

**EFFECTO DE LA COSECHA MECANIZADA SOBRE LOS
RENDIMIENTOS INDUSTRIALES DE LA CAÑA DE AZÚCAR
(*Saccharum spp*) EN EL INGENIO QUEBRADA AZUL, SAN
CARLOS, COSTA RICA**

**JAVIER BOLAÑOS PORRAS
MARVIN EDUARDO OVIEDO ALFARO**

**Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía como
requisito parcial para optar al grado de Licenciado en Ingeniería en
Agronomía**

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS**

2006

DEDICATORIA

Javier

A mi hija Ariana
A mis padres Javier y María Eugenia
A mis hermanas Carmen y María Eugenia
A Dios Todopoderoso

Marvin

A mi esposa, Teresita
A mis hijos, Catalina y Cristian
A mis padres, Rodrigo y Ana Elisa
A mis hermanos, Rodrigo, Esteban y Ana Lourdes
A Dios Todopoderoso

AGRADECIMIENTO

A Dios Todopoderoso, por habernos dado la oportunidad de estudiar y guiarnos hacia la obtención de un título profesional.

A nuestros padres por ser el apoyo más importante en nuestra formación profesional, por todos sus sacrificios y confianza depositada para la culminación de nuestra carrera.

Al Ing. Marco Antonio Chaves Solera por su dedicación y buena voluntad en la orientación y revisión del presente trabajo.

A la Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA) por su apoyo, contribución en el desarrollo y ejecución de la presente investigación.

A los compañeros de DIECA y LAICA y en especial a la señorita Kattia Molina Rodríguez por su colaboración y comprensión en la realización de esta Tesis de Grado.

Al Ingenio Quebrada Azul y en especial al Técnico Ronald Berrocal Kooper por su valiosa ayuda y cooperación en la logística y desarrollo del trabajo.

A los Ingenieros Fernando Gómez Sánchez, Carlos Muñoz Ruiz y Federico Villalobos Vargas por su desinteresada colaboración en la revisión de esta Tesis.

A todos muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDOS

<i>DEDICATORIA</i>	<i>ii</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>iii</i>
<i>TABLA DE CONTENIDOS</i>	<i>iv</i>
<i>LISTA DE CUADROS DEL ANEXO</i>	<i>vi</i>
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	<i>x</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>xiii</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>xiv</i>
1. INTRODUCCION	1
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
2. REVISION DE LITERATURA	5
2.1 Cosecha de la Caña de Azúcar	5
2.2 Tipos de Cosecha	5
2.2.1 Cosecha Manual	6
2.2.2 Cosecha Semimecanizada	7
2.2.3 Cosecha Mecanizada	8
2.2.4 Cosechadoras Mecánicas Combinadas	9
2.2.5 Eficiencia de la Cosechadora Mecánica en el Campo	12
2.2.6 Factores que Disminuyen la Productividad de la Cosechadora Mecánica Combinada	12
2.2.7 Factores que Inciden en la Calidad de la Cosecha de la Caña de Azúcar	14
2.3 La Materia Extraña en las Entregas de Caña de Azúcar	16
2.3.1 Componentes de la Materia Extraña	18
2.3.2 Efectos de la Materia Extraña	19
2.3.4 La Cosecha Mecanizada Sobre los Contenidos de Materia Extraña	20
2.4 Variedades de Caña de Azúcar para la Cosecha Mecánica	22
2.5 Situación Actual de la Cosecha Mecanizada en Costa Rica	23
3. MATERIALES Y METODOS	25
3.1 Localización	25
3.2 Condiciones Climáticas	25
3.3 Variedades	25
3.4 Tratamientos	26
3.5 Diseño Experimental	28

3.6 Muestreo	28
3.7 Variables a Evaluar	28
3.8 Análisis Industrial	29
3.8.1 Contenido de Sólidos Solubles (% de Brix)	30
3.8.2 Contenido de Sacarosa Aparente (% Pol) en el Jugo	30
3.8.3 Grado (%) de Pureza del Jugo	30
3.8.4 Contenido (%) de Fibra en Caña.....	30
3.8.5 Contenido (%) de Sacarosa en Caña.....	31
3.8.6 Rendimiento Industrial (kg de Azúcar/t).....	31
3.8.7 Melaza Producida	32
3.9 Análisis Estadístico	32
3.10 Análisis Económico	33
4. RESULTADOS Y DISCUSION	35
4.1 Condiciones Climáticas	35
4.2 Materia Extraña.....	38
4.3.2 Sacarosa.....	54
4.3.3 % Pureza	59
4.3.4 % de Fibra en Caña.....	62
4.3.5 Rendimiento Industrial (kg azúcar/t)	67
4.3.6 Miel Final (kg/t)	72
5. CONCLUSIONES	79
6. RECOMENDACIONES	84
7. BIBLIOGRAFIA	86
8. ANEXOS	91

LISTA DE CUADROS DEL ANEXO

Número		Página
1 A	Variables Climáticas Prevalcientes durante el periodo de evaluación de la Materia Extraña en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos. 2005.	92
2 A	Análisis de Varianza (Cuadrados Medios) del Porcentaje de <u>Materia Extraña</u> evaluada en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica, 2005.	93
3 A	Prueba de Medias de la Materia Extraña según la <u>Variedad Cultivada</u> Empleada en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	94
4 A	Prueba de Medias de la Materia Extraña según <u>Tipo de Cosecha</u> Empleada en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	94
5 A	Prueba de Medias de la Materia Extraña según <u>Modalidad de Cosecha</u> Empleada en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	95
6 A	Prueba de Medias de la Materia Extraña para la Interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	95
7 A	Prueba de Medias de Materia Extraña para la Interacción <u>Variedad Cultivada vs Modalidad de Cosecha</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	96

8 A	Prueba de Medias de la Materia Extraña para la Interacción <u>Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	96
9 A	Prueba de Medias de la Materia Extraña para la Interacción <u>Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	97
10 A	Análisis de Varianza (Cuadrados Medios) de las Variables Industriales en el estudio efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	98
11 A	Medias de las Variables Industriales según <u>Variedad Cultivada</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	99
12 A	Medias de las Variables Industriales según <u>Tipo de Cosecha</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	99
13 A	Medias de las variables industriales según <u>Modalidad de Cosecha</u> en el estudio de los efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	100
14 A	Medias de las Variables Industriales según <u>Tipo de Muestra</u> en el estudio de los efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	100

15 A	Medias de las variables industriales para la Interacción <u>Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	101
16 A	Medias de las variables industriales para la Interacción <u>Variedad Cultivada vs Modalidad de Cosecha</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	102
17 A	Medias de las Variables Industriales para la Interacción <u>Variedad Cultivada vs Tipo de Muestra</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	103
18 A	Medias de las variables industriales para la interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha en el estudio de Efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	104
19 A	Medias de las Variables industriales para la interacción <u>Tipo de Cosecha vs Tipo de Muestra</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	105
20 A	Medias de las variables industriales para la interacción <u>Modalidad de Cosecha vs Tipo de Muestra</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos. 2005.	106
21 A	Medias de las Variables Industriales para la Interacción <u>Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha</u> en el Estudio de efecto de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	107

22 A	Medias de las Variables Industriales para la Interacción <u>Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha vs Tipo de Muestra</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	108
23 A	Medias de las Variables Industriales para la Interacción <u>Variedad Cultivada vs Modalidad de Cosecha vs Tipo de Muestra</u> en el estudio de los Efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	109
24 A	Medias de las Variables Industriales para la Interacción <u>Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha vs Tipo de Muestra</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	110
25 A	Medias de las Variables Industriales para la Interacción <u>Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha vs Tipo de Muestra</u> en el estudio de efectos de la Cosecha Mecanizada sobre los Rendimientos Industriales de la Caña de Azúcar en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica. 2005.	111

LISTA DE FIGURAS

Número		Página
1	Distribución de la lluvia durante el periodo de evaluación de Materia Extraña en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	36
2	Comportamiento de la temperatura durante el periodo de evaluación de Materia Extraña en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	37-38
3	Contenidos (%) de Materia Extraña en las entregas comerciales según Variedad Cultivada, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	40
4	Contenidos (%) de Materia Extraña incorporada según Tipo de Cosecha evaluada, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	42
5	Contenidos (%) de Materia Extraña presentes según Modalidad de Cosecha evaluada, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	43
6	Contenidos (%) de Materia Extraña presentes según Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha evaluada, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos. 2005.	45
7	Contenido (%) de Materia Extraña presentes según Variedad Cultivada vs Modalidad de Cosecha evaluada, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	46
8	Contenido (%) de Materia Extraña presentes según Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha evaluada, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	47
9	Contenidos (%) de Materia Extraña incorporados según tratamiento evaluado, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	48
10	Porcentaje de Brix para los diferentes factores evaluados en el estudio de Materia Extraña, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	51

11	Efecto de la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha sobre el porcentaje de Brix, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	53
12	Efecto de la interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha sobre el porcentaje de Brix, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	54
13	Sacarosa en Caña (%) para los diferentes factores evaluados en el estudio de Materia Extraña, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	56
14	Efecto de la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha sobre el porcentaje de Sacarosa en Caña, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	58
15	Efecto de la interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha sobre el porcentaje de Sacarosa en Caña. Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	59
16	Porcentaje de Pureza del Jugo para los diferentes factores evaluados en el estudio de Materia Extraña en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	60
17	Efecto de la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha sobre el porcentaje de Pureza del Jugo en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	62
18	Porcentaje de Fibra en Caña y porcentaje de Materia Extraña para los diferentes factores evaluados en el estudio de Materia Extraña. Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.	64
19	Efecto de la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha sobre el porcentaje de Fibra en Caña. Ingenio Quebrada Azul, San Carlos. 2005.	66
20	Efecto de la interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha sobre el porcentaje de Fibra en Caña. Ingenio Quebrada Azul. San Carlos. 2005.	66
21	Kilogramos de Azúcar por Tonelada de Caña y porcentaje de Materia Extraña para la Variedad Cultivada, Tipo de Cosecha, Modalidad de Cosecha y el Tipo de Muestra. Ingenio Quebrada Azul. San Carlos. 2005.	68

22	Efecto de la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha sobre el Rendimiento Industrial (kg azúcar/t). Ingenio Quebrada Azul. San Carlos. 2005.	70
23	Efecto de la interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha sobre el Rendimiento Industrial (k azúcar/t). Ingenio Quebrada Azul. San Carlos. 2005.	71
24	Efecto de la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha sobre la Miel (kg miel/t). Ingenio Quebrada Azul. San Carlos. 2005.	73

RESUMEN

La mecanización de la cosecha de la caña de azúcar se ha venido sistemáticamente tecnificando debido principalmente al incremento acontecido en los costos de producción y a la escasez de mano de obra calificada, alcanzando actualmente alrededor del 40% del área nacional cultivada. Con el objeto de determinar el efecto e impacto técnico-económico que sobre los Rendimientos Industriales y la calidad de la materia prima, implica la mecanización de la cosecha de la caña de azúcar, se justificó la evaluación de la misma en las condiciones del Ingenio Quebrada Azul ubicado en San Carlos, Alajuela a una altitud de 65 msnm y localizado a 10° 21' 43 " Latitud Norte y 84° 28' 39" Longitud Oeste. El estudio utilizó un diseño experimental Irrestricto al Azar con Arreglo Factorial con seis repeticiones. Se evaluaron 18 tratamientos correspondientes a la combinación de tres factores, dos con tres niveles y otro con dos niveles: Variedad (Pindar, SP 70-1284 y Q 96), Tipo de Cosecha (Cosechadoras CAMECO CH 2500, CAMECO CH 3500 y Cosecha Semimecanizada (Corta Manual y Alce Mecánico)) y Modalidad de Cosecha (Cruda y Quemada). El análisis de los resultados indicó que la materia extraña en las entregas comerciales de caña de azúcar influyó directa y negativamente sobre la calidad y los Rendimientos Industriales, provocando pérdidas tanto para el Ingenio Quebrada Azul como para el entregador (Productor Independiente) de caña de azúcar. Para el caso particular de las variedades evaluadas se encontró que Q 96 introdujo mayor cantidad de materia extraña (24,54%), seguida por Pindar (22,66%) y SP 70-1284 (21,98%). Respecto al factor Tipo de Cosecha, la Cosechadora CAMECO CH 2500 incorporó 27,62% seguida por la CAMECO CH 3500 (22,91%) y la Cosecha Semimecánica (18,66%). En la modalidad de Cosecha Cruda se introdujo 26,03% mientras que en la quemada 20,11%. El tratamiento representado por Q 96, Cosechadora CH 2500 y Corta Cruda presentó el mayor contenido de materia extraña (35,59%); mientras que la misma variedad, cosechada Semimecánicamente y Quemada mostró por el contrario el menor contenido de materia extraña con un 11,20%, resultando un promedio general para el estudio de 23,07% de materia extraña valor considerado muy alto. Los resultados de las variables industriales confirmaron contundentemente la disminución que ocasiona la materia extraña sobre el Rendimiento Industrial, ya que se obtuvo un promedio general de 10,97 kg azúcar/t menos cuando se proceso materia prima con basura, en relación al procesamiento de caña de azúcar limpia. El estudio determinó que por cada 1% de materia extraña hubo una pérdida de 0,47 kg azúcar/t. Los tratamientos representados por la variedad Q 96, cosechada Semimecánicamente, Cruda y la misma variedad cortada con la Cosechadora CAMECO CH 3500 y Cruda reportaron las mayores pérdidas totales (Costo Agrícola + Valor Industrial) con US\$770.722 y US\$760.565, respectivamente; mientras que la SP 70-1284 con la Cosechadora CAMECO CH 3500 y Cruda presentó la menor pérdida total con US\$108.641. El factor clima tiene una participación determinante en el grado de eficiencia de la cosecha Mecánica, lo cual debe determinarse, virtud del costos implicado, la eficiencia alcanzada y los efectos provocados.

ABSTRACT

The sugarcane harvest mechanization has come introducing new techniques systematically due to increasing in production costs and workmanship shortage, currently reaching about 40% of national sugarcane cultivated area. The aim of determining the effect and technical-economical impact of sugarcane harvest mechanization over Industrial Yielding and raw material quality was justified this evaluation in Quebrada Azul Sugar Mill, San Carlos, Alajuela, at an altitude of 65 msnm.; localized at 10° 21' 43 " N and 84° 28' 39" W. This study uses a random unrestricted experimental design with Factorial Arrangement with six repeats. Were evaluated 18 treatments that correspond with the arrangement of three factors, two with three levels and the other one with two levels; Variety (Pindar, SP 70-1284 and Q 96), Harvest kind (Harvester machine CAMECO CH 2500, Harvester machine CAMECO CH 3500 and Semi mechanized Harvest (Man-Made Harvest and Mechanical Pick-up) and Harvest Kind (Crude and Burned). The results analysis indicated that strange matter in sugarcane commercial inputs influenced direct and negatively over quality and Industrial Yielding, provoking losses for both the Quebrada Azul Sugar Mill and sugarcane farmer. In the particular case of evaluated varieties, was found that Q 96 introduce the highest amount of strange matter (24,54%), followed by Pindar (22,66%) and SP 70-1284 (21,98%). In regard to the factor Harvest Kind, the Harvester machine CAMECO CH 2500 incorporated 27,62% followed by the CAMECO CH 3500 (22,91%) and the Semi mechanized Harvest 18,66%. In the Crude Harvest Kind were introduced 26,03% while Burned 20,11%. The treatment represented by Q 96, Harvester machine CH 2500 and Crude presented the highest content of strange matter (35,59%), while the same variety harvested semi mechanically and burned shown the lowest (11,20%), resulting a general average for this study of 23,07% in strange matter. The results of industrial variables confirmed the diminution by strange matter in Industrial Yielding (-10,97Kg sugar/t) when sugarcane is processed with waste compared with clean sugarcane. For this study was determined that each 1% strange matter had a loss of 0.47 Kg sugar/t . The treatments represented by Q 96, harvested Semi mechanically, Crude and the same variety with the Harvester machine CAMECO CH 3500 and Crude reported the highest total losses (Agricultural Cost + Industrial Value) with \$770.722 and \$ 760.565 respectively, while SP 70-1284 with Harvester machine CAMECO CH 3500 and Crude presented the lowest losses total with \$108.641.

1. INTRODUCCION

La caña de azúcar en Costa Rica se ha caracterizado por ser una agroindustria tradicional de larga y rica historia, aunque con un destacado desarrollo tecnológico y organizacional. En lo que respecta a la cosecha de la materia prima propiamente, el cultivo se ha venido sistemáticamente gracias al desarrollo acontecido en la región de Guanacaste, debido principalmente a las grandes extensiones y condiciones topográficas favorables que posee esta región para promover esa práctica.

Por otro lado, el incremento en los costos de producción y la escasez de mano de obra calificada han motivado principalmente a los cuatro grandes ingenios ubicados en la región de Guanacaste y Puntarenas, a sustituir sistemáticamente la cosecha manual por la cosecha mecanizada. Esta tendencia se ha incrementado aceleradamente, a tal punto, que en la actualidad se cosecha mediante el empleo de cosechadoras combinadas aproximadamente un 90% del área total sembrada con caña de azúcar propia de los Ingenios de dichas zonas.

Otras regiones cañeras al poseer problemas similares y condiciones relativamente adecuadas para realizar ese tipo de cosecha, como acontece en la Zona Norte, Cantones San Carlos y Los Chiles, han decidido iniciar la cosecha totalmente mecanizada a pesar de los factores negativos que en principio ésta implica sobre los rendimientos agroindustriales, esto debido principalmente a que la zona posee condiciones climáticas con presencia de alta intensidad de lluvia, aún durante el periodo de cosecha, ocasionando la incorporación de materia extraña a la caña cosechada y disminuyendo significativamente el rendimiento industrial en el Ingenio.

Cuando la cosecha mecánica se realiza en condiciones de alta humedad por lo general los daños ocasionados por las cosechadoras a nivel de campo son importante e irreparables; sin embargo, las mayores pérdidas que se generan al realizar una cosecha inadecuada se dejan sobre el Rendimiento Industrial, ya que al ingresar materia extraña junto con caña de azúcar, esta ocasiona pérdidas de hasta 1 Kg de azúcar por cada porciento de materia extraña que ingresa a la fábrica.

La mecanización de la cosecha trae consigo algunos inconvenientes desde el punto de vista económico, como lo son un costoso valor inicial, ya que la inversión de la maquinaria requerida (cosechadoras, autovolteos, equipos de transporte y mantenimiento móvil) es muy alta. En cuanto al aspecto técnico existen también dificultades complementarias, como son el deterioro provocado sobre la cepa, pues no es lo mismo mantener un corte a nivel del suelo mediante corta manual con mano de obra adiestrada, respecto utilizar una cosechadora mecánica. El deterioro de la cepa es ocasionado por la inconsistencia presente en la altura de corte, provocado en muchas ocasiones por la inexistencia o deficiencias en la nivelación del terreno y en la consistencia física de éste en el momento en que se cosecha.

Experiencias nacionales demuestran que en C.A.T.S.A., Guanacaste, las mayores dificultades en la cosecha durante la zafra 2002-2003 se dieron durante la segunda década del mes de diciembre y la segunda década de marzo, cuando terminó la zafra, y donde se evidenciaron aumentos significativos en las pérdidas debidas a la desuniformidad del suelo al momento de realizar la cosecha, por causa del exceso de humedad.

Las condiciones de alta humedad que presentan los suelos de la región Huetar Norte, desfavorecen en principio el desempeño satisfactorio de las cosechadoras mecánicas de caña de azúcar, motivo por el cual resultada de gran importancia

evaluar y conocer el desempeño de la práctica y el rendimiento de éstas propiamente en las condiciones de la región de San Carlos, resultado a partir del cual se pueden establecer criterios que favorezcan una mayor optimización de esa modalidad de cosecha.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar el efecto y el impacto técnico-económico que sobre los Rendimientos Industriales y la calidad de la materia prima recolectada, implica la mecanización de la cosecha de la caña de azúcar en las condiciones del Ingenio Quebrada Azul, San Carlos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar los contenidos de materia extraña presentes en el tipo de cosecha semimecanizada.
- Analizar la influencia e impacto que ejercen las modalidades de Cosecha Cruda y Quemada sobre los Rendimientos Industriales y el contenido de Materia Extraña.
- Determinar las diferencias inducidas por tres clones comerciales de caña de azúcar : Pindar, Q-96 y SP 70-1284, sobre los contenidos de Materia Extraña que ingresa a la fábrica.
- Comparar dos modelos de cosechadoras (CAMECO CH 2500 y CAMECO CH 3500) con respecto a la cosecha semimecanizada, en cuanto a la incorporación de materia extraña en la materia prima industrial recolectada.
- Determinar el impacto económico del empleo de la cosechadora mecanizada sobre la calidad de la materia prima, en el Ingenio Quebrada Azul y el Productor Independiente.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Cosecha de la Caña de Azúcar

Dentro de la agroindustria de la caña de azúcar, una de las operaciones más importantes es indudablemente la cosecha de la materia prima. Esta labor como culminación de todo el proceso agrícola requiere de una adecuada organización y planificación, con el fin de llevar a las fábricas de azúcar la cantidad de caña acorde con los presupuestos anuales de molienda y producción; todo en el momento más oportuno y de la mejor calidad, para obtener los beneficios esperados.

Larrahondo y Domínguez (1988) consideran, que la calidad de la caña de azúcar depende de diversos factores como son: la variedad, el grado de maduración, la época de corte, el sistema de cosecha empleado, el contenido de materia extraña presente y el tiempo transcurrido entre el corte y la molienda de la caña en la fábrica.

La cosecha de caña de azúcar se debe realizar cuando la planta alcance la edad y madurez comercial óptimas que permiten para asegurar una buena recuperación de azúcar. Además se debe realizar un corte adecuado a nivel del suelo y un buen despunte, así como una eficiente limpieza de la materia extraña presenten en los tallos.

2.2 Tipos de Cosecha

En Costa Rica se utilizan fundamentalmente tres tipos de cosecha: a) una completamente manual, b) otra semimecanizada y c) la mecanizada en su totalidad. La utilización de cada una de ellas depende de las características del productor, la capacidad financiera disponible, las condiciones climáticas de la región, el área sembrada, el nivel de tecnología empleado y la topografía del terreno.

2.2.1 Cosecha Manual

Se lleva a cabo en regiones de topografía irregular, por lo general con presencia de alta pendiente. Tanto el corte como el acomodo de los tallos en las carretas son hechas manualmente, lo que implica gran esfuerzo y tiempo.

Dentro de este tipo de cosecha existen a su vez dos modalidades de corta: a) la tradicional en la que se utilizan machetes cañeros y b) en la que se usa el Machete Australiano, el cual en el caso de Costa Rica es casi inexistente, pese a que en algún momento se empleo y procuró incorporar.

El sistema de cosecha tradicional consiste en asignarles un determinado número de surcos (generalmente ocho) a uno o dos cortadores. De los ocho surcos asignados se deben conformar dos "rumas o hiladas" (cada hilada esta constituida por cuatro surcos). La "hilada o ruma" es la agrupación ordenada de los tallos de caña cortados, los cuales se colocan a lo largo del surco en posición perpendicular y en donde la longitud de los surcos esta determinada por la longitud del lote mismo. Dicha colocación pretende disponer y favorecer un posible alce mecánico posteriormente.

La mayoría de los cortadores para esta labor utilizan el machete o cuchillo cañero de 24 pulgadas de largo; sin embargo, en la zona de Guanacaste se usa con alguna proporción el Machete Australiano, que tiene como objetivo aumentar la eficiencia y seguridad del cortador y cosechar la mayor cantidad posible de caña. El diseño de esta herramienta (forma, peso y balance) proporciona una serie de ventajas si se compara con el machete tradicional. La forma de la agarradera y el material de madera reduce molestias en la mano; el grosor de la hoja metálica proporciona mayor duración de la herramienta; el descogolle que se hace en el suelo es más fácil; por lo general dispone de una especie de gancho que permite halar las hojas y tallos sin necesidad de hacerlo con la mano (Subirós, 1995).

2.2.2 Cosecha Semimecanizada

Es aquella modalidad donde la corta de la caña se realiza en forma manual y el alza mediante el empleo de cargadoras mecánicas.

Este tipo de cosecha se incrementó debido principalmente a la escasez de mano de obra calificada y a la disminución en el tiempo implicado en la carga de la caña. Existen varios modelos y tipos de cargadoras y, dependiendo de ello, así va a ser el grado de eficiencia potencial de cada máquina.

Cuando existe una buena cantidad de caña en la "ruma" una cargadora puede cargar hasta 40 toneladas por hora; sin embargo, depende mucho de la variedad cortada, el acomodo de los tallos, la uniformidad del lote en producción, la topografía prevaleciente y por supuesto de la habilidad de los operarios implicados, tanto de la cargadora como de los tractores que acarrear las carretas para su respectiva carga.

Así mismo, Fors (1983) menciona que el alce mecanizado exige por su naturaleza una mejor labor de limpieza de la caña por parte del cortador, ya que la máquina al alzar la materia prima no discrimina entre la caña industrializable y la materia extraña, aumentando de esta forma la cantidad de hojas, paja y tierra introducida a la fábrica de azúcar.

Por su parte, Domínguez y Cárdenas (1981) señalan que existen varias ventajas al utilizar este sistema de cosecha respecto al manual, como son:

- Reducción del costo involucrado en la labor del alce.
- Rapidez en el suministro de caña a la fábrica.
- Mejor utilización del equipo de transporte.

2.2.3 Cosecha Mecanizada

Debido a la escasez de mano de obra calificada existente, la agroindustria azucarera de algunos países y más recientemente la de Costa Rica, en lo particular, ha comenzado a afrontar en un mayor o menor grado, problemas con la disponibilidad de mano de obra calificada, en especial la necesaria para realizar la corta de los tallos durante la cosecha (Oviedo, 2002).

Manejo de tanto personal resulta por otra parte sumamente difícil y costoso, ya que se requiere de instalaciones, transporte, seguros y un control muy riguroso sobre la calidad de la cosecha, hecho por el cual se ha motivado y dinamizado más aceleradamente el incremento de la cosecha mecánica.

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.

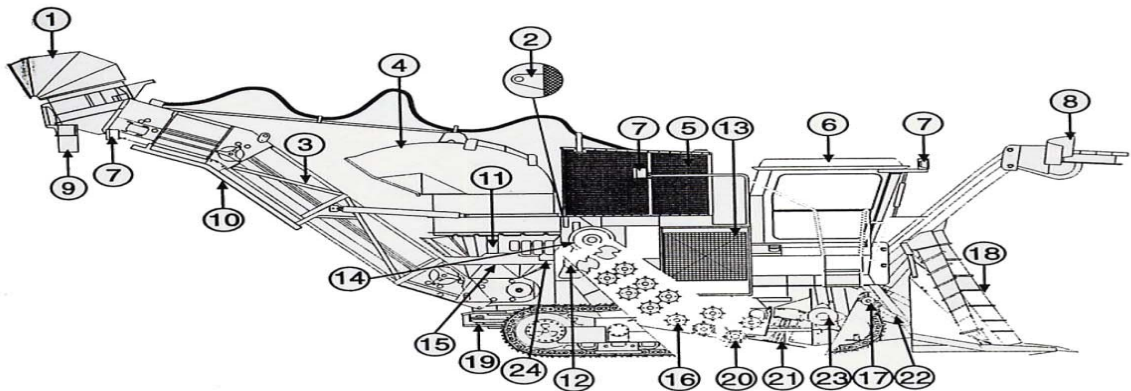
Además han ocasionado algunos efectos negativos en la producción como son: el deterioro de la cepa de caña, mayor incorporación de materia extraña, mayores pérdidas por caña dejada en el campo y deterioro más rápido de la caña cosechada.

2.2.4 Cosechadoras Mecánicas Combinadas

Las cosechadoras combinadas son máquinas cosechadoras troceadoras de una hilera, diseñadas para operar tanto en cañas crudas como quemadas, descargando la materia prima sobre el equipo de transporte. Esta operación se efectúa sobre la marcha.

A continuación se expone un esquema detallado, donde se observa cada una de las partes que componen una cosechadora combinada.

Componentes de una Cosechadora Combinada de Caña de Azúcar



- | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| 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 |

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.

Algunas mejoras en la extracción de basura de la Cosechadora Combinada CAMECO CH 3500, con respecto a la CAMECO CH 2500 son:

- Evacuación directa de la basura a través del extractor primario.
- Aumento en 15% de la velocidad de picado que mejora la cosecha y limpieza.
- Opción de velocidad del elevador disponible.
- Sistema picador aumentado a ocho cuchillas, mejorando el acomodamiento del corte y limpieza de la caña.
- Aumento de la velocidad del abanico (extractor secundario) en un 18%.
- Aumento en diámetro del rodillo alimentador de 254 mm (CH 2500) a 356 mm (CH 3500), lo que aumenta el torque y mejora la alimentación y rechazo de suciedades.
- Inclinación del rodillo de golpe ajustable (se adapta mejor a diversas condiciones del cultivo).
- Sensibilidad mejorada en el control de la velocidad del abanico del extractor primario.

Para Domínguez y Cárdenas (1981), entre las ventajas de las cosechadoras troceadoras se incluyen:

- Cortar, limpiar y cargar la caña en una sola operación.
- Poder cosechar la caña, virtualmente bajo cualquier condición y tonelaje.
- Colocar la caña generalmente en forma más limpia de lo que es posible con las cargadoras mecánicas, permitiendo hasta un 50% más de acarreo en los mismos transportes.
- Cortar la caña en trozos, lo cual permite una molienda a mayor velocidad que la caña entera.

Sin embargo se tienen complementariamente también algunas desventajas:

- Requieren personal con más preparación y una más estricta y eficiente organización en el campo.
- Hacen la labor muy deficiente en suelos con abundancia de piedras grandes.
- Requieren de ventiladores para eliminar cogollos, basura y hojas.
- Hay que modificar las unidades de transporte para que puedan retener la caña picada.
- La caña picada se deteriora bajo condiciones húmedas y calurosas si se almacena por más de 16 horas.

En esta modalidad de cosecha, es común también el uso de carretas de autovolteo. Se cargan directamente en el campo y luego salen al camino para trasladar la caña a otra unidad de mayor capacidad mediante un sistema hidráulico de elevación y deposición, para evitar que las carreteras se atasquen y destrocen las cepas con las llantas. Facilitan además el flujo del equipo y disminuyen la compactación del terreno pues el peso que transportan no es alto (alrededor de 7 toneladas), particularmente cuando el suelo está húmedo (Subirós, 1995).

Otros elementos que se considera importante tener presente son la disponibilidad de piezas de repuestos (refacciones), los costos de estos, el costo de reemplazo de neumáticos y el servicio del distribuidor. Con equipos tan costosos como son las cosechadoras combinadas para la caña de azúcar, es lógico que los cañicultores hagan su mayor esfuerzo para evaluarlas en cuanto a su eficiencia real (Rozeff, 2000).

2.2.5 Eficiencia de la Cosechadora Mecánica en el Campo

Por procurar incorporar todos los detalles y capacidades potencialmente deseadas y que sea a la vez accesible, la cosechadora mecánica ideal de caña de azúcar tendría que ser en principio bastante grande. Para compensar el tamaño necesita ser liviana, eso para tener una flotación moderada y no compactar el suelo. Esto solamente se puede llevar a cabo usando materiales tales como Aluminio, Titanio, plásticos o materiales compuestos. Una máquina más liviana y con un motor más pequeño deberá también poseer mayor economía de combustible. En resumen, tendrá un caballaje adecuado para hacer el trabajo (Rozeff, 2001a).

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.

2.2.6 Factores que Disminuyen la Productividad de la Cosechadora Mecánica Combinada

2.2.6.1 Campos Pequeños con Callejones Sin Salida

Cuando los campos son pequeños y con callejones sin salida, las máquinas cosechadoras tienen problemas, pues deben de realizar más cantidad de giros, lo que disminuirá la eficiencia de la cosecha y provocara más daño físico a las cepas de caña, lo que resulta altamente perjudicial e inconveniente.

2.2.6.2 Campos en Forma de Trapecio

Uno de los factores que influye en el bajo rendimiento de las cosechadoras combinadas es la propia geometría en que este dispuesto el campo. Cuando los campos tienen forma de trapecio se afectan los índices de explotación de las cosechadoras, puesto que aumenta el número de pases para llenar los medios de transporte. A medida que los surcos de una plantación 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 medios de transporte (Suárez et al, 2006).

2.2.6.3 Conformación de los Surcos

Los surcos deben sobresalir levemente del perfil del suelo para facilitar la operación de la cosechadora lo que resulta contraproducente en regiones de alta precipitación como San Carlos por motivo de drenaje. Así mismo los tallos a cosechar deben estar lo más centrados posible en el surco para favorecer y facilitar su recolección.

2.2.6.4 Ángulo de Cortador Base

La profundidad y el ángulo del corte son cruciales. El cortador de base es un juego de discos giratorios con cuchillas reemplazables que está diseñado para cortar limpiamente la caña al nivel del suelo, sin partirla, luego dirige el flujo de la caña hacia arriba a los rodillos alimentadores con ayuda del rodillo pateador.

2.2.6.5 Árboles, Líneas Eléctricas y Otros Obstáculos Dentro del Campo

Cualquier objeto que obstruya el paso de la cosechadora en el lote en proceso de cosecha contribuirá a disminuir la productividad de la misma.

2.2.6.6 Campos con Riego

La consistencia del suelo influye directamente sobre el desempeño de las cosechadoras ya que en terrenos inconsistentes la velocidad de avance y altura de corte varían, disminuyendo la productividad de la cosecha mecanizada.

Para efectos de eficiencia resultan óptimos los surcos largos y discontinuos, pero contraproducente para el riego, por motivos de infiltración y saturación, donde son deseables los surcos cortos. Este es un aspecto práctico que debe conciliarse adecuando ambos factores.

2.2.7 Factores que Inciden en la Calidad de la Cosecha de la Caña de Azúcar

Cuando existen condiciones favorables para el desempeño de las cosechadoras se facilita la operación de las mismas realizando un adecuado despunte, corte a ras del suelo y eficiente extracción de basura. Caso contrario sucede como menciona Rozeff (2001b), al señalar que cuando se cosecha con suelos sueltos, con caña volcada y en condiciones ambientales húmedas, los niveles de tierra aumentan conforme aumenta la velocidad de la máquina.

La velocidad del rodillo alimentador controla el tamaño de los esquejes y por tanto, a velocidades menores se crean esquejes más cortos, la paja se desprende fácilmente, pero algunos de estos pueden ser expulsados por la máquina y perderse en el campo. También mientras más cortes se hagan a través de un trozo de tallo mayor cantidad de jugo se pierde entre más corto más rápido será el deterioro por inversión de azúcares.

Sin embargo, si los esquejes son demasiado largos, la paja adherida pudiera no ser removida por el sistema de limpieza.

2.2.7.1 Variedad Utilizada

Las características agronómicas y morfológicas de cada variedad influyen directa y de manera determinante sobre la calidad de la cosecha, como lo es el tamaño del cogollo, el hábito de crecimiento, el despaje y la cantidad de tallos por metro lineal.

En el Ingenio CATSA durante la Zafra 2004/2005, Vargas (2004) investigó sobre el comportamiento en cuanto a pérdidas de caña dejada en el campo (t caña/ha), con respecto al hábito de crecimiento de la variedad a cosechar, encontrando que la variedad volcada fue la que mayor cantidad de pérdidas produjo con 5,75 t caña/ha, seguida por la variedad que se encontraba semivolcada con 2,80 t caña/ha; siendo por el contrario inferiores en la variedad que estaba erecta con 1,95 t caña/ha.

2.2.7.2 Diseño de Áreas para Cosecha Mecanizada

La distribución óptima de las fincas y el hábito de crecimiento de la variedad de caña cultivada, permite a las cosechadoras operar en los rangos de cosecha recomendados, minimizar el daño de la cepa y reducir la pérdida de caña dejada en el campo; además genera un producto más limpio y de mayor calidad.

La separación entre surcos, la altura y la forma de los lomos deben de ser uniformes a lo largo de todo el lote.

2.2.7.3 Separación entre Surcos

Para lograr una eficiente cosecha se debe tomar muy en cuenta una adecuada separación entre surcos, porque al sembrar con distancias variables entre los surcos se provocará diferencias en la altura del corte; además de una mayor cantidad de pasadas sobre la cepa, lo cual produce un mayor volumen de tierra en la caña, daño a la cepa y pérdida de caña en el campo.

2.2.7.4 Altura de los Lomillos

La altura de los lomillos debe de ser uniforme en todo el lote y debe de coincidir con la altura de los cortadores base. Se debe de tener una buena distribución de tallos en todo el lote (8 a 12 tallos/m).

Si en la base de los tallos el terreno es irregular, se introducirá más tierra en la caña cosechada; habrá mayores pérdidas de caña que no se va a recoger; la cepa estará más propensa a ser destruida ya que no está debidamente arraigada al suelo. Además se debe de evitar que hayan cantidades excesivas de terrones, ya que incrementarán la cantidad de tierra entre los trozos de caña cosechada que se traslada a la fábrica (ingenio).

2.3 La Materia Extraña en las Entregas de Caña de Azúcar

Los contenidos de materia extraña (basura o trash) que normalmente acompañan las entregas de caña comercial a los ingenios, significan una seria preocupación para el sector azucarero mundial, en virtud de que afectan la calidad e incrementan significativamente los costos de producción, tanto agrícola como industrial de la materia prima. Es por esta razón que la Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar, DIECA (1997), realizó durante la Zafra 96-97 evaluaciones sobre el contenido de materia extraña en tres regiones cañeras del país, encontrando que para la localidad de Cañas (Guanacaste) el promedio general de la zona en cuanto a la introducción de materia extraña a la fábrica fue de 10,30%. De acuerdo con esta información, el mayor contenido de basura en

las entregas corresponde a hojas más cogollos (7,9%), seguido por hoja seca (1,76%), tierra (0,46%) y raíces más tronco de la cepa (0,13%).

En el caso de San Ramón se tiene que tanto para la caña cruda como para la quemada, los valores verificados en el estudio fueron bastante bajos en cuanto a contenido de la materia extraña, al obtener un promedio de 2,9% y 3,9% en cada modalidad de cosecha, respectivamente.

Con la materia prima que recibió el Ingenio El General ubicado en la Zona Sur del país durante esta misma Zafra, sucede algo semejante a lo observado en Guanacaste, al mostrar contenidos promedios de materia extraña del 12,28%, donde el aporte del cogollo fue del 83,3% y el de las hojas y otros componentes del 16,7%, respectivamente.

También es importante mencionar que para el caso de Costa Rica, la materia extraña es calificada y castigada de acuerdo con los términos del Reglamento Ejecutivo de la Ley Orgánica de la Agricultura e Industria de la Caña de Azúcar (LAICA) N° 7818, que según el artículo 233, cuando el inspector de la Liga de oficio o a solicitud de un productor o del Ingenio, considere que en una entrega de caña existe exceso de materia extraña, se observará lo siguiente:

- El inspector procederá a pesar la muestra tomada por la cala mecánica, o el método alternativo, empleado conforme a lo indicado en los artículos 248 y siguientes.
- Efectuado lo anterior se procesará a separar todo aquel material que se considere materia extraña.
- Se pesará dicha materia extraña y se determinará la proporción correspondiente de ésta en el total de la muestra analizada.

- A dicha proporción porcentual se le rebajará el margen de tolerancia de materia extraña establecido por la Junta Directiva de LAICA, previo a recomendación del Departamento Técnico y de la Comisión Asesora. El porcentaje resultante se reducirá al peso de la respectiva entrega de caña.
- La materia extraña separada se incorporará nuevamente a la muestra indicada en el inciso a), para los efectos del análisis del Sistema Directo de Compra de Caña por su Calidad.

Para el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia CENICAÑA (1995), la materia extraña es uno de los factores de mayor incidencia en la calidad de la caña y que tiene relación directa con las pérdidas de sacarosa durante el procesamiento fabril.

2.3.1 Componentes de la Materia Extraña

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, Rozeff (1995 b) menciona 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.

Este autor considera que la materia extraña puede incluir también pedazos de tubería usada actualmente en sistemas de riego por goteo; inclusive menciona que también puede contener pedazos de hierro, envases de herbicidas, tallos gruesos de arbustos y, otras materias misteriosas que pueden aparecer en la mesa alimentadora o en el conductor de caña del Ingenio.

2.3.2 Efectos de la Materia Extraña

Al llegar materia extraña o basura (trash) contenida en las entregas comerciales de caña, los ingenios pierden eficiencia y reducen sus rendimientos, ya que ésta se paga como caña cuando en realidad no lo es; además, dicha materia extraña no contiene azúcar, sin embargo sale arrastrando azúcar en el bagazo, la cachaza o miel final, aumentando con ello las pérdidas de sacarosa y afectando el Rendimiento Industrial.

En síntesis, la materia extraña se cosecha, transporta y paga como caña industrializable en la fábrica, aumenta con ello los días de zafra y consecuentemente los costos de operación. Asimismo, la materia extraña produce pérdidas de azúcar, deterioro de equipos y maquinaria, incrementa el porcentaje de fibra en la caña, aumenta el bagazo, disminuye la extracción y la sacarosa contenida en la caña. Influye negativamente en la calidad de los jugos disminuyendo la pureza, elevando el contenido de sólidos solubles no deseados e incrementando el volumen de cachaza, todo lo cual incide negativamente sobre la recuperación del azúcar (Borja, 1992).

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. La consecuencia directa del primero de los efectos, es el mayor desgaste

que ocasiona a los trapiches, calderas y bombas, con el consiguiente aumento de los costos de mantenimiento.

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. En el estudio realizado por ese autor, se encontró un contenido de materia extraña promedio de 5,62%, con valores diferenciales según componentes en términos absolutos de tallos secos y podridos (1,38%), seguido y muy similar se encontró el componente hojas con (1,37%), puntas de tallo (1,08%), mamonos (0,85%), cogollos (0,76%), otras materias (0,13%), tierras (0,08%) y raíces (0,02%).

De igual manera, ese mismo autor determinó que por el incremento de una unidad que se tenga en el porcentaje de materia extraña presente, la disminución porcentual observada en el Rendimiento Industrial es en promedio de 0,74 unidades.

2.3.4 La Cosecha Mecanizada Sobre los Contenidos de Materia Extraña

Los fabricantes de cosechadoras de caña de azúcar están constantemente diseñando y fabricando equipos con mejores sistemas para eliminar la basura, y que al mismo tiempo retengan la caña moledera. En ciertas unidades la velocidad apropiada del extractor secundario es importante para poder obtener un buen balance entre limpieza y retención de caña moledera.

El nivel de materia extraña presente en la cosecha mecanizada esta 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.

Un estudio realizado por Angulo y Marengo (2000) en el Ingenio El Palmar en Costa Rica, determinó que el mayor contenido de basura se obtuvo con la cosecha manual y el alce mecánico (8,30%); mientras que la caña cosechada en forma mecánica introdujo menos basura (5,08%). El componente de materia extraña de mayor presencia durante la evaluación fue la tierra (3,07%), el cual se favoreció con la cosecha manual y el alce mecánico (cargadora); la cosecha mecánica introdujo mayor cantidad de hojas y cogollos (1,65% y 1,65%), respectivamente.

Según la información suministrada por los Ingenios del Pacífico Seco y Central de Costa Rica (Cuadro 1) se pueden apreciar los contenidos porcentuales de materia extraña presentes y reportados en las entregas comerciales de caña de azúcar. Durante la Zafra 02-03 solamente los Ingenios CATSA y El Viejo reportaron contenidos de materia extraña con valores de 12,77% y 10,26%, respectivamente. Para las Zafras 03-04 y 04-05 el Ingenio que presentó los valores más altos de materia extraña fue El Palmar, con 19,72% y 16,46%, respectivamente. Durante las mismas zafras el Ingenio El Viejo mantuvo los índices más bajos de materia extraña con 4,33% y 3,84%, respectivamente.

Queda así evidenciado, que las condiciones de cosecha en que trabajan los Ingenios El Palmar y Taboga, favorecen contenidos de materia extraña más altos.

Cuadro 1. Contenidos de Materia Extraña (%) Presentes en la Materia Prima de los Ingenios del Pacífico Seco durante Tres Zafras.

Ingenio	Zafra		
	02-03	03-04	04-05
CATSA	12,77	9,87	8,73
El Viejo	10,26	4,33	3,84
El Palmar	-	19,72	16,46
Taboga	-	13,03	13,13

Fuente: ATACORI (2005).

Para Fors (1983), la cosechadora mecánica combinada con trozadora puede incorporar a la caña moledera cualquier tipo de materia extraña si se usa indebidamente. Esta materia extraña se puede producir por defectos mecánicos u causas operacionales, o por condiciones agronómicas o climáticas desfavorables.

2.4 Variedades de Caña de Azúcar para la Cosecha Mecánica

Las características agronómicas de las variedades sembradas comercialmente y su manejo, cumplen un papel muy importante en la eficiencia final de las operaciones de cosecha.

Es por esta razón 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.

Así mismo, Oviedo (2002) menciona que una variedad para cosecha mecánica debe tener un adecuado número de tallos por metro (superior a 10), por cuanto el deterioro de la cepa es muy alto cuando la cosecha se realiza en forma mecánica.

También señala este autor que los tallos de una variedad deben tener un adecuado contenido de fibra (entre 13 y 15%), esto con el objeto de evitar que los tallos se quiebren y se mantengan erectos, además del interés que como generador de energía provee en las calderas.

2.5 Situación Actual de la Cosecha Mecanizada en Costa Rica

La implementación de la cosecha mecanizada ha sido una práctica utilizada desde hace varios años principalmente en la Zona de Guanacaste y Puntarenas, ya que mediante esta forma de cosecha se agiliza el aporte e ingreso de caña a la fábrica y se sustituye la mano de obra, que por lo general es difícil de manejar; además que para cosechar grandes extensiones sembradas de caña de azúcar se requieren muchas personas. Es importante señalar que la cosecha mecánica se implementó también hace varias décadas en el Valle Central.

Según el Cuadro 2 en la Zafra anterior 2004-2005 se cosechó mecánicamente alrededor de un 36,65% (19.057 ha) del área nacional cultivada (52.000 has) y específicamente en la Región de Guanacaste (Ingenios El Viejo, Taboga y CATSA) aproximadamente, un 20,35% (10.582 has), mientras que en la región de Puntarenas (Ingenio El Palmar y Cañera Las Loras) un 9,89% (5.142 has), zonas en que por su condición topográfica y extensión ésta modalidad de cosecha se acopla muy bien.

Sin embargo otras zonas cañeras de Costa Rica han decidido incursionar en esta moderna modalidad, cosechando mecánicamente 3.008 has entre los Ingenios Quebrada Azul, Cutris, Costa Rica y Providencia (2000, 520, 263 y 225 has, respectivamente), y con posibilidad de ampliar estas áreas tanto por parte de los ingenios mencionados como por otros ingenios que tienen sus fincas en la Región Norte como es el caso del Ingenio Coopevictoria, Ingenio El Porvenir, y el ingenio Santa Fe.

La expectativa que se tiene al respecto es que la cosecha mecánica se incremente en el corto plazo de manera importante y significativa, principalmente bajo la modalidad de Cosecha Verde; esto por razones de índole laboral, productivo, ambiental y económico, lo cual implicará sin embargo investigar, adaptar

Cuadro 2. Área de Caña de Azúcar Cosechada Mecánicamente en Costa Rica. Durante la Zafra 2004/2005.

Región	Ingenio	Has	%
Pacífico Central	Cañera Las Loras	1400	100
	El Palmar	3742 *	96,5
	Total	5.142	9,89 **
Pacífico Seco	CATSA	4230 *	94
	El Viejo	3400	87
	Taboga	2952 *	65
	Total	10.582	20,35 **
Huetar Norte (San Carlos, Los Chiles)	Quebrada Azul	2000	80
	Providencia (Maiju)	225	70
	Cutris	520	40
	Costa Rica (La Fortuna)	263	30
	Total	3.008	5,78 **
Sur	COOPEAGRI	213	12,5 *
Central Oriental	Juan Viñas	112	14
Total General		19.057	36,65 **

* Datos Estimados.

** Porcentaje Respecto al Área Total de Caña Sembrada en Costa Rica (52.000 has).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización

El experimento se realizó en las fincas del Ingenio Quebrada Azul, ubicado en la comunidad de Quebrada Azul, Distrito de Florencia, Cantón de San Carlos, Provincia de Alajuela. Dicho Ingenio se sitúa entre los 10° 21' 43" Latitud Norte y 84° 28' 39" Longitud Oeste, a una altitud de 65 msnm.

3.2 Condiciones Climáticas

La región Norte del país donde se sitúa el Ingenio Quebrada Azul posee un clima tropical lluvioso, con presencia de lluvias en grado variable durante un periodo continuo la mayor parte del año. La precipitación según mediciones realizadas durante un periodo continuo de diez años para la zona, revela un promedio para la década (1990-2000) de 3.930 mm totales anuales y 327,50 mm mensuales, con una temperatura anual promedio que oscila entre 21°C (mínima) y 31°C (máxima).

La información climática que se recolectó y empleó durante el periodo de estudio se obtuvo a partir de los controles y mediciones internas que mantiene el Ingenio Quebrada Azul.

3.3 Variedades

Para el estudio se emplearon los clones Pindar, Q 96 y SP 70-1284, que actualmente se cultivan comercialmente en la Región Norte. De acuerdo con la información del Censo Cañero realizado en el año 2003, la distribución de esas variedades en la región representa el 23,43%, 20,74% y 0,35%, respectivamente, para un significativo y representativo valor integral del 44,52% según Chaves et al (2004).

3.4 Tratamientos

Se analizaron los contenidos y tipos de materia extraña presentes en los tres clones comerciales de caña de azúcar cultivados ampliamente en la Zona Norte del país (San Carlos), para lo cual se evaluaron individualmente e interaccionaron entre sí tres Factores, dos con tres niveles y otro con dos niveles, como se detalla a continuación:

- Variedad Cultivada:
 - Pindar
 - SP 70-1284
 - Q 96

- Tipo de Cosecha:
 - CAMECO CH2500
 - CAMECO CH3500
 - Semimecanizada

- Modalidad de Cosecha:
 - Cruda
 - Quemada

El experimento se conformó por 18 tratamientos ordenados en Arreglo Factorial y analizados estadísticamente por medio de un Diseño Experimental Irrestricto al Azar con 6 repeticiones.

Para el desarrollo del estudio se identificaron lotes comerciales representativos que aseguraran y garantizaran el cultivo de las variedades Q 96, SP 70-1284 y Pindar. Cada variedad fue cosechada mediante los tres tipos de cosecha estudiados: Cosechadora CAMECO CH 2500, Cosechadora CAMECO CH 3500, Corta Manual y Alce Mecánico (Cosecha Semimecanizada).

De los lotes seleccionados el 50% se cosechó mediante la modalidad de cosecha Quemada y el otro 50% se cosechó Sin Quemar (Modalidad de Cosecha Cruda).

La materia prima cosechada de cada lote seleccionado fue ubicada en carretas acondicionadas para cada tipo particular de cosecha y transportada al ingenio, procurando siempre respetar la mayor representatividad posible.

Las muestras que se tomaron y analizaron para realizar la valoración de la materia extraña fueron tomadas en el Ingenio mediante el uso del Muestreador Mecánico Core – Sampler, el cual extrajo una muestra representativa de caña a partir de las carretas cargadas con caña que provenían del campo experimental y que se encontraban listas para ser procesadas en la fábrica (en total se extrajeron 108 muestras).

Los 18 tratamientos evaluados se describen a continuación:

Tratamiento No.	Variedad	Tipo de Cosecha	Modalidad de Cosecha
1	Pindar	Cameco CH2500	Cruda
2	Pindar	Cameco CH2500	Quemada
3	Pindar	Cameco CH3500	Cruda
4	Pindar	Cameco CH3500	Quemada
5	Pindar	Semimecánica	Cruda
6	Pindar	Semimecánica	Quemada
7	SP 70-1284	Cameco CH2500	Cruda
8	SP 70-1284	Cameco CH2500	Quemada
9	SP 70-1284	Cameco CH3500	Cruda
10	SP 70-1284	Cameco CH3500	Quemada
11	SP 70-1284	Semimecánica	Cruda
12	SP 70-1284	Semimecánica	Quemada
13	Q-96	Cameco CH2500	Cruda
14	Q-96	Cameco CH2500	Quemada
15	Q-96	Cameco CH3500	Cruda
16	Q-96	Cameco CH3500	Quemada
17	Q-96	Semimecánica	Cruda
18	Q-96	Semimecánica	Quemada

3.5 Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño Experimental Irrestricto al Azar con un Arreglo Factorial ($2^3 \times 1^2$), en el cual se contó con 6 repeticiones por tratamiento, cuyo Modelo es el siguiente:

Donde:

Modelo Estadístico: $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + (A \times B \times C)_{ijk} + E_{ijk}$

μ	-Media
A_i	-Factor Variedad Cultivada
B_j	-Factor Tipo de Cosecha
C_k	-Factor Modalidad de Cosecha
$(A \times B \times C)_{ijk}$	- Interacción de Factores
E_{ijk}	. Error Experimental

3.6 Muestreo

La unidad experimental estuvo conformada por dos tipos de carretas cargadas con caña de azúcar, cuya capacidad era de aproximadamente 28 toneladas con un ± 3 toneladas y 7 toneladas con un \pm de una tonelada respectivamente. Para la valoración de la materia extraña en cada carreta se extrajo una muestra representativa con el Core-Sampler de aproximadamente 9 kilogramos ($\pm 0,5$ kg), la cual se identificó y procedió a limpiar manualmente con el fin de identificar y cuantificar las impurezas presentes.

3.7 Variables a Evaluar

El experimento dio inicio el día 01 de abril y finalizó el 31 de mayo del 2005 para un total de 61 días consecutivos.

Durante cada día de evaluación del estudio se tomaron en forma sistemática y consecutiva, muestras de materia prima (caña) propia de la finca y que ingresaba al ingenio para su procesamiento, las cuales se ubicaron sobre una mesa para favorecer y facilitar la desagregación, separación e identificación de la materia extraña.

Para determinar el contenido de materia extraña presente en cada muestra evaluada, se procedió a limpiar la caña, separando y diferenciando del tallo moleadero lo correspondiente a basura, pesándola por separado y procediendo por cálculo a determinar su valor (% absoluto) respecto al peso total de la muestra.

Para la realización del estudio se contó con la participación de una persona debidamente capacitada y adiestrada en esta materia, asegurando con ello representatividad a lo procurado y obtenido.

Cada muestra de 9 kg recolectada fue dividida en dos submuestras iguales para analizar por aparte en el laboratorio, las mismas permitieron en forma representativa, determinar las características industriales de la Caña Limpia y la Caña Sucia. La Caña Sucia estuvo determinada por la submuestra que se analizó tal y como se extrajo del Core-Sampler y la Caña Limpia por la submuestra a la cual se le eliminó en su totalidad la materia extraña.

3.8 Análisis Industrial

Para el análisis de la calidad industrial de estas muestras se utilizaron los criterios técnicos pregonados por el Método Convencional de Análisis de la Prensa Hidráulica empleado oficialmente por la Liga Agrícola de la Caña de Azúcar (LAICA), para efectuar el Pago de la Caña al Productor con Base en la Calidad (concentración de sacarosa contenida y extraída del tallo), como se detalla seguidamente:

Por medio de dicho método se obtienen las concentraciones porcentuales de Sólidos Totales (Brix), Sacarosa Aparente (Pol) y Pureza del Jugo; así como también el porcentaje de Fibra, la Sacarosa en Caña y el valor de la Torta Residual. Además se determinó por cálculo matemático el Rendimiento Teórico de Azúcar Blanco Recuperable por Tonelada Métrica de Caña Molida (kg de azúcar/t), así como complementariamente, los kg de Melaza/t.

A continuación se describe muy sucintamente la metodología utilizada para realizar el cálculo de las variables industriales valoradas en estudio:

3.8.1 Contenido de Sólidos Solubles (% de Brix)

Se refiere al porcentaje en peso de los sólidos disueltos en una solución. Para su determinación se emplea el refractómetro tipo ABBE MARK II, al cual se le agrega una gota de jugo, para tomar su respectiva lectura.

3.8.2 Contenido de Sacarosa Aparente (% Pol) en el Jugo

Es el contenido aparente de sacarosa de un producto expresado como porcentaje en masa. Se determina utilizando un polarímetro modelo Bauchand Lomb Opt. Co., en un volumen aproximado de 15 ml de jugo de caña, con adición de Subacetato Seco de Plomo (Hidroxiacetato de Plomo II) por cada 100 ml de filtrado, para lograr un mejor clarificado del jugo.

3.8.3 Grado (%) de Pureza del Jugo

Corresponde a la razón porcentual de Sacarosa (o Pol) respecto al total de Sólidos Solubles (Brix) contenidos en un producto azucarado.

El porcentaje de Pureza se obtiene usando la fórmula:

$JP/BP \times 100$, donde BP= Brix existente en el Jugo Extraído.

JP= Pol contenido en el Jugo Extraído (sacarosa aparente).

3.8.4 Contenido (%) de Fibra en Caña

Es la razón porcentual del peso de la fibra respecto al peso total de la caña.

La Fibra se determina por medio de la siguiente fórmula:

$F(\%) C = T.R. \times F.F.$,

donde T.R. es el peso (g) de la Torta de Bagazo obtenida en la prensa a partir de una muestra de 500 gramos de caña, y F.F es el Factor de Fibra representado en este caño por un valor de 0,10 para el Ingenio Quebrada Azul, el cual constituye un factor de corrección obtenido para las condiciones particulares de ese Ingenio.

3.8.5 Contenido (%) de Sacarosa en Caña

Es la razón porcentual del contenido de Sacarosa o Pol de la caña, respecto al peso total de la misma.

Su determinación se realiza por cálculo directo utilizando la fórmula:

$P(\%)C = JA \times JA(\%) \times 0,10$, en donde:

JA= Pol (%) contenido en el Jugo Absoluto.

JA (%) C= contenido de Pol (%) presente en el Jugo Absoluto considerando también la Fibra (%) de la Caña.

3.8.6 Rendimiento Industrial (kg de Azúcar/t)

Es la razón del Peso de Azúcar Empacado, respecto al Peso de Caña Molida en porcentaje.

Se determina utilizando la fórmula empleada por LAICA denominada "Rendimiento Calculado", descrito por:

$RC = Pol(\%) Caña \times Factor \text{ de Extracción} \times Factor \text{ de Retención} \times 10 \times Factor \text{ de Conversión de Polarización}$, en donde:

✓ Factor de Extracción= $100 - \frac{45,00 \times \% \text{ Fibra}}{(100-\% \text{ Fibra})}$

✓ Factor de Retención= $\text{SJM} \times 0,5$

S= Pureza del Azúcar Comercial

M= Pureza de la Miel Final

J= Pureza del Jugo Extraído por Medio de la Prensa

✓ Factor de Conversión de Polarización= $100/91,5$.

3.8.7 Melaza Producida

La melaza virgen es dirigida y procesada en el Tacho A para luego ser enviada a la Centrífuga A, donde se obtiene azúcar de 98,5° y Magma A o Meladura A, la cual nuevamente se traslada al Tacho B y luego a la Centrífuga B para así lograr un azúcar 97,5° y Magma B o Meladura B, que finalmente es llevada al Tacho C y Centrífuga C, donde se logra el Magma C que retroalimenta el proceso, siendo dirigido al Tacho A y la Miel Final o Melaza (Hugot, 1986).

3.9 Análisis Estadístico

El Análisis de Varianza de los resultados obtenidos se efectuó utilizando el Sistema Analítico INFOSTAT, empleado para determinar el grado de significancia entre los tratamientos para cada variable evaluada.

Cuando se obtuvieron variaciones significativas se practicaron Pruebas de Rango Múltiples mediante Tuckey al 5%; así como Regresiones y Correlaciones a las variables más importantes, de manera que permitieran individualizar y describir en forma particular el tipo de variación observada.

3.10 Análisis Económico

Con el objeto de valorar y cuantificar el impacto comercial y económico generado por cada uno de los tratamientos evaluados en el estudio, se determinó el valor que se deja de percibir y con ello la consecuente pérdida económica ocurrida, por la presencia de la Materia Extraña en las entregas comerciales de caña que se hacen al Ingenio de acuerdo a cada condición particular (Tratamiento).

La determinación y cuantificación de las pérdidas económicas se efectuó tomando como referencia para el cálculo, únicamente la materia prima procesada perteneciente al Ingenio Quebrada Azul, que fue para esa zafra de 161.462,323 toneladas métricas.

Los precios del azúcar (Agrícola + Industrial) pagados en Régimen de Cuota en la zafra 04/05 fueron de ϕ 168,72/kg y de ϕ 18,3735/kg para la miel final para el Productor. En el caso del azúcar se tomó el 100% del ingreso que percibe el Productor Independiente (62,5%) y el 37,5% del Ingenio. En el presente caso hay que tomar en cuenta que el Ingenio Quebrada Azul produce y procesa caña por lo que percibe el 100% del precio.

El análisis económico se realizó mediante la metodología de Relación Beneficio/Costo.

La metodología del cálculo consistió en determinar la cantidad total de materia extraña correspondiente a cada Tratamiento, de acuerdo con su contenido porcentual.

Con base en el total de caña procesada por el Ingenio (161.462,323 TM) en esa zafra, se estimó la cantidad (Toneladas) de materia extraña contenida en ese total para cada Tratamiento evaluado.

A ese tonelaje de materia extraña se le cuantificó el costo incurrido por concepto de corta, carga y transporte, lo cual representó el Costo Agrícola de la Materia Extraña. Dichos costos utilizaron valores correspondientes a la zafra 04/05.

Complementariamente se valoró el Costo Industrial, representado en este caso por la disminución en el valor económico que ocasiona el entregar caña de azúcar con materia extraña. Para el cálculo de este valor se utilizó la diferencia de Rendimiento (kg de azúcar/t) existente entre la Caña Limpia y la Caña Sucia (con basura).

El impacto económico provocado por la presencia de materia extraña en las entregas comerciales de caña en el Ingenio Quebrada Azul, fue determinado por la integración del Costo Agrícola y Valor Industrial no percibido.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Condiciones Climáticas

El periodo de estudio se desarrolló en el Ingenio Quebrada Azul desde el 01 de abril hasta el 31 de mayo del 2005 para un total de 61 días. Dicho Ingenio procesó caña durante 128 días consecutivos iniciando zafra el 24 de enero concluyendo el 01 de junio.

Las condiciones climáticas prevalecientes durante el periodo de la zafra, esta ampliamente demostrado que influyen directamente de manera significativa sobre el desarrollo vegetativo de la caña de azúcar, y principalmente sobre la cantidad y calidad de la materia extraña que acompaña a los tallos de la caña de azúcar a la fábrica (Chaves, 1982).

En la Figura 1 y el Cuadro 1 A se muestra la información relativa a la precipitación y su distribución durante el periodo de estudio (Abril-Mayo 2005), apreciándose que el mes de abril manifestó un comportamiento de baja precipitación ya que durante todo el mes solamente tres días presentaron lluvias superiores a 9 mm.

En el mes de mayo se puede observar que a partir del día siete empiezan las lluvias y mantienen constancia en nivel variable a lo largo de todo el mes, ocasionando con ello mayor incorporación de materia extraña a la fábrica por la adherencia de hoja seca y tierra a los tallos molederos.

La cantidad acumulada de lluvia durante el mes de mayo (184,6 mm) prácticamente triplico a la de abril (59,3 mm). Mostrando a su vez ambos meses diferencia en el número de días con lluvia, que fueron de 8 y 22, respectivamente.

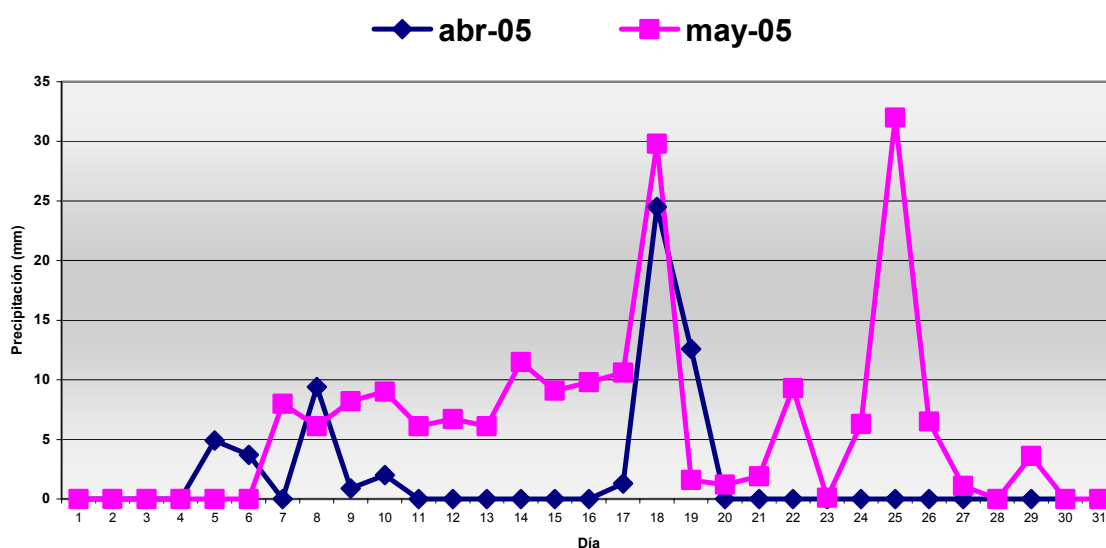
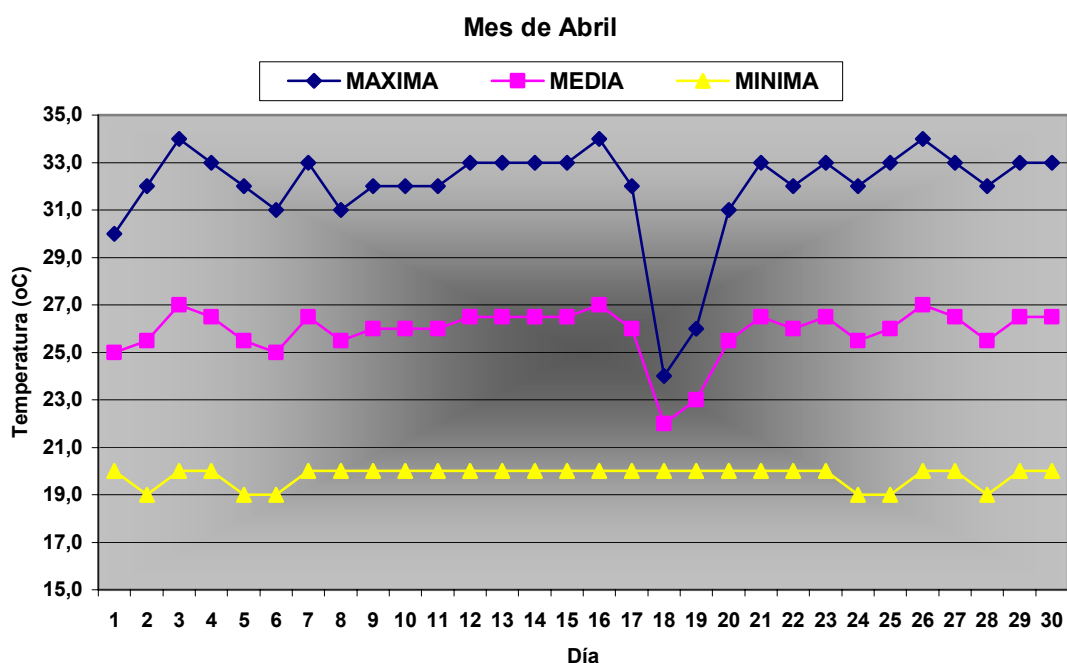


Figura 1. Distribución de la lluvia durante el periodo de evaluación de Materia Extraña en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

En la Figura 2 se aprecia la información correspondiente a temperaturas máximas, medias y mínimas registradas durante el periodo de estudio, y en donde se muestran temperaturas con poca variación a lo largo de los meses de abril y mayo, excepto los días 18 y 19 de abril, en donde la temperatura cayó significativamente hasta los 22 y 23 °C en promedio, respectivamente.

En el Cuadro 1 A se aprecian las diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas durante los dos meses en que se llevó a cabo la evaluación, y en donde se nota que no existe una variación significativa entre ambas temperaturas, capaz de modificar significativamente la concentración de Sacarosa en Caña.

Durante el mes de abril se presenta una diferencia del 12,2 °C en promedio entre la temperatura máxima y mínima, mientras que en el mes de mayo la diferencia fue de 10,5 °C, por lo que se obtuvo un diferencial térmico mayor en el mes de abril, factor que en alguna medida beneficia la concentración de azúcar en los tallos de caña.



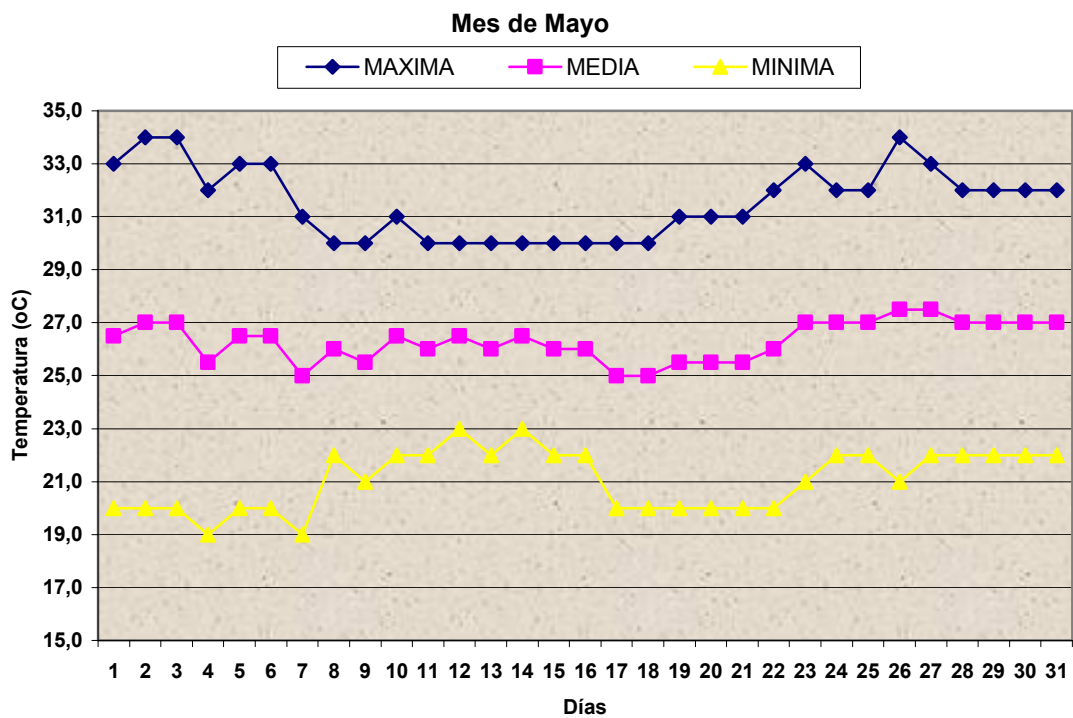


Figura 2. Comportamiento de la Temperatura durante el periodo de evaluación de Materia Extraña en el Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

4.2 Materia Extraña

La materia extraña presente en las entregas comerciales de caña de azúcar influye directa y negativamente sobre la calidad y los Rendimientos Industriales, provocando pérdidas tanto para el Ingenio procesador de la materia prima como para el entregador (productor) de caña de azúcar.

En el Anexo, propiamente en los Cuadros del 3A al 9A se muestran los resultados promedios puntuales de materia extraña incorporada a la fábrica obtenidos en el presente estudio por cada tratamiento.

En el Cuadro 2 A se adjunta el resultado del Análisis de Varianza realizado y en donde se puede observar que solamente las Fuentes de Variación: Tipo de Cosecha y Modalidad de Cosecha mostraron diferencias estadísticas altamente significativas, al nivel probabilístico del 1%.

Para el caso particular de la Variedad cultivada, se puede apreciar en el Cuadro 3 A, que no hubo diferencias estadísticas significativas; sin embargo, es importante observar en la Figura 3 que la variedad Q 96 fue la que introdujo mayor contenido de materia extraña con 24,54%, debido principalmente a que es una variedad con un crecimiento semiabierto y con un grado de despaje natural más difícil que el de la SP 70-1284 y la variedad Pindar. Este comportamiento de Variedad Sembrada vs Materia Extraña lo confirma Subirós (1995), al mencionar que la cantidad de materia extraña está relacionada directamente con la naturaleza de la variedad cultivada, ya que unas poseen un follaje más denso que otras, y éste se desprende a su vez de manera diferente con mayor o menor facilidad.

Para confirmar este hecho, los resultados obtenidos por DIECA (1997) demuestran que existen diferencias importantes entre los contenidos de materia extraña verificados entre clones comerciales de caña, los cuales se incrementan aún más al diferenciar la procedencia de la materia prima. Al comparar por ejemplo las variedades NCo 310, CP 72-1210 y Ja 60-5, se encontró que la NCo 310 es la que en promedio mayor contenido basura incorpora, al reportar un 13,70%, seguida por la CP 72-1210 con 12,43% y la Ja 60-5 con un 9,8%. El hecho de que la NCo 310 presente mayores contenidos de basura, se atribuye a la presencia de hojas, cogollo y caña seca que estructuralmente posee, lo cual en un alto grado se debe a su elevada área foliar y bajo grado de despaje natural.

De igual manera, Oviedo encontró en el 2002 que el mayor contenido de materia extraña se presentó en la variedad de caña Q 96, la cual alcanzó un valor promedio general de 15,7%; mientras que en donde se utilizó la SP 71-5574, se presentó un valor promedio de introducción de materia extraña al Ingenio del 10,53%, existiendo por lo tanto una diferencia importante entre ambas variedades que alcanzó un valor del 5,17%.

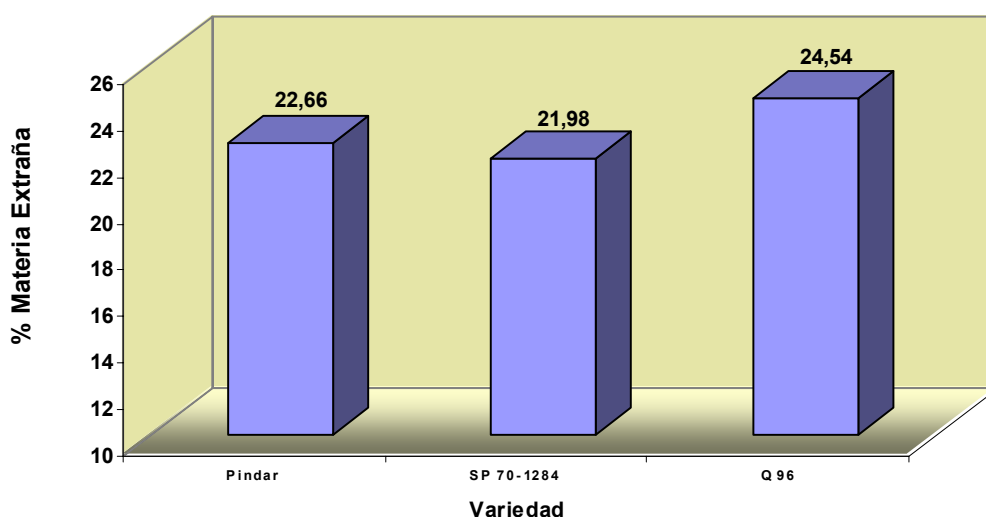


Figura 3. Contenidos (%) de Materia Extraña en las entregas comerciales según Variedad Cultivada, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

Respecto al Factor:

Tipo de Cosecha se puede apreciar en el Cuadro 4 A que existen diferencias estadísticas con carácter significativo según la Prueba de Tuckey al 5%, entre las cosechadoras CAMECO CH 2500 y CAMECO CH 3500 y la Cosecha realizada en forma Semimecanizada. En la Figura 4 se observa que la cosechadora CAMECO CH 2500 fue la que incorporó mayor cantidad de materia extraña a la fábrica, un

27,62%, con respecto a la CAMECO CH 3500 y a la Cosecha Semimecanizada que alcanzaron un 22,91 y 18,66%, respectivamente; no presentando éstas últimas dos diferencia estadística significativa según la Prueba de Tuckey al 5%.

Es importante mencionar que existe una mayor incorporación de basura cuando la labor se realiza en forma mecánica; presentándose en este estudio una diferencia de la cosecha Semimecanizada con respecto a la CAMECO CH 2500 y a la CAMECO CH 3500 del 8,96% y 4,25%, respectivamente, debido principalmente a que la máquina cortadora no diferencia ni discrimina las características morfológicas particulares de cada variedad, como son uniformidad en la altura de los tallos, porte o tipo de crecimiento, despaje, presencia de tallos inmaduros o mamones, tamaño del cogollo, entre otras. A diferencia de ello, realizar la cosecha con mano de obra calificada hace factible eliminar muchos de esos componentes de materia extraña.

Sin embargo, aún realizando la cosecha semimecanizada con mano de obra muy diestra, se suele descuidar la operación con la carga mecanizada, incorporándose a las carretas cantidades elevadas de tierra afectando enormemente el Rendimiento Industrial de la materia prima entregada. Según Rozeff (1997), un 1% de basura en forma de paja (Hojas Secas), contribuye en un aumento de 0,329% de Fibra y un 1% de Tierra, en un 0,8% de Fibra, lo que evidencia el impacto de esa fracción.

Por otra parte, Scandaliaris *et al* (2000) mencionan que un importante aporte que han realizado las máquinas cosechadoras de nueva generación, es la posibilidad de cosechar caña en verde, como consecuencia de la fuerte reducción de "Trash" que logran las mismas, en relación a los modelos de máquinas combinadas anteriores.

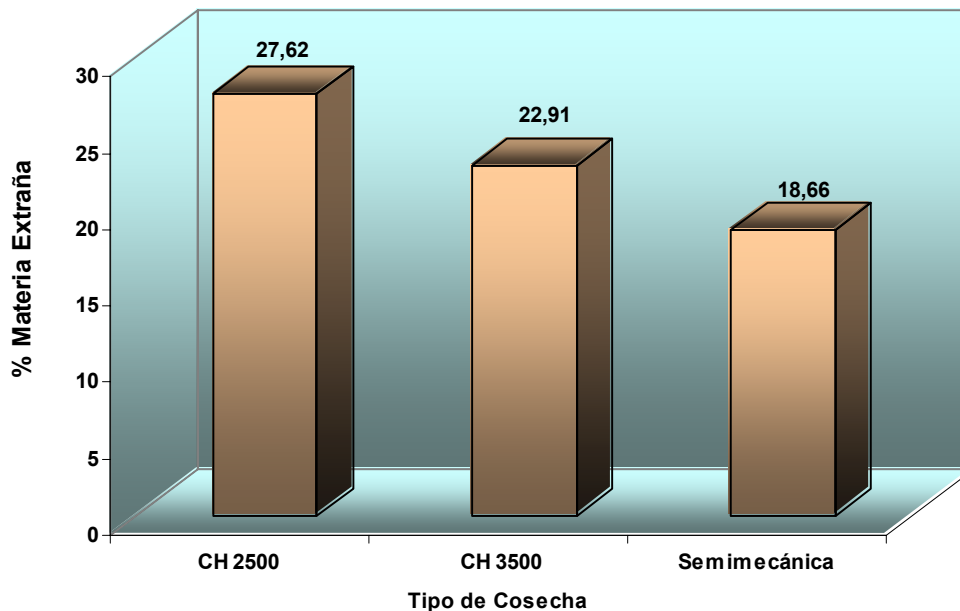


Figura 4. Contenidos (%) de Materia Extraña incorporada según Tipo de Cosecha evaluada, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

Modalidad de Cosecha se puede notar en esta variable en el Cuadro 5 A, que existen diferencias estadísticas significativas según la Prueba de Tuckey al 5%, presentándose un mayor contenido de materia extraña cuando se cosechó la caña en forma cruda como era razonable de esperar, debido principalmente a que al momento de quemarse la caña, el componente hojas disminuye significativamente por causa de la incineración del material vegetal y por consiguiente, disminuye el contenido total de materia extraña presente.

Situación similar sucedió en un estudio realizado por Oviedo (2002) en el Ingenio La Argentina, donde encontró que al quemar la caña durante la cosecha se eliminó un 3% de la materia extraña presente.

En la Figura 5 se muestra contundentemente como la caña cosechada cruda introdujo un 5,91% más de materia extraña en relación a la caña cosechada quemada, debido posiblemente a la presencia del componente hojas, el cual también con presencia de humedad favorece la incorporación de otros componentes acontece con la tierra.

Opina al respecto Rozeff (1995a), que un fuego intenso, aún no consumiendo el cogollo, producirá una gran marchitez en el conjunto de hojas verdes, ayudando a transportar materia prima de mayor calidad (menor cantidad de materia extraña) y a la concentración de azúcares presentes.

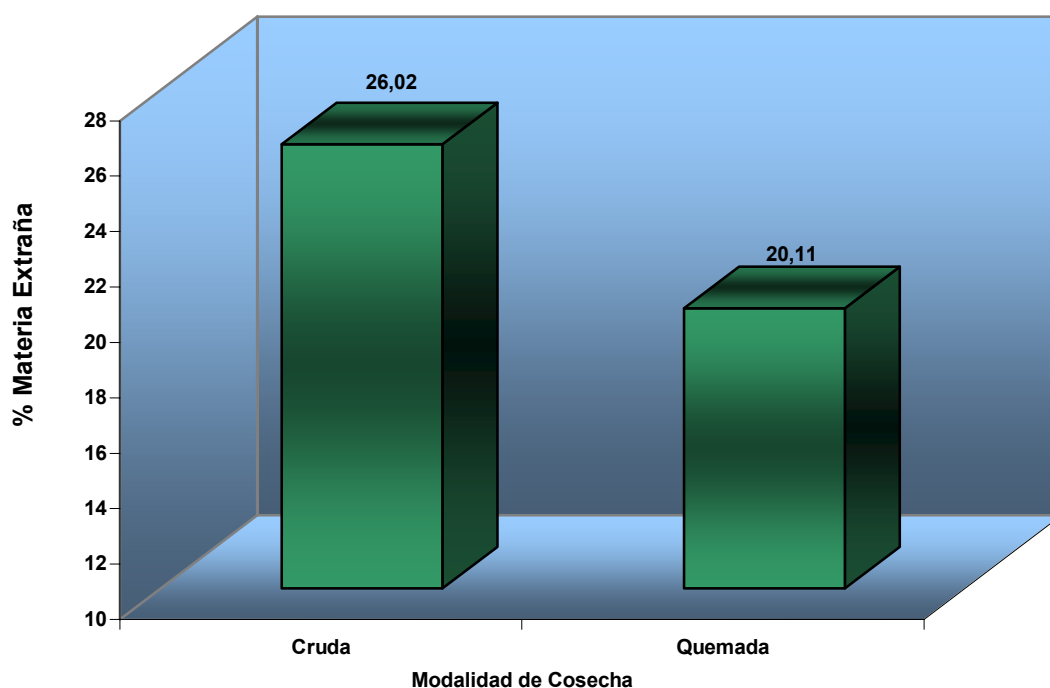


Figura 5. Contenido (%) de Materia Extraña presente según Modalidad de Cosecha evaluada, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

A pesar de que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el Análisis de Varianza para ninguna interacción, es importante apreciar en la Figura 6 lo acontecido en la **interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha**, en donde la cosechadora CAMECO CH 2500 introdujo mayor cantidad de materia extraña en las tres variedades estudiadas (Pindar, SP 70-1284 y Q 96), debido a su menor eficiencia en la extracción de la basura, ya que el rodillo alimentador de dicho equipo no distribuye uniformemente la caña en la banda transportadora lo que dificulta la extracción de la materia extraña. También cabe notar que hubo una mayor incorporación de basura por parte de la CAMECO CH 2500 cuando se utilizó la variedad Q 96 (31,76%), debido principalmente a que esta variedad posee un porte semiabierto que dificulta el adecuado despunte de los tallos, generándose con ello una mayor incorporación de cogollo a la cosechadora y consecuentemente a la fábrica.

En lo que respecta a las variedades cosechadas con la CAMECO CH 3500 y la Cosecha Semimecanizada, se presentó un comportamiento muy similar en cuanto a la cantidad de basura contenida en las tres variedades evaluadas. También se corrobora en esa Figura 6, que en las tres variedades la cosecha que ocasionó menor introducción de materia extraña al ingenio fue la Cosecha Semimecanizada, debido principalmente a que el cortador realiza una corta más eficiente como es un mejor despunte, corte a ras de suelo, despaje adecuado y menor introducción de mamones, tallos inmaduros y podridos.

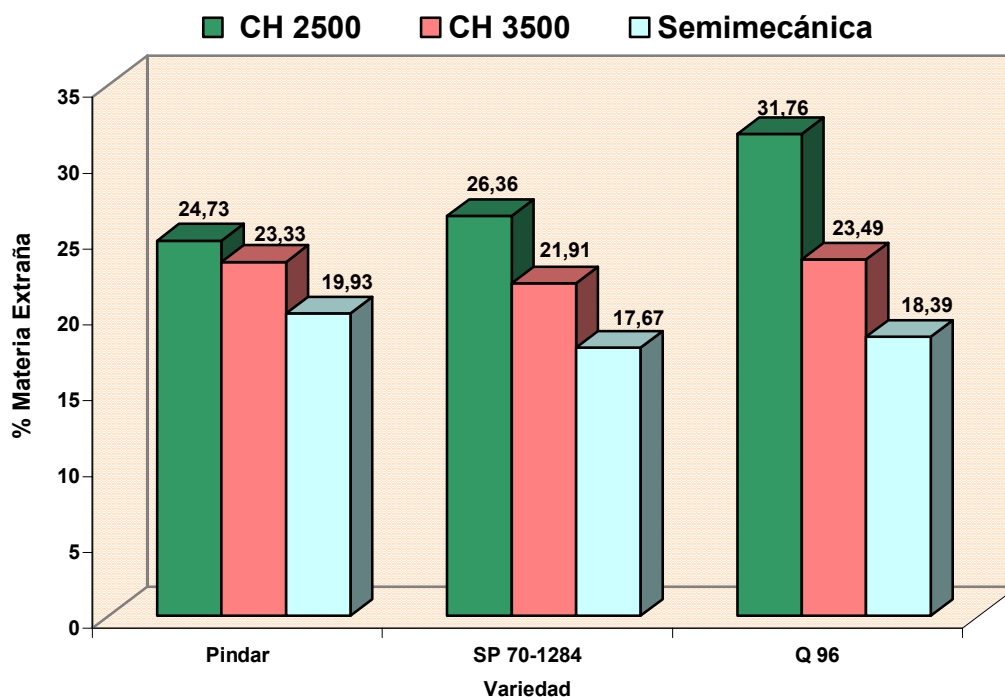


Figura 6. Contenidos (%) de Materia Extraña presentes según Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha evaluada, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

En esta interacción la variedad cultivada que presentó el menor contenido de materia extraña fue la SP 70-1284 Cosechada Semimecánicamente, con un 17,67%, atribuible a que es una variedad con un despaje regular, crecimiento erecto, menor presencia de tallos inmaduros y un crecimiento uniforme; características que le permiten llegar más limpia a la fábrica.

La interacción **Variedad Cultivada vs Modalidad de Cosecha** se refleja en la Figura 7, en donde se puede apreciar claramente que cuando la caña se cosecha en forma cruda, existe una mayor incorporación de materia extraña, como lo demuestra el hecho de que en las tres variedades se manifiesta el mismo comportamiento debido a que al momento de quemar la caña las hojas secas

disminuyen significativamente y las hojas verdes adheridas al tallo y al cogollo se deshidratan, volviéndose más livianas y fáciles de eliminar.

En esta Figura también se puede apreciar que en el caso de la variedad Q 96 se incorporó mayor cantidad de basura (28,2%), debido principalmente al tipo de crecimiento natural de esta variedad y a que posee un despaje difícil, esto con respecto a las variedades Pindar y SP 70-1284.

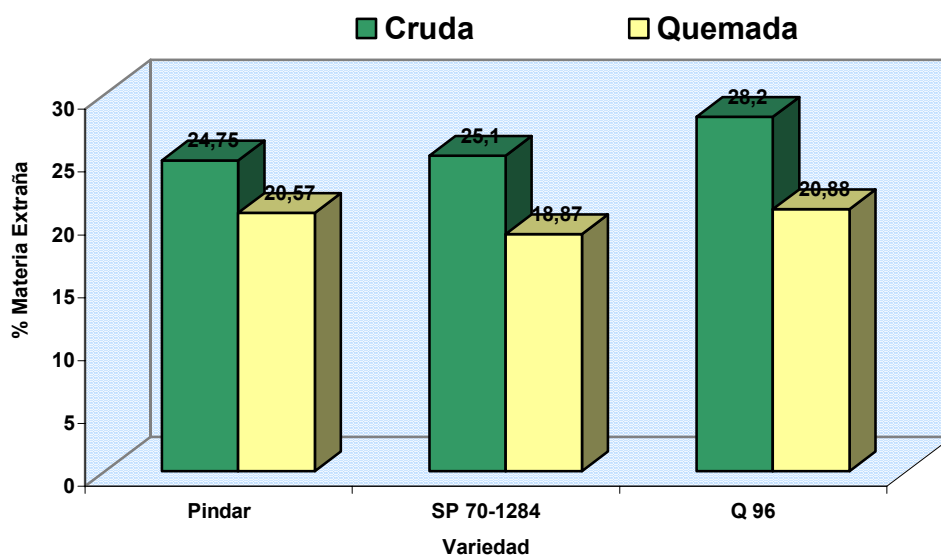


Figura 7. Contenido (%) de Materia Extraña presentes según Variedad Cultivada vs Modalidad de Cosecha evaluada, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

La interacción **Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha** (Figura 8) muestra que se introdujo más basura cuando la caña se cosechó en crudo indiferentemente con respecto al empleo de los tres tipos de cosecha estudiadas; sin embargo, en el caso de la Cosecha Semimecanizada hubo una mayor incorporación de basura (9,42%), cuando se cosechó en forma Cruda, debido posiblemente a que existe una mayor incorporación de hojas en variedades como la Q 96, difíciles de eliminar cuando se corta sin quemar.

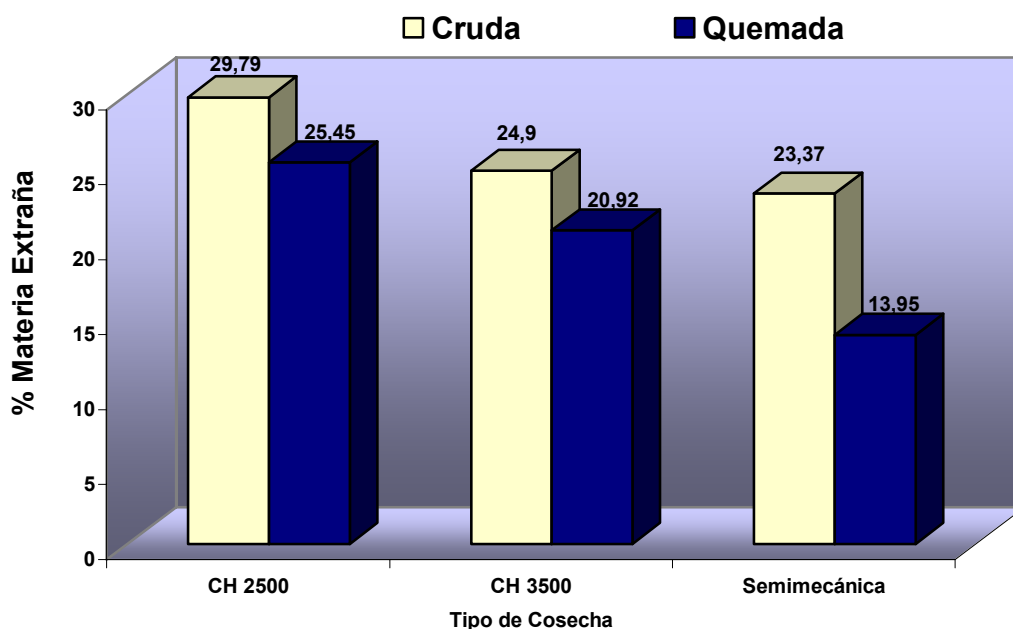


Figura 8. Contenido (%) de Materia Extraña presentes según Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha evaluada, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

A partir de la información contenida en la Figura 9 se puede concluir que los Tratamientos que incorporaron mayor cantidad de materia extraña fueron el N° 13, 14, 1 y 9, en donde el Tratamiento N° 13 representado por la variedad Q 96, cosechada con equipo CAMECO CH 2500 y bajo la Modalidad de Cosecha Cruda, introdujo un 35,59% de materia extraña; lo que se atribuye principalmente a que la variedad Q 96 usada en dicho tratamiento posee un crecimiento abierto así como un difícil despaje y mayor proporción de cogollo, lo que influye con el alto porcentaje de materia extraña presentado. Además, en este tratamiento se utilizó la cosechadora menos eficiente en extracción de materia extraña y se cosechó en forma cruda, lo que introduce más basura, como se mencionó y demostró anteriormente.

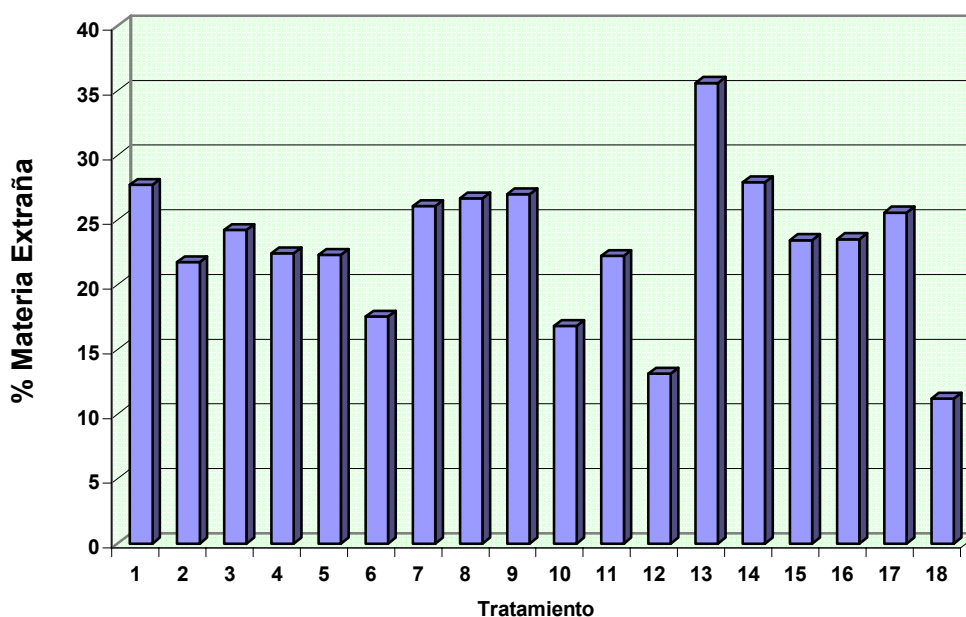


Figura 9. Contenidos (%) de Materia Extraña incorporados según Tratamiento evaluado, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

En el caso del Tratamiento N° 14 representado por la misma variedad Q 96 y tipo de cosechadora, difiriendo solamente en que se utilizó la Modalidad de Cosecha Quemada, mostró un 27,93% de materia extraña, atribuyéndose este comportamiento a la Variedad Cultivada y al Tipo de Cosechadora utilizada.

El Tratamiento N° 1 representado por la variedad Pindar, la cosechadora CAMECO CH 2500, cosechada en forma cruda introdujo un 27,7% de materia extraña a la fábrica, lo que fue inducido principalmente por el Tipo de Cosechadora y la Modalidad de Cosecha utilizada.

En el caso del Tratamiento N° 9 representado por la variedad SP 70-1284, cosechadora CAMECO CH 3500 y cosechada en crudo incorporó un 27% de materia extraña, producto principalmente de la modalidad de cosecha utilizada.

Se concluye que existen influencias determinantes tanto individuales como en su interacción, entre los factores de cosecha estudiados, lo que se aprecia muy bien en la Figura 9. La combinación más favorable fue dada por el Tratamiento N° 18: Q 96, Cosechada Quemada en forma Semimecanizada y, el Tratamiento N° 12: SP 70-1284 en las mismas condiciones. El aporte de materia extraña en ambos casos fue bajo: 11,20% y 13,12%, respectivamente.

4.3 Efectos Sobre las Variables Industriales

Se ha comprobado mediante varios estudios que la incorporación de materia extraña a la materia prima que ingresa a un ingenio, provoca efectos negativos y disminuciones en el Rendimiento Industrial (kg azúcar/t), ya que dependiendo de los componentes de la misma que se incorporen, producirán reducciones del porcentaje de Pureza, Brix, Pol y un aumento de la Fibra. En la región de San Carlos Salas y Chaves (1991) desarrollaron un estudio donde se evidenció el

efecto negativo que dicha basura ocasionó sobre los rendimientos de azúcar por tonelada de caña.

4.3.1 Brix (%)

En el análisis de varianza de las variables industriales (Cuadro 10 A) se observan diferencias estadísticamente significativas al nivel del 1% en las fuentes de variación Variedad Cultivada, Tipo de Cosecha y Modalidad de Cosecha, así como también para las interacciones Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha y Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha. Dicho análisis de varianza indica diferencias estadísticamente significativas al nivel del 5%, solamente para la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha.

En el Cuadro 11 A y la Figura 10 se pueden observar que el contenido de Brix en la variedad Q 96 (17,68%) es superior al de las otras dos variedades Pindar y SP 70-1284 (16,53% y 16,63%, respectivamente) muy relacionado con las características genéticas de la variedad Q 96 ya que posee un mayor potencial de producción de azúcar.

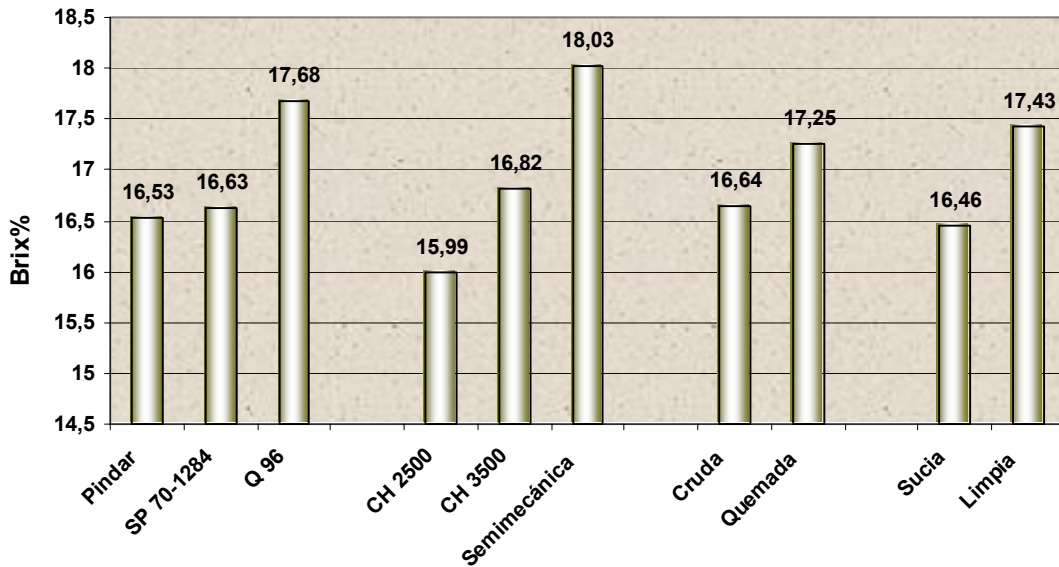


Figura 10. Porcentaje de Brix para los diferentes factores evaluados en el Estudio de Materia Extraña, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

El valor del Brix que presentan los tres tipos de cosecha son diferentes estadísticamente entre si según la prueba de Tuckey al 5%, como se aprecia en el Cuadro 12 A y la Figura 10, presentando la caña recolectada con la cosechadora CAMECO CH 2500 el valor más bajo (15,99%); seguido por la recolectada con la cosechadora CAMECO CH 3500 con 16,82%. El mayor porcentaje de sólidos totales se obtuvo con el tipo de cosecha Semimecanizada que reporta una concentración de 18,03%, correlacionado directamente con el resultado que se obtuvo en el contenido de materia extraña presente en éste tipo de cosecha (18,66%), el más bajo de los tres, como se puede corroborar en el Cuadro 4 A, al introducir elementos de materia extraña como tierra, mamones, hojas y cogollo en menor cantidad. Siendo éstos elementos los que más negativamente afectan la concentración del Brix, dicha variable industrial estará en mayor concentración en la caña cosechada en forma Semimecanizada.

La modalidad de cosecha como es de esperar también reporta diferencias estadísticamente significativas, según Tuckey al 5%, como se indica en el Cuadro 13 A y en la Figura 10, obteniéndose para la caña cruda un Brix inferior al de la quemada (16,64 y 17,24%, respectivamente), también correlacionado con la introducción de materia extraña que presentaron las dos modalidades de cosecha. La modalidad de Cosecha Cruda incorporó 5,91% más de materia extraña en relación con la quemada.

Los resultados obtenidos en los factores del Tipo de Muestra son esperados, ya que también se presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tuckey al 5%. El tipo de muestra Sucia presentó un Brix inferior respecto al tipo de muestra Limpia (16,46% y 17,43%, respectivamente) hecho directamente relacionado con la materia extraña que contenía la muestra Sucia, que en promedio fue del 23,06%.

Al interaccionar la Variedad Cultivada con el Tipo de Cosecha sobresalen dos extremos del contenido de Brix, el que presenta la variedad Q 96 Cosechada Semimecánicamente (19,41%), el cual fue muy influenciado posiblemente por dos factores: a) las características genéticas de la variedad Q 96 en cuanto a concentración de azúcar y, b) el efecto de menor incorporación de materia extraña que presentó el Tipo de Cosecha Semimecanizada. Efecto inverso presentó el otro extremo, ya que la variedad Pindar cosechada con la combinada CAMECO CH 2500 obtuvo un Brix de 15,03%, como se nota en el Cuadro 15 A y la Figura 11.

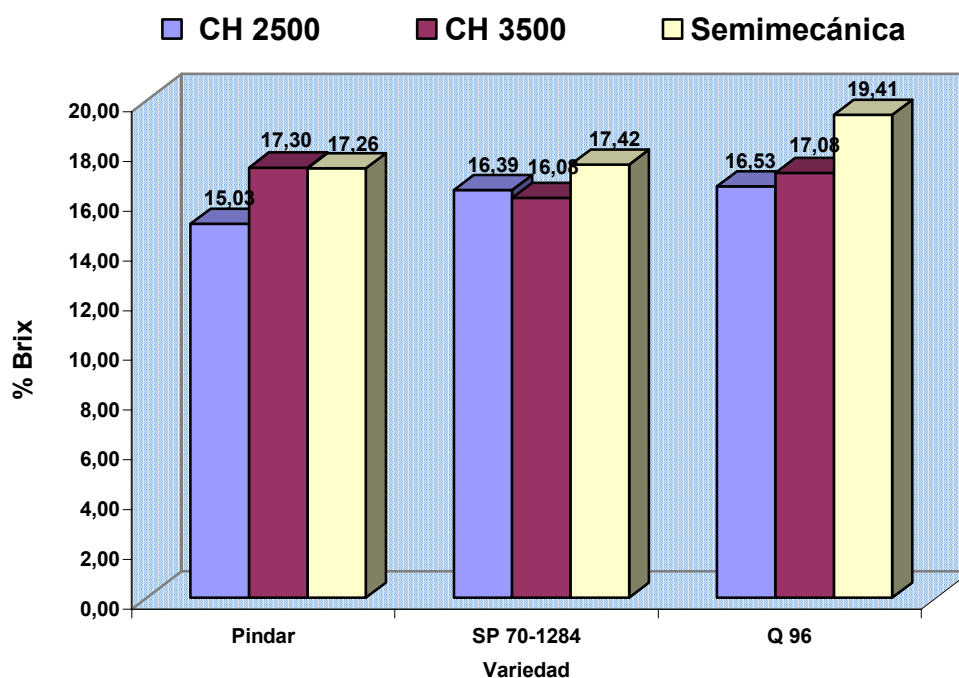


Figura 11. Efecto de la Interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha sobre el porcentaje de Brix, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

Relacionando el Tipo de Cosecha con la Modalidad de Cosecha, se nota que la caña que se cosechó con el Tipo de Cosecha Semimecánica y en condición quemada, presentó el Brix superior 18,92%, mientras que la caña cosechada por la combinadora CAMECO CH 2500 también en condición quemada, obtuvo el Brix inferior de 15,81% (Cuadro 18 A y Figura 12). Estos resultados fueron muy influenciados por la diferencia en la cantidad de materia extraña que incorporan a la caña moledera los dos tipos de cosecha.

Según la prueba de Tuckey al 5% existen diferencias estadísticas entre los tratamientos, que involucran la Modalidad de Cosecha Quemada con los tres Tipos de Cosecha, infiriéndose a partir del Cuadro 18 A, que en dicha situación el porcentaje de Brix es superior en la materia prima cosechada mediante el tipo de

Cosecha Semimecanizada, seguida por el equipo CAMECO CH 3500 y CAMECO CH 2500 (18,92%, 17,03% y 15,81%, respectivamente), resultado muy relacionado con la cantidad de materia extraña que adicionan los tres tipos de cosecha.

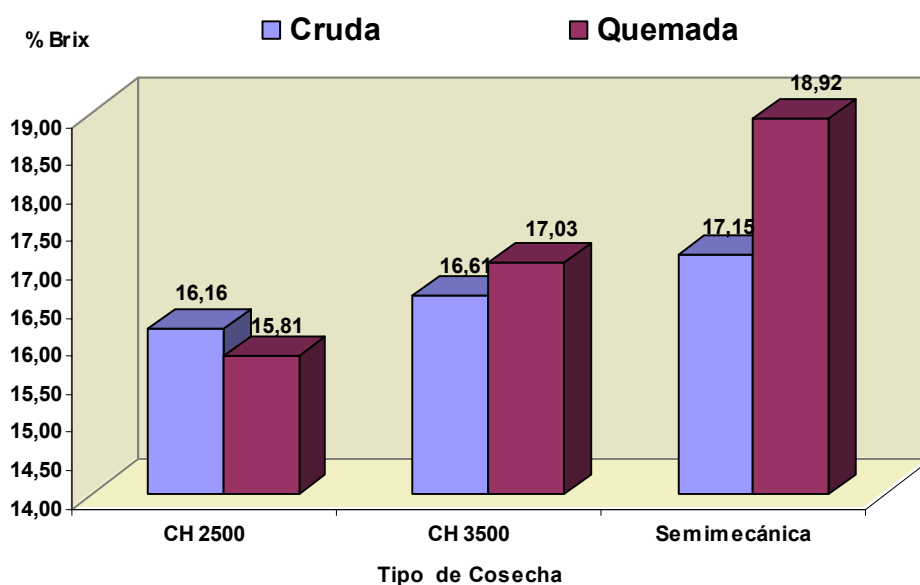


Figura 12. Efecto de la interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha sobre el porcentaje de Brix, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

4.3.2 Sacarosa

En el Cuadro 10 A se observa que para la variable industrial Sacarosa (%), se obtiene el mismo comportamiento que para el caso de la variable Brix (%), de manera que fuentes de variación como Variedad Cultivada, Tipo de Cosecha, Modalidad de Cosecha y Tipo de Muestra, así como las interacciones Variedad vs Tipo de Cosecha y Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha obtuvieron significancia estadística al nivel del 1%; mientras que la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha, resultó con significancia estadística al nivel del 5%.

El porcentaje de sacarosa que presentó la variedad Q 96 (15,39%) difiere estadísticamente según la prueba de Tuckey al 5% con el porcentaje que obtuvieron las otras dos variedades (Pindar 13,99% y SP 70-1284 14,08%), según lo indican el Cuadro 11 A y la Figura 13. Este efecto está muy relacionado con la composición genética de cada variedad y su potencial de producción y concentración de Sacarosa.

La investigación en el aspecto varietal a nivel de Centros de Investigación está orientado hacia la obtención de materiales genéticos con mayor cantidad de sacarosa, así como otros elementos favorables relacionados directamente con facilitar la cosecha mecánica, como son variedades erectas, de altura uniforme, tallo grueso, buen deshoje y con cogollos cortos.

En el Cuadro 12 A y Figura 13 se comparan los tipos de cosecha evaluados, los cuales presentan diferencias estadísticas según la prueba Tuckey al 5% en los tres factores involucrados, obteniéndose mayor sacarosa en la Cosecha Semimecanizada (15,77%), seguida por la combinada CAMECO CH 3500 (14,23%) y con el porcentaje inferior la combinada CAMECO CH 2500 (13,45%).

La diferencia que presenta una cosechadora con respecto a la otra, está influenciada básicamente por el modelo de la máquina, ya que la cosechadora CAMECO CH 3500 posee mejoras sustanciales en los sistemas de extracción de materia extraña, por lo que su eficiencia es mayor en cuanto a la calidad de la materia prima que se corta y envía a la fábrica; además, está comprobado que la incorporación de basura a la caña moledera es desfavorable en relación al porcentaje de sacarosa. Este efecto se evidenció en el presente estudio, ya que el tipo de cosecha que incorporó menos basura obtuvo el mayor porcentaje de Sacarosa (Semimecanizada 18,66% de materia extraña y 15,77% de Sacarosa) y, viceversa, el equipo CAMECO CH 2500 que introdujo el mayor porcentaje de

materia extraña (27,62%), obtuvo contrariamente el menor porcentaje de Sacarosa (13,45%).

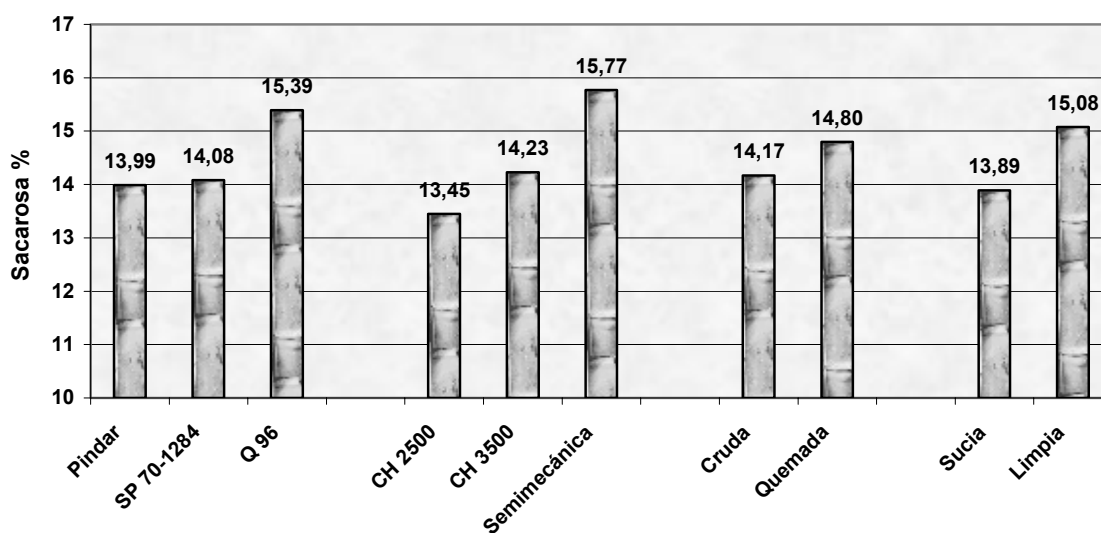


Figura 13. Sacarosa en caña (%) para los diferentes factores evaluados en el estudio de Materia Extraña, Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

La modalidad de cosecha presenta diferencias estadísticas según Tuckey al 5%, como se aprecia en el Cuadro 13 A y la Figura 13, de manera que para la caña cosechada en forma cruda se dio un valor de sacarosa inferior (14,17%), en relación al de la caña que se cosechó quemada (14,80%).

Este asunto está también muy relacionado con la calidad de la materia prima que se adquiere al quemar un cañal, donde se incinera una proporción alta de hojas secas.

Para el tipo de muestra (Cuadro 14 A y Figura 13) como es de esperar, se presentan diferencias estadísticas según Tuckey al 5%. El efecto que produce inicialmente la basura es negativo como se viene evidenciando a través del presente estudio, donde los factores que incorporaron más materia extraña generalmente presentaron un porcentaje de Sacarosa inferior.

La muestra Sucia que fue analizada con la materia extraña que contenía originalmente la materia prima, obtuvo una concentración de Sacarosa inferior (13,89%) en relación a la muestra Limpia, que fue analizada sin basura (15,08%), concluyendo que posiblemente dicha materia extraña influyó dicho resultado.

Larrahondo *et al* (1998) consideran que el “Trash” consiste únicamente de cogollos verdes, hojas y barro que reduce los valores en el % de Sacarosa en la caña, y en el jugo normal de extracción.

Otro efecto fue determinado por Michal (1980), donde este autor estableció la diferencia entre Caña Limpia y Caña Sucia, refiriendo las diferencias a un valor estándar del 1% de Trash que provoca una disminución de la extracción de Jugo y, por ende, disminución del Pol en Jugo % en Caña.

Relacionando la Variedad Cultivada con el Tipo de Cosecha, se presentan diferencias estadísticas según Tuckey al 5%, como se observa en el Cuadro 15 A y en la Figura 14. La variedad Q 96 Cosechada Semimecánicamente presentó el valor de sacarosa más alto (17,54%); para la interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha también se presentaron diferencias estadísticas, según Tuckey al 5% (Cuadro 18 A y Figura 15).

Cuando se relaciona el Tipo de Cosecha Semimecánica con la Modalidad de Cosecha Quemada se obtiene el reporte más alto del porcentaje de sacarosa en caña (16,73), mientras que inversamente la combinada CAMECO CH 2500 con la misma modalidad de cosecha presentan el menor porcentaje de sacarosa en caña (13,24).

En general para esta interacción, la caña que se cosechó quemada presentó una tendencia de mayor porcentaje de Sacarosa en caña en relación con la cosechada cruda, excepto en el caso de la cosechadora CAMECO CH 2500; sin embargo, no difiere estadísticamente según la prueba de Tuckey al 5% con la Modalidad de Cosecha Cruda para dicho equipo.

El efecto que la basura ejerce en la Variable Industrial % de Sacarosa, está claramente evidenciado en la interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha, donde factores que individualmente incorporaron menor cantidad de materia extraña (como es el caso del Tipo de Cosecha Semimecánica y la Modalidad de Cosecha Quemada) relacionados, obtuvieron el % de Sacarosa en caña más elevado (16,73%), mientras que los demás factores que indujeron a la mayor incorporación de basura presentaron un % de Sacarosa inferior.

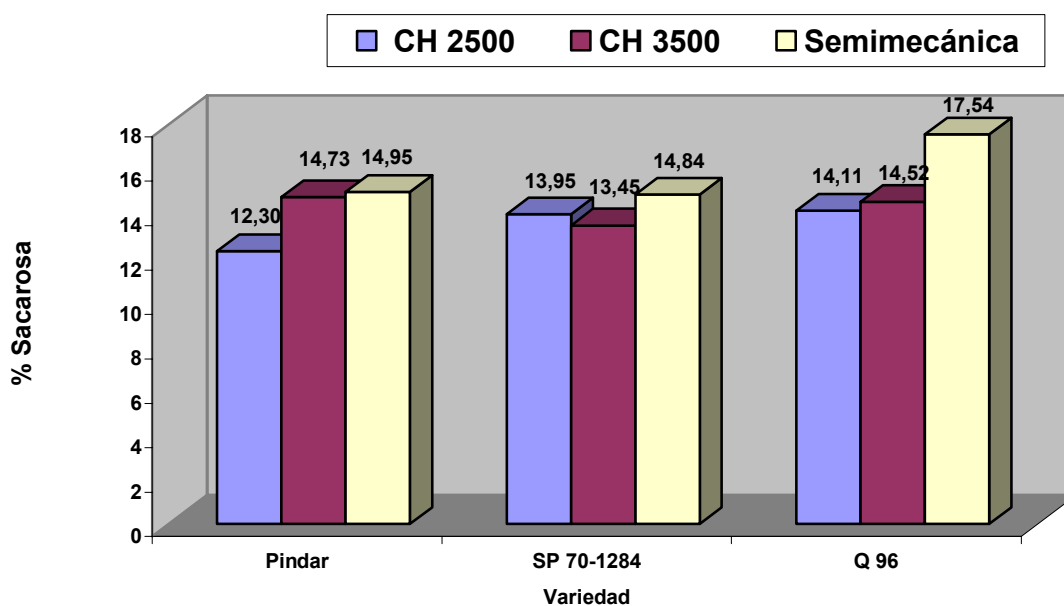


Figura 14. Efecto de la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha sobre el porcentaje de sacarosa en caña. Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

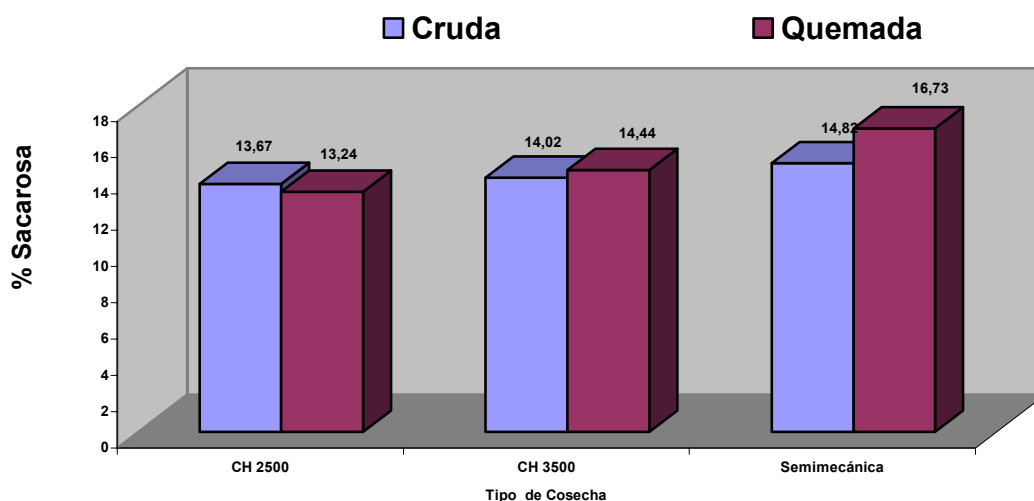


Figura 15. Efecto de la interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha sobre el porcentaje de sacarosa en caña. Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

4.3.3 % Pureza

En el Análisis de Varianza se presenta significancia estadística al nivel del 1% para la variable % Pureza en las fuentes de variación Variedad, Tipo de Cosecha y Tipo de Muestra; además en la interacción Variedad vs Tipo de Cosecha como se anota en el Cuadro 10 A.

Comparando las tres variedades en estudio se verifica que la variable % de Pureza presenta diferencias estadísticas según la prueba de Tuckey al 5%, como se puede visualizar en el Cuadro 11 A y en la Figura 16, el porcentaje de pureza que reporta la variedad Q 96 (86,72%) es superior al que presentaron las otras dos variedades (Pindar 82,42% y SP 70-1284 84,49%), las que sin embargo no difieren estadísticamente entre si, debido principalmente a las excelentes características de concentración de azúcar que posee la variedad Q 96,

evidenciado por los altos contenidos de % de Brix y % de Sacarosa que se aprecian en el Cuadro mencionado anteriormente.

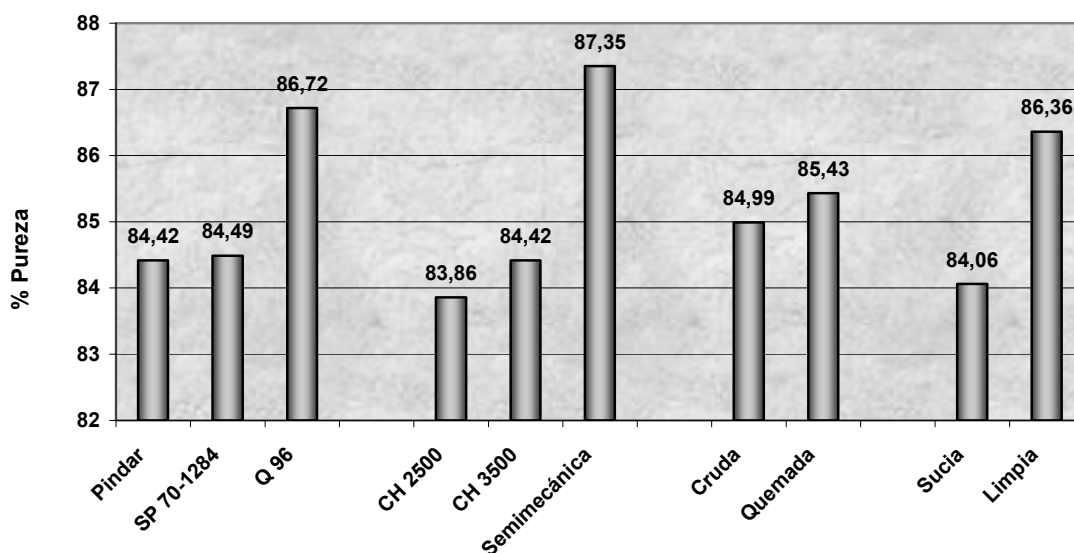


Figura 16. Porcentaje de Pureza del jugo para los diferentes factores evaluados en el estudio de Materia Extraña. Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

Al comparar los tipos de cosecha (Cuadro 12 A y Figura 16) la reacción es muy similar a la anterior, ya que el Tipo de Cosecha Semimecánica sobresale en el % de Pureza (87,35%) respecto a las combinadas CAMECO CH 2500 (83,86%) y CAMECO CH 3500 (84,42%), que como se visualiza, dichas cosechadoras no difieren entre si. Posiblemente el factor que más influyó en estos resultados fue el de incorporación de materia extraña, de tal manera que al incorporar tierra, cogollos, mamones y otras impurezas que no pueden discriminar las cosechadoras, afectan el % de pureza fácilmente visible en las referencias antes mencionadas.

El factor Tipo de Cosecha también presentó diferencias estadísticas significativas según Tuckey al 5% para la variable industrial pureza, como se nota en el Cuadro 14 A y la Figura 16, donde se aprecia una reacción normal, ya que al analizar una muestra de caña que contiene algún porcentaje de materia extraña se obtienen resultados inferiores de % sacarosa en caña, afectando directamente el porcentaje de pureza de dicha muestra. El resultado que presentó el tipo de Muestra Limpia (86,36%) es superior al del tipo de Muestra Sucia (84,06%).

En el Cuadro 15 A y la Figura 17 se presenta la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha, en la cual los tratamientos difieren estadísticamente entre si según Tuckey al 5%. Al interpretar el Tipo de Cosecha Semimecanizada se infiere que para la variedad Q 96 el porcentaje de Pureza (90,25%) difiere en relación al de las otras variedades Pindar (86,57%) y SP 70-1284 (85,25%) cuyos contenidos fueron inferiores.

Las tres variedades cosechadas con la combinada CAMECO CH 3500 no presentan diferencias en esta variable industrial, mientras que cuando se valoró la combinada CAMECO CH 2500 se obtuvieron diferencias estadísticas entre las variedades sembradas, ya que en la variedad Pindar el porcentaje de Pureza fue inferior (81,64%) en relación al de la SP 70-1284 (84,82%) y la Q 96 (85,11%).

La diferencia de mayor magnitud se presentó entre la variedad Pindar cosechada con la Combinada CAMECO CH 2500 (81,64%), en relación a la variedad Q 96 Cosechada Semimecanicámente (90,25%), donde se obtuvo 8,66% más de pureza en este último tratamiento.

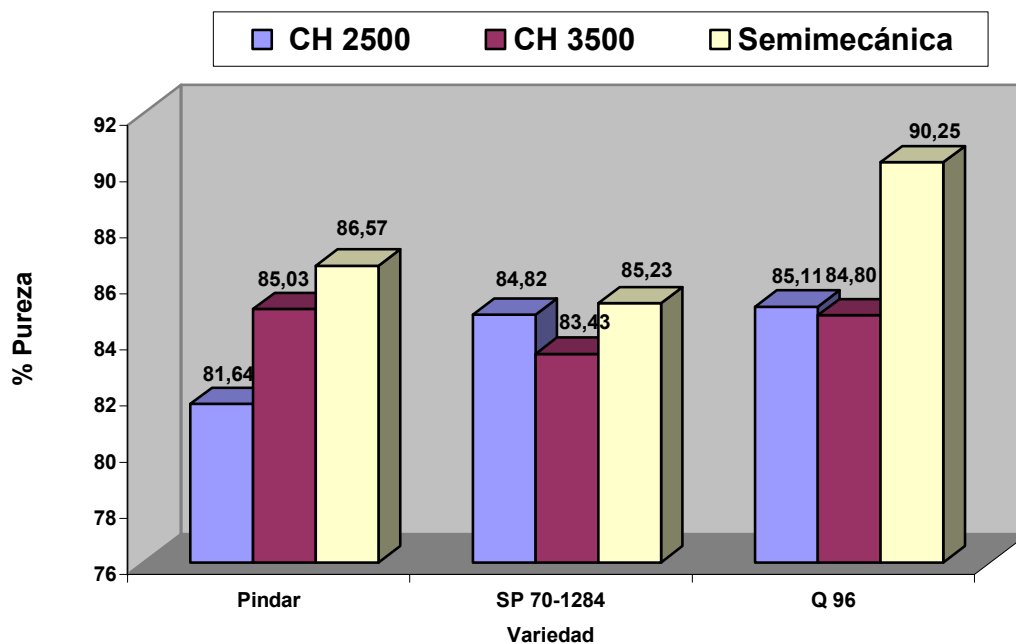


Figura 17. Efecto de la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha sobre el porcentaje de Pureza del Jugo. Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

4.3.4 % de Fibra en Caña

En el Cuadro 10 A se presenta el Análisis de Varianza para la Variable Industrial % de Fibra en Caña, en donde la Fuente de Variación Variedad Cultivada, Tipo de Cosecha y Tipo de Muestra; además la Interacción Variedad vs Tipo de Cosecha, presentaron significancia estadística al nivel del 1%, mientras que la interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha obtuvo significancia estadística al nivel del 5%.

En el Cuadro 11 A y en la Figura 18 se presentan diferencias estadísticas establecidas según la prueba de Tuckey al 5% para la variable Fibra % en Caña, donde el contenido de Fibra de la variedad Q 96 (16,53%) fue superior al de la Pindar (15,53%) y la SP 70-1284 (15,82%). Estas dos últimas variedades no

difieren estadísticamente entre si como lo demuestran los datos; además de que poseen características genéticas algo similares en cuanto al despaje, tamaño del palmito (cogollo) y % de floración, factores que influyen sobre el porcentaje de Fibra en Caña que presentaron las mismas.

Sin embargo, este efecto está muy relacionado con la introducción de materia extraña a la caña moledera, ya que esto se fundamenta en el contenido del Cuadro 17 A, donde interactúan la Variedad Cultivada con el Tipo de Muestra.

Se infiere que al analizar cada una de las variedades estudiadas individualmente con respecto al Tipo de Muestra Limpia, la Fibra % en Caña que presenta cada variedad (Fibra Genética) no posee diferencias estadísticas significativas, como se nota para Pindar (15,02%), SP 70-1284 (15,41%) y Q 96 (16,02%); sin embargo, al analizar las mismas variedades con respecto a la materia extraña incorporada (Muestra Sucia), el porcentaje de Fibra aumenta, sobre todo en la variedad Q 96 (17,03%), lo que provoca que el promedio individual por variedad que se presenta en el Cuadro 11 A sobresalga el contenido de la Fibra de la Q 96 (16,53%).

Debe quedar claro que la Fibra Genética de una variedad es un criterio muy diferente respecto al contenido de Fibra Industrial que la misma pueda poseer, pues en este sentido el primero es estructurado y determinado genéticamente; en tanto que el segundo es comercial, muy variable para un mismo clon y determinado por las condiciones de manejo de la plantación, particularmente durante la cosecha que se mide, valora y castiga (o premia) comercialmente es el contenido de Fibra Industrial (Chaves Solera, M. 2006)¹

¹ Chaves Solera, M. 2006. Comunicación Personal.

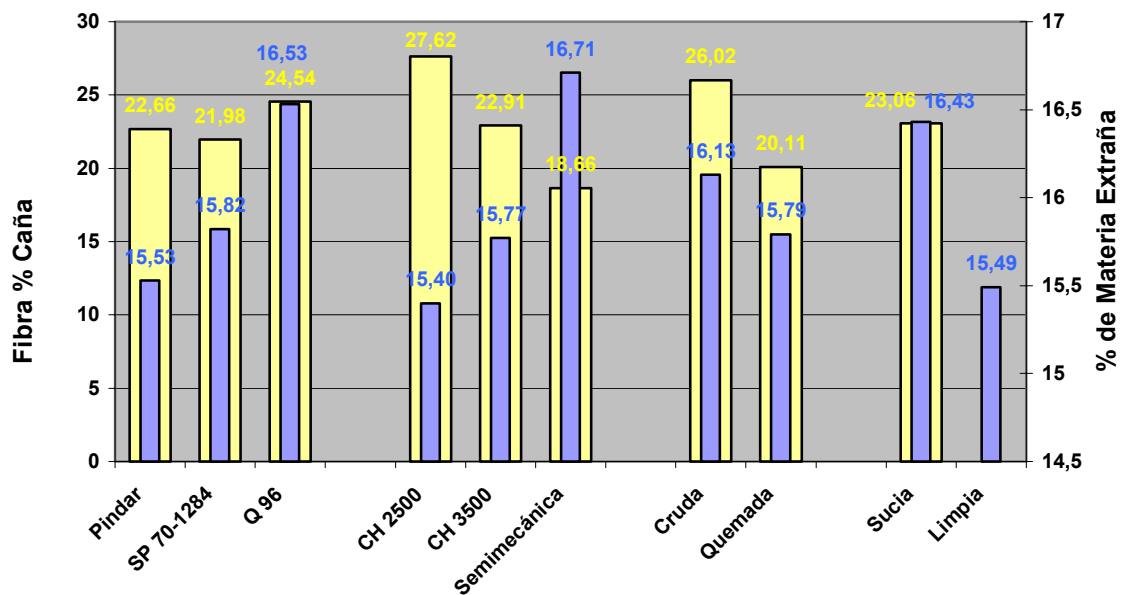


Figura 18. Porcentaje de Fibra en Caña y Porcentaje de Materia Extraña para los diferentes factores evaluados en el Estudio de Materia Extraña. Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

Al analizar los tres tipos de cosecha para la variable industrial % de Fibra en Caña, se dan diferencias estadísticas según prueba Tuckey al 5%, como se anota en el Cuadro 12 A y la Figura 18, en donde la Cosecha Semimecánica por un mayor porcentaje de Fibra (16,71%) con respecto a las Combinadas CAMECO CH 2500 y CH 3500 (15,40% y 15,77%, respectivamente).

En el Cuadro 14 A se verifican diferencias estadísticas según la prueba de Tuckey al 5%, cuando se compara el tipo de muestra en la variable (% Fibra), determinando que para la Muestra Sucia el porcentaje de Fibra es mayor (16,43%) en relación con el de la Muestra Limpia (15,49%), efecto muy relacionado al porcentaje de materia extraña que tiene incorporado la Muestra Sucia (23,06%); mientras que la Muestra Limpia correspondería únicamente al promedio de la Fibra Genética (Natural) de las tres variedades utilizadas en el estudio.

Rozeff (1995b) determinó que un aumento de un 1% en la Fibra en las condiciones de Texas, sobre las normas de 14,50, se traduce en una pérdida teórica de recuperación en la molida de 3,5 a 4,0 libras de azúcar por tonelada de caña bruta. Además, cada 1% de basura vegetativa equivale a 0,329 de Fibra en un análisis hecho con Sonda Mecánica.

En el Cuadro 15 A y la Figura 19 se presenta la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha, en la cual se obtienen diferencias estadísticas según Tuckey al 5% en la variable industrial % Fibra en Caña. Al comparar la Variedad Pindar con los Tipos de Cosecha, se visualiza claramente que en la Combinada CAMECO CH 2500 se obtiene un Contenido de Fibra bastante bajo (14,61%), el cual difiere estadísticamente con el resultado de la Combinada CAMECO CH 3500 y la Semimecánica (15,75% y 16,24%, respectivamente), los cuales no difieren estadísticamente entre sí.

El mayor margen de diferencias entre los resultados de porcentajes de Fibra de presentan entre la variedad Pindar cosechada con la Combinada CAMECO CH 2500 (14,61%) y la Q96 cosechada Semimecánicamente (17,96%), con un 3,35 puntos porcentuales de diferencia entre ambas. Este efecto está muy vinculado e influenciado con el tema genético ya que la variedad Q 96 posee más Fibra Genética como se señaló anteriormente.

Lo anterior se puede corroborar con la información del Cuadro 17 A en el caso de las Muestras Limpias de la Variedad Pindar, la cual presenta alrededor de un punto porcentual menos de Fibra (15,02%) con relación a la Q 96 (16,02%), la cual técnicamente se puede referenciar como la Fibra Genética de cada una de ellas, ya que la muestra solo poseía caña moledera.

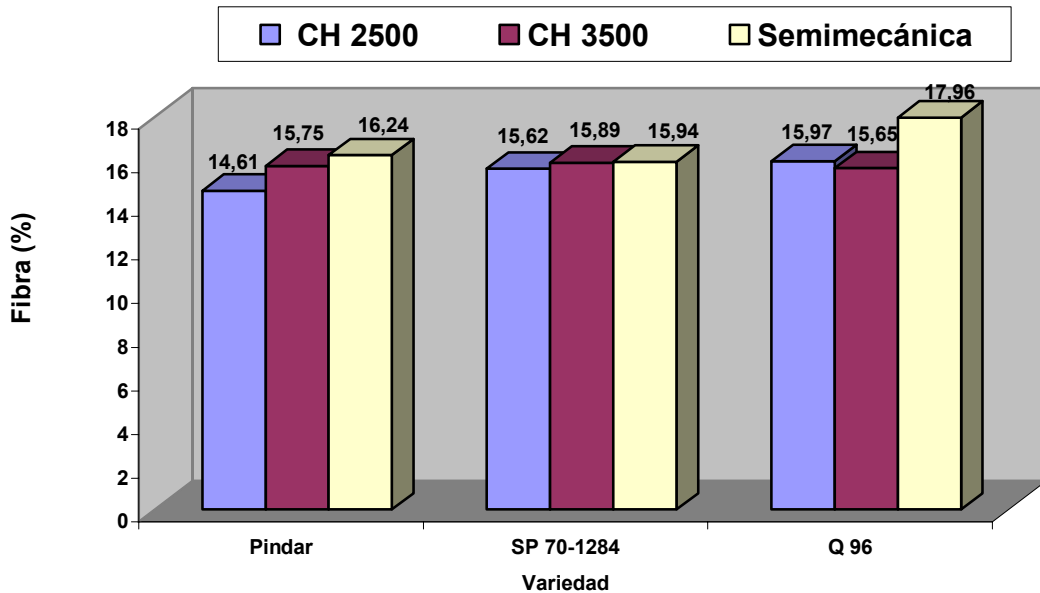


Figura 19. Efecto de la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha sobre el porcentaje de Fibra en caña. Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

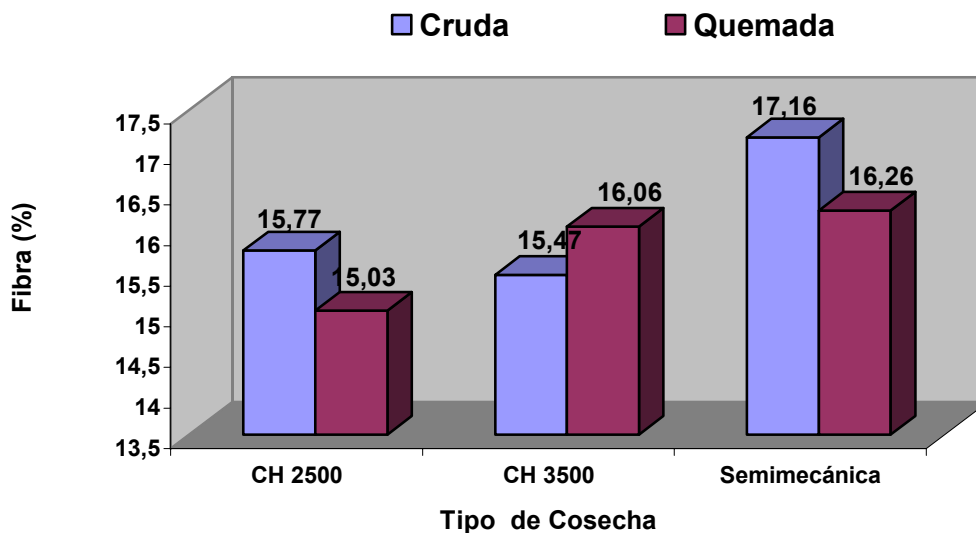


Figura 20. Efecto de la Interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha sobre el porcentaje de fibra en caña. Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

4.3.5 Rendimiento Industrial (kg azúcar/t)

En el análisis estadístico mostrado en el Cuadro 10 A se verifica que existen diferencias estadísticas significativas al 1% en las Fuentes de Variación: Variedad Cultivada, Tipo de Cosecha, Modalidad de Cosecha, Tipo de Muestra y en las interacciones Variedad vs Tipo de Cosecha y Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha. También se encontraron diferencias estadísticas significativas al nivel del 5% en la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha.

En la Figura 21 se pueden observar las diferencias existentes en cuanto al Rendimiento Industrial en lo que respecta a Variedad Cultivada, Tipo de Cosecha, Modalidad de Cosecha y Tipo de Muestra.

En cuanto a la variedad utilizada se puede apreciar en esta Figura 21 y en el Cuadro 11 A, que entre la Pindar y la SP 70-1284 no existen diferencias estadísticas significativas según la Prueba de Tuckey al 5%; sin embargo, si existen diferencias estadísticas entre la Q 96 con respecto a la Pindar y la SP 70-1284, las cuales presentaron 7,11 y 6,67 kg de azúcar/t menos, respectivamente, debido principalmente a características particulares de la Q 96, como lo es su tipo de maduración y su elevado potencial azucarero a pesar de haber sido la variedad que más materia extraña presentó en el estudio (24,54%).

En lo que respecta al Tipo de Cosecha se puede notar que la caña Cosechada en forma Semimecánica, fue la que alcanzó el mayor Rendimiento Industrial (99,36 kg de azúcar/t), superando a la caña cortada con la Cosechadora CAMECO CH 2500 y CAMECO CH 3500 en 13,48 y 9,29 kg de azúcar por tonelada, respectivamente. Estas diferencias obedecen principalmente a los contenidos de materia extraña reportados en cada tipo de cosecha, como se observa en la Figura 21, en donde la cosechadora CAMECO CH 2500 fue la que incorporó

mayor cantidad de basura (27,62%) y fue la que obtuvo el menor rendimiento con 85,88 kg azúcar/t.

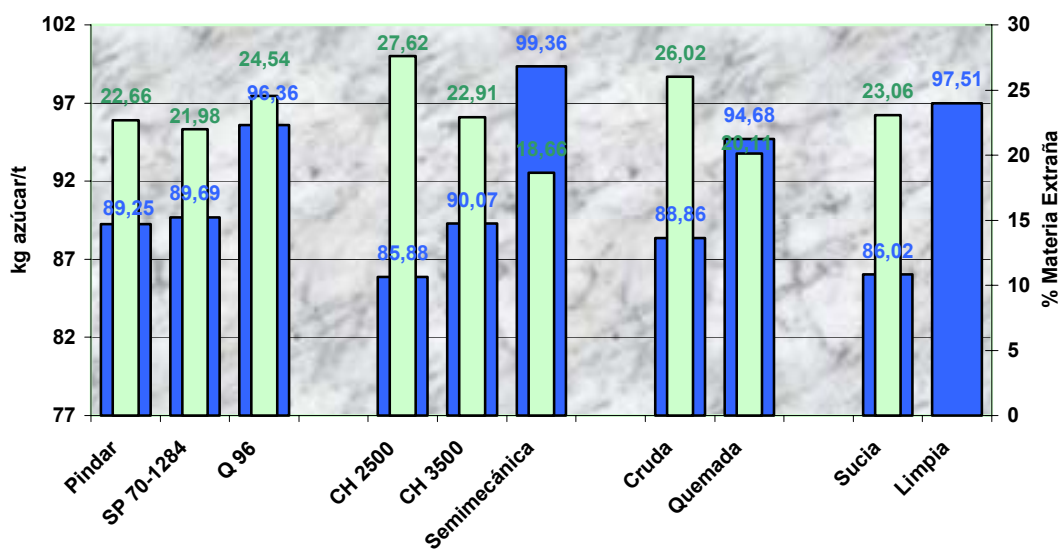


Figura 21. Kilogramos de azúcar por tonelada de caña y porcentaje de Materia Extraña para la Variedad Cultivada, Tipo de Cosecha, Modalidad de Cosecha y el Tipo de Muestra. Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

En el caso de la Modalidad de Cosecha se aprecia en esta Figura 21, que la caña cosechada Quemada presentó 5,82 kg de azúcar/t más que la caña cosechada en Crudo presentando diferencias estadísticas significativas en la Prueba de Tuckey al 5%. Según el Cuadro 13 A esto fue debido principalmente a que la caña cosechada quemada reportó un 5,9% menos de materia extraña, producto de la incineración del material vegetal.

En cuanto al Tipo de Muestra se puede observar en el Cuadro 14 A que según la prueba de Tuckey al 5%, existen diferencias estadísticas significativas al entregar Caña Limpia o Caña Sucia; como también se puede notar en la Figura 21 que la Caña Limpia alcanzó 11,49 kg de azúcar/t más que cuando se entregó con un 23,06% de materia extraña, lo cual refleja lo perjudicial de la materia extraña

presente en las entregas comerciales de caña de azúcar.

Para el presente estudio en específico se encontró que por cada 1% de materia extraña hubo una pérdida de 0,5 kg de azúcar/t. Además de la pérdida mencionada en el Rendimiento Industrial, está reglamentado en la Ley Orgánica de la Agricultura e Industria de la Caña de Azúcar, No. 7818, la cual menciona que se debe de aplicar una rebaja sobre el margen de tolerancia (que actualmente es de un 8% de materia extraña) al peso de la entrega respectiva. El promedio resultante de materia extraña verificado por esta investigación fue de 23,06%, por lo que teóricamente se deberían castigar en promedio un 15,06% del peso de las entregas.

Esta pérdida de azúcar por tonelada lo confirman Luna *et al* (1991), donde encontraron que por cada unidad porcentual de incremento aplicado en el contenido de materia extraña, el rendimiento disminuyó en promedio 0,14 unidades.

Investigaciones sobre la misma materia realizadas en Colombia por Borja (1992), en las cuales midió la influencia que ejerce la materia extraña sobre el Rendimiento Industrial, le permitieron verificar que por cada unidad de incremento en las impurezas, el porcentaje de disminución del Rendimiento se elevó en 1,4 unidades.

En el Cuadro 15 A y la Figura 22 se observa la interacción Variedad vs Tipo de Cosecha, presentándose diferencias estadísticas significativas según Tuckey al 5%, en donde se aprecia que los Rendimientos Industriales más altos se presentaron cuando la cosecha se realizó en forma Semimecánica. Con base en la información de la Figura 6, se puede notar que existe una relación estrecha e inversa entre el Rendimiento Industrial y la Materia Extraña, ya que en

las variedades Pindar y Q 96 existió una relación inversa y directa, donde a mayor cantidad de materia extraña menor cantidad de azúcar por tonelada.

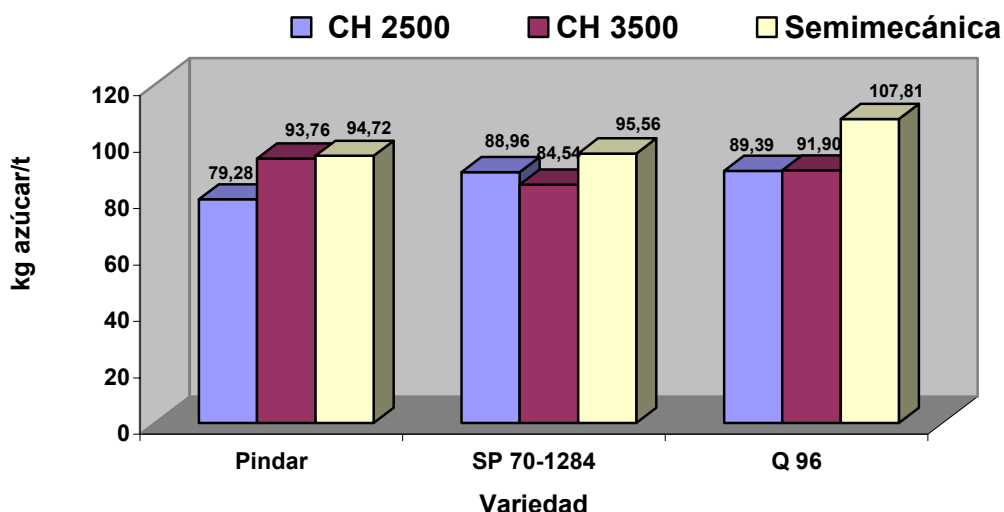


Figura 22. Efecto de la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha sobre el Rendimiento Industrial (kg azúcar/t) Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

En el caso de la SP 70-1284 en la caña que se cosechó con la máquina CAMECO CH 2500 sucedió lo contrario, debido posiblemente a que los componentes de la materia extraña contenidos en esa interacción no disminuyeron el Rendimiento Industrial tan drásticamente, como es el caso de componentes de materia extraña como lo son: punta de tallo, mamones o los tallos inmaduros.

En lo que respecta a la interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha, en el Cuadro 18 A y Figura 23, se puede observar que solamente se encontraron diferencias estadísticas según la Prueba de Tuckey al 5%, en la interacción Cosecha Semimecánica vs Modalidad de Cosecha, presentando 16,8 kg azúcar/t más cuando se cosechó la caña quemada, debido principalmente según

el Cuadro 8 A, a que la Cosecha Semimecánica Quemada fue la que reportó el valor más bajo de materia extraña con apenas un 13,95% y, por consiguiente, el mayor Rendimiento Industrial (107,8 kg azúcar/t). En el caso de la caña cosechada con la CAMECO CH 3500 se presentó la misma situación anterior, aunque no existieron en dicho caso diferencias estadísticas significativas.

Cuando se cosechó por medio del equipo CAMECO CH 2500, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre la Caña Quemada, y la Cruda; sin embargo, la Caña Cruda superó en 1 kg de azúcar/t a la Caña Quemada debido posiblemente a que los componentes de la materia extraña no ocasionaron pérdidas fuertes en el Rendimiento Industrial.

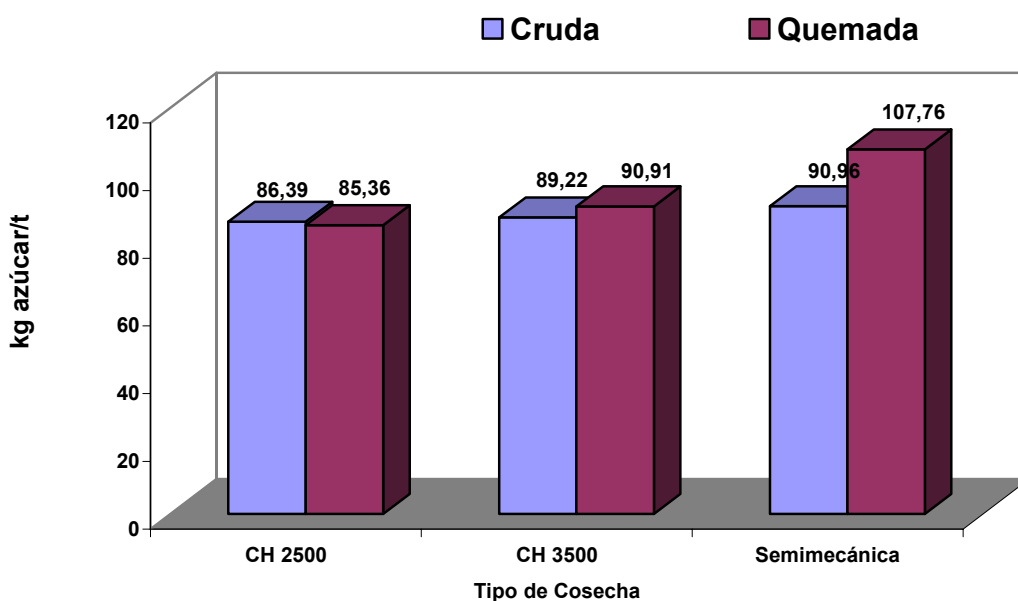


Figura 23. Efecto de la interacción Tipo de Cosecha vs Modalidad de Cosecha sobre el Rendimiento Industrial (kg azúcar/t). Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

El Rendimiento Industrial que presentó el Tratamiento Q 96, Cosechada Semimecanizada y la Modalidad de Cosecha Quemada, fue un 38% mayor que el de la variedad Pindar con la máquina CAMECO CH 2500 y la Modalidad de Cosecha Cruda, con una diferencia de 45,43 kg azúcar/t. Efecto muy influenciado por los tres factores involucrados, ya que tanto la variedad Q 96, la Cosecha Semimecanizada, así como la Modalidad de Cosecha Quemada individualmente obtuvieron los mejores resultados industriales en esta variable (kg azúcar/t); caso contrario sucedió con la Cosechadora CAMECO CH 2500, la Modalidad de Cosecha Cruda y la variedad Pindar.

4.3.6 Miel Final (kg/t)

El análisis de Varianza del Cuadro 10 A muestra que existen diferencias estadísticas altamente significativas en las Fuentes de Variación, Variedad, Tipo de Cosecha y en la interacción Variedad vs Tipo de Cosecha. También se aprecian diferencias estadísticas significativas al nivel del 5% en el Tipo de Muestra.

En la Figura 24 se puede apreciar como la cantidad de miel producida esta directamente relacionada con la cantidad de materia extraña entregada, ya que en el caso de las variedades Pindar y Q 96, a mayor porcentaje de materia extraña mayor contenido de miel extraída. En el caso particular de la SP 70-1284 se encontró que la caña cosechada con la cosechadora CH 3500 reportó un valor de materia extraña inferior a la cosechadora con la CH 2500, y un valor superior en la cantidad de miel producida; esto debido probablemente a la presencia de componentes de materia extraña como mamones o tallos inmaduros que disminuyen la pureza y aumentan los contenidos de miel final.

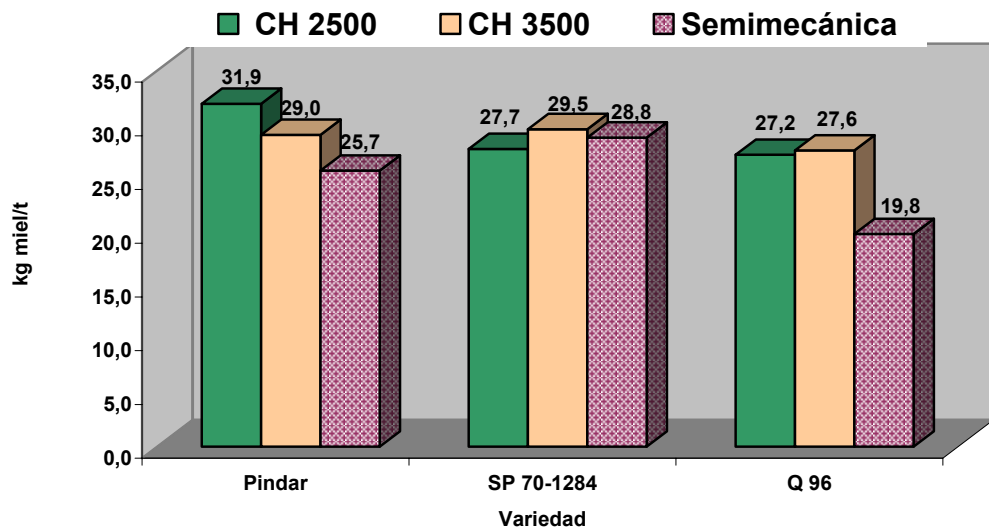


Figura 24. Efecto de la interacción Variedad Cultivada vs Tipo de Cosecha sobre la Miel (kg miel/t). Ingenio Quebrada Azul, San Carlos, 2005.

Consecuencias Económicas

El impacto económico provocado e inducido por la presencia de materia extraña en las entregas comerciales de caña de azúcar en el caso del presente estudio, fue muy drástico y muy variable según el tratamiento evaluado, ya que los contenidos de materia extraña pueden considerarse en general bastante altos. Para determinar y cuantificar las pérdidas económicas se empleó en el cálculo el contenido total de materia extraña, y considerando el margen de tolerancia de materia extraña vigente (8%) establecido legalmente y aplicado por LAICA. A las entregas comerciales.

En el Cuadro 3 se aprecia un efecto importante causado por la materia extraña por concepto del costo económico agrícola inducido, por motivo de tener que cortar, cargar y transportar material vegetativo sin azúcar en lugar de caña moledera e industrializable. Este costo varía de acuerdo con la naturaleza de los diferentes Tratamientos y es determinado, obviamente, por el mayor o menor contenido de materia extraña presente en las entregas de caña de azúcar.

A este valor debería en principio adicionársele el correspondiente al costo fabril de procesar materia prima sin azúcar, lo que elevaría dicho costo.

Como se infiere de los resultados del Cuadro 3 el impacto económico de la materia extraña es bastante alto y muy significativo.

En términos generales dicho costo varía entre 35,16 y 98,13 millones de colones para los Tratamientos N° 10 y N° 17 respectivamente. En promedio se determinó un costo por este concepto exclusivamente para la caña propia del Ingenio Quebrada Azul de 59,08 millones (US\$114.078), lo que es bastante significativo desde cualquier perspectiva que se le valore, sea económica, productiva, administrativa, operativa, técnica o laboral.

Es importante tener presente que en la determinación del impacto económico provocado tanto por causas de origen agrícola como industriales, debe considerarse necesariamente el porcentaje de basura que resulta antieconómico por su costo y dificultad técnica procuran reducir y minimizar, y que podría por ello, estimarse como comercialmente “normal” e intrínseco a la actividad productiva de la caña de azúcar. Dicho de otra manera, hay un porcentaje de basura natural febrilmente cuyo costo de eliminación resulta difícil, elevado y por tanto antieconómico realizarlos; se estima el mismo cercano a valores menores del 5%.²

Los tratamientos con mayor y menor contenido de materia extraña fueron el N° 13 y el N° 18, cuyos contenidos fueron del 35,59% y el 11,20%, respectivamente, cuyas pérdidas económicas se tradujeron en ¢74,40 y ¢42,98 millones, correspondiente a \$143.661 y \$82.994, respectivamente.

² Comunicación Personal del Ing. Agr. Marco Chaves Solera – Director Ejecutivo DIECA-LAICA, Noviembre 2006

Cuadro 3. Costo Agrícola (Colones u US \$) inducido por la presencia de Materia Extraña que ingresa al Ingenio Quebrada Azul como Materia Prima. Zafra 04/05

Tratamiento (N°)	Materia Extraña (%)	Materia Extraña Contenida en la Caña (t) ^{1/}	Costo (¢) por Concepto de ^{2/}		Costo Agrícola Total ^{3/}	
			Corta y Carga	Transporte	(¢)	(US\$)
1	27,70	44.725	23.163.110	34.744.66	57.907.776	111.813
2	21,75	35.118	18.187.641	27.281.461	45.469.102	87.795
3	24,24	39.138	20.269.812	30.404.718	50.674.530	97.846
4	22,41	36.184	18.739.542	28.109.312	46.848.854	90.459
5	22,32	36.038	57.661.425	27.996.424	85.657.848	165.359
6	17,54	28.320	45.312.786	22.000.774	67.313.560	129.974
7	26,07	42.093	21.800.083	32.700.124	54.500.206	105.233
8	26,66	43.046	22.293.448	33.440.173	55.733.621	107.615
9	27,00	43.595	22.577.761	33.866.642	56.444.403	108.987
10	16,82	27.158	14.065.109	21.097.663	35.162.772	67.895
11	22,22	35.877	57.403.085	27.870.992	85.274.077	164.654
12	13,12	21.184	33.894.117	16.456.679	50.350.850	97.221
13	35,59	57.464	29.760.834	44.641.251	74.402.085	143.661
14	27,93	45.096	23.355.439	35.033.159	58.388.599	112.741
15	23,45	37.863	19.609.204	29.413.805	49.023.009	94.657
16	23,53	37.992	19.676.101	29.514.151	49.190.252	94.980
17	25,27	41.286	66.057.466	32.072.964	98.130.429	189.478
18	11,20	18.084	28.934.048	14.048.385	42.982.433	82.994
Promedio	23,06	37.237	30.153.392	28.927.408	59.080.800	114.078

^{1/} Se consideró un total de 161.462,323 t de caña propiedad del Ingenio Quebrada Azul, que fueron procesadas durante la zafra 2004-2005 en ese Ingenio.

^{2/} Los valores corresponden a ¢517,90 por concepto de Corta y Carga cuando se utilizaron las Cosechadoras Combinadas. Cuando se utilizó la Cosecha Semimecanizada el Valor por Corta y Carga fue de ¢1600 por Tonelada. El Transporte tiene un valor estimado de ¢776,85 (\$1,5).

^{3/} Corresponde al Costo Total por Corta, Alce y Acarreo de la Basura como Equivalente Caña.
1 us = ¢517,90 al 20/9/06

En el Cuadro 4 se muestra el valor económico incurrido (perdido) por causa de la presencia de materia extraña en las entregas de caña, lo que revela un comportamiento algo diferente al anterior, donde los Tratamientos N° 16, 9, 17 y 8 fueron los que más pérdidas de azúcar indujeron. Esto pudo ser debido e inducido posiblemente por el tipo de componentes de materia extraña presentes en la muestra, como es el caso de la tierra y las hojas secas que ocasionan pérdidas de azúcar muy fuertes. En este caso se verificó una pérdida promedio general de ¢331,89 millones correspondiente a US\$640.842.

Como efecto integral del impacto negativo ocasionado por la materia extraña se muestra complementariamente el Cuadro 5, el cual estima el monto económico total de la pérdida atribuida a cada uno de los Tratamientos evaluados en el estudio; resaltando en este particular el monto alcanzado por los tratamientos N° 16, 9, 17 y 8, en cuyo caso la pérdida estimada fue de ¢607,93; ¢599,94; ¢583,13 y ¢527,64, correspondiente a US\$1.173.837; US\$1.158.420; US\$1.131.747 y US\$1.018.808, respectivamente.

Cuadro 4. Costo industrial incurrido por el Valor del Azúcar que se dejó de Producir debido al Ingreso de Materia Extraña al Ingenio Quebrada Azul. Zafra 2004/2005.

Tratamiento (N°)	Total de la Materia Extraña (t)	Diferencia Rto Indust. (kg/t) ^{1/}	Producción Teórica (kg)		Ingreso (¢)		Potencial ^{2/} Total	
			Azúcar	Miel Final	Azúcar	Miel	(¢)	(US\$)
1	44.725	12,58	2.031.196	1.466.535	342.703.393	26.945.378	369.648.771	713.745
2	35.118	7,13	1.151.226	1.089.362	194.234.912	20.015.394	214.250.306	413.690
3	39.138	7,58	1.223.884	1.144.017	206.493.777	21.019.604	227.513.381	439.300
4	36.184	11,37	1.835.827	1.041.729	309.740.666	19.140.206	328.880.872	635.028
5	36.038	11,77	1.900.412	954.657	320.637.435	17.540.390	338.177.825	652.979
6	28.320	11,02	1.779.315	704.331	300.205.993	12.941.019	313.147.012	604.648
7	42.093	6,13	989.764	1.109.998	166.992.989	20.394.556	187.387.545	361.822
8	43.046	16,48	2.660.899	1.249.621	448.946.893	22.959.915	471.906.808	911.193
9	43.595	19,12	3.087.160	1.231.990	520.865.570	22.635.965	543.501.535	1.049.433
10	27.158	8,57	1.383.732	837.280	233.463.281	15.383.764	248.847.045	480.492
11	35.877	13,45	2.171.668	1.014.958	366.403.866	18.648.336	385.052.202	743.488
12	21.184	11,59	1.871.348	619.416	315.733.889	11.380.839	327.114.728	631.618
13	57.464	7,13	1.151.226	1.465.343	194.234.912	26.923.484	221.158.396	427.029
14	45.096	14,57	2.352.506	1.299.679	396.914.820	23.879.652	420.794.472	812.501
15	37.863	8,01	1.293.313	1.052.210	218.207.804	19.332.788	237.540.592	458.661
16	37.992	19,81	3.198.569	1.038.324	539.662.497	19.077.640	558.740.137	1.078.857
17	41.286	17,34	2.799.757	850.490	472.374.947	15.626.476	488.001.423	942.270
18	18.084	3,16	510.221	343.230	86.084.477	6.306.339	92.390.816	178.395
Prom. Gen.	37.237	11,49	1.855.112	1.028.509	312.994.562	18.897.319	331.891.882	640.842

^{1/} La Diferencia en el Rendimiento Industrial se tomó del Cuadro 25 A entre la Caña Limpia y la Caña Sucia, refiriéndola al total de la Caña Procesada (161.462,323 t).

^{2/} El Precio de Liquidación Final del Azúcar (Agrícola + Industrial) pagado en régimen de cuota en la zafra 04/05 fue de ¢168,72 y el precio de la Miel Final fue de ¢18,3735.

1 us = ¢517,90 al 20/9/06

Cuadro 5. Efecto económico valorado según Tratamiento, inducido por la presencia de Materia Extraña en las entregas comerciales de caña de azúcar el Ingenio Quebrada Azul. Zafra 2004/2005.

Tratamiento (N°)	Costo Agrícola (¢) ^{1/}	Valor Industrial (¢) ^{2/}	Pérdida Total	
			(¢)	(US\$)
1	57.907.776	369.648.771	427.556.547	825.558
2	45.469.102	214.250.306	259.719.408	501.486
3	50.674.530	227.513.381	278.187.911	537.146
4	46.848.854	328.880.872	375.729.726	725.487
5	85.657.848	338.177.825	423.835.673	818.374
6	67.313.560	313.147.012	380.460.572	734.622
7	54.500.206	187.387.545	241.887.751	467.055
8	55.733.621	471.906.808	527.640.429	1.018.808
9	56.444.403	543.501.535	599.945.938	1.158.420
10	35.162.772	248.847.045	284.009.817	548.387
11	85.274.077	385.052.202	470.326.279	908.141
12	50.350.850	327.114.728	377.465.578	728.839
13	74.402.085	221.158.396	295.560.481	570.690
14	58.388.599	420.794.472	479.183.071	925.242
15	49.023.009	237.540.592	286.563.601	553.318
16	49.190.252	558.740.137	607.930.389	1.173.837
17	98.130.429	488.001.423	586.131.852	1.131.747
18	42.982.433	92.390.816	135.373.249	261.389
Prom. Gen.	59.080.800	331.891.882	390.972.682	754.919

1 us = ¢517,90 al 20/9/06

^{1/} Se refiere al Costo (Agrícola) incurrido por concepto de Corta, Carga y Acarreo de la Materia Extraña en el Ingenio.

^{2/} Se refiere al Valor (Industrial) No Percibido por Causa de la Reducción del Rendimiento Fabril (Azúcar + Miel), debido al Material No Azucarado Presente en la Materia Extraña.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones en que se realizó el presente estudio, se infieren a partir de los resultados obtenidos las siguientes conclusiones:

- 1) Las condiciones de clima prevalecientes durante el periodo de evaluación de la materia extraña no intervienen ni influenciaron significativamente en los resultados obtenidos en las entregas comerciales de caña de azúcar.
- 2) El promedio de materia extraña obtenido en las entregas comerciales propias y particulares del Ingenio Quebrada Azul para la zafra 2004/2005, fue del 23,06%, valor que se considera bastante alto y por tanto necesario reducir por las graves consecuencias negativas que implican para la empresa y los Productores Independientes.
- 3) El Tratamiento correspondiente a la Variedad Q 96, cortada con la cosechadora CAMECO CH 2500 y la Modalidad de Cosecha Cruda, fue la que individualmente incorporó el mayor contenido de materia extraña a la caña moledera (35,6%); en tanto que el Tratamiento que obtuvo el efecto inverso fue la Variedad Q 96, Cosechada Semimecánicamente y mediante la Modalidad de Cosecha Quemada, la cual incorporó un 11,2% de materia extraña, lo que pone en evidencia el efecto interactivo de los factores relacionados. Dichos contenidos correlacionaron directamente con un mayor costo y una mayor pérdida económica.

- 4) En las tres variedades comerciales de caña evaluadas, cosechadas mediante el Tipo de Cosecha Semimecánica y con la Modalidad de Cosecha Quemada, se obtuvieron las menores introducciones de materia extraña. En dichas condiciones la Variedad Pindar introdujo 17,5%, la SP 70-1284 13,1% y la Q 96 con un 11,2%, con lo cual se demuestra la incidencia de esas variables en la definición de basura introducida a la fábrica
- 5) De las tres variedades comerciales estudiadas la que mayor cantidad de materia extraña incorporó fue la Q 96 (24,5%); esto posiblemente por las características fenotípicas naturales particulares de la misma, tanto en lo estructural como anatómicamente.
- 6) El tipo de cosecha que mayor cantidad de materia extraña incorporó a la caña moledera fue cuando se utilizó la cosechadora CAMECO CH 2500 (27,62%), Inversamente el Tipo de Cosecha Semimecánica fue el que menos basura adicionó con 18,60%. Dicho efecto fue influenciado por la eficiencia de cada tipo de cosecha empleada para extraer fue la basura de los tallos, enviando por esta causa a la fábrica materia prima en diferente condición de limpieza.
- 7) La modalidad de Cosecha Cruda introdujo una mayor cantidad de materia extraña (26,02%) al ingenio con relación con la Quemada (20,11%). Dicho efecto estuvo muy relacionado con la incineración de la mayoría de paja y hojas secas que no están presentes en el momento de la cosecha en la caña quemada.

- 8) La variedad Q 96 cosechada mediante la máquina combinada CAMECO CH 2500, introdujo más cantidad de materia extraña (31,76%) en relación con las otras dos variedades cosechadas empleando diferentes tipos de cosecha. Este efecto es atribuido a dos factores muy vinculados: a) la variedad Q 96 individualmente incorporó más basura y b) la cosechadora CAMECO CH 2500 individualmente también introduce por lo general mayor porcentaje de materia extraña.
- 9) La variedad Q 96 cosechada mediante la modalidad de Cosecha Cruda, resultó con la mayor incorporación de materia extraña a la fábrica (28,20%) respecto al resto de tratamientos evaluados con dichas categorías.
- 10) Al aplicar el Tipo de Cosecha Semimecánica y la Modalidad de Cosecha Quemada, se obtiene menor incorporación de materia extraña (14,0%), mientras que contrariamente al utilizar la cosechadora CAMECO CH 2500 con la Modalidad de Cosecha Cruda resultan las mayores introducciones de basura a la caña moledera (29,8%).
- 11) La Variedad Q 96 es la que más materia extraña incorpora al proceso de molienda; sin embargo, es a su vez la que contiene mejores valores en sus variables industriales por lo que presenta más Kilogramos de Azúcar por Tonelada de Caña procesada (95,58), respecto a las otras variedades evaluadas. Esto debido a sus características genéticas dispuestas para la concentración de Sacarosa.
- 12) Los Resultados Industriales con mejores características de producción de azúcar fueron obtenidos y determinados por el Tipo de Cosecha Semimecánica, efecto muy relacionado con la menor incorporación de materia extraña que resultó con este tipo de cosecha (18,66%).

- 13) El Mejor Rendimiento Industrial lo obtuvo la Modalidad de Cosecha Quemada (94,68 kg azúcar/t), efecto relacionado directamente con el menor contenido de materia extraña que presentó la Caña Quemada respecto a la Cruda (20,11% y 26,02%, respectivamente).
- 14) El efecto e impacto de la materia extraña en la caña moledera es muy evidente en el comportamiento de las Variables Industriales en el Tipo de Muestra Sucia, donde la disminución del Rendimiento Industrial fue de 11,49 kilogramos de azúcar con relación al Tipo de Muestra Limpia.
- 15) Por el incremento de una unidad en el porcentaje de materia extraña, la disminución porcentual observada en el Rendimiento Industrial (kg azúcar/t) fue en promedio de 0,50 unidades, lo que tiene una implicación económica importante.
- 16) El mayor incremento sobre el Rendimiento Industrial se dio cuando se cosechó la Variedad Q 96 con el Tipo de Muestra Limpia (102,20 kg de azúcar/t), el cual se vio beneficiado por las mejores características en cuanto a Concentración de Azúcar que posee dicha variedad y por las mejores características en producción de azúcar que resultó con el Tipo de Muestra Limpia.
- 17) El Tratamiento de Q 96, Semimecánica, Cruda fue el que mayor costo agrícola presentó con ¢98,13 millones (US\$189.478), mientras que el Tratamiento de SP 70-1284, CAMECO CH 3500, Quemada obtuvo el menor costo agrícola con ¢35,16 millones (US\$67.895), presentándose un costo promedio de ¢59,02 millones (US\$114.078).

- 18) Los Tratamientos de Q 96 CAMECO 3500 QUEMADA y SP 70-1284, CAMECO CH 3500, Cruda reportan las mayores pérdidas económicas totales (Costo Agrícola + Valor Industrial) cuyo monto se estima en ¢607,93 millones (US\$1.173.837) y ¢599,94 millones (US\$1.158.420) y respectivamente; mientras que el Tratamiento de Q 96, Semimecánica, Quemada presentó la menor pérdida total ¢135,37 millones (US\$261.389).
- 19) De los tipos de cosecha evaluados, la que ocasionó menores pérdidas económicas fue la Cosecha Mecánica (CAMECO CH 3500 y CAMECO CH 2500) con US\$750.452 mientras que el tipo de Cosecha Semimecanizada presentó una pérdida de US\$763.852, situación que justifica la implementación de la cosecha mecanizada.
- 20) Los efectos que tiene la materia extraña contenida en las entregas comerciales de materia prima sobre el Rendimiento Industrial, son muy importantes desde el punto de vista económico, lo que justifica y paga cualquier acción que se ejecute para minimizarla.
- 21) La mecanización de la cosecha actualmente se torna indispensable para evitar la dependencia de la mano de obra y mantener un flujo constante de materia prima al ingenio; sin embargo, es necesario controlar la eficiencia de la misma para hacer esta labor más rentable.

6. RECOMENDACIONES

Con fundamento en los resultados y experiencias adquiridas en el presente estudio, resulta viable y sugestivo establecer las siguientes recomendaciones y sugerencias para implementar en estudios futuros:

- 1) Se recomienda establecer un programa riguroso de control de calidad de la materia prima producida, y también sobre las entregas comerciales de la caña entregada al Ingenio Quebrada Azul, por parte de los Productores Independiente, de manera que se disminuya considerablemente la cantidad de materia extraña que ingresa al proceso de extracción de azúcar; para ello, la sugerencia es desarrollar un sistema de control y verificación a nivel de campo que opere directamente en los frentes de corta y recolección.
- 2) Se debe de implementar un amplio programa de información, capacitación y adiestramiento con carácter continuo a los operadores de cosechadoras y alzadoras de caña, para que en la medida de lo posible se disminuya la incorporación de materia extraña a la caña moledera.
- 3) Se debe de informar y concientizar a los entregadores de caña para que realicen la cosecha de sus plantaciones, en el momento más oportuno de maduración de la planta; además, que se entregue la materia prima lo más fresca posible y con el menor contenido de materia extraña posible. Con estas medidas se podrá lograr un mayor beneficio económico para todos, ya que están suficientemente demostrados los problemas que ocasiona la incorporación de basura durante la molienda.
- 4) Para estudios futuros se recomienda aumentar el número de repeticiones (muestras) con el objeto de minimizar el grado de error y con ello los coeficientes de variación que presentaron algunas variables.

- 5) Se recomienda realizar investigaciones similares en diferentes Ingenios empleando otras variedades comerciales y con cosechas en varias etapas de la zafra, con el fin de identificar y sensibilizar las posibles variaciones que puedan darse.

- 6) Al utilizar las cosechadoras combinadas se recomienda el uso de los dos extractores: primario y secundario, con el objetivo de mejorar la extracción de materia extraña como hojas y tierra, y así procesar una materia prima de mayor valor industrial.

- 7) Se debe de establecer e implementar un programa de control sobre la eficiencia y la calidad de cosecha de las cosechadoras combinadas, con el fin de evaluar la cantidad de caña dejada en el campo y la incorporación de materia extraña a la fábrica.

7. BIBLIOGRAFIA

- 1) Angulo, A; Marengo, F. 2000. Evaluación de los Contenidos de Materia Extraña Durante la Zafra 98-99. Ingenio El Palmar. En: Informe Anual de Labores 2000. LAICA-DIECA. San José, Costa Rica. 6 p. (En Proceso de Publicación).
- 2) Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI). 2005. Memoria Digital del I Encuentro Nacional sobre Cosecha Mecanizada de Caña de Azúcar. 28 de Octubre, 2005. Liberia Guanacaste. Costa Rica.
- 3) Borja, I. 1992. Metodología para la Evaluación de la Materia Extraña en la Cosecha de la Caña de Azúcar. Saccharum sp. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 101 p.
- 4) CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1995. El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia. Casselet, C.; Torres, J.; eds. Cali, Colombia. 412 p.
- 5) Chaves Solera, MA. 1982. La Maduración, su Control y la Cosecha de la Caña de Azúcar. En: Seminario de Tecnología Moderna de la Caña de Azúcar, 2, San José, Costa Rica, 1982. Memorias. San José, CAFESA. p: 28-40.
- 6) Chaves Solera, MA. 2006. Índices de Materia Extraña (Entrevista). San José, CR, Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar. Noviembre.

- 7) Chaves Solera, MA; Rodríguez, M; Alfaro, R; Villalobos, C; Angulo, A; Barrantes, JC; Calderón, G; Rodríguez, JM. 2004. Censo de Variedades de Caña de Azúcar Sembradas en Costa Rica. Año 2003. San José, Costa Rica. p: 73.
- 8) DIECA (Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar). 1997. Determinación de la Materia Extraña en las Entregas Comerciales de Caña en las Regiones de Guanacaste, San Ramón y Pérez Zeledón. San José, Costa Rica.
- 9) Domínguez, P.; Cárdenas, A. 1981. La Cosecha de la Caña de Azúcar. En: Instituto Colombiano Agropecuario. Industrialización de la Caña, Medellín, ICA. p: 275-285.
- 10) Fors, A. 1983. La Calidad de la Caña de Azúcar que Entra en Fábrica con Relación a la Cosecha Mecanizada. La Materia Extraña. Sugar Journal 3 (1): 11-13.
- 11) Hugot, E. 1986. Handbook of Cane Sugar Engineering. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo. Elsevier. 673 p.
- 12) Larrahondo, JE; Briceño, CO; Viveros, C; Cock, J; Palma, A; Navarrete, A; Osprina, O. 1998. Evaluation of Cane Trash. Internacional Sugar Journal 100 (1200): 587.
- 13) Luna, CA.; Luna, C.; Palma, AE. 1991. Materia Extraña Llegada con la Caña al Patio de la Fábrica: su Cuantificación y Medición del Costo Asociado. Cali, Colombia, CENICAÑA. 11 p.

- 14) Larrahondo, JE; Domínguez, P. 1988. Factores que Afectan la Calidad de la Caña Después del Corte. Calí, Colombia, CENICAÑA, Documento de Trabajo N° 174. 22 p.
- 15) Michal, VR; Corona, A; Corona, J. 1980. Estudio Comparativo de Influencias del Trash (Basura) en el Comportamiento de Valores Azucareros. Seminario Sobre Mecanización del Cultivo y Cosecha de la Caña de Azúcar. Venezuela Azucarera. N° 2.
- 16) 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 para Optar al Grado de Bachiller en Agronomía, San Carlos. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- 17) Rozeff, N. 1995 a. Basura: Maldición o Bendición. Segunda Parte. Sugar Journal. 58 (4): 9.
- 18) Rozeff, N. 1995 b. Basura: Maldición o Bendición. Primera Parte. Sugar Journal. 58 (3): 9.
- 19) Rozeff, N. 1997 b. La Basura Duele. Sugar Journal 60 (2): 7.
- 20) Rozeff, N. 2000. Evaluando Cosechadoras Combinadas. Sugar Journal 63 (2): 9.
- 21) Rozeff, N. 2001 a. Puede Soñar, ¿Cierto? Parte I. Sugar Journal 64 (1): 11.
- 22) Rozeff, N. 2001 b. Mejoras Camionadas de Caña. Sugar Journal 63 (12): 9.

- 23) Salas, L; Chaves, M. 1991. Determinación del Efecto de las Impurezas Materia Extraña Sobre la Calidad Industrial de la Caña de Azúcar, en Quebrada Azul de San Carlos, Costa Rica. En: 9 Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales “ La Agricultura de Hoy para la Costa Rica del Mañana”, San José, 1993. Memoria: Resúmenes de Trabajos Científicos, Volumen II – (1), Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, San José, Costa Rica. p: 47.
- 24) Scandarliaris, J; Pérez, F; Rufino, M; Romero, E. 2000. La Cosecha en Verde como Estrategia para Disminuir el Impacto Ambiental de la Caña de Azúcar. En: Congreso ATACORI “Ing. Agr. José Luis Corrales Rodríguez, 15, Guanacaste, Costa Rica, 2003. Memoria: San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. (ATACORI.) p: 165-166.
- 25) Suárez Ponciano, C; Rodríguez López, Y; Márquez Loes, K. 2006. Determinación y Análisis de los Principales Índices de Explotación de las Cosechadoras de Caña CAMECO. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 15 (4): 69.
- 26) Subirós, F. 1995. El Cultivo de la Caña de Azúcar. San José, Costa Rica. EUNED. 441 p.
- 27) Varela, LC. 1992. Fábrica de Azúcar y Materia Prima. Reducción de los Costos en el Proceso Integrado. Tucumán, Argentina. En: Reunión Técnica, Bases para la Reducción de Costos en la Cosecha y Transporte de la Caña de Azúcar, Tucumán, Argentina, 5 de Mayo, 1992. Trabajos Presentados. Tucumán, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Columbres, 1992. p: 85-95.

28)Vargas, J. 2004. Valoración de Pérdidas de Caña Dejada en el Campo por Efecto de la Cosecha Mecanizada. Central Azucarera Tempisque S.A. (CATSA). Guanacaste, Costa Rica. 11p (Sin Publicar).

29)Vargas, J; Grijalba, M. 2003. Determinación de Pérdidas de Caña Dejada en el Campo por Efecto del Corte Mecanizado. Central Azucarera Tempisque (CATSA). Zafra 02-03. En: Congreso ATACORI “Ing. Agr. José Luis Corrales Rodríguez” 15, Guanacote, 2003. Memoria: San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. p: 153-156.

8. ANEXOS

