador fue de 2.4 tchd; en la zafra 1983/1984, de 4.2, y en la zafra 1989/1990, de 5.35 tchd.

En la zafra 2010/2011, el 86 por ciento de la caña se cosechó en forma manual, porcentaje que ha sido similar en los últimos años.

En las últimas siete zafras el promedio de rendimiento del cortador para caña quemada ha variado de 5.49 a 6.31 tchd y para la caña cosechada en verde, de 2.53 a 3.62 toneladas de hombre día.

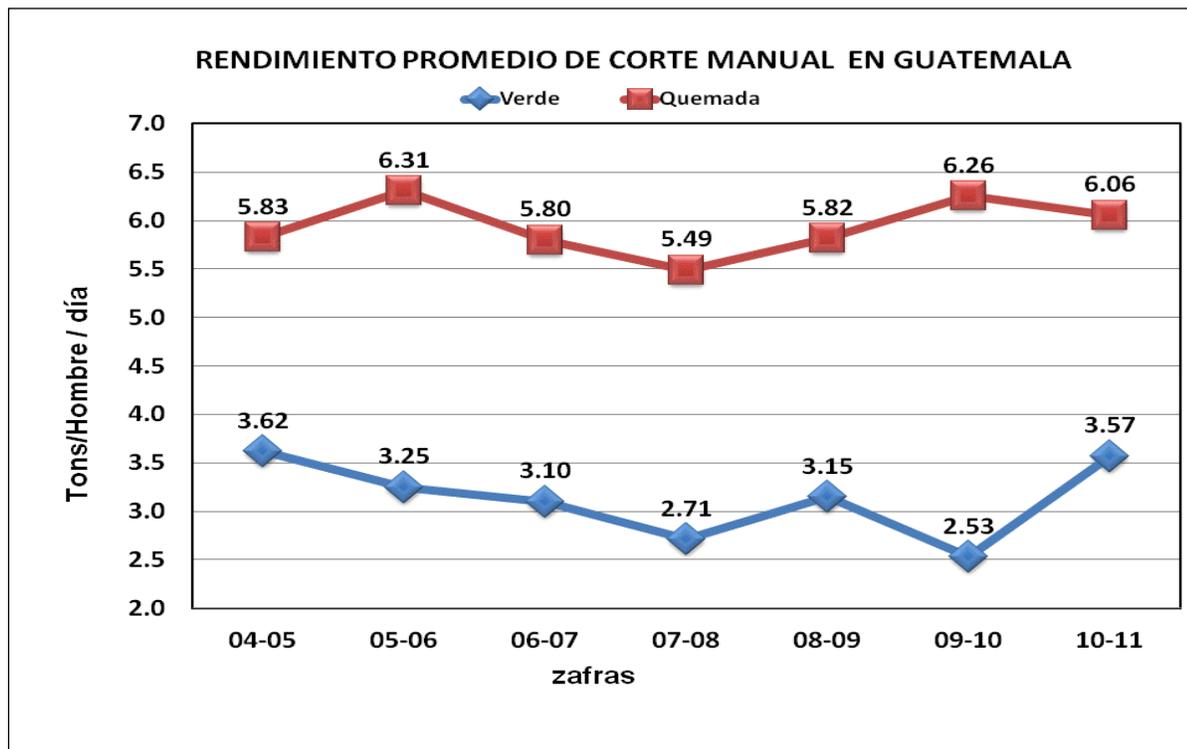


Figura 4. Rendimiento promedio de corte manual en Guatemala, Fuente: Meneses (2012)

En el corte manual se utilizan dos modalidades; Chorra continua, la cual se usó en el 85 por ciento de la caña quemada cosechada, en la zafra 2010/2011.

Según Pappa; citado por Meneses (2012), el corte manual con chorra continua presenta como ventajas, mayor eficiencia para el cortador, en tchd; mayor eficiencia en el alce, en toneladas alzadas por hora; mayor eficiencia en el transporte, y menor costo por tonelada cortada, alzada y transportada al ingenio.

La segunda modalidad es con la chorra discontinua, con la cual se cosechó el 15 por ciento de la caña quemada en la zafra 2010/2011, la chorra discontinua consiste en minichorras de 1.2 a 1.5 m de largo, separadas entre sí.

Papa, citado por Meneses (2012) menciona que la ventaja en este sistema es la reducción del trash, principalmente en su componente mineral (tierra y piedra).

En el Ingenio Santa Ana, Guatemala, éste sistema de chorra discontinua o minichorra se utiliza únicamente en lugares con alto contenido de piedras, para evitar llevarlas a la fábrica y causar daños en los molinos de la fabrica.

Es importante mencionar que el cien por ciento de la caña que se cosecha con el sistema manual en el Ingenio Santa Ana es de tipo quemada, ya que permite una mejor eficiencia en cuanto a las toneladas/hombre/día. Los cortadores que realizan dicha labor provienen de dos grupos que son:

Los de Cuadrilla que provienen del Altiplano, representando el 85 por ciento del total de la fuerza de corte, y el otro 15 por ciento son voluntarios, que provienen de las áreas cercanas al ingenio. Ambos grupos presentan diferencias en cuanto a rendimiento, ya que en las últimas 5 zafras el promedio de rendimiento de corte para el personal de cuadrilla fue de 5.33 toneladas cortas/hombre por día, y para el personal de voluntarios su rendimiento promedio fue de 4.61 toneladas cortas/hombre por día.

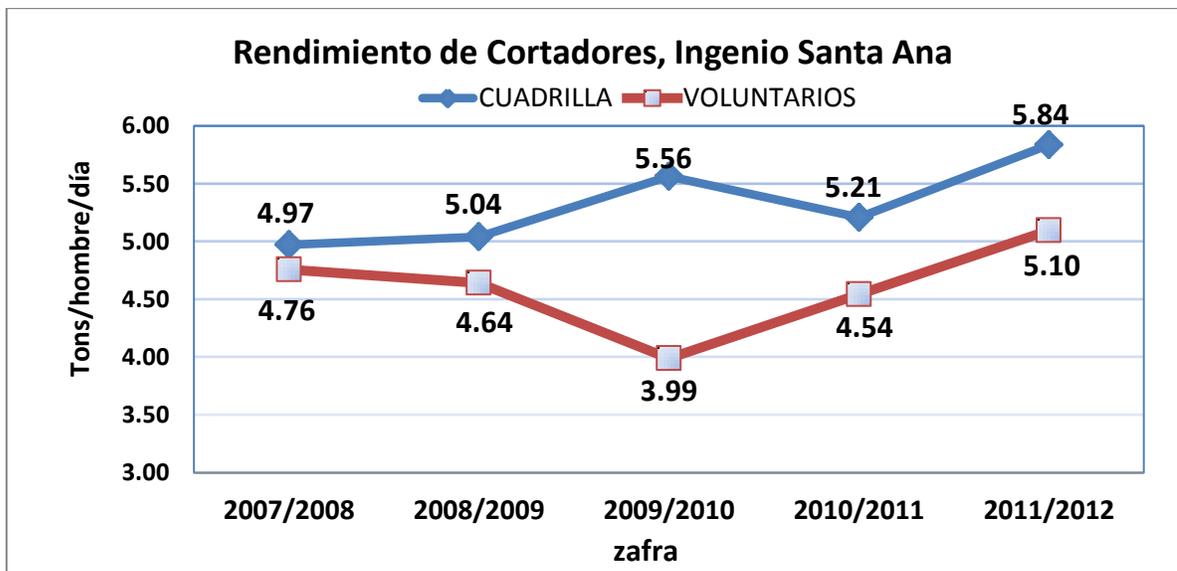


Figura 5. Rendimiento promedio por zafra Toneladas/hombre/día de cortadores de cuadrilla y voluntarios, sistema de cosecha manual, Ingenio Santa Ana, Guatemala. Fuente: El Autor

3.1.4.2. Sistema de cosecha mecanizada:

Se realiza con cosechadoras de proceso tecnológico integral (combinadas), en el cual el corte y el alce se realizan mecánicamente y en algunos casos el transporte interno dentro del campo, se lleva a cabo por medio de tractores con remolques o autovolteos, y el transporte al ingenio utilizando camiones provistos de varias jaulas modificadas para transportar caña troceada.

Pulido (2006) menciona que, este tipo de sistema de cosecha necesita de operarios capacitados técnicamente, el mismo utiliza menor cantidad de mano de obra que el otro sistema descrito, además en la actualidad se amplía su utilización ya que su aplicación aumenta los rendimientos productivos y disminuye los costos de cosecha. En la figura 6 se muestra un sistema de cosecha de caña de forma mecanizada.



Figura 6. Sistema de cosecha mecanizada, Ingenio Santa Ana. Fuente: El Autor.

En países como Australia, Brasil, EEUU, Sudáfrica, Taiwán Tailandia, Cuba, Venezuela etc., donde el cultivo de caña de azúcar se encuentran con un alto nivel de mecanización o en vías del mismo, se utilizan cosechadoras de diferentes modelos y nivel de automatización. En estos países la caña de azúcar se cultiva en grandes extensiones, pertenecientes a los propios ingenios, así como a grandes, medianos o pequeños agricultores.

La capacidad productiva de las cosechadoras varía según el modelo. La limitación en el uso de la cosecha mecanizada está dada por la presencia de campos pequeños; por terrenos irregulares y fragmentados, o por diversas formas del cultivo, variedad, cepa y edades..

Según Bolaños y Oviedo (2006) las cosechadoras mecánicas han venido a evitar las paradas o tiempo perdido por falta de materia prima en las fábricas, debido principalmente a que tienen una capacidad de cosecha de hasta 40 toneladas de caña por hora laborada. Sin embargo el ingreso de las cosechadoras ha presentado complementariamente algunas limitantes como son: acondicionamiento de lotes con surcos entre 300 y 600 metros de largo, nivelación de los mismos, equipo especial de acarreo (autovolteos) y personal calificado para la operación y mantenimiento de las máquinas.

Smith (1998) en su publicación indica que durante la zafra 78/79, en Guatemala se empezó a experimentar con cosechadoras de las marcas Claas, Toft y Massey Ferguson, en los Ingenios Santa Ana y Pantaleón, esta operación se realizó con instructores americanos y australianos. Se corto caña con ellas en las fincas Kenaf-Cerritos, Santa Matilde y en San Bonifacio. En la finca Santa Matilde quemaron la cosechadora Claas y a raíz de este problema social por desalojo de trabajo se desistió de continuar con este sistema.

En la zafra 95/96 empieza una nueva etapa de la Agroindustria Guatemalteca, los Ingenios que comenzaron el corte mecánico fueron Guadalupe, El Pilar, Pantaleón y la Unión; en la zafra 96/97 fue Madre Tierra, y en la zafra 97/98 fue Santa Ana.

Meneses (2012) describe que a nivel regional en la agroindustria azucarera de Guatemala este tipo de cosecha en la zafra 2010/2011 se realizó en 30,080 hectáreas, lo que representó un 14 por ciento de la caña cosechada. La mayoría de esta caña fué cosechada en verde (90%). y para la zafra 2011/2112 se estima un porcentaje de cosecha mecanizada de un 15 a 16 por ciento.

En la siguiente gráfica se puede observar el porcentaje del área de caña que se ha cosechado mecánicamente en las últimas 12 zafras a nivel de la Agroindustria Azucarera de Guatemala.

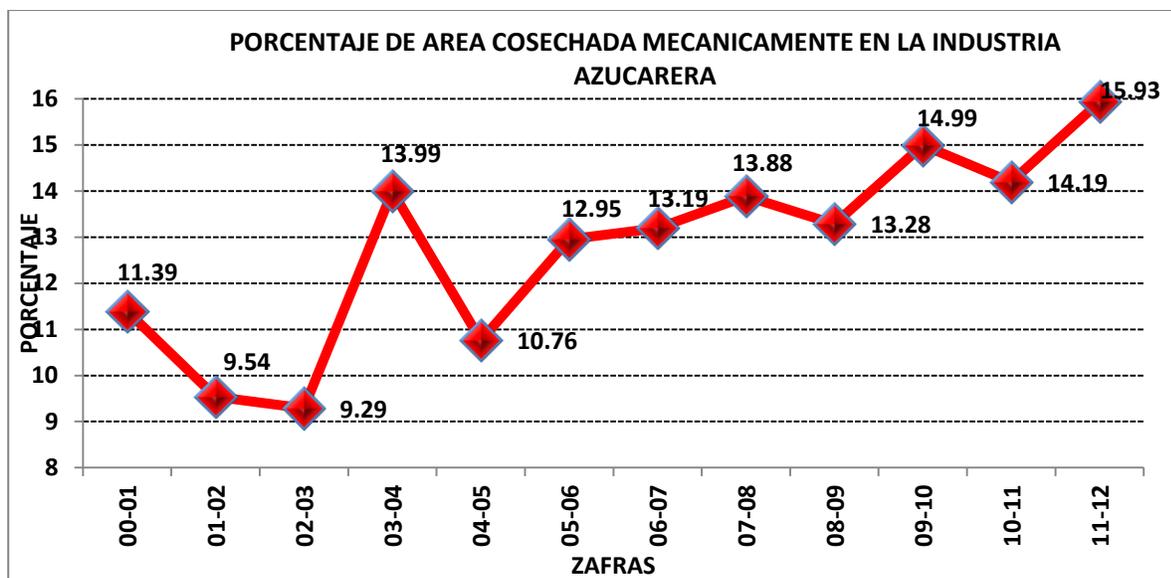


Figura 7. Área en porcentaje de cosecha mecanizada en el período 2000/2001 al 2011/2012 en la Agroindustria Azucarera de Guatemala. Fuente: Meneses (2012).

Meneses (2012) de igual forma indica en el siguiente gráfico la proporción en área destinada para cosecha mecanizada en los Ingenios de Guatemala en la zafra 2011/2012 totalizando un área equivalente a 33,260 hectáreas con este sistema de corte.

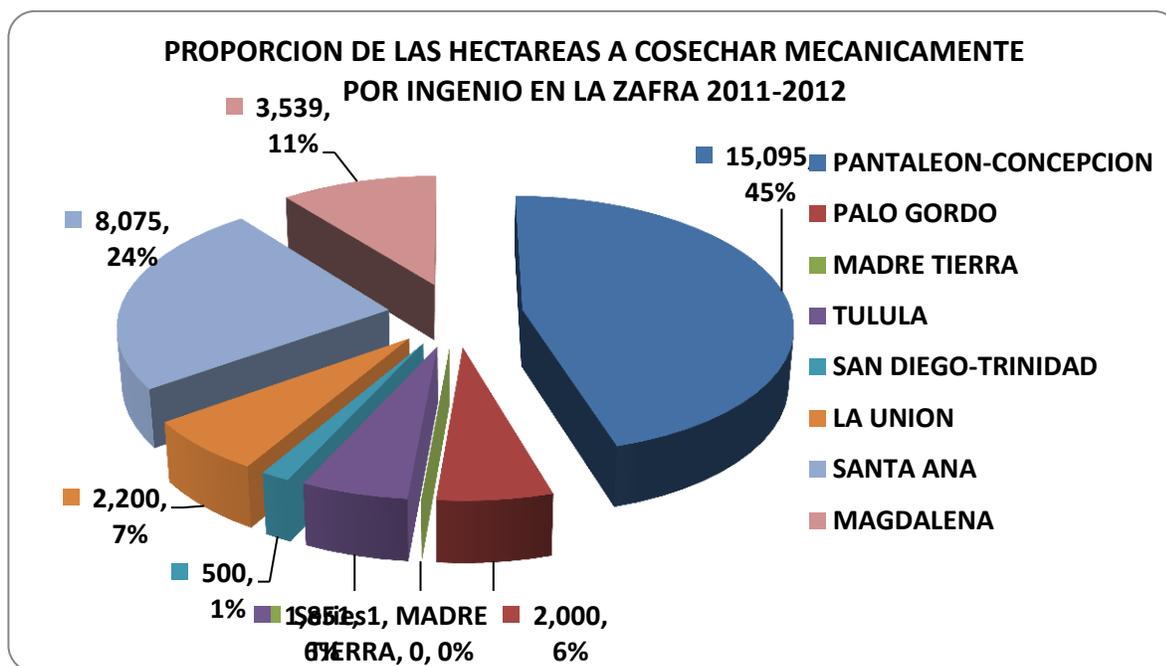


Figura 8. Distribución porcentual de área a cosechar mecánicamente por los Ingenios Azucareros de Guatemala en la zafra 2011-2012. Fuente: Meneses (2012).

Actualmente en nuestro medio los Ingenios operan con cosechadoras de llantas y también de orugas con descarga a un autovolteo con capacidades de 7 a 14 toneladas, el cual es jalado por un tractor de 100 a 160 Hp de doble transmisión y éstos descargan en un lugar escogido del área como transferencia de carga a las jaulas cañeras, éstas tienen una capacidad de carga entre 25 a 47 toneladas las mismas pueden ser enganchadas entre sí hasta formar equipos de 6 jaulas por camión para ser transportadas al Ingenio .

3.1.5. La cosecha mecanizada en el Ingenio Santa Ana

En las zafras 97/98 a 2001/2002, se desarrollaron dos programas piloto para la cosecha mecanizada. El primero se implementó con el arrendamiento del servicio de cosecha mecanizada, utilizando cosechadoras marca Vanguard en las fincas California, El Tesoro, Amazonas y Rio Plata, todas propiedad del Ingenio Santa Ana; sin embargo se tuvieron varios inconvenientes debido a que las dimensiones estructurales de las cosechadoras no se adaptaban al diseño de los campos, lo cual provocó un efecto negativo en la calidad de la operación, resultando en algunas fincas con una reducción hasta de un 30% de población de caña debido al arranque de cepas y un incremento en las pérdidas de caña dejadas en campo de aproximadamente 18 toneladas por hectárea. El segundo programa piloto se llevó a cabo con la adquisición de una cosechadora marca Austoft de fabricación Australiana, ésta máquina tubo grandes ventajas en la operación de corte de caña debido a su diseño estructural ya que se adaptó de una mejor forma en las fincas en donde se cosechó con máquina Austoft. Según los registros para la zafra 2000/2001 se logró cosechar 49,020 toneladas de caña mecanizada, con una eficiencia de 46 toneladas por hora, y se obtuvo mejores resultados en la calidad de corte, ya que el porcentaje de cepas arrancadas disminuyó a un 5% y las pérdidas en campo fueron de 6 toneladas por hectárea, muy por debajo de las pérdidas en comparación con las cosechadoras Vanguard.

En las siguientes zafras (02/03 a 03/04) la cosechadora Austoft, se utilizó esporádicamente como apoyo para cosechar áreas marginales o áreas para renovación sin tener ningún programa de corte definido.

Ya en la zafra 2004/2005 se adquirieron dos cosechadoras marca Cameco serie CH3500 y con asesoría australiana se da inicio a un nuevo proyecto de cosecha mecanizada, con el objetivo implementar y

aplicar la tecnología de punta en el proceso de cosecha mecanizada de caña de azúcar de una manera más eficiente, con buena productividad y mejor calidad en la operación de corte, se estableció el primer frente de cosecha mecanizada, para el cual se definió un programa de cosecha seleccionando fincas con condiciones topográficas planas o casi planas, ausencia de piedras y obstáculos dentro de los pantes (quineles y rumas), pantes o lotes con surcos largos y con rondas al final, calles anchas y con buen acceso, distanciamientos entre surcos mayores o iguales a 1.5 metros, aporques o lomos no mayores a 15 centímetros de altura, sin problemas de humedad y con buen drenaje, variedades con un buen promedio de producción de toneladas de caña por hectárea, entre otros.

Y como resultado, en la zafra 04/05 se cosecharon 87,981 toneladas cortas provenientes del frente mecanizado, con una eficiencia de 38.39 toneladas cortas por hora en cosechadoras, entregando a la fábrica una cuota promedio diaria de 785 toneladas de caña en toda la zafra. Representando así un 4.6% del total de la caña molida en el Ingenio Santa Ana.

Para la zafra 07/08 se creó el departamento de cosecha mecanizada con el objetivo incrementar el área para cosecha mecanizada, seleccionando y adecuando los lotes para mejorar la eficiencia de la maquinaria y garantizar la productividad de toneladas de caña por hectárea y minimizando los daños a la plantación, de tal forma que se pueda cumplir con un suministro continuo de materia prima al ingenio y con los estándares de calidad exigidos por la empresa. En esa misma zafra se incorporó el segundo frente mecanizado para entregar un total de 365,548 toneladas de caña y para la zafra 10/11 se instaló el tercer frente mecanizado llegando a cosechar en conjunto la cantidad de 703,868 toneladas de caña de corte mecanizado. Resultado de ello es que, en las últimas siete zafras, se ha alcanzado un incremento del 42% anual de toneladas cosechadas con este sistema.

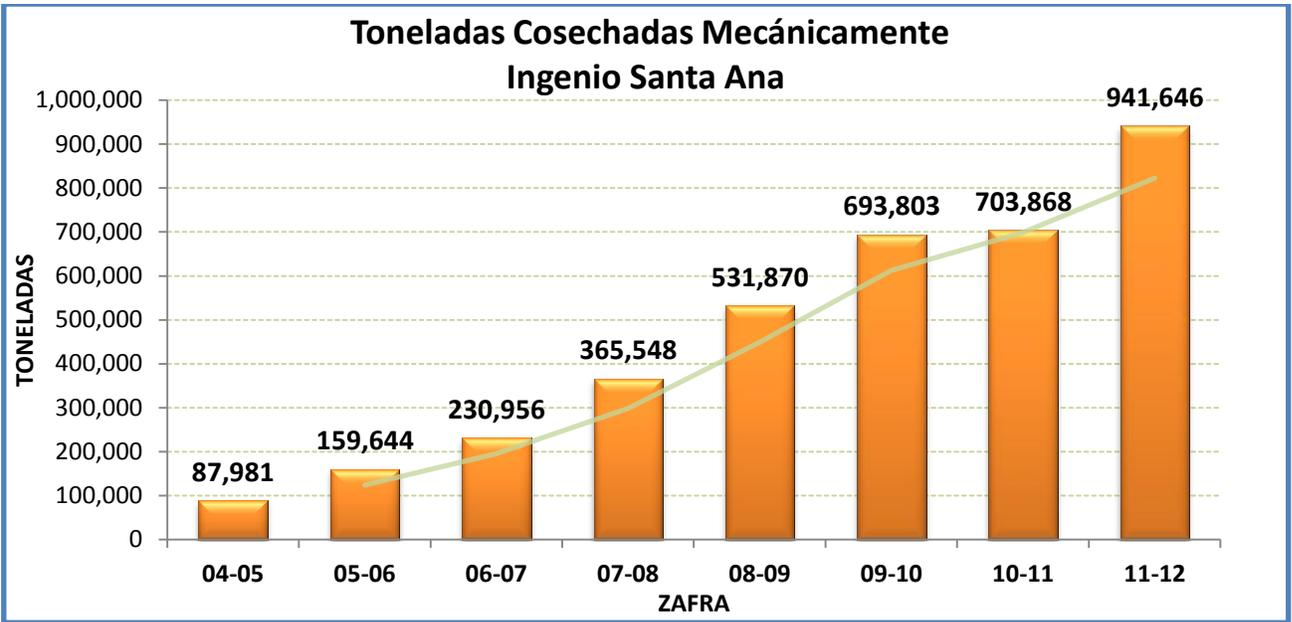


Figura 9. Histórico de toneladas cosechadas mecánicamente durante las últimas 8 zafras en el ingenio Sana Ana, Escuintla, Guatemala. Fuente: El Autor

Para la zafra 2011/2012 se cosecharon 941,646 toneladas de caña mecanizada, con una eficiencia promedio de cosechadoras de 52.4 toneladas cortas por hora, manteniendo una cuota promedio diaria de caña al ingenio de 6,319 toneladas, equivalentes al 34% de la caña molida, utilizando 3 frentes de cosecha mecanizada. Cada frente de cosecha mecanizado está diseñado para poder cosechar una cuota promedio de 2,400 toneladas de caña en 24 horas, llegando a cosechar en ocasiones hasta 3,000 toneladas por día en caña quemada, siempre y cuando las condiciones de campo, disponibilidad de maquinaria y logística de transporte sean las más adecuadas.

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento porcentual por zafra de los dos sistemas de cosecha que se utilizan en el Ingenio Santa Ana, en el cual se observa una línea de tendencia positiva para la cosecha mecanizada alcanzando un 34% en la zafra 11-12 y un descenso en los porcentajes de la cosecha manual a lo largo las últimas 8 zafras.

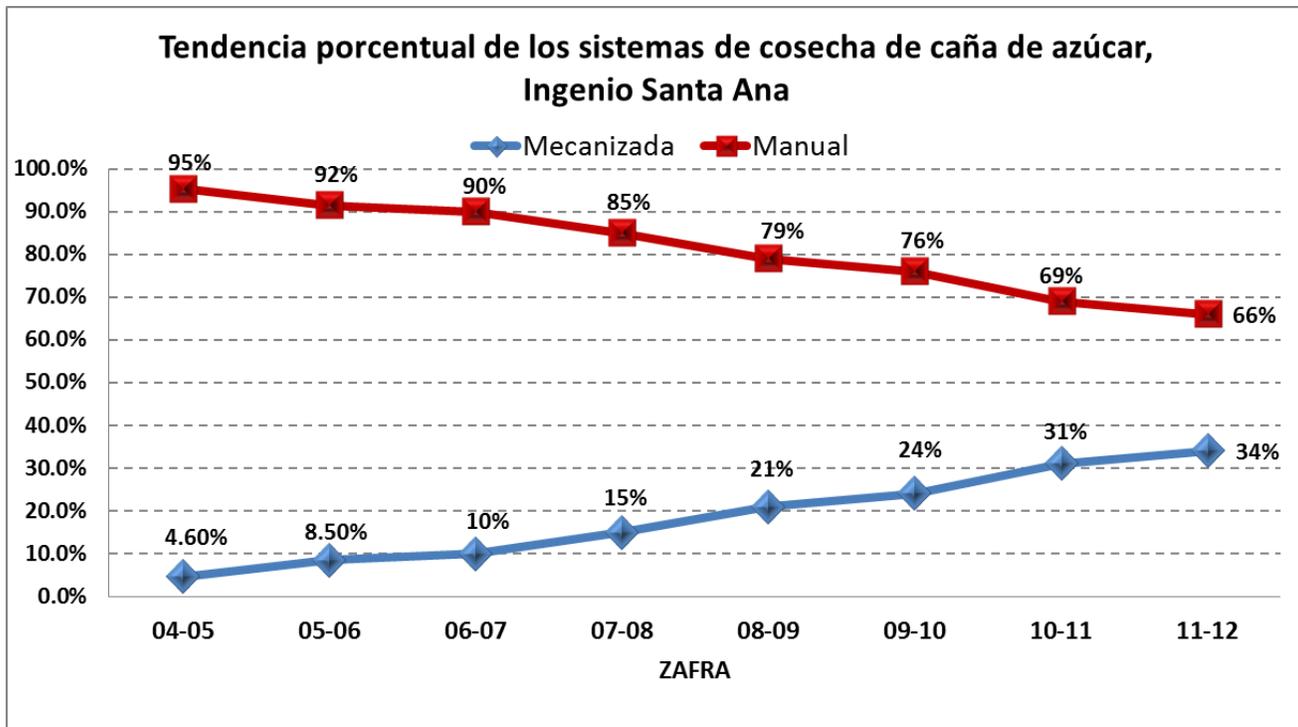


Figura 10. Tendencia porcentual del sistema de cosecha manual vrs. Mecanizado en las ultimas 8 zafras, Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala. Fuente: El Autor

Este crecimiento en cosecha mecanizada responde a una planificación estratégica integral en donde interactúan factores de selección y diseño de pantes con características propias para la correcta operación de la maquinaria con la finalidad de mejorar su eficiencia y producción, garantizando la rentabilidad y la calidad de la materia prima que es cosechada y transportada al ingenio.

También cabe resaltar que la cosecha mecanizada tiene sus implicaciones, debido a que en algunos Ingenios, se asignan áreas de caña que no han sido diseñadas, ni preparadas para este sistema de cosecha ocasionado efectos negativos en la producción como son: el deterioro de la cepa de caña, mayor incorporación de materia extraña, mayores pérdidas por caña dejada en el campo y deterioro más rápido de la caña cosechada. De tal forma es importante documentar algunos aspectos a tomar en cuenta al momento de planificar áreas para cosecha mecanizada.

3.1.5.1. Requisitos para la Operación de la Cosecha Mecanizada.

Subirós (1995) describe algunos factores necesarios para la operación de cosecha mecanizada:

- Adecuada nivelación de los terrenos
- Ausencia de obstáculos (troncos, piedras)
- Variedades idóneas, de hábito de crecimiento erecto y de buen despaje. Cuando estas se postran y enredan, las pérdidas de caña y el aumento de la materia extraña son altas.
- En algunas regiones es necesario considerar el viento porque causa considerable caída de los tallos.
- Longitudes de los surcos que permitan realizar el menor número de pases de la maquinaria y a la vez que estén acordes con las demás prácticas de cultivo.
- El ancho de surco que oscile entre 1.5 m y 1.8 m.
- El surco de caña debe tener una conformación adecuada, de tal manera que tenga una altura no mayor de 25cm, para facilitar el corte.
- Los canales de drenaje y riego deben taparse para que permitan el desplazamiento del equipo mecánico.
- Las salidas de los surcos no deben presentar cambios bruscos en el nivel.
- El ancho de las rondas debe ser entre 7 a 9 metros para facilitar el giro de las cosechadoras y el equipo de acarreo.

Díaz (2001) también menciona algunos criterios importantes a tomar en cuenta para la planificación de la cosecha mecanizada, los cuales son:

- El estimado de producción de los pantes a cosechar (toneladas de caña por hectárea).
- Cosechadoras con nueva tecnología (que permita cosechar más caña con menos porcentaje de materia extraña).
- Equipos de apoyo logístico para la operación (tractores, cisternas, vehículos, radios, repuestos, etc).

- Unidades de mantenimiento para las reparaciones mayores (motores, bombas hidrostáticas, cajas de engranajes etc.
- Disponibilidad de transporte que esté de acuerdo a las cuotas asignadas a cada grupo.
- Cosecha durante las 24 horas del día, para diluir costos fijos.

De igual forma Subiros (1995) menciona que, dentro del sistema de cosecha mecanizada existen ventajas y desventajas en la operación, las cuales se describen a continuación:

3.1.5.1.1. Ventajas de la Cosecha Mecánica

- Las cosechadoras mecánicas cubren un área considerable por unidad de tiempo. La eficiencia depende del tipo de equipo, pero esta puede ser aproximadamente de 40 toneladas por hora e inclusive mucho más.
- Mecánicamente, puede cosecharse en verde o en caña quemada. Ciertamente los lotes que son quemados mejoran el rendimiento de la cosechadora y pueden alcanzarse hasta 60 ton/h por cada cosechadora.
- Se tiene la capacidad de cosechar caña de azúcar en el campo las 24 horas del día, garantizando un suministro constante de materia prima al ingenio.
- Cuando la cosecha se realiza en crudo (sin quema) y se procesa durante un tiempo prudencial, el deterioro que sufre es mínimo. En caso de ser necesario, es aconsejable paralizar la fábrica y suspender la labor, sin afectar el resto de la sección que se está cosechando.
- La calidad del corte es buena si la plantación está acondicionada para la labor y si el equipo está bien ajustado.
- Requiere poco personal.
- Proporciona ventajas a la fabrica, ya que al entregar la caña picada ocasiona menos problemas a las cuchillas desfibradoras y al desplazamiento de la caña por los conductores.

3.1.5.1.2. Desventajas de la cosecha mecánica:

3.1.5.1.2.1. Industriales

- Hay aumento en la cantidad de materia extraña (Trash), del 10 al 15% (lo que incrementa el valor de fibra), mayor pol en bagazo y menor pol en caña.
- Hay mayor presencia de gomas en el jugo. Las gomas son polisacáridos que aumentan conforme se deteriora la caña y afectan la recuperación de la sacarosa.
- Se produce mayor desgaste y por lo tanto deterioro de la fábrica por el aumento de la fibra.
- Las pérdidas de sacarosa en la torta del filtro (cachaza) y en las mieles son mayores.
- La precipitación de las partículas en los clarificadores de la fábrica es poco eficiente.
- El bagazo presenta menor poder calórico.

3.1.5.1.2.2. Agronómicas

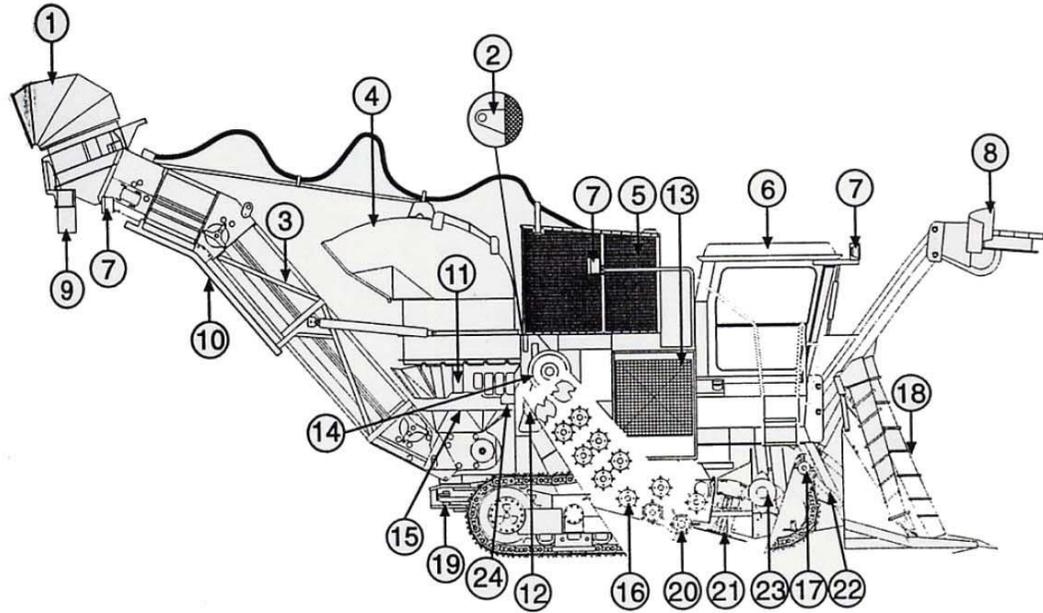
- Cuando las cuchillas o discos de la cosechadora se encuentran en mal estado o sin filo, realizan un mal corte y dejan secciones de tallos en el campo (“troncos” o “tocones”) que son los que contiene mayor sacarosa.
- Queda mayor cantidad de caña tirada en el campo por el mal corte cuando los campos no han sido previamente preparados para éste sistema de cosecha.
- Se reduce la vida útil del cañal debido a que la cepa sufre mayor deterioro por impacto de la maquinaria y compactación (distanciamientos de siembra menores a 1.50 metros entre surcos).
- Si la caña se ha quemado y picado debe ser procesada lo antes posible, no más de 24 horas; de lo contrario, las pérdidas de sacarosa pueden ser altas.
- Los costos de operación pueden ser muy altos, si no se tienen diseñados los campos para que la maquinaria se desplace de forma eficiente y evite movimientos innecesarios.

3.1.5.2. Cosechadoras mecánicas

Subiros (1995). Describe que, estos equipos realizan las funciones de corta, troceo o picado, limpieza y alce en una sola operación. De frente poseen una especie de “tornillos sin fin” (alimentadores o “caracoles”) que giran hacia el interior y se encargan de introducir los tallos dentro de la máquina. En la parte superior tienen un disco que descogolla la caña; en la sección inferior, cuchillas que cortan los tallos a ras del suelo. La caña es pasada por un conductor hacia un cortador transversal que pica los tallos en trozos de 25 y 50 cm. El conductor está construido con una lámina de metal, perforada, la cual permite eliminar tierra y otro tipo de basura que toma la cosechadora durante la operación. En la sección final del conductor se encuentran ventiladores de succión cuya función es la de eliminar parte de la basura. Una vez que los tallos han sido cortados en trozos, son pasados a un conductor elevado, también con perforaciones. Antes de la salida se encuentra otro ventilador de succión que también contribuye a extraer basura. Por último, la caña se deposita en la carreta o autovolteo. Cuando la planta está acamada (caída) el descogolle no es eficiente. Tanto la basura como los cogollos son dejados en el campo.

Es importante velar por el correcto funcionamiento del equipo y poner especial atención al filo y al estado de las cuchillas cortadoras, al disco descogollador, a las cuchillas trozadoras, como también a los ventiladores.

Bolaños y Oviedo (2006) exponen en la figura 11, un esquema detallado donde se observa cada una de las partes que componen una cosechadora combinada.



1. Extractor Secundario	13. Compartimento de Motor
2. Puntos de Levante (Orejas)	14. Volante del Trozador
3. Elevador	15. Canasta
4. Extractor Primario	16. Rodillos Alimentadores
5. Maya de Entrada de Aire	17. Rodillo tumbador
6. Cabina	18. Divisores de Cosecha (Sinfines)
7. Luces (3 Áreas)	19. Puntos de Remolque
8. Despuntador	20. Rodillo Levantador o Pateador
9. Deflector	21. Cortador de Base
10. Paragolpes	22. Argolla de Sujeción
11. Deflectores de Aire	23. Rodillo de Aletas
12. Caja del Trozador	24. Rodillo Impulsador

Figura 11. Esquema de los componentes básicos de una Cosechadora Combinada de Caña de Azúcar.

Bolaños y Oviedo (2006) comentan que, entre las cosechadoras combinadas existen varios modelos con tecnología diferente, los cuales varían en cuanto a la eficiencia de corte, el consumo de combustible y la extracción que hacen de la materia extraña.

Subiros (1995) indica también que, en esta modalidad de cosecha, es común el uso de carretas de sistema hidráulico de autovolteo. Estas se cargan en el campo y luego salen al camino para pasar la caña a

jaulas cañeras mediante dicho sistema. Lo anterior evita que las jaulas cañeras se atasquen y destrocen las cepas con las llantas, facilita el flujo del equipo y disminuye la compactación del terreno, debido a que el peso que transportan no es mucho (alrededor de 7 a 9 toneladas), particularmente cuando el suelo está húmedo.

En la Agroindustria Azucarera de Guatemala, las marcas de cosechadoras que más se utilizan en los Ingenios por sus altos rendimientos y avances tecnológicos son las CASE AUSTOFT series 7000 (llanta), A7700 (oruga), 8000 (llanta) y A8800 (oruga), y las cosechadoras John Deere series CH3500 y CH3520 (orugas). La elección del tipo de unidad motriz para desplazamiento sea de llanta o de banda oruga dependerá de las condiciones de terreno a las cuales estén expuestas, ya que áreas con demasiada ondulación, humedad o suelos arenosos las cosechadoras de llanta no son muy eficientes en el desplazamiento comparado con una cosechadora de banda, aunque los costos de reparación son más bajos con las de llanta.

Definitivamente un factor importante para que las cosechadoras de caña operen adecuadamente es el diseño de los campos ya que el campo se debe ajustar a las dimensiones estructurales de la maquina con el objetivo de lograr mayor desempeño y eficiencias garantizando no dañar las cepas de caña por pisoteo o giros inadecuados dentro del área a trabajar.

3.1.5.2.1. Eficiencia de la cosechadora de caña de azúcar

Bolaños y Oviedo (2006) mencionan que para conocer el desempeño de las cosechadoras estas deben necesariamente ser evaluadas durante el trabajo de campo, para valorar la eficiencia y el desempeño en lo que respecta a toneladas de caña cosechadas por hora, consumo de combustible gastado por tonelada de caña cosechada, velocidad de avance (km/hr), incorporación de materia extraña y pérdidas de caña dejada en el campo; de esta manera se pueden corregir o hacer los ajustes necesarios que conviertan la actividad más rentable.

También Subiros (1995) establece que las cosechadoras son equipos que se han diseñado para cosechar áreas con rendimientos cercanos a las 70 t/ha. Cuando los rendimientos son mayores a 100T/ha pueden producirse atascamientos en el equipo; la altura de operación es como máximo de 2,65 m; si es mayor se dificulta el descogolle. La eficiencia de la recolección se encuentra entre el 82% y el 92%; es capaz de cosechar entre 28 y 46 toneladas por hora. Este aspecto depende de la velocidad de avance, ya que existe una relación directa entre velocidad de cosechadora y recolección.

Subiros (1995) indica que uno de los factores que más afecta la eficiencia de la cosecha mecánica son los tiempos perdidos por la falta de un flujo constante de camiones para transporte de caña. Esta situación puede deberse a varias causas como son: la falta de equipo de acarreo de caña picada, jaulas en constante reparación debido al escaso mantenimiento de caminos y también a la inadecuada organización del sistema de transporte.

Meneses (2012), indica que en Guatemala las eficiencias obtenidas por cosechadora en la zafra 2010/2011 son de 35.36 toneladas métricas de caña/hora cosechadas y de 478 toneladas metricas de caña cosechadas/día. En la mayoría de Ingenios, la cosecha mecanizada se usa como un apoyo cuando hay falta de cortadores para el corte manual. El porcentaje de cosecha mecanizada por Ingenio varía desde el 5 al 35 por ciento del total cosechado por zafra.

La eficiencias de las cosechadoras están en función de las condiciones de terreno a cosechar tales como condiciones de humedad en el suelo, pantes libres de rumas, piedras, dunas de arena, maleza, disponibilidad de asistencia mecánica, operadores capacitados, flujo de transporte constante para evitar tiempos muertos en la maquinaria, densidad del cañal (toneladas/hectárea), la condición de corte ya sea quemada o verde, diseño de los surcos de caña, entre otros. En el siguiente cuadro se observan las eficiencias promedio en toneladas métricas/hora de cosechadoras de caña por ingenio, cabe resaltar que la eficiencia promedio del Ingenio Santa Ana supera en un 55 por ciento al resto de ingenios de la región, pero una de las ventajas que posee éste ingenio es, el desarrollo de la cosecha mecanizada como tema prioritario y

fundamental, ya que al seleccionar un área que será cosechada mecánicamente se debe planificar y diseñar todas labores de campo en función de dicho sistema de cosecha y logística

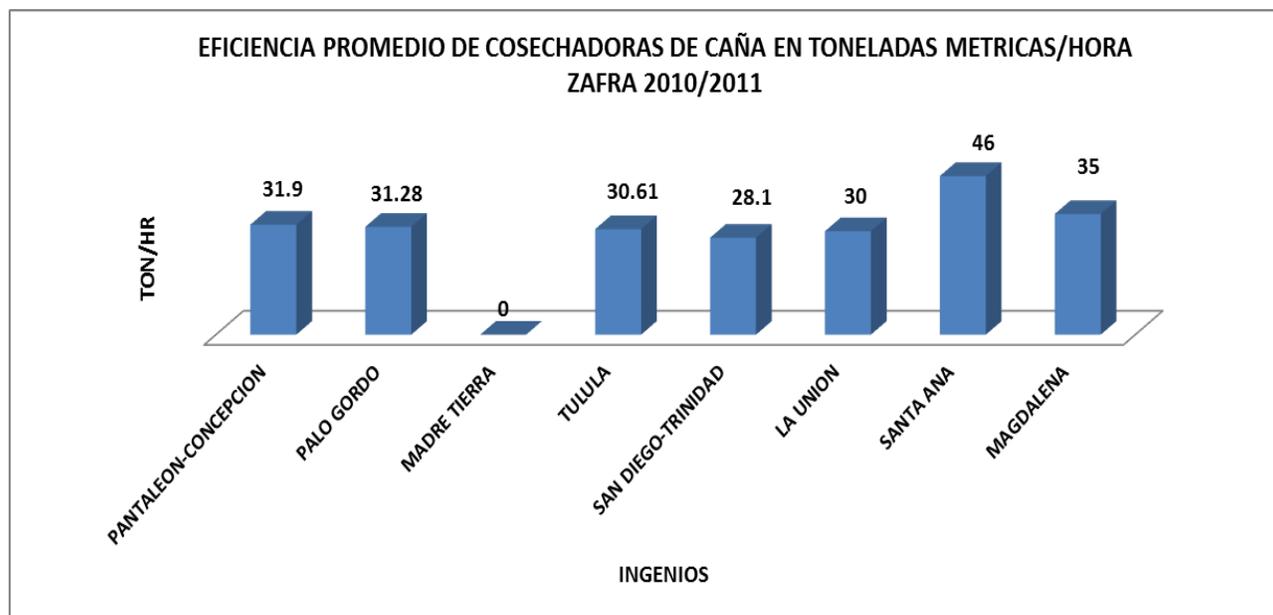


Figura 12. Comparativo de eficiencias promedio entre ingenios de Guatemala en relación a las toneladas métricas cortadas por hora en cosechadoras de caña de azúcar, zafra 2010/2011. Fuente: Meneses (2012).

En el Ingenio Santa Ana la cosecha de caña de azúcar en los sistemas de corte manual y mecanizado se realiza tipo quemado, ya que las variedades que se cultivan son de alta densidad de hojas por lo que al quemar se elimina un buen porcentaje de basura y permite hacer más eficiente el desplazamiento del cortador dentro del pante y aumenta su rendimiento en las toneladas cosechadas por día. De igual forma sucede con la cosecha mecanizada ya que permite al operador de la cosechadora tener una mejor visual de la dirección del surco que se va cosechando, disminuye el arranque de cepas entre los surcos, se puede desplazar a mayor velocidad (5 a 6 Kilometros/hora), además los molinos de la cosechadora no se atorán tan fácilmente ya que demasiada hoja y malezas provocan interrupción en el desplazamiento del corte, entre otras.

Sin embargo se debe tener bien sincronizado la cantidad de caña que se debe preparar para la quema en función de la molienda actual y proyectada que marca el ingenio, ya que si se quema de más a la cuota asignada por frente se tienen repercusiones en el retraso de las horas quema provocando la degradación del azúcar en la caña.

Subiros (1995) comenta que con alguna frecuencia se producen retrasos, tales como, la prioridad que se le debe dar a la corta manual, sobre todo la que se paga por peso para que el cortador no sea perjudicado; por paros de la fabrica (reparación), daño de las cosechadoras y otras más; esos retrasos dañan la recuperación de sacarosa. Una alternativa para evitar estos inconvenientes es la cosecha en crudo o verde, que proporciona un margen suficiente de tiempo para cosechar progresivamente una parte de la plantación sin perjuicio del resto de la caña. Otras razones para no quemar son las que se derivan de las disposiciones legales establecidas en regiones o países.

3.1.5.3. Ventajas y Desventajas de la cosecha mecanizada en verde.

Según Subirós (1995) las ventajas son:

- Proporciona un margen amplio de tiempo para cosechar un lote sin perjuicio del resto de la caña.
- Permite mayor flexibilidad para cosechar lotes particulares o áreas específicas sin afectar las circundantes.
- Se reducen las pérdidas de sacarosa y deterioro de la caña provocadas por la quema.
- Se ahorra dinero y tiempo al no hacerse las labores de quema.
- Evita la contaminación, aunque este punto es cuestionable debido a que el CO₂ que utiliza la planta al fin y al cabo lo toma del medio ambiente).
- No se eliminan los depredadores naturales que usualmente mueren en el momento de la quema (serpientes por ejemplo).
- No se afecta la actividad biológica del suelo, ni las características físicas, (aunque no se ha determinado que la quema influya de manera importante en estas variables).
- Queda una considerable cantidad de residuos los que, bien manejados, sirven como cobertura para evitar el desarrollo de malezas y la erosión del suelo, también contribuye a evitar la pérdida de humead en el suelo.
- Usualmente las variedades erectas pierden esta característica del porte cuando se queman.

- Se obtiene mejor calidad de jugo.
- Se envía constantemente caña fresca a la fábrica.

Las Desventajas descritas por Subirós (1995) son las siguientes:

- Perjudica la visibilidad del operador para colocar el equipo y cortar la caña.
- Queda una apreciable cantidad de caña en el campo, a veces más del 11% del peso.
- Requiere de operadores con mucha experiencia, con el fin de hacer un buen corte y dejar la menor cantidad de caña en el campo.
- Se produce aumento de la materia extraña. Observaciones hechas en Texas indican que la materia extraña de la caña cruda se encuentra alrededor del 12% lo que representa un 2.62 % mas que la caña quemada. Otros estudios señalan valores de materia extraña de 12.2% para la caña cruda y 7.4% para la quemada. Estos valores tienen una relación directa con las características de la variedad (porte, cantidad de follaje, despaje) y con la velocidad de la cosechadora (conforme aumenta, los valores son mayores). Bajo condiciones de alta humedad los porcentajes de materia extraña pueden aumentar aún más.
- En general hay disminución del Brix, Pol y la pureza del jugo, debido al aumento de la materia extraña.
- La eficiencia de la molienda y la extracción en la fábrica se reduce. En Sudáfrica se han observado reducciones del 15% en la molienda y 0.47 unidades menos de extracción en comparación con la caña quemada.
- Los contenidos de sólidos, suspendidos, en el jugo aumentan. En estudios realizados en Sudáfrica se determinó que el contenido de cenizas, tanto en el jugo de la caña quemada como en la cruda, son similares, pero la cantidad de sólidos suspendidos aumentó entre el 20 y el 30% en la caña no quemada.

- La cantidad de materia extraña adicional transportada en las carretas como consecuencia de no quemar, quitan espacio para el transporte de la caña, lo cual disminuye la eficiencia del acarreo. En Texas se encontró que la materia redujo la capacidad de acarreo en un 6.97% equivalentes a 0.45 toneladas de caña por cada unidad de materia extraña.
- La eficiencia de las cosechadoras es menor, ya que deben cortar lentamente. En estudios realizados en Texas, se concluyó que al manejar un volumen de 0.38% más de material en la caña cruda, se producía una reducción de la eficiencia de las cosechadoras cercana al 31%, además, el mantenimiento aumentaba proporcionalmente con el exceso de tonelaje manejado.
- Los costos de la cosecha aumentan y varían según sea el tipo de equipo y la variedad.
- Se produce mayor consumo de combustible y aumentan los costos de mantenimiento.
- Son mayores los riesgos de quema durante y después de la cosecha.
- Si bien los residuos de la cosecha en crudo son más del doble, comparados con la caña quemada, son beneficiosos en unos casos; en otros, conducen a problemas en el mantenimiento de las áreas cuando las operaciones se llevan a cabo en forma mecánica.

3.1.6. Consideraciones en la operación de cosecha que pueden influir en la disminución del rendimiento de azúcar en campo y fábrica.

3.1.6.1. Pérdida de Humedad

Subirós (1995) indica que en la caña cortada y/o quemada la permanencia en el campo por un período más allá de lo permisible (48 horas) produce reducciones apreciables en su peso por pérdida de humedad. La reducción del peso tiene mucha relación con la variedad y con las condiciones climáticas, en especial con la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento.

También Subirós (1995) describe que cuando la caña pierde agua se produce una concentración de sólidos en ella y un aumento de la fibra; sin embargo, este último aspecto interfiere negativamente en la extracción de sacarosa.

De igual forma Larrahondo (1995) indica que estudios realizados en el valle del río Cauca, Colombia, se ha encontrado que cuando la caña se quema e inmediatamente se corta, el brix (% caña) aumenta entre 10% y 16% en las primeras 48 horas, en relación con la caña que se corta sin quemar, esta diferencia se debe a la pérdida de humedad en los tallos de la primera. De la misma forma, cuando se quema y se deja “en pie”, se presenta un descenso continuo en el brix (%caña) y el pol (% caña), debido al deterioro y a la mayor dilución de los metabolitos por la absorción de agua a través del sistema radicular de la planta.

3.1.6.2. Perdidas de caña de azúcar en campo.

Un factor importante, menciona Subirós (1995) y que en muchos Ingenios no se contabiliza, son las pérdidas de caña dejadas en el campo debido a condiciones como: caminos no definidos para trasiego de caña de los lotes hacia las estaciones de transferencia provocando volcadura de los autovolteos, mal acomodo de la caña en los autovolteos y en las jaulas cañeras, equipos de transporte sobrelenos, tallos mal acomodados que no pueden levantarse con las alzadoras, surcos invertidos que provocan el acame de tallos dentro de ellos, falta de personal que levante la caña que deja la cosechadora (zanateros), caña enraizada, campos con excesiva humedad, caña con abundante maleza, entre otros.

De igual manera Subiros (1995) describe que la cantidad de caña dejada en el campo después de la cosecha es raramente menor al 2% y puede ser mayor al 10%.

3.1.6.3. Deterioro del jugo.

Larrahondo (1995) indica que los agentes microbiológicos, en especial las bacterias como *Leuconostoc mesenteroides* y *L. dextranicum*, también afectan la calidad después del corte. Estas bacterias

dan origen a polisacáridos como las dextranas utilizando la sacarosa como materia prima y contribuyen así, a la pérdida de esta última.

Subirós (1995) comenta que la infección de la caña con esta bacteria ocurre durante la quema o la corta. En el primer caso, la pérdida de la cera, las rajaduras naturales o producidas por la alta temperatura y los cortes del machete o de las cuchillas de la cosechadora, permiten el desarrollo e ingreso de pequeñas colonias de las bacterias, que en pocas horas invaden la parte interna del tallo. Los tallos con cortes contundentes y los estripados son los que sufren mayor deterioro. La incidencia es más intensa en tallos quemados y picados comparados con caña sin quemar. Durante esta etapa, también puede haber fermentación acética y alcohólica a expensas de la sacarosa y otros azúcares.

Según Larrahondo (1995) que además de las pérdidas de sacarosa a consecuencia de la formación de dextranas, estos polímeros incrementan la viscosidad de los jugos, creando problemas en los evaporadores y tachos en la fábrica.

3.1.6.4. La Quema

Subirós (1995) menciona que la caña de azúcar comienza a deteriorarse desde el momento en que se inicia la quema y, la caña sin quemar o cruda, desde que se corta. La inicio, el proceso es lento, pero después, conforme transcurre el tiempo, se incrementa de manera rápida.

El mismo autor indica que son varios los estudios que han tratado de determinar bajo que condiciones se produce el mayor deterioro. En Turrialba, Costa Rica, se ha observado que la caña que ha sido quemada y cortada se deteriora más rápidamente que la cortada pero sin quemar. Evaluaciones hechas en Australia concuerdan con los resultados encontrados en el caso anterior, observándose que el deterioro de la caña verde fue ligeramente menor que la quemada, en cuanto al contenido de sacarosa, pureza y pH, pero superior en dextranas. Por otro lado, en Guatemala, en estudios similares, encontraron que la caña verde cortada se deteriora más que la quemada cortada y está aún que la quemada sin cortar (quemada en pie); resultados similares han sido observados en Guanacaste, Costa Rica.

En otros estudios hechos en Australia, Subirós (1995) indica que se determinó que bajo condiciones climáticas secas y calientes, la caña quemada en pié sufrió las menores pérdidas por deterioro, mientras que la caña cortada sin quemar se afectó más rápidamente que la caña quemada cortada. La caña que es quemada y dejada en pie un día antes del corte, mostró una rápida reducción del porcentaje de azúcar recuperable en un grado mayor que la caña que se quema y se corta inmediatamente.

En términos generales, la caña quemada, si no se corta rápidamente, se deteriora más que la no quemada, situación que se ve favorecida cuando se producen precipitaciones, alta temperatura y alta humedad relativa.

En lo que respecta a la cosecha mecánica, la caña quemada y cortada sufre mayor deterioro si se compara con la cortada en trozos sin quemar, aunque algunos trabajos indican que en ambas es muy similar.

3.1.6.5. Tiempo entre la quema y la molida

Subirós (1995) indica que con bastante frecuencia se producen retrasos por períodos largos entre el corte y el procesamiento de la caña por múltiples razones, por ejemplo: desperfectos en el ingenio, falta de mano de obra para el corte, equipo mecánico insuficiente, exceso de materia prima y falta de planificación.

Durante las primeras horas las pérdidas de sacarosa por deterioro del jugo son despreciables. Con frecuencia se nota un aumento en el contenido de sacarosa, ocasionado por la pérdida de humedad. Sin embargo, después de la 24 horas, la situación cambia y comienzan a notarse pérdidas significativas en sacarosa recuperable.

De igual forma el mismo autor describe que estudios en Hawaïi, se ha observado que durante los primeros 5 días posteriores a la quema, se producen pérdidas del 14.7% de sacarosa y 50% a las 15 días; en Australia, entre los 3 y 5 días posteriores al corte; las pérdidas se han calculado entre 0.5 % y 3 % diarios.

Estos retrasos, además de causar pérdidas importantes de sacarosa, obligan a la fábrica a moler mayor cantidad de caña para producir una misma unidad de azúcar, cuando se procesa jugo deteriorado, la calidad del azúcar es de inferior calidad. Lo aconsejable es que el tiempo máximo entre la quema o corte y la

molienda, sea lo más corto posible, como máximo 48 horas, tiempo que posiblemente deba reducirse al final de la zafra, en el mes de abril, por las razones expuestas.

3.1.6.6. Grado de madurez de la caña de azúcar.

Según Larrahondo (1995) la caña madura se deteriora menos, en comparación con la caña que no ha madurado o la que está pasada de madurez. En este último caso, cuando la temperatura es alta, el daño puede ser mayor.

Por esta razón es importante que al momento de haber una quema mal intencionada en donde la caña afectada aún no está en su punto de madurez se recomienda darle toda la prioridad para ser cosechada debido al deterioro acelerado por pérdida de sacarosa.

3.1.6.7. Variedades y plagas

Bolaños y Oviedo (2006) indican que los programas de mejoramiento Genético a nivel internacional buscan desarrollar variedades erectas, de altura uniforme, de tallo grueso, de buen despaje y con cogollos cortos. Además, con un alto contenido de sacarosa, ya que parcialmente puede ayudar a compensar los altos niveles de materia extraña el caso particular de la caña procesada en verde.

Larrahondo (1995) también comenta que la mayoría de variedades que se cultivan en Guatemala presentan condiciones de postramiento (volcada) al momento de la cosecha, lo cual indica o sugiere una mayor dificultad para la realización de un corte limpio y eficiente, por lo que requiere de especial atención por parte de los programas de selección y manejo varietal (variedades CP 72-2086 y CG 9810). Este hecho, conlleva que se presente mayor número de rebrotes (chulquines o mamones) que afectan la calidad de caña.

Por otro lado, el mismo autor describe que la presencia (según informes) o incidencia de barrenadores o daños por ratas en muchos lotes afecta la calidad de la caña, así por ejemplo se ha podido determinar que 1% de intensidad de infestación reduce los niveles de azúcar en 4.3 kg/tonelada de caña (8.6 lb/tonelada de caña).

3.1.6.8. Tipo de Corte

Subirós (1995) comenta que independientemente del método de cosecha que se utilice, los cortes deben ser finos. Lo anterior se logra afilando bien los machetes, en el caso de la corta manual, o de las cuchillas y discos en la corta mecánica; de lo contrario, se producen cortes contundentes que destrozan los tallos y facilitan la penetración de microorganismos, acelerando así el deterioro de la misma.

3.1.6.9. Condiciones Climáticas

También Subirós (1995), describe que el clima juega un papel muy importante en la degradación de la sacarosa presente en el jugo del tallo. En Australia las mayores pérdidas se presentan en clima caliente con alta humedad relativa y son mayores durante los períodos lluviosos. Por otra parte, en estudios realizados en Guayana se ha observado que bajo condiciones secas, el jugo se mantuvo estable durante las 24 horas posteriores a la quema, no así con 3 días bajo condiciones húmedas. También se ha observado relación entre la humedad y el aumento de la acidez del jugo.

En general, condiciones de alta temperatura y humedad ocasionan mayor deterioro del jugo, el cual es mucho mayor en caña picada que entera, alrededor del 28% de pérdida de sacarosa recuperable a los 4 días posteriores al corte.

3.1.6.10. Cantidad y tipo de materia extraña

Bolaños y Oviedo (2006) indican que la materia extraña industrializable se define como desechos improductivos que vienen incorporados a la caña que se envía a la fábrica para procesarse. Ésta puede separarse en materia extraña de tipo vegetal (cogollos, hojas secas y verdes, raíces, tallos secos, restos de cepas, mamones y malezas) y materia extraña de tipo mineral (tierra, piedras, arena).

De igual manera, Bolaños y Oviedo (2006) mencionan que la materia extraña se puede definir de distintas maneras. Para el que trabaja en la fábrica es cualquier cosa menos caña moledera que se entrega, pueden ser cogollos, hojas verdes y secas, malezas y tierra que vienen conjuntamente con la caña.

Subirós (1995) describe que el tipo de material, ya sean hojas secas, hojas verdes, cogollos y mamones, tienen una relación directa con la capacidad de retención de sacarosa. El mismo autor menciona que estudios realizados en el Ingenio Taboga, en Guanacaste, indicaron que las hojas secas constituyeron el material que causaba mayores pérdidas de sacarosa, 1.5 Kg por cada 1% de materia extraña, más que cualquier otro tipo de materia extraña. Las hojas verdes y los cogollos ocasionaron una disminución cercana a 1 Kg de sacarosa por cada 1% de materia extraña, muy similar a lo observado en otros estudios. Las pérdidas causadas por los “mamones” (tallos tiernos), no fueron tan drásticas debido a que proporcionaron cierta cantidad de sacarosa.

Para Varela (1992) de los componentes del “trash”, la tierra es la fracción que más inconvenientes ocasiona, tanto por la erosión que provoca en los equipos mecánicos a su paso, como también por su incidencia en el balance energético, ya que afecta las características del bagazo residual como fuente de producción de energía.

De igual manera, para Oviedo (2002) la materia extraña implica en muchos casos un significativo incremento sobre los costos de elaboración del azúcar en la fábrica, disminuyendo con ello los Rendimientos Industriales (kg de azúcar/t); lo que provoca consecuentemente pérdidas importantes y muy significativas tanto en el producto final obtenido como en el beneficio económico percibido.

Subiros (1995) indica que cuando se realiza la cosecha de manera mecánica, en general, la incorporación de materia extraña es apreciable. Esto está muy relacionado con el tonelaje por unidad de área y con la velocidad de operación de la cosechadora. En evaluaciones realizadas en Estados Unidos, se ha podido observar que el aumento en la velocidad de cosecha de 40 Ton/hr a 80 ton/hr incrementó la cantidad de materia extraña del 25% al 50%

Bolaños y Oviedo (2006) describen que el nivel de materia extraña presente en la cosecha mecanizada está determinado por las condiciones climáticas las características y condiciones del campo y de la caña, ya que cuando la caña está erecta y no hay precipitación se minimiza la materia extraña; caso contrario sucede

cuando la caña vuelca, ya que en esta condición la materia extraña aumenta debido a que el corte del cogollo resulta difícil, lo que limita la capacidad de limpieza de la cosechadora.

Cuando se combina caña caída con condiciones de humedad, la calidad de la materia prima disminuye significativamente, ya que la extracción de materia extraña se complica, el material mojado es más difícil de limpiar y, por lo general, los niveles de basura aumentan, sobre todo los componentes hojas y tierra.

3.2. Marco Referencial

3.2.1. Características generales de la zona

El área administrada por el Ingenio Santa Ana en donde se realiza la cosecha mecanizada constituye 8,500 hectáreas de caña de azúcar, ubicadas en tres regiones de la costa sur de Guatemala las cuales son:

3.2.1.1. Región Sur Central (Frente A)

La región Sur Central se encuentra ubicada en el municipio de Masagua, al sur del departamento de Escuintla, a una distancia promedio de 87 Km. de la ciudad capital, de ambos lados Este y Oeste de la autopista al puerto quetzal CA-9, y se encuentra localizada en las coordenadas Latitud Norte $14^{\circ} 4'30''$ y Latitud Oeste $90^{\circ}46'48''$ a una altura de 30 metros sobre el nivel del mar, en la división fisiográfica del litoral pacífico con un relieve semiplano y que limita al sur con el Océano Pacífico, y está ubicada en la cuenca del Río María Linda.

Actualmente el área programada para efectuar la cosecha mecánica comprende una extensión aproximada de 2,870 hectáreas sembradas con caña de azúcar y su composición varietal está conformada mayormente por la variedad CP-88-116 con un 63.7% del área sembrada, luego está la CP-722086 con un 23.2% y otras variedades en menor escala como la CP-73-1547 equivalente a un 3.3% y la CG -9810 con 3.1% y por último se agrupa un 6.70% restante que corresponde a variedades en fase experimental.

El frente de cosecha identificado con la letra “A”, es el utilizado para realizar dicha actividad y posee una capacidad instalada de cosechar 2,400 toneladas/día, para lo cual se utilizan 4 cosechadoras y 9 tractores con su respectivo autovolteo con capacidad de 9 toneladas.

3.2.1.2 Región Sur Oeste (Frente K)

La región Sur Oeste se encuentra ubicada en el municipio de La Gomera, Escuintla, a una distancia promedio de 120 km. de la ciudad capital, dicha zona se localiza en las coordenadas $14^{\circ}05'03''$ Latitud Norte y $91^{\circ}02'55''$ Longitud Oeste a una altura de 25 metros sobre el nivel del mar, en la división fisiográfica del litoral pacífico con un relieve semiplano y que limita al sur con el Océano Pacífico, y está ubicada en la cuenca del Río María Linda.

En ésta zona se tiene dispuesta un área equivalente a 2,839 hectáreas para la operación de cosecha mecanizada y con una composición varietal compuesta mayormente por la variedad CP-88-1165 en un 54%, seguida por la CG-9810 con 23% y la CP-72-2086 con 14%, y en menor porcentaje las variedades PR-75-2002 y CG-96-135 ambas con 2%, y por último las variedades experimentales representando el 1% de la población total del área.

El equipo de cosecha que opera en esta zona se identifica como el Frente “K” y posee una capacidad instalada de operación de 2,500 toneladas/día, utilizando 4 cosechadoras de caña y 9 tractores con su respectivo autovolteo de 9 toneladas para los movimientos de acarreo de caña a la estación de transbordo.

3.2.1.3. Región Sur Este (Frente H)

La región Sur Este se encuentra en el municipio de Chiquimulilla, Santa Rosa, a una distancia de 200 km. de la ciudad capital, dicha zona se localiza en las coordenadas 14°16'42" Latitud Norte y 90°18'00" Latitud Oeste a una altura de 8 metros sobre el nivel del mar y se encuentra identificada en la división fisiográfica del litoral pacífico con un relieve semiplano que limita al sur con el Océano Pacífico, ubicada en la cuenca del Río Los Esclavos.

Ésta región cuenta con 2,791 hectáreas sembradas y preparadas para la operación de cosecha mecanizada que representa el 90% del área total administrada por el Ingenio Santa en la Región Sur Este. Dentro de las variedades cultivadas predominan la CP-881165 ocupando el 63% del área, la CP-72-2086 con el 16%, en tercer lugar se encuentra la CG-9810 con un 6%, en cuarto lugar las variedades MEX-79-431 y la RB-73-2577 ambas con 4% respectivamente, y por último las variedades experimentales con un 4% como lo son la CG-135 y la PR-75-2002.

El frente que opera en la Región Sur Este es el Frente “H” y cuenta con una capacidad instalada de cosecha de 2,100 toneladas/día, para lograr dicha producción se utilizan 4 cosechadoras de caña y 8 tractores con autovolteos de 8 y 9 toneladas que realizan movimientos de trasiego de caña a las estaciones de transferencia o transbordo.

En el siguiente mapa se observa la ubicación de los 3 frentes de cosecha mecanizada que son administrados por el Ingenio Santa Ana en el área de la Costa Sur de Guatemala.

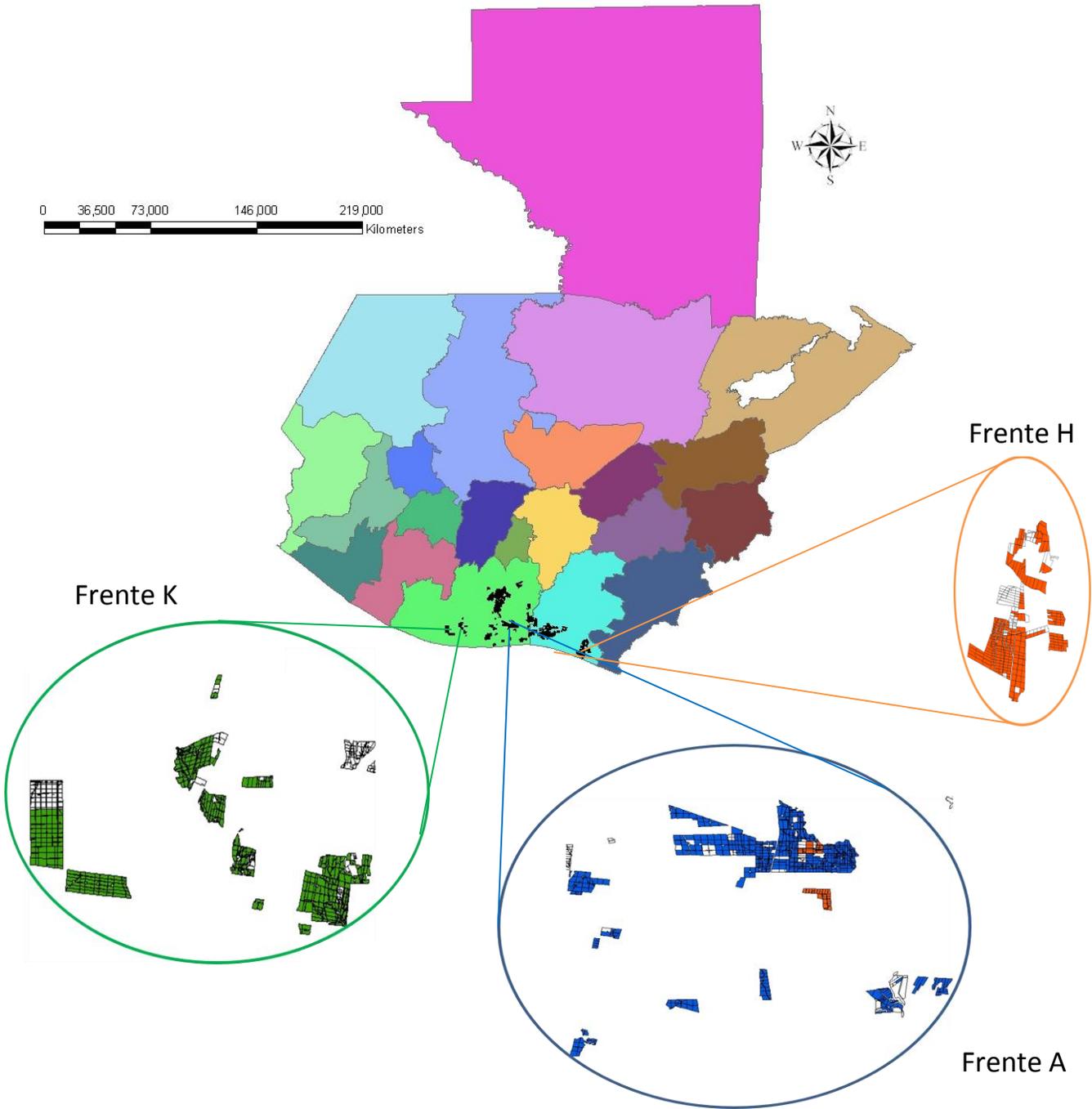


Figura 13. Mapa de ubicación de los 3 frentes de cosecha mecanizada que operan en las fincas administradas por el Ingenio Santa Ana en la Costa Sur de Guatemala. Fuente: El Autor.

4. OBJETIVOS

4.1. General

Recapitular las experiencias en el proceso de optimización de la cosecha mecanizada, en el cultivo de la caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.) en el Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala.

4.2. Específicos

- Dar a conocer la evolución de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.) en el Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala.
- Documentar los aspectos agronómicos que son necesarios para mejorar la productividad en el manejo de los campos destinados para la implementación de la cosecha mecanizada de caña de azúcar.
- Documentar los aspectos técnicos que son necesarios para optimizar el proceso de cosecha mecanizada y proponer una metodología que permita una mejor planificación y organización para garantizar una buena eficiencia en la administración de todos los recursos que involucran dicha labor.

5. METODOLOGIA

Se desarrolló una investigación que permite dar a conocer la documentación que existe en relación a la actividad de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el Ingenio Santa Ana, e interaccionar con las experiencias propias que se han generado en los últimos años (2004-2012).

5.1. Fase de Gabinete

Para dicha fase se consultaron los registros de la información generada en CENGICANÑA, en relación a los resultados de las zafras 2007-2008 hasta la zafra 2010-2012, también se consultaron las publicaciones anuales los principales ingenios azucareros del país y en especial la información que se ha generado en el Ingenio Santa Ana en el departamento de Cosecha Mecanizada y Cosecha Manual en los últimos años.

5.2. Fase de Campo

En el Ingenio Santa Ana se coordinaron entrevistas con los encargados de los departamentos técnicos agrícolas, jefes de zonas, departamento de gestión de la calidad, jefes de cosecha y logística, para compartir puntos de vista y experiencias obtenidas en las labores de preparación de campo y en las actividades propias de cosecha mecanizada. Además de contactar con proveedores de maquinaria y asesores especialistas en dicha área para obtener distintos puntos de vista y comparar con la experiencia propia en la optimización de la actividad en mención.

5.3. Fase de Interpretación de Resultados

Constituyó en analizar toda la información obtenida por los diferentes medios y agruparla de tal forma que se interpreten por medio de diagramas, cuadros y graficas que permiten visualizar las distintas variables y procesos contenidos en la operación de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en el Ingenio Santa Ana.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. Evolución de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el Ingenio Santa Ana

Los resultados que a continuación se presentan, integran una serie de metodologías que se han desarrollado y perfeccionado en los últimos 8 años, que han contribuido a la optimización de los sistemas de cosecha mecanizada en el Ingenio Santa Ana. Y se ha establecido que para mejorar su eficiencia, debe estar respaldado por un conjunto de factores, entre los que se encuentran la selección, acondicionamiento y control sistemático de las áreas cañeras, logística de operación, control de la calidad, entre otros.

Revisando la información histórica correspondiente a la evolución de la cosecha mecánica en el Ingenio Santa Ana fue posible documentar y construir una gráfica que muestra la tendencia en el crecimiento en área total cosechada por zafra para los dos sistemas de cosecha: manual y mecanizado, en el cual se observa que para la zafra 2004-2005 el proyecto de cosecha mecanizado se realizó en un área de 804 hectáreas equivalentes al 5% total del área cosechada, de igual forma para las siguientes zafras se puede observar que el incremento en área fue de un 18% anual que comprenden las zafras 2005-2006 a la zafra 2011-2012. Para esta última zafra el resultado de área cosechada con este sistema fue de 8,300 hectáreas equivalentes al 33% del total del área sembrada.

A continuación se muestra una gráfica que indica el comportamiento para las últimas 8 zafras la proporción en área que se ha cosechado con ambos sistemas y la tendencia positiva que marca la cosecha mecanizada al incremento en área por zafra constituyéndola como una labor importante para los indicadores de eficiencia y producción en el ingenio Santa Ana.

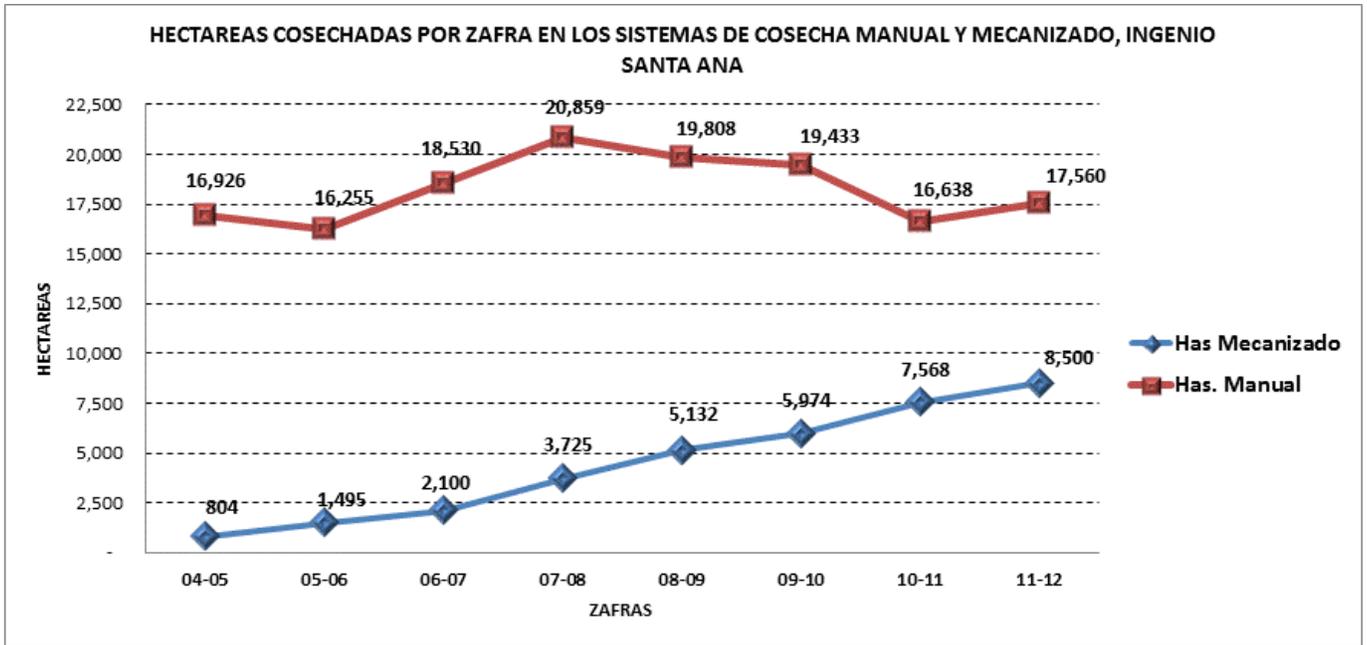


Figura 14. Hectáreas de caña en el Ingenio Santa Ana cosechadas por los dos sistemas: manual y mecanizado, en las últimas 8 zafras. Fuente: El Autor.

6.2. Selección de áreas para cosecha mecanizada

Este incremento en área de cosecha mecanizada responde a una planificación a nivel de empresa, en la cual se busca desarrollar e implementar el sistema de corte mecánico por medio de una clasificación y caracterización de todas áreas cultivadas de caña pertenecientes al Ingenio Santa Ana, para conocer el nivel o grado de mecanización que presentan los bloques y campos cañeros y permitir el aprovechamiento y optimización del sistema. Dicha clasificación de áreas se ha estructurado, planificado y desarrollado a través de los últimos 5 años en el departamento de cosecha mecanizada, resultando en la selección de tres tipos de áreas, las cuales son:

6.2.1. Áreas mecanizables. Tipo A: son aquellas que no presentan ninguna limitante a la cosecha mecanizada o estas son mínimas. Actualmente el 73 por ciento del área que se cosecha mecánicamente pertenece a éste tipo.

6.2.2. Áreas potencialmente mecanizables. Tipo B: son aquellas que presentan algunas limitaciones a la cosecha mecanizada, existiendo la posibilidad de erradicarlas y recuperarlas como áreas mecanizables de tipo A, y representan el 23 por ciento de las áreas mecanizadas.

6.2.3. Áreas no mecanizables. Tipo C: Actualmente solo ocupa un 4 por ciento del área para corte mecanizado y son aquellas que por el grado de complejidad y cantidad de obstáculos que presentan es muy costosa su recuperación e incluso en algunos casos prácticamente imposible. Cabe mencionar que éste tipo de áreas se dejaron de seleccionar para cosecha mecanizada en la zafra 2007-2008 ya que representaba demasiadas pérdidas a nivel de campo y altos costos operativos en maquinaria por la disminución de eficiencias provocado por la complejidad de los terrenos.

De igual forma, según la experiencia los elementos que se deben evaluar para una correcta clasificación de áreas para cosecha mecanizada son los siguientes:

6.2.4. Inspección de pantes para cosecha mecanizada:

6.2.4.1. Ubicación

Con respecto al área, se busca evaluar y asignar el orden en el que debe ser cosechado dentro del bloque que le corresponda, de acuerdo a direcciones del viento dominante, accesos y acomodamiento de transporte.

6.2.4.2. Topografía:

Inspeccionar las condiciones topográficas y evaluar la posibilidad si aplica para cosecha mecanizada, si presentara inclinaciones estas no deben ser mayores de 25 grados, de lo contrario se corre el riesgo de volcadura de los equipos de cosecha. Se señalizara en mapas solo los puntos que puedan ocasionar problema.

6.2.4.3. Condiciones del cañal:

Verificar el distanciamiento entre surcos para plantear posibles problemas de arranque y pisoteo de cepa en surcos. Según evaluaciones realizadas en el año 2006 en Finca Victorias, la Gomera, Escuintla, demostró que los surcos con distanciamiento igual o menor a 1.50 metros presentaron problemas de pisoteo de la caña del surco contiguo al cortado y arranque de cepas del mas del 5% debido a que el ancho de trocha de la cosechadoras (centro a centro de banda) es de 1.88 metros, esto ocasiona que una de las bandas de la cosechadora rebane el surco que esta aun en pié, lo ideal es cosechar con distanciamiento entre surcos de 1.60 a 1.70 metros.

Se debe revisar la edad de corte ya que cañales dejados provocan problemas en la cosecha como aumento de arranque de cepa y caña dejada en campo, debido a presencia de caña seca, enraizamiento, amarre entre cañas, mayores daños de ratas y alta densidad del cañal (condiciones para las que no están diseñadas las cosechadoras)

El número de corte que le corresponde es importante ya que un cañal con un primer corte el surco generalmente está hundido por lo que es necesario solicitar una labor de aporque o amontonamiento de tierra sobre el surco no mayor de 5 pulgadas, esta labor debe realizarse con una altura de cañal no mayor a 50 centímetros para evitar golpear o machucar el follaje.

6.2.4.4. Infraestructura presente:

Se debe revisar la presencia de quíneles que afecten el desarrollo de la cosecha, ya sea que acorten los surcos o que limiten los movimientos de la maquinaria. Evaluar la presencia de rondas entre el quinel y la caña para facilitar el retorno de los equipos al terminar un surco de caña y empezar el otro.

Se debe ubicar las secciones del pante que presenten construcciones, cables de tendido eléctrico o restos de estructuras que puedan causar daños a la maquinaria, esto con el fin de señalarlos o retirarlos si fuera necesario. Se deben señalar en un mapa y revisar la posibilidad de readecuarlos.

6.2.4.5. Estructura del suelo:

Se tiene que evaluar especialmente la presencia de suelos arenosos ya que no es recomendable cosecharlo de forma mecanizada, y de ser necesario se debe bajar la velocidad de desplazamiento de corte a 2 Km/hora. Únicamente si fuera un último corte se puede cosechar a velocidades más altas 3 a 6 km/hora. De igual forma es necesario graduar la altura de corte de los discos, aproximadamente a 2 centímetros del suelo para disminuir el arranque de cepa.

6.2.5. Identificación y delimitación de áreas problema.

6.2.5.1. Áreas con piedra:

Se debe identificar las áreas con piedra, priorizarlas y proceder a su inmediata sustracción debido a que es una de las causantes de mayor daño en la maquinaria provocando una baja disponibilidad de las mismas. La piedra deberá ser llevada a lugares donde no puedan volver a ser arrastradas a los pantes, para lo cual se debe de coordinar esta labor con el jefe de la región.

6.2.5.2. Áreas con problema de humedad.

Es importante que se conozcan estas áreas y cuantificarlas y evaluar si es posible cosecharlas, si fueran pequeñas estas deben programarse para el día y en momentos de baja cuota o asignarlos a corte manual.

6.2.5.3. Surcos cortos y cuchillas.

El conocer estas condiciones es importante ya que de ser necesario su corte mecanizado, debe de programarse en el día y hora adecuada. Dichas condiciones provocan merma en el rendimiento de la maquinaria en esa área. Se debe señalar en un mapa todas estas áreas contabilizarlas y plantear la posibilidad de hacerlo manual.

6.2.5.4. Obstáculos físicos para la operación.

La presencia de árboles en la orilla de quíneles o cercos dificulta o impiden el girar al final del surco a las cosechadoras, por lo que debe señalizarse en un mapa y programar un desramado previo a la cosecha.

Las orillas de las bordas donde no existe ronda se debe de señalizar en un mapa y hacer del conocimiento del jefe de región para coordinar labores como corte manual previo a la cosecha y luego decidir si se hará ronda o no.

6.2.6. Evaluación de labores agrícolas que afectan cosecha mecanizada.

6.2.6.1. Cultivo.

La falta de esta labor en plantillas especialmente provoca que la línea de corte de la cepa quede muy hundida provocando tocón alto y aumento en las toneladas de caña dejada en campo, por otro lado en cañas socas al excederse en la cantidad de tierra sobre la cepa provocara problemas de caña dejada en campo por escape debajo de la cosechadora. Lo ideal es que no le acumulen más de 12 centímetros de tierra. Lo que estuviera pendiente se debe hacer referencia en el mapa.

6.2.6.2. Aporque y Desaporque.

Esta labor afecta bastante a la cosecha mecanizada pero por ser de mucha importancia en el control fitosanitario se debe evaluar bien los lotes que se cosechan con esta condición, y se deben señalizar y programar con el jefe de región para que de ser necesario aumentar el número de personas que recogen la caña para reducir las toneladas dejadas en campo por efecto de la cosecha mecánica.

6.2.6.3. Riego y drenajes.

Es importante señalizar todos los quíneles de conducción y drenaje especialmente los pequeños que se hacen en las cabeceras y si hubiera dentro de los pantes ya que provocan perdida de caña al pasar sobre ellos y golpes a la maquina que dañan especialmente su estructura provocando quebraduras. Estos se deben

marcar o suavizar previo a la cosecha por lo que su conocimiento es necesario para programar maquinaria o personal. Ver la posibilidad de reubicar los quineles que fuera posible.

6.2.7. Determinación de logística para cosecha mecanizada.

6.2.7.1. Circuitos por finca y pante.

Se debe recorrer las calles y rondas buscando adecuar las mejores para la circulación de camiones de preferencia las más anchas, mejor conformadas y libre de obstáculos. Se debe señalar en un mapa y coordinar con el jefe de región si no le afectara sus labores durante la cosecha para buscar alternativas.

Para la incorporación de material a las calles se debe tener el cuidado de seleccionarlo o pasarlo por un tamiz antes de incorporarlo a las rutas. Cuando sea muy necesario el utilizar material grueso se debe coordinar la extracción de los sobrantes en las orillas para evitar futuros daños a maquinaria y llantas.

6.2.7.2. Estaciones de transferencia de caña.

Toda vez se tenga establecido el circuito principal de transporte de caña se deben ubicar las estaciones de transferencia, estas estaciones deben ser instaladas en lugares planos para evitar derrame de caña por diferencia de nivel cuando descargan los autovolteos a las jaulas cañeras, es importante mencionar que siempre la estación de transferencia debe estar en un radio no mayor de 800 metros al área de cosecha, ya que se ha evaluado que a mayores distancias se pierden muchas horas en movimiento de tractores provocando paros de la cosechadora debido a que no se completa el ciclo por falta de autovolteos.

6.2.7.3. Infraestructura pendiente.

Se debe revisar toda el área de los pantes por donde trabajara la cosecha mecanizada para verificar que se podrá circular eficientemente hacia la estación de transferencia, si hubiese necesidad de construir

puentes, pasos o rellenos se debe de marcar en un mapa y solicitar el trabajo a ingeniería civil para que estimen los recursos necesarios .

6.2.8. Consideraciones para el diseño de áreas nuevas o programadas para renovación que serán cosechadas mecánicamente:

Toda vez se tienen clasificadas la áreas por Tipo A o B y habiéndose aplicado la metodología anteriormente descrita, se procede a diseñar los bloques de caña con sus respectivos lotes. Las consideraciones que se aplican en el Ingenio Santa Ana para ésta actividad son las siguientes:

6.2.8.1. Diseño de los pantes: En fincas nuevas se debe considerar el estudio previo de la topografía para conocer los niveles y pendientes predominantes para poder realizar los trazos y bloques de los pantes buscando siempre diseñar pantes con longitudes de 250 a 300 metros o bien de 500 hasta 900 metros de largo pero dejando rondas intermedias cada 250 metros para que los tractores con autovolteo al momento de llenar su carga puedan virar y regresar más rápido sin tener que recorrer todo el pante para salir al extremo, esto ha contribuido considerablemente a disminuir los tiempos perdidos de la cosechadora por falta de tractores debido al desplazamiento excesivo de distancia recorrida de tractores en el campo.

Estudios realizados en el departamento de cosecha mecanizada en la zafra 09-10 demostraron que se pierde un 32 por ciento de rendimiento en las cosechadoras cuando los pantes tienen formas de cuchillas, lengüetas, triángulos y trapecios. Cuando los campos tienen estas formas se afectan los índices de explotación de las cosechadoras, puesto que aumenta el número de pases para llenar los autovolteos. A medida que los surcos de un pante son en uno de sus lados más cortos que en otro, por consiguiente el tiempo efectivo de trabajo disminuye considerablemente, provocando que aumente el tiempo de viraje de la máquina y de los tractores con autovolteo.

Una modalidad que se ha venido aplicando es que se pueden diseñar pantes cortos pero con la misma dirección de los siguientes y que permitan unirse para ahorrar virajes muy frecuentes e innecesarios de las cosechadora y los tractores en las calles intermedias de los pantes.

6.2.8.2. Orientación y conformación de los surcos: Si no existe restricción topográfica en los lotes a sembrar, se ha considerado una siembra con orientación de surcos de Norte a Sur, debido a que en las áreas donde se cosecha mecánicamente (La Gomera, Escuintla, Puerto Quetzal y Chiquimulilla, Santa Rosa) predominan los vientos de Este a Oeste y por consiguiente el postramiento o acame natural de la caña se da en esas direcciones, ya que se ha observado que al sembrar en dirección Este a Oeste el postramiento de la caña estará en el mismo sentido del surco provocando que cuando sea cosechado se eleve el porcentaje de arranque de cepa debido a que la cosechadora ingresa en los surcos alternos cortando de frente al postramiento. De igual forma es muy importante evaluar que la mesa por donde va a pasar el rodaje de las cosechadoras, tractores y autovolteos esté lo más plana posible para evitar desuniformidad en el corte y se recomienda que el surco de caña tenga una elevación no mayor a 15 centímetros del suelo ya que se ha observado en años anteriores que cuando los surcos están al mismo nivel de la mesa se incorpora mayor porcentaje de tierra al sistema de corte y los aletones de las cosechadoras son muy ineficientes para juntar la caña al rodillo levantador o pateador.

6.2.8.3. Rondas y calles intermedias: Se ha implementado dejar 5 metros de perímetro de calle en cada lote, y rondas intermedias de 4 metros entre pantes, esto con la finalidad que las cosechadoras y tractores con autovolteo puedan virar libremente al llegar a un extremo del lote o pante sin tener que machucar caño o dañar la cepas. También se ha trabajado en la nivelación de las cabeceras y rondas para que no exista diferencia de altura entre la calle y el pante ya que esto disminuye la velocidad de desplazamiento de la maquinaria cuando se están cosechando varios pantes a la vez.

6.2.8.4. Remover Rumas y restos de construcciones: Esta condición es particular en las fincas nuevas que se han arrendado en los últimos 5 años, y han representado un factor limitante para el desplazamiento de las cosechadoras y tractores dentro del campo debido a que obstruyen parcial o totalmente la secuencia de corte de un lote provocando giros excesivos y prolongados para volver a posicionarse en otro surco de caña, tiempos muertos de maquinaria debido al rodamiento en seco y traslado a otros puntos de cosecha. Por lo tanto se recomienda extraer el 100 por ciento de las rumas o restos de construcciones de los pantes a cosechar ya evaluaciones de tiempos y movimientos realizados en campo han demostrado que las pérdidas en eficiencia (toneladas/hora) de las cosechadoras de caña pueden llegar a ser hasta en un 50 por ciento menos, debido a éstos inconvenientes.

En el siguiente grafico se muestra un ejemplo del diseño ideal en los campos que se han trabajado para la cosecha mecanizada, y en donde se puede observar que la estación de trasferencia se encuentra centralizada en uno de los cuadrantes de los lotes para que el radio de acción de la operación en ese momento sea igual en todos los lotes cosechados, es importante que no se trabaje a distancias mayores a 800 metros para no perder eficiencias en los movimientos de los tractores.

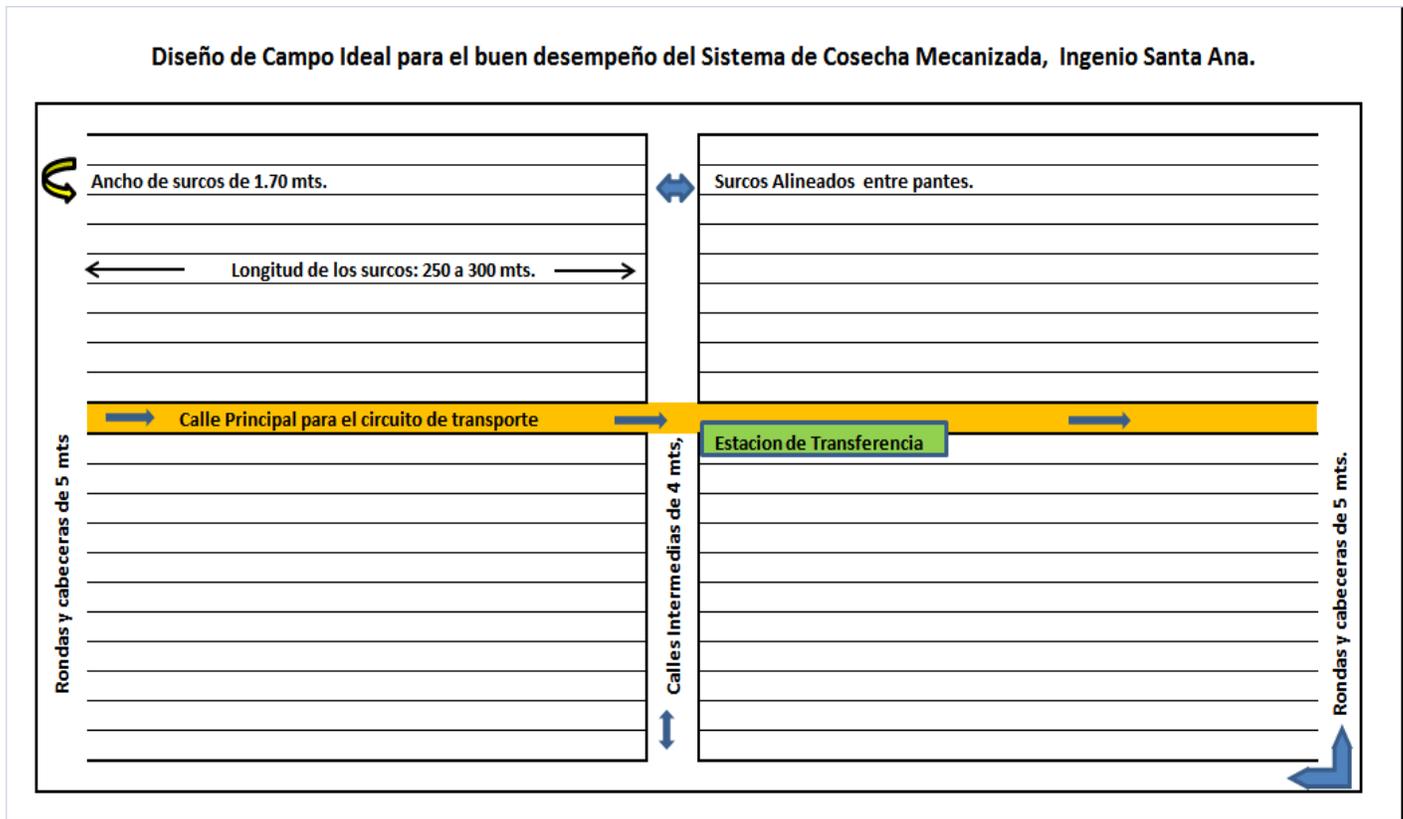


Figura 15. Esquema del Diseño ideal de Campo para la explotación del sistema de Cosecha Mecanizada desarrollado en el año 2005 en el Ingenio Santa Ana.

Los beneficios que se han obtenido con éste diseño de pantes han permitido en las últimas 5 zafras de operación, desplazamientos más rápidos y giros mejor coordinados al final de los surcos con las cosechadoras y tractores, mejorando así las eficiencias en toneladas por hora hasta en un 40% y disminuyendo el deterioro de las cepas por arranque, compactación y pisoteo provocado por el rodaje de la maquinaria.

6.3. Métodos aplicados en el Ingenio Santa Ana para optimizar la explotación del sistema de cosecha mecanizada.

6.3.1. Control de la Quema

El 100 % de la caña que se programa para cosecha en Santa Ana es de tipo quemada, sobre todo la cosechada mecánicamente. Estudios realizados en la zafra 2011-2012 por el departamento de cosecha

mecanizada demostraron que al no quemar la caña y cosecharla en verde se pierde un 42% de eficiencia en toneladas por hora cosechadora y un 26% en eficiencia de movimientos internos de tractores, además de alterar los indicadores de materia extraña e incremento de las toneladas dejadas en campo después de cosecha. De igual forma la caña se quema, cosecha, transporta y se muele en la fabrica debe cumplir con el menor rango de horas para evitar el deterioro de la materia prima. En el siguiente cuadro se muestra el comparativo en porcentaje por zafra de caña entregada antes de 36 horas entre la quema y la molida en el ingenio Santa Ana.

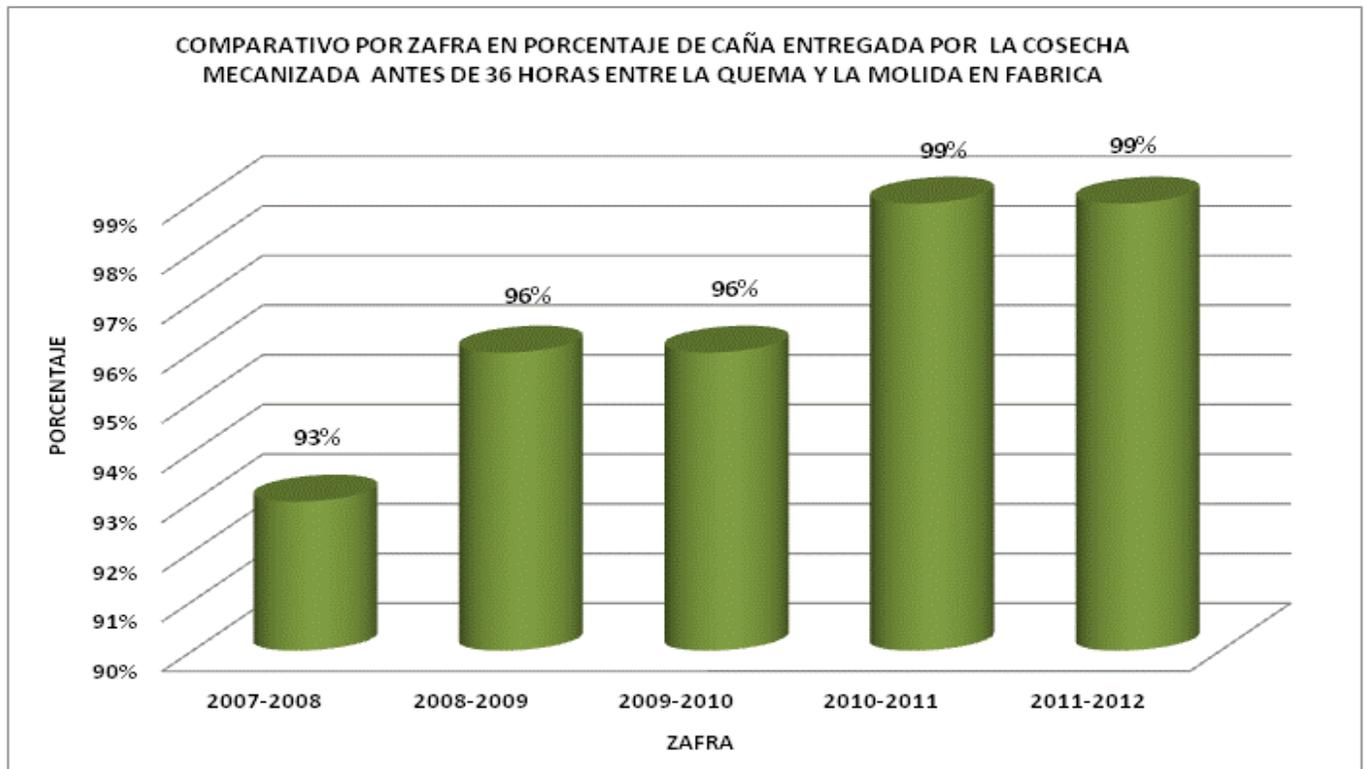


Figura 16. Comparativo en porcentaje de caña entregada al Ingenio antes de 36 horas entre la quema y la molida proveniente de la cosecha mecanizada, resultado de las últimas 5 zafras (07-08 a 11-12)

La meta fijada a nivel de empresa es del 96% de toda la caña que se cosecha mecánicamente debe ingresar al ingenio en un tiempo no mayor a 36 horas después de efectuada la quema. En la grafica anterior se observan los resultados de las ultimas 2 zafras en las cuales la caña que se programó para quema,

cosecho, transportó y se molió en la fábrica ingreso el 99% antes de 36 horas. Esto responde a una serie de eventos en la programación de las actividades diarias de la cosecha, las cuales inician todos los días a partir de las 6:00 am. en la cual se establece el total de caña a moler por la fabrica, después se distribuyen y asignan las toneladas de caña a cortar por cada frente en las 24 horas del día, este balance dependerá, primero: del porcentaje de disponibilidad mecánica para operar, segundo: condiciones del terreno, tecero: la distancia del lugar de cosecha al ingenio, y cuarto: condiciones del cañal. Luego se debe hacer un inventario por frente de la caña que se encuentra cosechada mecánicamente en el centro de acopio del ingenio, posterior a esto se debe calcular la cantidad de caña que viene en ruta de los distintos frentes y solicitar un estimado del saldo de caña que se encuentra quemada en el campo.

Al momento de obtener todos los datos del inventario de caña se debe balancear la cuota para el día (24 horas). En cosecha mecanizada se deben de realizar 2 quemas, la primera se debe hacer en la mañana, entre las 9:00 am y 11:00 am, y la segunda quema entre las 4:00 pm a 6:00 pm. En la primera quema se debe quemar únicamente el 35% de la cuota debido a que la diferencia de la primera quema con la segunda es menor que la quema de la tarde y la del siguiente día en la mañana, por consiguiente el 65% restante se de la cuota se quema en la tarde, lo importante es garantizar que al momento de realizar la activad de la quema se tenga un saldo aproximado de 200 a 300 toneladas quemadas en el campo para evitar que las cosechadoras paren por falta de caña quemada, y de igual forma es importante hacer monitoreos cada dos horas en el ingenio para evaluar el régimen de molido de la fabrica por hora y así tener una proyección de la demanda de caña por frente, ya que si existe algún problema tanto en la fabrica o en campo, se pueden hacer correcciones y re balancear las cuotas de cada frente, incrementándolas o disminuyendo la cantidad de caña a cosechar, esto con el objetivo de re programar la cantidad de caña necesaria para ajustar la cuota del día, de tal forma que no se queme más caña en el campo de la programada para conseguir disminuir la cantidad de horas quema de caña en el campo, ruta y acopio.

6.3.2. Disponibilidad mecánica

Para lograr un correcto funcionamiento y eficiencia de la maquinaria de cosecha ha sido imprescindible tener en cuenta un conjunto de factores que proporcionan un estado técnico estable que permita que los equipos estén de alta el máximo de tiempo, en ello juega un papel preponderante el personal encargado de la asistencia mecánica en los frentes de cosecha mecánica

La disponibilidad mecánica en el frente mecanizado para las 2004-2005 fue de 65%, ésta baja en disponibilidad ocasionó problemas de cumplimiento de la cuota de caña que se entrega diaria al ingenio, retraso en el programa de cosecha, mal aprovechamiento de la mano de obra debido a que se interrumpe el ciclo de la operación en el campo.

Por lo tanto a partir de la zafra 05-06 se implementó un proyecto de unidades permanentes de mecánicos a cada frente de cosecha mecanizada con el objetivo de incrementar y mantener la disponibilidad mecánica de los equipos, garantizado el cumplimiento de la cuota de caña programada diaria

Resultado de ello se ha logrado garantizar una disponibilidad mecánica arriba de un 85% en las últimas dos zafras (10-11 y 11-12) desarrollando una metodología que tiene como meta asegurar la correcta aplicación de la secuencia de mantenimiento diario de la maquinaria de cosecha mecanizada por medio de la coordinación y asignación de tareas para estandarizar las prácticas de mantenimiento de los operadores y mecánicos para evitar fallas.

A continuación se describen los diagramas del mantenimiento diario de cosechadoras y tractores, estructurado en una secuencia de pasos en el cual interactúan el mecánico, operador de cosechadora y el operador de tractor.

Diagrama de mantenimiento diario de cosechadoras de caña de azúcar.

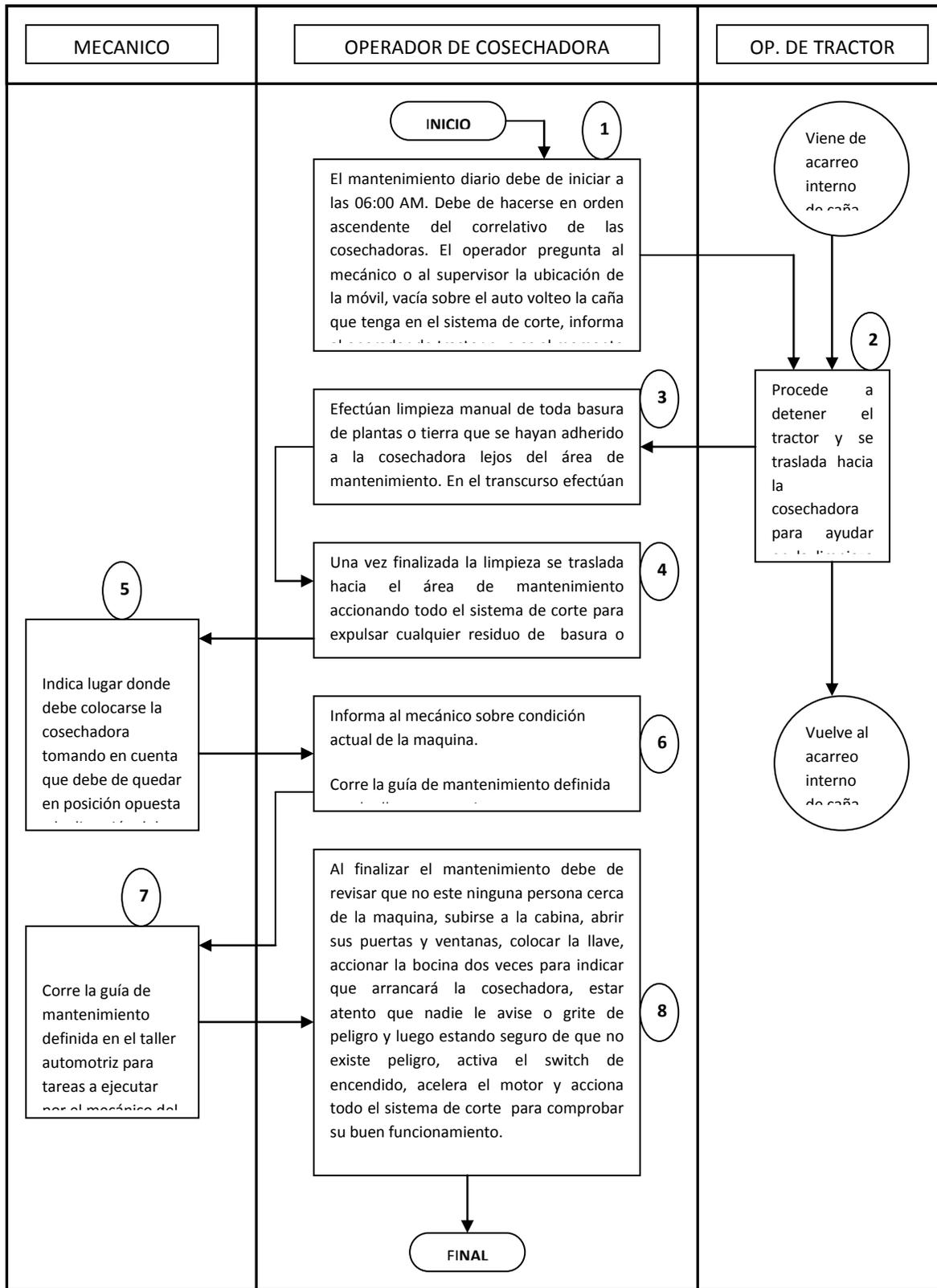


Figura 17. Diagrama de mantenimiento diario de cosechadoras de caña de azúcar. Fuente: El Autor.

Diagrama de mantenimiento diario de tractores.

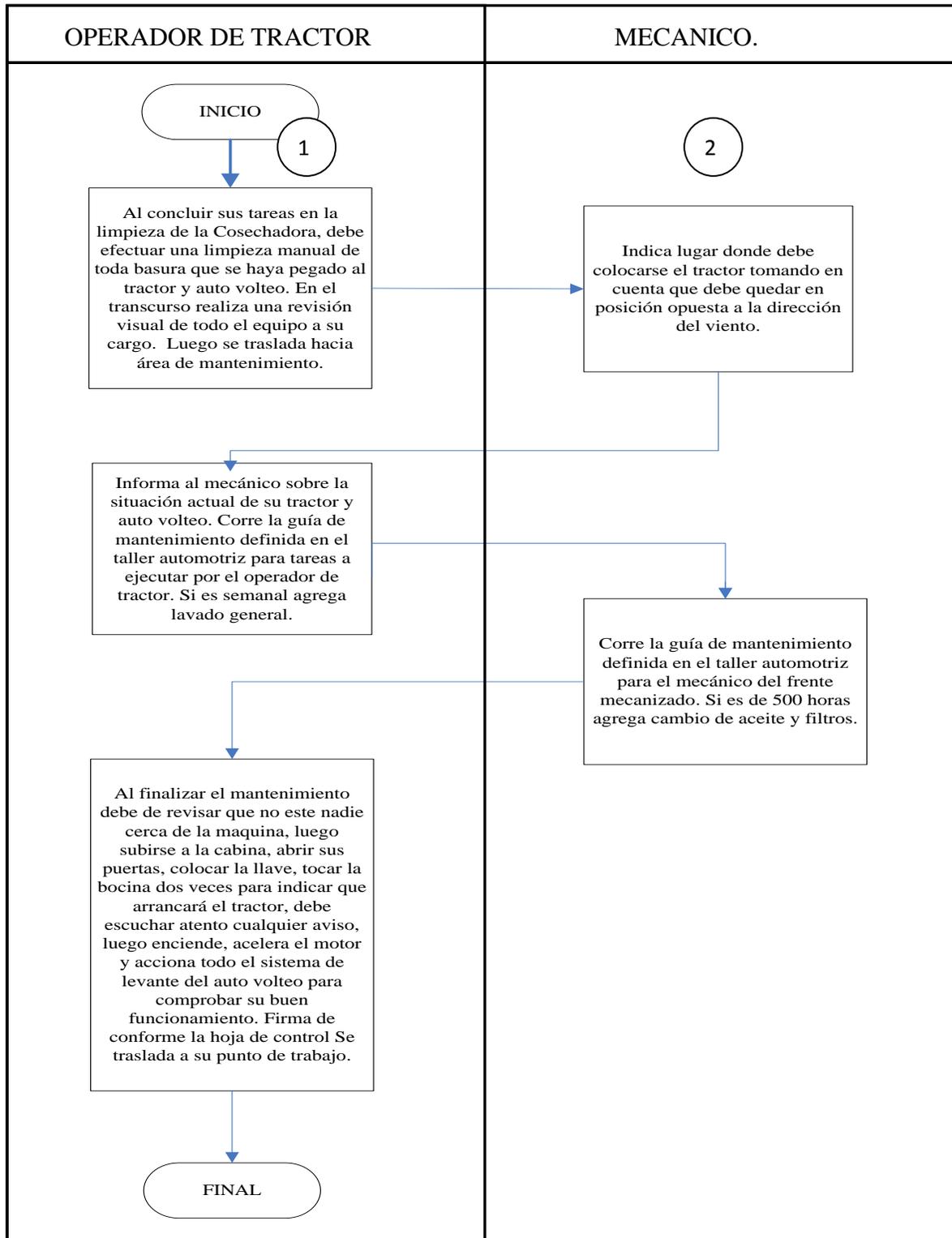


Figura 18. Diagrama de mantenimiento diario de tractores. Fuente: El Autor

6.3.3. Descripción de las prácticas realizadas en campo para la supervisión del corte de cosecha mecanizada

6.3.3.1. Antes de operación en campo

Toda vez la cosechadora salga de mantenimiento diario es importante dar una inspección visual 360° en el cual se verifica lo siguiente:

- Verificar que no existan fugas de aceite en los acoples de las mangueras hidráulicas y fugas de diesel en sistema de alimentación y retorno al depósito.
- La rotación de los discos de corte debe ser uniforme.
- Las cuchillas de corte de base deben estar en buenas condiciones (sin dobleces, buena longitud y correctamente aseguradas al disco).
- Las uñas de las zapatas en los divisores de línea deben tener buen tamaño para levantar la caña acamada.
- Es importante evaluar la correcta rotación de los divisores concéntricos y excéntricos (sinfines) ya que al momento de activarlos deben rotar sin vibraciones.
- Activar el despuntador y verificar que funcionen las dos direcciones de rotación de los tambores.
- En la cámara de molinos trazadores es importante verificar la calibración y alineación de las cuchillas por lo que es necesario activar los molinos para observar la correcta sincronización de las cuchillas, estas deben estar completamente lisas, sin golpes o ajaduras y correctamente atornilladas para evitar golpes dentro de la cámara.
- Activar la cola y observar que la cadena no se encuentre floja ya que esto puede provocar el desgaste acelerado del piso y que las paletas transportadoras atrapen segmentos de caña liberándolos fuera del área de descarga.

- Observar que los extractores primario y secundario se encuentren libres de acumulación de basura en el “as” de las aspas ya que esto genera desbalance en la rotación de los extractores provocando vibraciones que se transmiten a toda la maquina.
- Verificar el cumplimiento de las actividades de mantenimiento preventivo asignadas al operador (sopletear filtros de admisión y radiador), y limpieza de extractores, cabina, bandas y ejes de rodamiento.

6.3.3.2. En operación

- Antes de ingresar al pante es necesario identificar el postramiento natural de acame de la caña para ubicar el corte en la misma dirección al postramiento. Esto evita que la caña que está sembrada en el siguiente surco se arranque debido a que se encuentra sobre puesta a al surco que se está cortando, ya que se ha observado que los divisores de surco (sinfines) no logran separar la caña del surco contiguo al cortado.

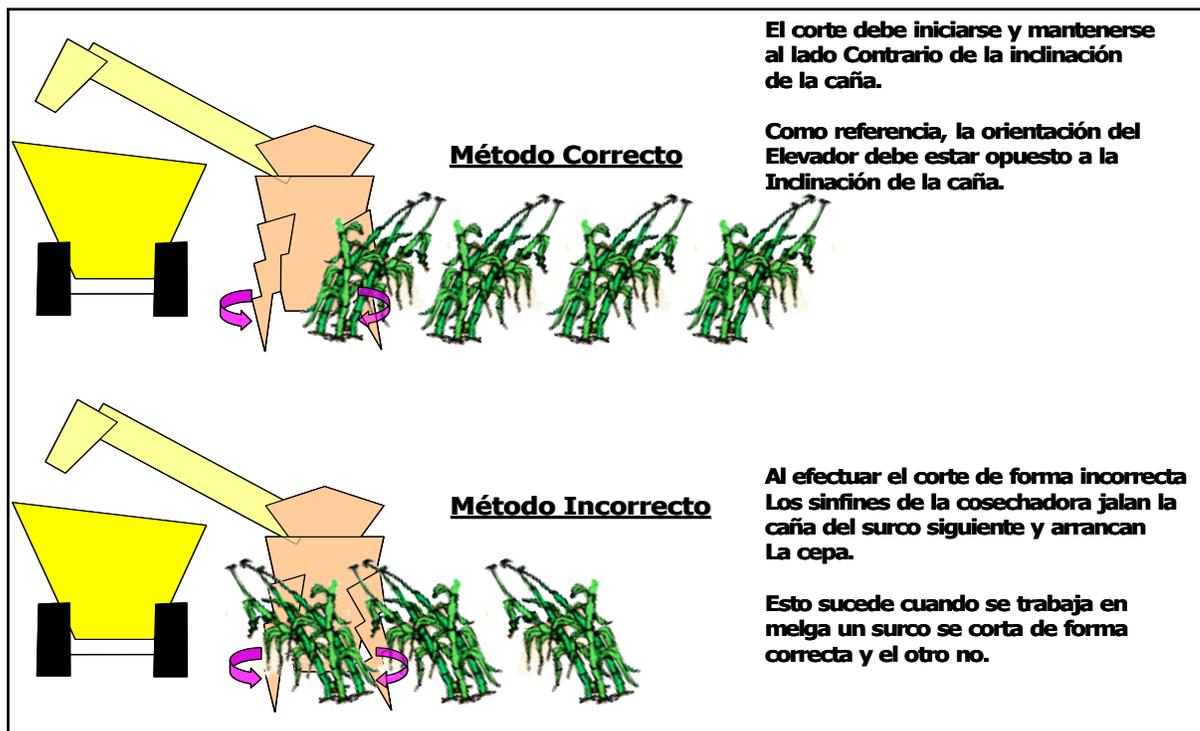


Figura 19. Forma correcta de corte por inclinación natural de la caña (postramiento). Fuente: El Autor.

- La cosechadora, al ingresar al surco de caña es importante evaluar el desplazamiento de en los primeros 10 metros para ajustar el nivel de corte de los discos de base y fijar las puntas de las zapatas a rostro del suelo para evitar dejar caña postrada debajo de la cosechadora.
- Evaluaciones realizadas en el campo han permitido concluir que la velocidad en el desplazamiento de la cosechadora estará condicionada por los siguientes factores:
 - Topografía del terreno
 - Nivel de exposición de las cepas
 - Textura del suelo
 - Postramiento de la caña debido a factores del viento
 - Densidad del follaje de caña.
 - Humedad del suelo.

Considerando estos factores, la velocidad de operación debe estar en un rango de 4 a 7 kilómetros por hora cuando su condición de corte es en quemado y un máximo de 3 kilómetros por hora con caña cosechada en verde.

- Para la calibración del extractor primario, este debe graduarse en un rango de 800 a 950 Rpm en cosecha de caña quemada, para cosecha de caña en verde se debe aumentar el rango hasta 1000 Rpm dependiendo de las condiciones del follaje de la caña. Siempre es necesario realizar una inspección física colocando los brazos a una distancia de 2 metros del extractor y verificar que el aire expulsado del extractor no contenga demasiadas partículas de agua, si fuera afirmativo es necesario disminuir las Rpm del extractor hasta observar una disminución casi total de la humedad expulsada del mismo.
- La utilización del despuntador no es necesaria cuando el pante a cosechar presenta más de un 60% de caña acamada o postrada.

- La operación de corte dentro del pante debe realizarse en una secuencia de surco continuo, y monitorear que los movimientos del tractor y cosechadora sean coordinados tanto dentro del pante como girando al finalizar cada surco. En la siguiente grafica se muestran los 5 pasos que deben seguirse para virar con la cosechadora y el tractor al momento de llegar cosechando al final del surco

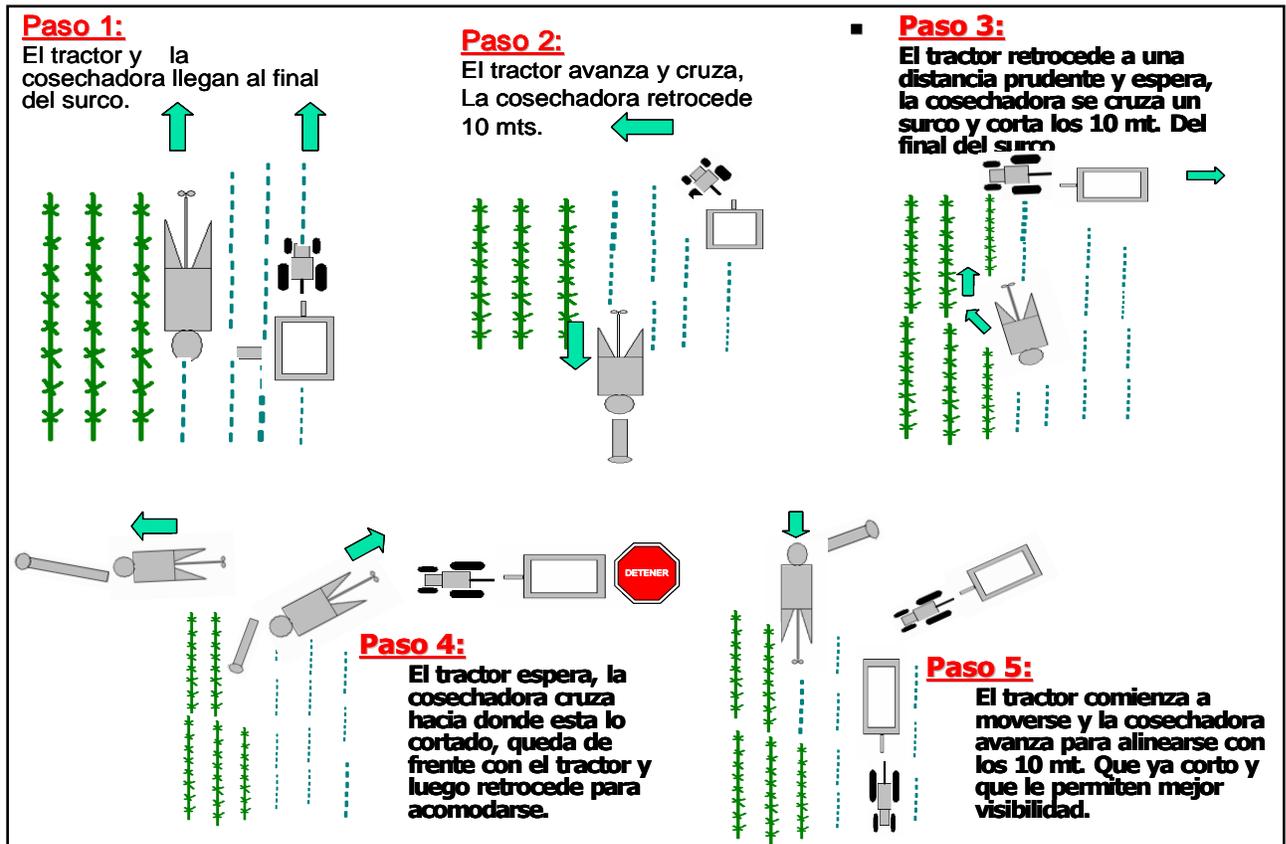


Figura 20. Esquema de la forma correcta de como girar con la maquinaria al final del surco o en rondas.
Fuente: El Autor.

- Revisar el nivel de altura de corte de la cosechadora, lo permitido es un máximo de una pulgada arriba del suelo. Si el corte es muy alto o muy bajo, se debe corregir de dos formas, la primera es verificando el indicador de nivel de altura en la cabina de la cosechadora, este se puede graduar en las palancas (joystick) de niveles verticales, y la segunda es verificando que el indicador de presión

de aceite que corresponde a los discos de corte de base se mantengan a un promedio de 1,000 PSI, esto garantizara un nivel de corte optimo siempre que los terrenos no posean demasiadas imperfecciones en la topografía .

- Se debe de distribuir el área total del pante en partes iguales para las cosechadoras ya que esto permite un corte simultaneo de la caña quemada y contribuye a que no se obstaculicen o que provoquen un accidente al acercarse demasiado la maquina, si fuese necesario el que terminen un área de caña pequeña no se debe permitir que trabajen muy cerca siempre debe existir un mínimo de 12 metros entre una y otra (4 surcos de 1.5 mt. De distanciamiento).
- Si no se cuenta con rondas al final de los surcos, se debe de hacer unos cortes transversales a la dirección de los surcos con la cosechadora con el fin de hacer espacio para girar las maquinas, a esto se le llama cabecereado del pante.
- No se debe de exponer la maquina, al hacerla cortar surcos muy cercanos a un quinel o precipicio para evitar volcadura. Lo aconsejable es dejar dos surcos sin cortar del quinel o precipicio.
- Se debe de controlar que no este quedando caña dejada en el campo, esto puede suceder por falta de coordinación entre operadores, características irregulares del campo o por el tipo de caña quebradiza o mucho acame, esto se puede corregir de dos formas, si el pante se va a renovar se calibra la altura del cortador de base para que corte a ras del suelo, si no se va a renovar es recomendable disminuir la velocidad de la cosechadora y verificar la altura de corte colocando personal para que recoja la caña quedada.
- El supervisor debe controlar los tiempos y movimientos de los tractores y cosechadoras para verificar que este el número optimo de maquina, la distancia correcta de la estación de transferencia, las rutas correctas de cargados y vacíos, así como las condiciones de las calles y pasos. Para los supervisores de alce debe ser de suma importancia ya que al no tener control de los

movimientos de la maquinaria se generan tiempos en “ralenti” que disminuyen la eficiencia en toneladas / hora de tractores y cosechadoras.

- Se ha evaluado que por cada surco de 250 metros de largo debe ser asignado un tractor con autovolteo. Para áreas con pantes de 500 metros de longitud se debe asignar 2 tractores por cosechadora y pantes con 750 a 800 metros se asignan 3 tractores por cosechadora, por lo que se debe controlar que siempre existan rondas en los pantes a cada 250 o 300 metros evitando desplazamientos a mayor distancia cuando el autovolteo se encuentre lleno.
- Para efectuar la apertura de brechas en el pante utilizando cosechadoras, se ha desarrollado una metodología de 5 fases, que trabajándolo apropiadamente reduce las pérdidas de toneladas por hectárea dejadas en campo por efecto de pisoteo y el arranque de las cepas, debido a que se busca ubicar la dirección del corte en el mismo sentido en que el tractor acamó la caña al momento de desplazarse sobre los surcos.

En el siguiente es esquema se ilustran los pasos para una correcta apertura de brechas en los pantes de caña utilizado en el ingenio Santa Ana:

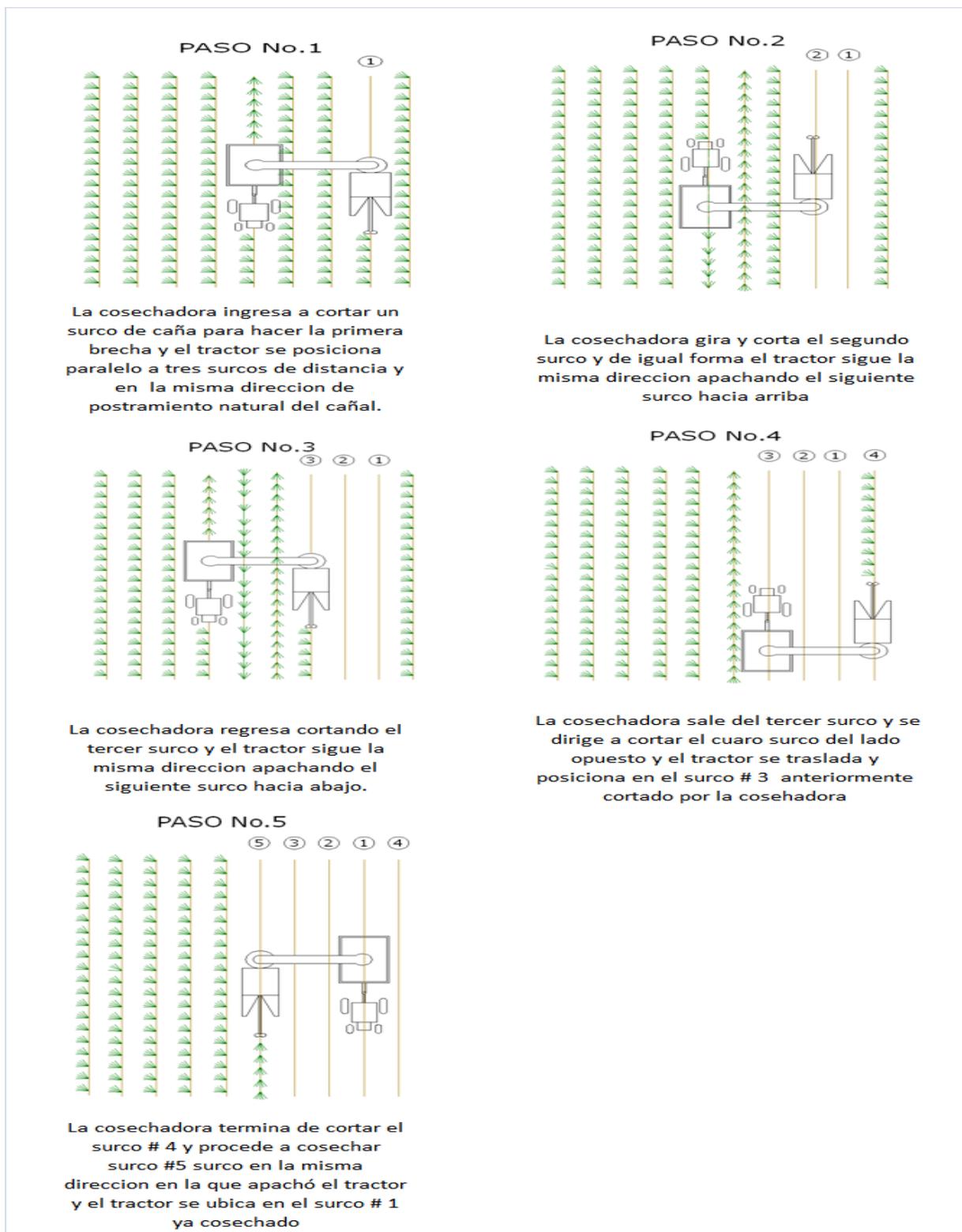


Figura 21. Forma correcta para operación de inicio de corte de brechas. Fuente: El Autor.

6.4. Resultados de las evaluaciones de calidad de Corte

Para evaluar el control de la calidad en el campo de la operación de corte mecanizado se establecieron dos indicadores de medición. El primero se contabiliza por medio de una metodología de 5 puntos de muestreo seleccionando los pantes, en el cual se evalúa la cantidad de toneladas dejadas en campo después de haberse efectuado el corte mecanizado en los pantes y luego se repite el muestreo después de realizada la actividad de recolección de la caña efectuada por personal de apoyo (zanateros), la diferencia entre el primer muestreo y el segundo será la recuperación de caña expresado en toneladas por hectárea.

Es importante mencionar que la incorporación de zanateros a la actividad de recolección de caña dejada por la cosechadora se debió a que los índices de pérdidas de campo por efecto del corte mecanizado en la zafra 06-07 registró un valor de 4.39 toneladas/hectárea, por tal razón en la zafra 07-08 se dio inicio con la incorporación de personal de apoyo, llamados “zanateros” los cuales están conformados en grupos de 8 a 10 personas por frente y son los encargados de seleccionar, cortar y agrupar toda la caña que la cosechadora no puede cortar por condiciones no apropiadas como los son: topografía irregular, postramiento severo del cañal, aporques, surcos invertidos, surcos a orillas de quinel entre otros. Cuando la caña ha sido recolectada se procede a realizar el alce mecánico apoyados por una alzadora que deposita la caña a los autovolteos y estos proceden a trasegar el producto a las jaulas mecanizadas ubicadas en las estaciones de transferencia.

Resultado del impacto en recuperación de caña dejada por el corte mecanizado para la zafra 07-08 fue de 0.74 toneladas/hectárea equivalente al 43% en recuperación, en la zafras 08-09 y 09-10 se llegó a tener un valor promedio hasta del 73%, luego en la zafra 10-11 se obtuvo un valor de 55%, y para ésta última zafra 11-12 se llegó a obtener un valor de 68% equivalentes a 13,083 toneladas por empresa recuperadas por efecto de la recolección de zanateo en corte mecanizado.

En la siguiente grafica muestra el promedio por zafra de las toneladas/hectárea dejadas en campo después del corte mecanizado y las toneladas/hectárea recuperadas por efecto de la incorporación de la labor de zanateo.

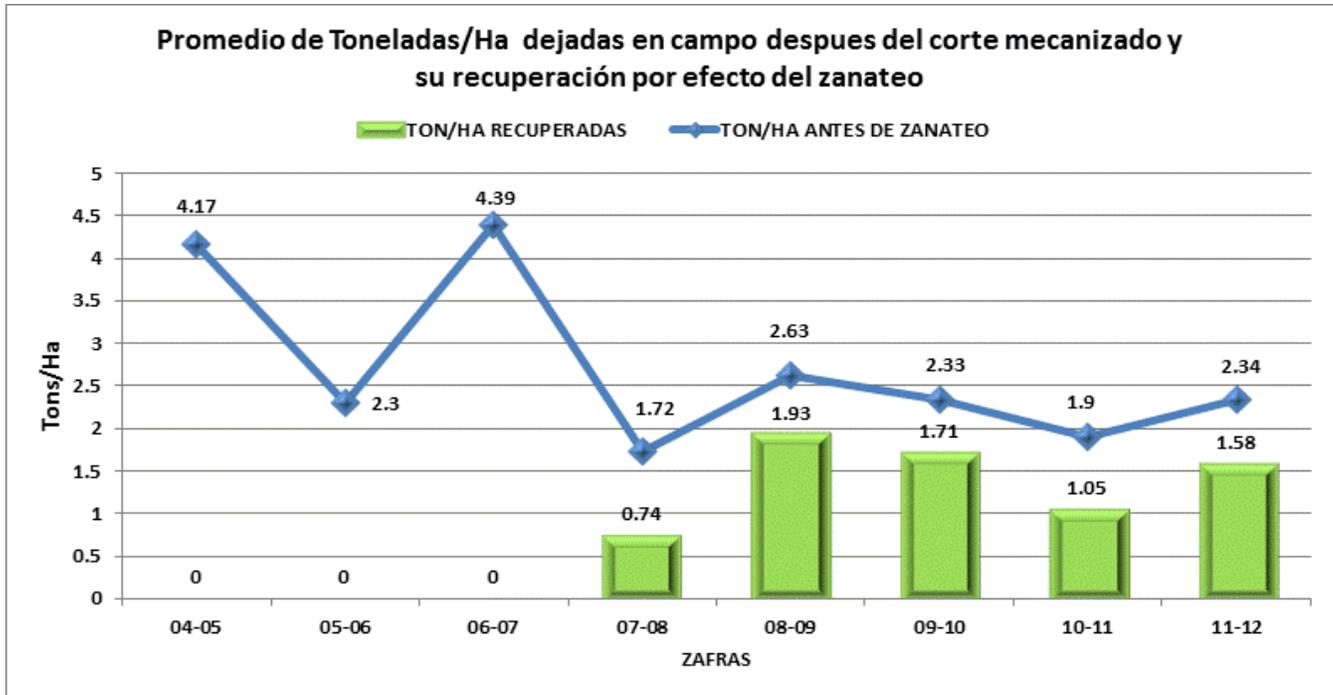


Figura 22. Comparativo de las toneladas/hectárea dejadas en campo después del corte mecanizado vs. recuperación en toneladas/hectárea por efecto del zanateo. Fuente: El Autor.

El segundo indicador de calidad de corte mecanizado es el porcentaje de arranque de cepas, el cual se mide por medio de una metodología desarrollada en un sistema aleatorio en el campo ubicando y marcando los puntos de muestreo seleccionados, como primer paso se deben medir, y realizar el conteo en número de tallos por metro y también evaluar la densidad poblacional antes que la cosechadora ingrese al pante, y el segundo paso es realizar el mismo procedimiento inmediatamente después que la cosechadora cortó los puntos de evaluación. El resultado será la diferencia de los muestreos poblacionales y densidad del antes y después del corte de la cosechadora expresados en porcentaje.

En el siguiente gráfico se observa la disminución del porcentaje de cepas en el transcurso de las últimas ocho zafras, lo cual es un resultado positivo que impacta en la producción de toneladas por hectárea, manteniendo la vida útil del cañal y reduciendo el porcentaje de trash mineral que se envía a la fábrica.

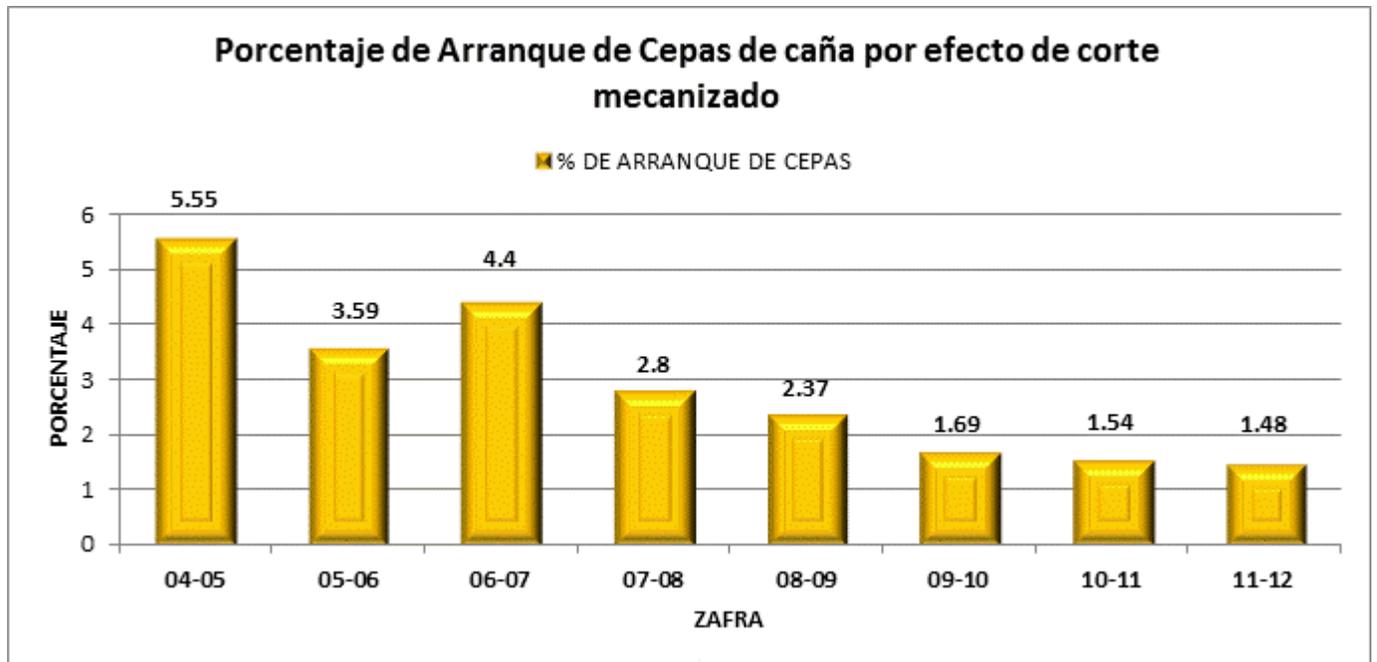


Figura 23. Comparativo de las últimas 8 zafras de la variación de porcentaje de arranque de cepas por efecto del corte mecanizado, Ingenio Santa Ana. Fuente: El Autor.

Las acciones tomadas para la reducción positiva del indicador de % de arranque de cepas son:

- Graduar la velocidad de desplazamiento de corte en función de la densidad del cañal, la cual debe disminuir a medida que la densidad aumenta.
- Verificar constantemente por el operador de cosechadora el indicador de presión de aceite de cortador de base, lo ideal es una presión de 1000 PSI.
- Siempre orientar la dirección del corte en función de la misma dirección del postramiento natural del cañal.
- En pantes arenosos se debe graduar la velocidad del corte a un desplazamiento no mayor a 3 kilómetros/hora.
- Cuando el número de cortes del cañal supera los 4 cortes y no está en programa de renovación se debe levantar la altura de los discos de corte de base a 1 pulgada del suelo.
- La frecuencia de cambio de cuchillas cortadoras de base no debe exceder las 12 horas horometro, y en pantes arenosos debe cambiarse cada 6 a 8 horas.

6.5. Resultados de la eficiencia en la operación de cosechadoras de caña

Discutido con anterioridad en éste documento, los factores que afectan el desempeño de la operación de cosecha mecanizada dependerá de la correcta selección de áreas con características óptimas de topografía, diseño, adecuación de pantes, disponibilidad mecánica y también de la correcta administración y supervisión de la operación de los equipos para maximizar sus eficiencias y rendimientos.

Pero existe un factor que es determinante para cumplir con las metas propuestas; y está compuesto por la producción en toneladas por hectárea de los pantes a cosechar con cosecha mecanizada y que puede alterar sensiblemente el costo por tonelada de la operación de maquinaria ya que estará condicionado a la eficiencia de las mismas.

El siguiente gráfico muestra que existen variaciones en la eficiencia en toneladas/hora de las cosechadoras en cierta medida por la variabilidad en el rendimiento de toneladas/hectárea promedio por zafra lo cual impacta directamente en el factor del costo de la maquinaria por tonelada de caña cosechada mecánicamente.

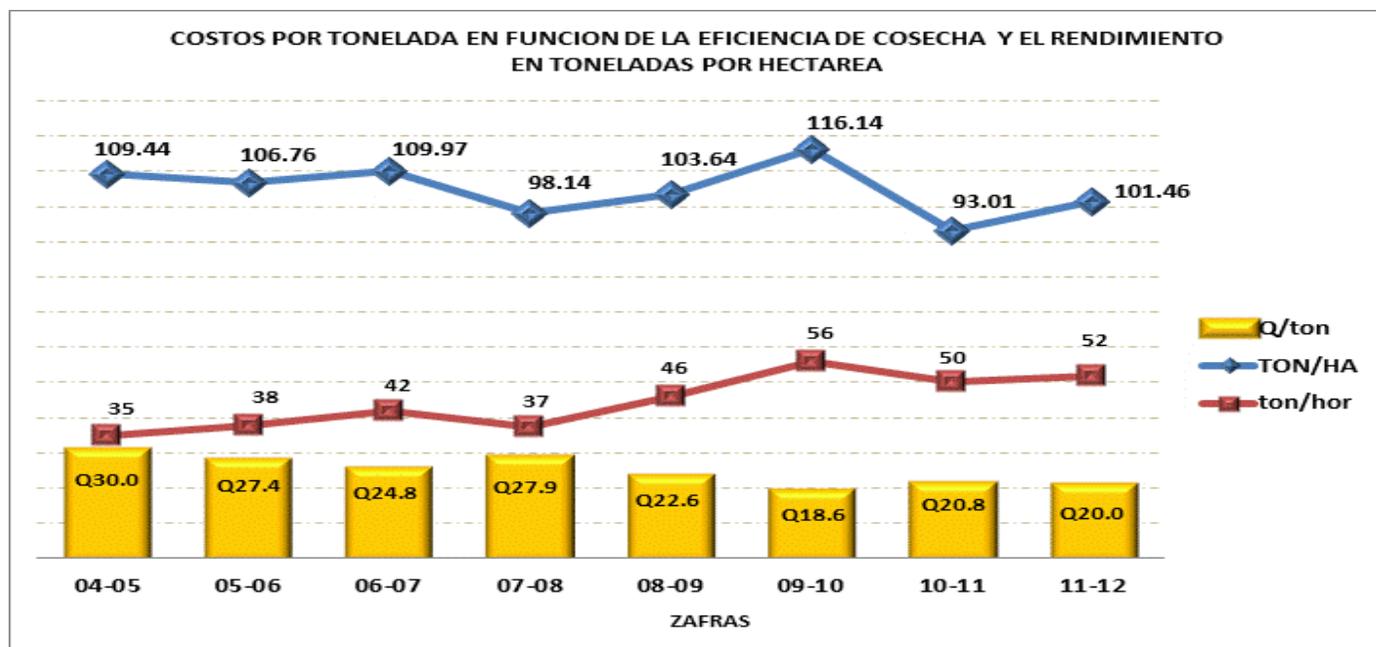


Figura 24. Resumen comparativo de la variación del costo de maquinaria por tonelada de caña cosechada en función de la eficiencia y producción en toneladas/hectárea.

**El costo/tonelada está calculado únicamente en función de los valores estimados de la maquinaria (cosechadora, tractor y autovolteo). Fuente: el Autor.*

En el gráfico anterior se observa que para la zafra 04-05 se obtuvo una producción de 109.44 toneladas de caña por hectárea promedio, pero la eficiencia de las cosechadoras fue 35 Ton/hr. Esta baja eficiencia provocó el incremento del valor del costo/tonelada en concepto de maquinaria debido a que las condiciones de operación de la cosecha no fueron las adecuadas, resultado de ello el costo fue alto. Para la zafra 05-06 la producción promedio de toneladas/hectárea disminuyó en un 3% con respecto a la zafra anterior, pero la eficiencia incrementó a 38 Tons/hr resultado de la selección de fincas tipo A y comenzar a modificar las fincas tipo B para mejorar las condiciones de operación de la maquinaria, el costo por tonelada disminuyó en un 10% con respecto a la zafra anterior. En la zafra 07-08 se observa un leve incremento del costo/tonelada debido a la caída de la producción en toneladas/hectárea, esta merma en producción afectó la eficiencia de las cosechadoras en un 14% asociado a la baja densidad del cañal. Para la zafra 08-09 se puede observar una tendencia positiva en la producción de caña y de igual forma se mejoraron las eficiencias de cosechadoras en un 25% en relación a la zafra anterior disminuyendo el costo por tonelada cosechada, y siguiendo ésta tendencia positiva para la zafra 09-10 se logró una producción de 116 toneladas/hectárea lo cual contribuyó a mejorar las eficiencias de cosechadora en 56 ton/hora, disminuyendo a 18.6 Q/tonelada. Y para las últimas dos zafras 10-11 y 11-12 se observó nuevamente la caída de producción de toneladas/hectárea, pero el impacto en el costo de la tonelada cosechada mecánicamente no fué significativo debido a que las eficiencias se han mantenido constantes resultado de una operación que se viene mejorando todos los años implementando las metodologías de selección, diseño y correcta operación descritas con anterioridad en el presente documento.

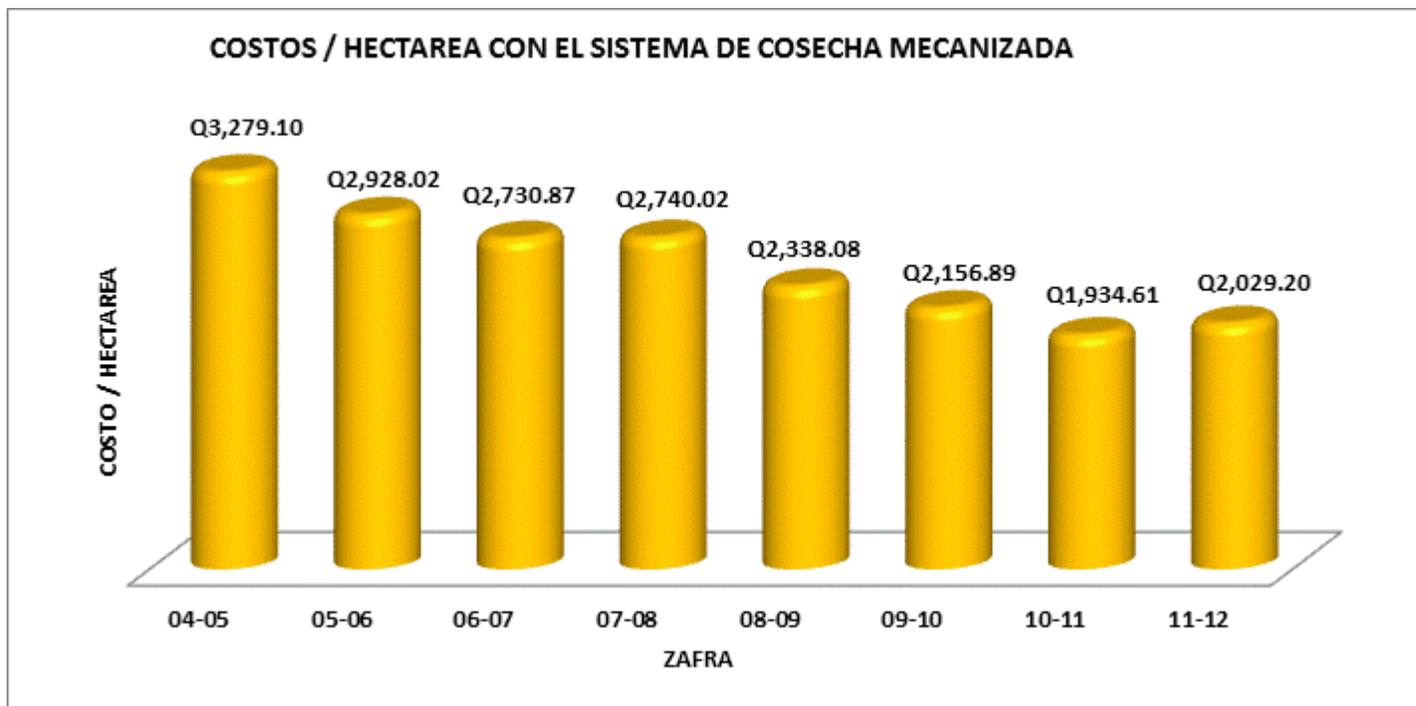


Figura 25. Resumen de los costos promedio/hectárea de las últimas 8 zafras utilizando el sistema de cosecha mecanizada. Fuente: El Autor.

**El costo/Hectárea está calculado únicamente en función de los valores estimados de maquinaria (cosechadora, tractor y autovolteo). Fuente: el Autor.*

La gráfica anterior describe la disminución en el costo de la hectárea cosechada mecánicamente con una diferencia de 62% de ahorro entre la zafra 04-05 y la zafra 11-12. Este beneficio en el costo responde a la evolución que año con año se ha desarrollado con la implementación de nuevas metodologías aplicadas al diseño y preparación de los campos que son seleccionados para la explotación del sistema de cosecha mecanizada en los cuales se ha logrado incrementar los indicadores de eficiencia de la maquinaria

Por lo tanto en la medida que se logre una buena integración de las variables anteriormente descritas se puede alcanzar una mejor rentabilidad en los costos de producción del cultivo, resultando en una ventaja competitiva ante los otros sistemas de cosecha de caña de azúcar.

6.6. Resultados de los índices de contenido de materia extraña: TRASH

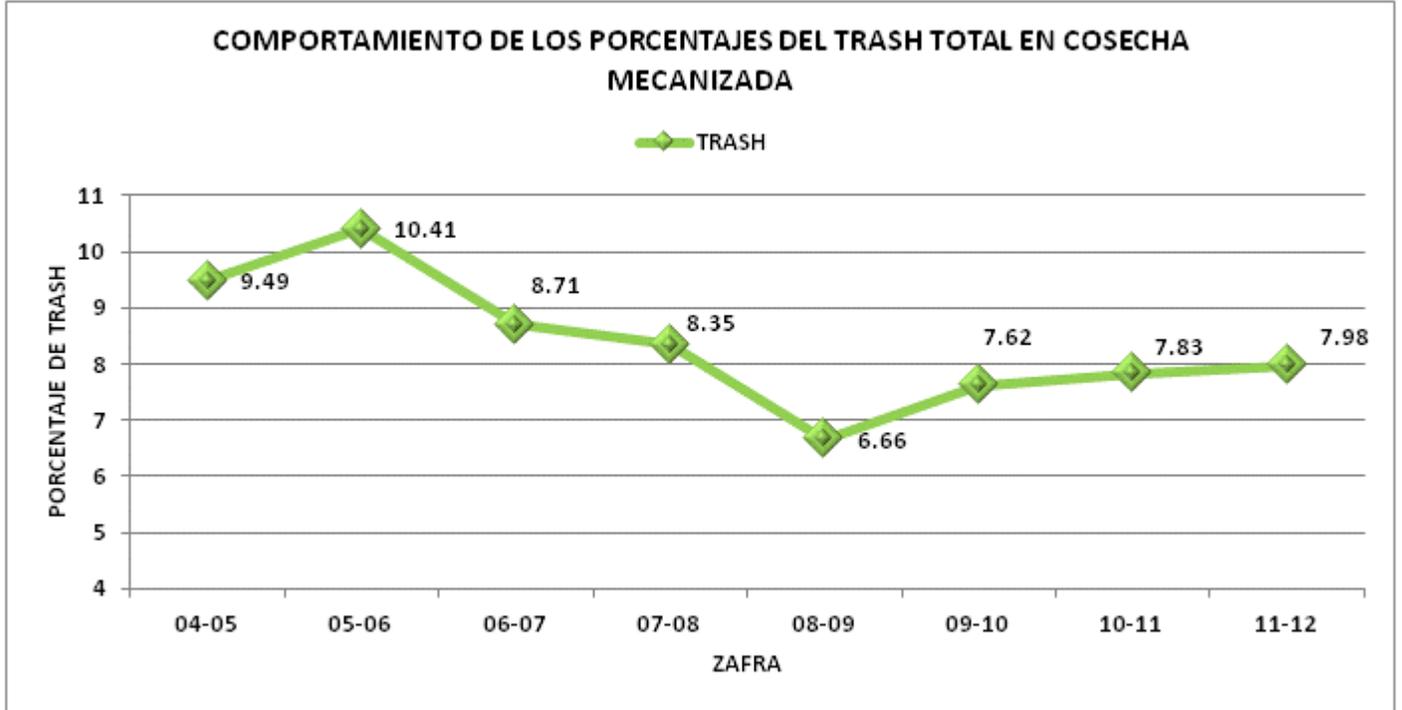


Figura 26. Resumen del índice en porcentaje de materia extraña en cosecha mecanizada, periodo de zafra 04-05 a la zafra 11-12, Depto. Cosecha Mecanizada, Ingenio Santa Ana. Fuente: el Autor

Esta gráfica revela el comportamiento que ha tenido el porcentaje de materia extraña en las últimas 8 zafras procedente de la cosecha mecanizada, en el cual se puede observar que para la zafra 05-06 éste llegó a ser de 10.41%. Análisis realizados en el laboratorio de control de calidad del Ingenio Santa Ana indicaron que por cada 1% de incremento en el trash se pierden 3 libras de azúcar por tonelada de caña ingresada a la fábrica. Dicho resultado motivó a partir de la zafra 06-07 a realizar acciones conjuntas para disminuir el contenido de materia extraña en caña tipo mecanizada, las acciones realizadas se describen a continuación:

- Calibración constante de los extractores de limpieza de las cosechadoras en un rango de 950 a 1000 RPM.
- En cañaverales con estimados de producción arriba de 120 toneladas/hectárea se debe disminuir la velocidad de operación a 4 Km/hr para permitir que el sistema de limpieza logre extraer la mayor cantidad de basura que está adherida a los tocones de caña.

- Graduar el tamaño de los trozos de caña a 20 centímetros de largo para facilitar la separación de basura en segmentos menos pesados.
- No realizar quemas en horas frías (noche o madrugada)
- Revisar constantemente las cuchillas de la caja de trozadoras, ya que al perder el filo no seccionan la caña en trozos.
- Realizar dos quemas en el día, la primera debe hacerse de 9:30 am a 11:30 am y la segunda de 4:30 pm a 5:30 pm siempre que las condiciones de viento y humedad lo permitan.
- Se debe revisar las aspas de los extractores primario y secundario para verificar que estén succionando la mayor cantidad de basura ya que por desgaste las aspas pierden efectividad de limpieza.
- Si las condiciones del cañaveral después de la quema no presentan postramiento, se debe utilizar el despuntador, caso contrario debe desactivarse ya que se ha evaluado que el caudal hidráulico utilizado para activar dicho implemento puede contribuir a mejorar la potencia del extractor primario hasta en un 10% más eficiente.
- Capacitación constante al personal que efectúa la quema para que logren una buena cobertura e intensidad máxima de fuego.

Estas acciones contribuyeron que a partir de la zafra 06-07 en adelante, disminuir el contenido de materia extraña “Trash” de la caña que proviene de los frentes mecanizados. Logrando resultados satisfactorios para la zafra 08-09, en el cual se obtuvo un índice de trash de 6.66%, disminuyendo 3.75 puntos porcentuales de trash en relación a la zafra 05-06. Cabe resaltar que para esa misma zafra (08-09) un factor que contribuyó directamente en éste resultado fueron las fuertes condiciones de viento, que disminuyeron considerablemente los contenidos de humedad en el follaje la caña, permitiendo realizar quemas con mayor intensidad calórica.

En las últimas tres zafas se puede observar un porcentaje promedio de trash de 7.81%, valor que se encuentra aceptable dentro de los parámetros que se tienen fijados en la empresa para caña proveniente de frentes de cosecha mecanizada en tipo quemada

7. CONCLUSIONES

- 7.1. Los resultados obtenidos de ésta investigación indican que la tendencia en los sistemas de cosecha de caña de azúcar en el Ingenio Santa Ana es continuar con la expansión de la cosecha mecanizada, por lo tanto es importante que se priorice la selección de áreas que sean versátiles y funcionen sin muchas exigencias agronómicas, como por ejemplo la áreas Tipo A, o también áreas Tipo B pero que se puedan adecuar rápidamente en áreas mecanizables Tipo A, ya que se ha demostrado que la rentabilidad y sustentabilidad del sistema se elevan considerablemente.
- 7.2 Los criterios agronómicos a tomar en cuenta para asegurar el éxito de la cosecha mecanizada en el cultivo de la caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.), de acuerdo a la experiencia adquirida en la preparación de las áreas son: el diseño de los bloques de caña debe ser cuadrado o rectangulares, condiciones topográficas no irregulares, eliminar todos los obstáculos físicos dentro del área a trabajar, labores de preparación y de cultivo homogéneas evitando aporques de surco mayores a 15 centímetros de altura y surcos invertidos, distanciamiento de siembra de 1.60 a 1.70 metros entre surcos, calles intermedias cada 250 a 300 metros con rondas al final de los surcos, variedades de caña con buena producción de toneladas de caña por hectárea.
- 7.3 En las últimas 5 zafas se ha logrado una mejora continua en el rendimiento y aprovechamiento de la maquinaria de cosecha mecanizada incrementando la eficiencia de toneladas cosechadas por hora en un 40% por medio de la optimización de las horas efectivas de cosecha implementando metodologías en la logística de operación, tales como el diseño de las estaciones de transferencia con radios de acción no mayores a 800 metros, circuitos de cosecha de fácil acceso y rutas definidas para el trasiego de caña, cumplimiento del mantenimiento preventivo para garantizar una disponibilidad mecánica de maquinaria del 85%, resultando en una ventaja competitiva en eficiencias que ayudan a contrarrestar las mermas de producción en toneladas de caña de azúcar de una zafa a otra, y que no impactan significativamente en el costo por tonelada cosechada mecánicamente. Además se ha logrado en las últimas zafas mantener un

suministro constante de materia prima al Ingenio incluso en periodos de alta exigencia de caña por parte de la fábrica.

7.4 Se ha logrado un avance muy importante con el proyecto de recuperación de caña dejada en campo por efecto de la cosecha mecánica con la implementación de zanateros, ya que desde la zafra 04-05 hasta la zafra 11-12 obtuvo una recuperación promedio del 56%, equivalentes a 0.78 toneladas por cada hectárea cosechada mecánicamente a nivel de empresa. Un dato interesante es que, en la zafra 11-12 se llegó a obtener un valor de 68% del total de la caña dejada en campo equivalentes a 13,083 toneladas recuperadas.

7.5 Se redujo el indicador del porcentaje de arranque de cepas de caña por efecto de la cosecha mecanizada, de un 5.5% en la zafra 04-05 a 1.48% en la zafra 11-12, resultado de la mejora continua en el diseño de los campos y de la correcta supervisión de la operación del sistema de cosecha mecanizada.

7.6 Con respecto al índice de materia extraña “trash” se puede concluir que para las últimas 3 zafras éste porcentaje se estabilizó en un promedio de 7.81% lo cual indica que las prácticas realizadas para mejorar el desempeño de los sistemas de limpieza de la cosechadora funcionaron correctamente y de igual forma se han desarrollado criterios más amplios para establecer el momento óptimo de la quema de la caña de azúcar, ya que es el factor más importante para reducir o incrementar los índices de materia extraña. Y que afectan directamente la calidad del jugo en los procesos de fabricación de azúcar.

8. RECOMENDACIONES.

- 8.1 Dar continuidad a los estudios de clasificación de áreas para la explotación del sistema de cosecha mecanizada y evitar cosechar mecánicamente fincas con clasificación Tipo C ya que la eficiencia de la maquinaria disminuye considerablemente por la complejidad topográfica y de diseño que presentan estos campos, además el daño a al cultivo se acelera considerablemente provocando el aumento de los costos por hectárea.
- 8.2 Investigar variedades de caña que se adapten más fácilmente al sistema de cosecha mecanizada para disminuir las pérdidas en campo por efecto de corte mecanizado.
- 8.3 Monitorear el cumplimiento de las labores post cosecha para garantizar el aumento en la productividad de la maquinaria en la siguientes zafras.
- 8.4 Dar seguimiento diario a las rutas de mantenimiento mecánico de maquinaria para garantizar un 85% de disponibilidad mecánica, que permita responder a las exigencias en suministro de materia prima por parte de la fábrica sin comprometer la calidad de la operación en campo.
- 8.5 Si existe la necesidad de cosechar en verde se debe de hacer brechas para cuando se distribuyan las maquinas en el pante, ya que es muy difícil para el operador visualizar una línea recta.
- 8.6 Mantener una constante comunicación con la torre de monitoreo para conocer el balance de la caña que se ha entregado a la fábrica por hora, esto permitirá programar la cantidad de caña exacta para la quema, optimizar la cantidad de máquinas a operar por día, ajustar el programa de corte para garantizar el cumplimiento de la cuota diaria por frente mecanizado.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Bolaños, J; Oviedo, M. 2006. Efecto de la cosecha mecanizada sobre los rendimientos industriales de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. Tesis Ing. Agr. Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 69 p.
2. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 1994. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala. 242 p.
3. Chaparro, AJ. 2002. Preparación de tierras. *In* Seminario de Adecuación de Tierras (2002, CO). Memoria. Cali, Colombia, TECNICAÑA. p. 16-20.
4. Daza, OH. 2002. Conceptos de adecuación de tierras. *In* Seminario de Adecuación de Tierras (2002, CO). Memoria. Cali, Colombia, TECNICAÑA. p. 9-23.
5. Díaz, FR. 2001. Evaluación agroeconómica de la cosecha mecanizada en verde y quemada del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), Tiquisate, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 69 p.
6. Flores, S. 1976. Manual de caña de azúcar. Guatemala, Instituto Técnico de Capacitación y Productividad. 172 p.
7. Larrahondo, JE. 1995. Calidad de la caña de azúcar. *In* CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Colombia, CENICAÑA. p. 337-354.
8. Leonardo, A. 1998. Manual para la identificación y manejo de las principales malezas en caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, CENGICAÑA. 131 p.
9. Márquez, JM; López, E. 2006. Nivel de daño económico para las plagas de importancia en caña de azúcar y su estimación con base en un programa diseñado por CENGICAÑA. *In* Memoria: presentación de resultados de investigación, zafra 2005-2006. Guatemala, CENGICAÑA. p. 194-200.
10. Meneses, A. 2012. La cosecha de caña de azúcar. *In* CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala. p. 296-306.
11. Orozco, H. 1995. Estratificación preliminar de la zona de producción de caña de azúcar (*Saccharum sp.*) en Guatemala con fines de investigación en variedades. Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. 33 p. (Documento Técnico no. 6).

12. _____; Buc, R. 2010. Censo de variedades de caña de azúcar en Guatemala a la zafra 2010-2011. *In Memoria: presentación de resultados de investigación, zafra 2009-2010*. Guatemala, CENGICAÑA. p. 21-30.
13. Oviedo, M. 2002. Determinación de la calidad y la cantidad de la materia extraña presente en las entregas comerciales de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en el Ingenio La Argentina, Grecia, Costa Rica. Tesis Bach. Agr. San Carlos, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 62 p.
14. Pulido, GY. 2006. Algunas consideraciones en la planificación y organización de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar. Cuba, Central Cojedes. 10 p. (Documento de Trabajo no. 032).
15. Sánchez, T. 2004. Guía de estudio estrategia para el desarrollo azucarero. Maracay, Venezuela, Universidad Central de Venezuela. 230 p.
16. Smith, R. 1998. Cosecha mecanizada de la caña de azúcar: manual técnico. Guatemala, s.e. 30 p.
17. Soto, G; Orozco, H; Ovalle, W. 1998. Semilleros de caña de azúcar de alta calidad para la agroindustria azucarera de Guatemala. Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. 10 p.
18. Subiros, RF. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. San José, Costa Rica, Editorial Universidad a Distancia. 441 p.
19. Varela, LC. 1992. Fábrica de azúcar y materia prima: reducción de los costos en el proceso integrado. *In Reunión Técnica, Bases para la Reducción de Costos en la Cosecha y Transporte de la Caña de Azúcar*. Tucumán, Argentina, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes. p. 85-95.

10. APENDICES

Figura 27 “A” Diagrama para inspección de pantes para cosecha mecanizada, Ingenio Santa Ana.

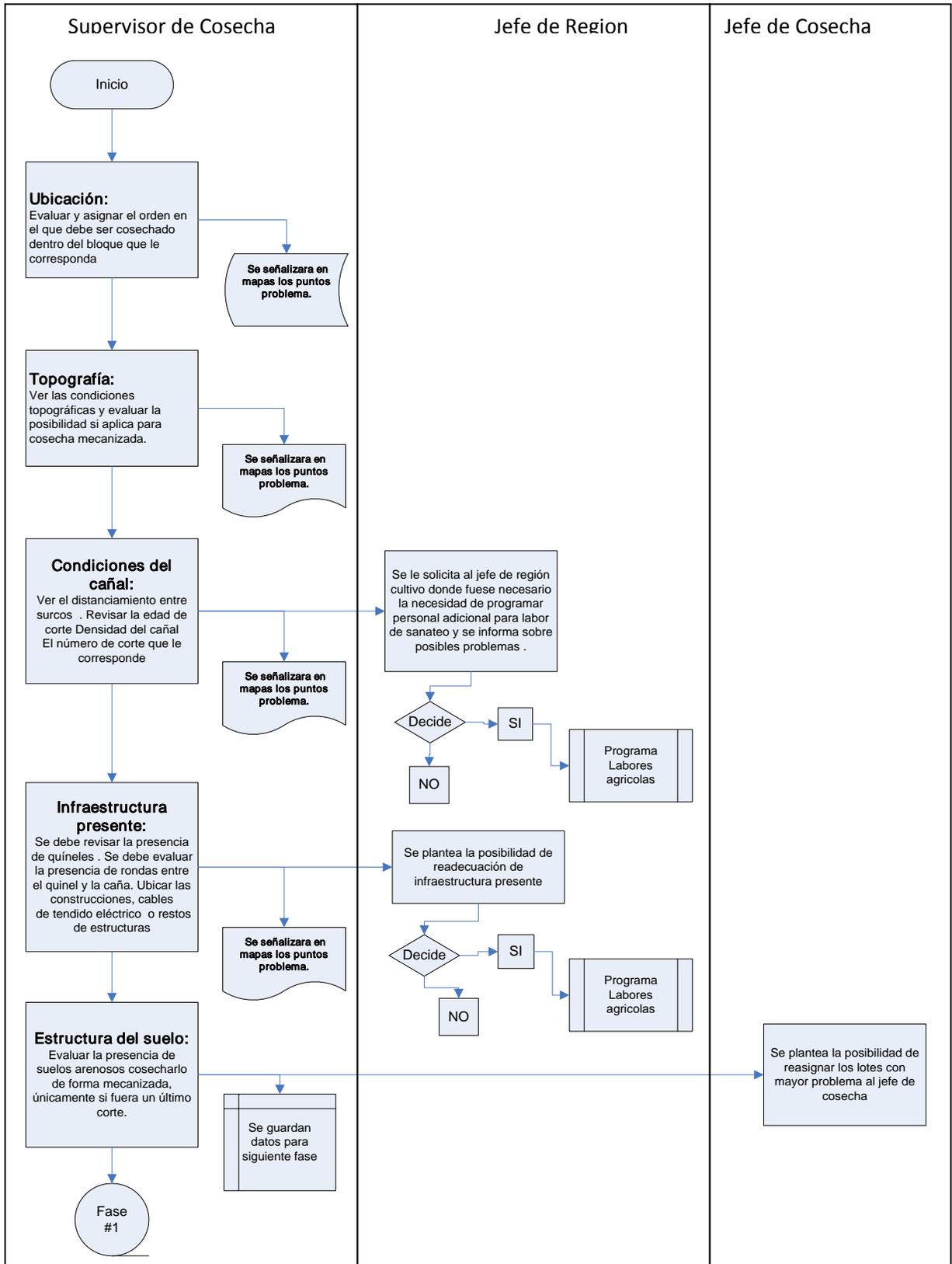


Figura 28 “A”. Diagrama para identificación y delimitación de áreas problema. Ingenio Santa Ana.

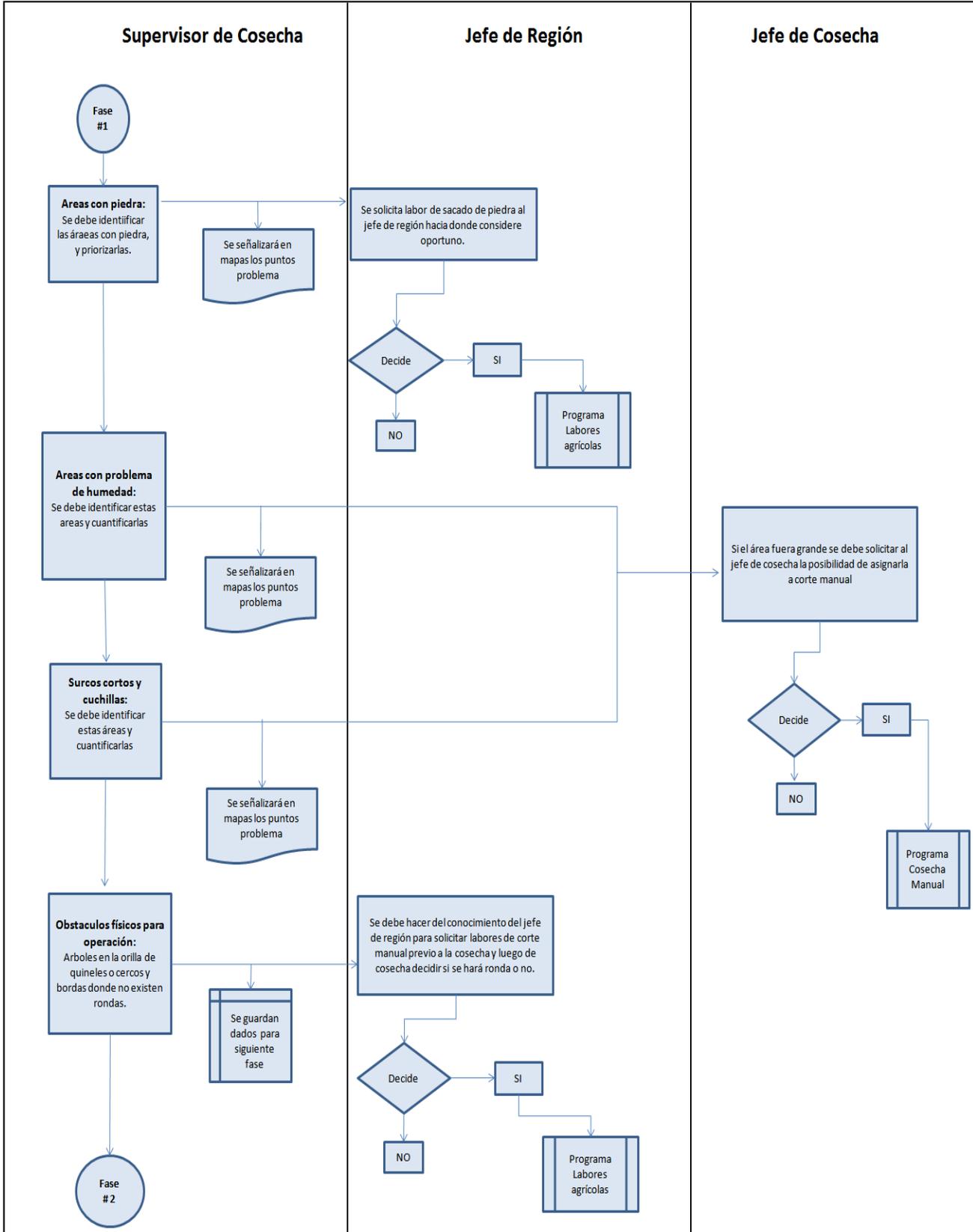


Figura 29 “A”. Diagrama para la evaluación de labores agrícolas que afectan la operación de cosecha mecanizada. Ingenio Santa Ana.

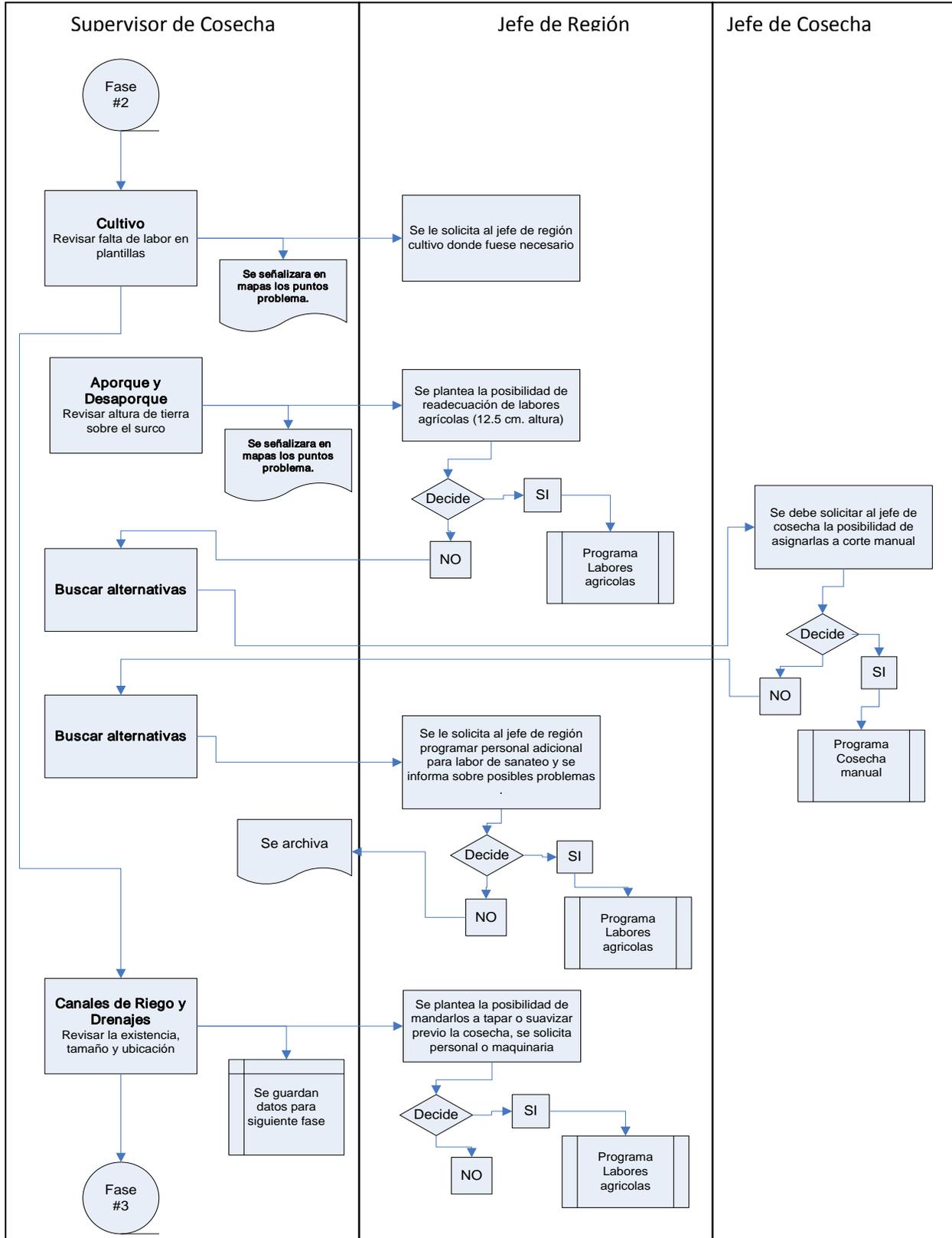


Figura 30 “A”. Diagrama para la determinación de la logística de carga y transporte. Ingenio Santa Ana.

