

Impacto generado por la presencia de materia extraña y tiempo de permanencia de caña de azúcar cosechada en campo en la disminución del contenido de sacarosa en los ingenios del Valle del Cauca

Algemiros Buesaquillo Escobar

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería de Alimentos

Palmira

2022

**Impacto generado por la presencia de materia extraña y tiempo de permanencia de caña de
azúcar cosechada en la disminución del contenido de sacarosa en los ingenios del Valle del
Cauca**

Algemiro Buesaquillo Escobar

Trabajo monografía presentado como requisito para
optar el título de Ingeniero de Alimentos

Directora

PhD Andrea Vásquez García

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería de Alimentos

Palmira

2022

Andrea Vasquez Garcia
Directora Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Palmira-2022

Agradecimientos

Dedico este trabajo a Dios y a mis dos hijos por su paciencia, apoyo y entender por qué reducía su tiempo para lograr cumplir esta meta. A mi esposa por su apoyo constante de la misma manera a mis padres, para mí y para ellos lograr culminar este logro será una gran felicidad y recompensa. Agradezco a la Universidad Nacional Abierta y Distancia - UNAD por enseñarme y formarme como profesional en esta hermosa carrera, a los docentes por compartir sus conocimientos. En especial a la ingeniera Andrea Vásquez García que me ha guiado en este proyecto para lograr una de las metas más importantes de mi vida.

Contenido

Definiciones	11
Resumen.....	15
Abstract.....	16
Introducción	17
Planteamiento del problema.....	19
Justificación	21
Objetivos.....	23
Objetivo general.....	23
Objetivos específicos	23
Marco conceptual y teórico.....	24
Historia de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca	24
Producción de caña de azúcar en Colombia	28
La Caña de Azúcar.....	31
<i>Morfología Caña de Azúcar.....</i>	32
<i>Composición de la Caña de Azúcar.....</i>	33
<i>Condiciones para Cultivar Caña de Azúcar.....</i>	37
<i>Actividades de Cosecha, Transporte y Entrega a los Ingenios de la Caña de Azúcar</i>	39
<i>Cosecha Manual de Caña de Azúcar.</i>	40
<i>Cosecha Mecánica de Caña de Azúcar</i>	42
<i>Transporte de Caña de Azúcar a los Ingenios.</i>	46
<i>Aanálisis de Calidad de la Caña de Azúcar en Precosecha y Cosecha de los Ingenios</i>	47
<i>Análisis de Cálidad en la Caña de Azúcar en Precosecha</i>	49

<i>Muestreo de Caña de Azúcar Cosechada en Recepción.....</i>	<i>51</i>
<i>Análisis de Materia Extraña en la Caña de Azúcar en Recepción.</i>	<i>52</i>
<i>Causas de la Materia Extraña en Caña de Azúcar.....</i>	<i>54</i>
<i>Permanencia de Caña de azúcar cosechada en Campo</i>	<i>55</i>
<i>Análisis de Calidad en Caña de Azúcar Cosechada en Recepción</i>	<i>57</i>
<i>Lectura de •Brix y Pol en Jugo de Caña de Azúcar</i>	<i>58</i>
<i>Análisis de Azúcares Reductores en Caña de Azúcar Método de Lane-Eynon.....</i>	<i>58</i>
<i>Porcentaje de Humedad de Bagazo en la Caña de Azúcar en Precosecha y Cosecha..</i>	<i>60</i>
<i>Equipos Utilizados para Análisis de Calidad de Caña de Azúcar en Precosecha y</i>	
<i>Cosecha.....</i>	<i>61</i>
<i>Importancia de la Sacarosa (Pureza) de la Caña de Azúcar.....</i>	<i>66</i>
<i>Alternativas de Solución</i>	<i>69</i>
<i>Conclusiones.....</i>	<i>75</i>

Lista de tablas

Tabla 1 Área de caña de azúcar sembrada para la producción de azúcar en Colombia entre 2014 – 2018.....	29
Tabla 2 Molienda de caña de azúcar y rendimiento obtenido entre los años 2002 – 2013	31
Tabla 3 Formación de frente de corte de caña de azúcar Colombia	40
Tabla 4 Análisis de caña de azúcar precosecha hacienda Magnolia.....	50
Tabla 5 Análisis de porcentaje de materia extraña en caña de azúcar de la hacienda Magnolia....	54
Tabla 6 Tiempo controlable en operaciones de ingreso de la caña de azúcar.	56
Tabla 7 Porcentaje (%) de pureza en la caña de azúcar en precosecha de la hacienda Magnolia	67
Tabla 8 Porcentaje de (%) pureza en caña de azúcar en cosechada (recepción)	68

Lista de figuras

Figura 1 Producción de caña de azúcar entre 2000 a 2012.....	27
Figura 2 Producción de caña de azúcar en Colombia.....	28
Figura 3 Departamentos de Colombia que producen caña de azúcar para producción de azúcar	30
Figura 4 Morfología de la caña de azúcar.....	33
Figura 5 Composición de la caña de azúcar.....	35
Figura 6 Estructura química de la sacarosa.....	36
Figura 7 Caña de azúcar en germinación.....	38
Figura 8 Corte de caña de azúcar manual.....	41
Figura 9 Cosecha de caña de azúcar mecánica en los ingenios del Valle del Cauca.....	43
Figura 10 Porcentaje de materia extraña en caña de azúcar cosechada por corte mecánico	44
Figura 11 Transporte de caña de azúcar en los ingenios de Colombia.....	47
Figura 12 Análisis caña de azúcar en precosecha.....	50
Figura 13 Toma de muestra por sonda hidráulica en caña de azúcar	51
Figura 14 Evaluación de Materia extraña en caña de azúcar en el área de recepción	53
Figura 15 Análisis de azúcares reductores en jugo de caña de azúcar por el método de Lane- Eynon.....	59
Figura 16 Tabla de lectura de reductores en jugo de caña de azúcar por método rápido Lane- Eynon.....	60
Figura 17 Desfibradora para análisis de caña de azúcar en recepción.....	62
Figura 18 Prensa hidráulica separación de jugo de caña de azúcar de la fibra (bagazo).....	63
Figura 19 Polarímetro (Pol) digital y los tubos de observación.....	64
Figura 20 Refractómetro para lectura de °Brix en jugo de caña de azúcar.....	65

Figura 21 Porcentaje de la humedad en el bagazo de la caña de azúcar en precosecha y cosecha.....	65
Figura 22 Comparación de pureza en la caña de azúcar precosecha y cosecha (recepción)	68

Abreviaturas

Termino	Abreviatura
Centro investigación de la caña de azúcar	ICA
Asociación cultivadores de caña de azúcar	ASOCAÑA
Asociación Colombiana de productores y proveedores de caña de azúcar	PROCAÑA
Asociación Colombiana de técnicos de caña de azúcar	TECNICAÑA
Porcentaje de sacarosa en solidos totales del jugo de caña de azúcar	PZ
Porcentaje aparente de sacarosa jugo de caña de azúcar	POL
Porcentaje de solidos solubles presentes en jugo caña de azúcar	°Brix
Azúcares reductores presentes en la caña de azúcar glucosa y fructosa	ART
Una medida de acidez en jugo de caña de azúcar	pH
Programa industrial evaluar la calidad caña de azúcar	BIOSALC INDUSTRIAL
Programa industrial evaluar la calidad caña de azúcar	BIOSALC AGROPECUARIO

Definiciones

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*): es una planta que pertenece a la familia de las poáceas, se cultiva en zonas tropicales, morfológicamente el cultivo de caña de azúcar se puede diferenciar entre variedades que existen, su productividad está basada en la fotosíntesis y manejo adecuado (productos químicos, orgánicos), esta se compone de 85% jugo y 15% fibra (J. E. Larrahondo, 1995).

Cosecha de caña de azúcar: actividad conocida por corte manual o mecánico, El corte manual es realizado por obreros quienes utilizan herramientas como: machete y curva, estas dotaciones son adecuadas, generalmente este corte se realiza en suertes (hectárea) cercanas a zonas residenciales, avícolas, suelos con piedras, desnivelados y húmedos el tipo de caña puede ser quemada o verde.

Para la cosecha mecánica se utiliza maquina agrícola conocida como cosechadora, dotada de tecnologías como: motor mecánico, hidráulico. sistemas de corte, eliminación de materia, cargado de caña de azúcar. Ofrece a los ingenios mayor rendimiento de corte de caña de azúcar quemada y verde. Trabaja en suelos nivelados, secos, sin piedras. este tipo de corte se suspendido en tiempos de lluvias (Bolaños, 2006).

Precosecha de la caña de azúcar: actividades que permite identificar la calidad de caña de azúcar antes de su cosecha, por medio de análisis en laboratorio que determina el contenido de sacarosa (pureza) en su etapa final o edad del cultivo (meses 12 a 14). El resultado del análisis confirma la programación de corte (Garcés, 2019).

Materia extraña en caña de azúcar cosechada: Son residuos que se generan en el proceso de cosecha, en corte mecánico o manual, en caña quemada o verde, este residuo vegetal es de la misma caña y minerales del suelo, que se adhiere con facilidad.

Para su identificación los ingenios efectúan toman muestras en los trenes de caña de azúcar que ingresa al proceso. por sistema hidráulico (core Sampler) o por añadas de maquina alzadora, es identificada y contabilizada personal capacitado como evaluadores de materia extraña (Navarro, 2014).

Sacarosa: “es un disacárido formado por glucosa y fructosa y se encuentra el 20% del peso de la caña de azúcar” (Cenicaña, 2016). Es un azúcar que pertenece a un grupo de hidratos de carbono llamados disacáridos. Es soluble en agua y ligeramente soluble en alcohol. Se cristaliza en agujas largas y delgadas y es dextrógira, es decir, desvía el plano de polarización de la luz hacia la derecha. Por hidrólisis rinde una mezcla de glucosa y fructosa, que son dextrógira y levógira, respectivamente. Debido a que desvían el plano de polarización hacia la derecha o izquierda (Jesús, 2013).

°Brix: “porcentaje de solidos solubles presentes en el jugo de la caña de azúcar, que representa prácticamente el contenido de sacarosa, su lectura se puede realizar en las diferentes edades del cultivo de caña de azúcar y jugo extraído por los molinos. Su lectura es efectuada en el refractómetro por método óptico que permite identificar su contenido(Mendoza, 2009).

Pol: “es el porcentaje de solidos solubles polarimétricos (sumatoria de azucares). en la industria de la producción de azúcar, la medición de Pol en caña se relaciona en el contenido de sacarosa, esta se efectúa en un polarímetro por rotación angular de las sustancias ópticamente activas en un plano de luz polarizada, el Pol se puede medir en caña de azúcar en desarrollo, caña

lista para cosechar y en el jugo que ingresa al procesó” (Mendoza, 2009).

Pureza: porcentaje de sacarosa obtenida de solidos presentes en el jugo de caña de azúcar, la pureza se puede determinar por resultados de °Brix y Pol, del jugo de caña analizado, en término más comunes los tecnólogos del azúcar afirman que si una pureza del 95%, por ejemplo, significa que 100 g de sustancia seca contienen 95 g de sacarosa y 5 g de no sacarosa. (Bustamante, 2018).

Pureza de caña azúcar: es el porcentaje de solidos totales en jugo, una pureza mayor es el resultado de un contenido más alto de sacarosa, en los sólidos solubles presentes en el jugo (Bustamante, 2018).

Inversión: cuando la sacarosa se invierte por medios ácidos o por acción de la enzima invertasa, la molécula de sacarosa es separada convirtiéndose en glucosa y fructosa, esto se conoce como hidrolisis o inversión de la sacarosa. Este fenómeno inicia en la misma planta de la caña de azúcar, pero se acelera cuando es cosechada por efecto del tiempo, temperatura, pH y presencia de materia extraña (Juárez, 2011, p .16). Cuando la caña de azúcar no es transporta a tiempo, la fermentación acética será considerable y se presenta disminución del pH, que conlleva a una inversión de sacarosa y fructosa. En la inversión de sacarosa es conocida que existen microorganismos que tienen dentro de su metabolismo enzimas como invertasa, estos microorganismos se pueden encontrar en diferentes ambientes como fangos, molinos, bandas transportadoras de caña de azúcar y vagones. Para disminuir la inversión se efectúa limpieza de estos equipos que resulta en menos porcentaje de inversión, una vez la caña de azúcar es molida el jugo es tratado con productos químicos como la cal para neutralizar su acidez (Jiménez, 2006).

Permanecia de caña de azúcar: la caña de azúcar cosechada no transportada a tiempo

al ingenio por diferentes factores como: daños en equipos de transporte, fábrica y tiempo climático, permite que la caña de azúcar cosechada permanezca en campo más del tiempo previsto, este retraso genera que el contenido de sacarosa disminuya y como resultado final una molienda de caña de azúcar de baja calidad, que aumenta el costos de producción (Wilfredo, 2010).

Azúcares reductores en jugo de caña de azúcar: Son compuestos que están presentes por naturaleza en la composición de la caña de azúcar conocidos como azúcares sencillos, entre ellos se encuentran la glucosa y fructosa, “algunos azucares tiene la propiedad de oxidarse en presencia de agentes suaves como: $F^{+3}C^{+2}$ esta característica radica en la presencia de un grupo carbonilo libre, el cual es oxidado y genera un grupo carboxilo y por lo tanto aquellos azúcares con un grupo carbonilo libre son llamados azucares reductores, "(Juárez, 2011, p.19). Los ingenios para identificar los azucares reductores presentes en la caña de azúcar utilizan reactivos como: la solución de Fehling A y B.

Muestreo: proceso mediante el cual se selecciona un cultivo de caña de azúcar o tren cañero que ingresa a los ingenios a descargar la caña de azúcar que necesitan saber la calidad o contenido de sacarosa de la caña de azúcar cosechada o precosecha.

Hacienda: nombre de la hacienda que proviene la caña de azúcar

Suerte: procesos donde se selecciona muestreo de caña de azúcar para evaluar el contenido de sacarosa o número designado de un cultivo de caña de azúcar.

Bagazo: residuo de materia que queda luego de que la caña de azúcar se le extrae el jugo, es utilizado para combustible de combustión para calderas de los ingenios y materia prima para producir papel.

Resumen

Los ingenios del Valle del Cauca presentan disminución de sacarosa en caña de azúcar que cosechan utilizando corte mecánico y manual, esta caña contiene materia extraña y presentan tiempo de permanecía en campo (caña cosechada no transportada a tiempo), estos dos factores se han convertido en un problema que afecta la calidad de la caña de azúcar cosechada y producto final. La materia extraña que se adhiere en los tallos de la caña de azúcar cosechada es la mismo contenido vegetal y mineral de la caña, esta no contiene sacarosa. Para reconocer la calidad en la caña de azúcar que ingresa a los ingenios, estos efectúan el proceso de evaluación de calidad, que les permite identificar el porcentaje de Sacarosa (Pz), porcentaje de materia extraña y el tiempo que ha permanecido la caña cosechada en campo sin ser trasportada (permanecía), este proceso les sirve a los ingenios azucareros para la toma de decisiones sobre los tipos de azúcar que podrán producir con la caña que está ingresando a sus fábricas.

Es importante tener en cuenta que, para disminuir las pérdidas del contenido de sacarosa por las causas mencionadas anteriormente, se sugiere implementar un sistema de limpieza y fomentar el trabajo en equipo en el área de cosecha.

En la presente monografía se trabajó con la investigación descriptiva, documental de información bibliográfica de la disminución de sacarosa (Pz), por factores como: materia extraña y tiempo de permanencia en campo de caña de azúcar cosechada, identificar los análisis de calidad de la caña de azúcar cosechada en ingenios de Colombia, Así mismo se dan pautas para conservar el contenido de sacarosa.

Palabras claves: Pureza, conservación de sacarosa, calidad en caña de azúcar, transporte.

Abstract

The sugar mills of Valle del Cauca present a decrease in sucrose in sugar cane that they harvest using mechanical and manual cutting, this cane contains foreign matter and time permanence in the field (harvested cane not transported on time), these two factors have become a problem that affects the quality of the harvested sugar cane and final product. The foreign matter that adheres to the stems of the harvested sugar cane is the same vegetable and mineral content of the cane, this does not contain sucrose. To identify and recognize the quality of the sugar cane that enters the mills, they carry out the quality evaluation process, which allows them to identify the percentage of Sucrose (Pz), the percentage of foreign matter and the time that the harvested cane has remained in field without being transported (permanence), this process helps the sugar mills to make decisions about the types of sugar they can produce with the cane that is entering their factories.

It is important to keep in mind that, in order to reduce the loss of sucrose content due to the causes mentioned above, it is suggested to implement a cleaning system and encourage teamwork in the harvest area.

In the present monograph, we worked with descriptive research, documentary bibliographic information on the decrease in sucrose (Pz), due to factors such as: foreign matter and time spent in the field of harvested sugarcane, identify the quality analyzes of the cane of sugar harvested in the sugar mills in Colombia. Likewise, guidelines are given to preserve the sucrose content.

Keywords: purity, quality in sugarcane, transportation, sugar.

Introducción

La producción de azúcar depende de la calidad de la caña de azúcar que cosecha como por ejemplo a mayor porcentaje de sacarosa extraída aumenta la producción (Ixpata, 2014), de la misma manera los ingresos para los ingenios, proveedores (colonos), colaboradores y nuevos empleos en esta industria. Se muestra que dos factores muy importantes surgen en el área de cosecha, el primero la presencia de materia extraña y segundo la permanencia de la caña de azúcar cosechada no transportada a tiempo desde campo a los ingenios, disminuyen el contenido de sacarosa producida en campo antes de ingresar a los ingenios (Oviedo, 2003).

Los ingenios para asegurar la calidad del azúcar que producen, en el área de recepción realizan análisis de calidad, que permite identificar la cantidad de materia extraña adherida en la caña, como residuos vegetales (hojas, cogollo, sepas, hierbas) y minerales (sepas raíz de la caña, tierra, piedras), y se toma el tiempo de permanencia de la caña de azúcar cosechada que no es transportada a tiempo. Los cuales han sido temas cruciales para investigaciones de los mismos ingenios debido a que se generan el problema de disminución del contenido de sacarosa (Navarro, 2014).

Para identificar la calidad de la caña de azúcar, los ingenios realizan dos análisis: El primero llamado precosecha (caña sin materia extraña) muestra obtenida en cultivo (suerte) de caña de azúcar que cumple la edad de corte. El segundo análisis de calidad, es caña de azúcar cosechada que ingresa al proceso (recepción) muestra obtenida por sonda hidráulica en vagón, en este se efectúa análisis de materia extraña. En los dos análisis se evalúan el contenido de sólidos solubles, °Brix, Pol, porcentaje (%) de húmeda, los cuales permiten identificar el contenido de sacarosa (pureza). Esta información es la principal fuente al tomar decisiones para producir los

diferentes tipos de azúcar, realizar pagos a los proveedores de caña de azúcar (colonos) y reconocer la disminución del porcentaje (%) de sacarosa (pureza) (Pastora, 2019).

La materia extraña que se extrae en el proceso de clarificación de jugo, llamada cachaza y el bagazo que es el resultado del proceso de molienda, estos son homogenizados con residuos, como: hojas secas de árboles y vinaza, que se depositan en un centro de acopio (planta de compostaje) en donde se transforman en abono orgánico, éste es utilizado para cultivar la caña de azúcar (Asocaña, 2016).

Esta monografía tiene como objetivo contribuir con información a los ingenios, de cómo estos dos factores afectan la disminución del contenido de sacarosa, recopilando información sobre inversión de sacarosa por materia extraña y permanencia y al final poder dar un crítica propia de los datos publicados por Cenicaña y Asocaña.

Planteamiento del problema

Los ingenios trabajan constantemente en producir la mayor cantidad de sacarosa en sus cultivos de caña de azúcar, que les permita obtener una producción constante de azúcar y cumplir con sus objetivos y las necesidades de los mercados nacionales e internacionales, y seguir avanzando en el progreso industrial, social y cultural.

La disminución del contenido de sacarosa en las entregas de caña de azúcar se conocen como pérdidas de caña que no ha sido molida, las pérdidas se destacan por el alto porcentaje de materia extraña y caña cosechada que no fue transportada a tiempo (permanencia) afectando el rendimiento en producción de azúcar (Asocaña, 2016).

Para identificación del contenido de sacarosa en la caña de azúcar antes de su cosecha (pre cosecha) y después de cosecha se realizan análisis de calidad en caña azúcar, esto permite confrontar información de pureza en caña azúcar y tener información de la disminución del contenido de sacarosa en la área de cosecha y transporte y definir las posibles causas (Pastora, 2019). Las instituciones como Asocaña, Cenicaña y los ingenios trabajan para que se cumpla y se efectuó el mismo análisis de calidad (pureza) en caña de azúcar que ingresa al proceso de transformación en los ingenios del Valle del Cauca (Incauca, 2015).

La inversión de sacarosa inicia cuando se efectúa su corte sea manual o mecánico, si la caña cosechada contiene material extraño y permanencia de caña en campo (caña de azúcar no transportada a tiempo) es mayor la pérdida de sacarosa debido a que la caña de azúcar se expone a microorganismos que invierte la sacarosa (Bolaños, 2006).

Los ingenios identifican el problema que a mayor porcentaje de materia extraña y tiempo de permanencia de la caña de azúcar en campo disminuye el contenido de sacarosa (Cenicaña, 2001). Razón por la cual se hace necesario estudiar estos dos factores, por lo cual se plantea la

siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles son las alternativas para disminuir el contenido de materia extraña y tiempo de permanencia de la caña de azúcar para conservar el contenido de sacarosa desde el momento de la cosecha hasta su entrega en el ingenio?

Justificación

El proceso productivo de obtención de azúcar ha venido creciendo en el departamento del Valle del Cauca asegurando mayores ingresos para los ingenios, mejorando la calidad de vida de sus colaboradores y la región durante varios años. Además asumen compromisos en sostenimiento, cuidado del medio ambiente, mayor contratación en mano de obra y con esto seguir creciendo como industria de la mano con la región (Carvajal, 2018).

Según la asociación de cultivadores de la caña de azúcar en Colombia (Cenicaña) el nuevo uso de tecnología como cosechadoras de caña de azúcar y reducción de corte manual ha generado el aumento en el porcentaje de materia extraña y con ello la disminución del contenido de sacarosa (J. E. Larrahondo, 1995). Algunas malas prácticas operativas por parte de sus colaboradores como: transportadores, cosechadores, hacen que la caña de azúcar cosechada permanezca mucho tiempo en campo y no transporte, donde inicia el proceso de inversión de la sacarosa de la caña de azúcar, que asociada con la presencia de materia extraña adherida en sus tallos aumentada la disminución de sacarosa (Pz) (Asocaña, 2016).

Uno de los informes de Cenicaña en el año 2001, relaciona que la disminución del contenido de sacarosa (Pz) en caña cosechada, se asocia al contenido de materia extraña y el tiempo de permanencia en campo caña no transportada, donde encontraron que por cada 1% de materia extraña que entra al ingenio se pierden 1.5 kg de azúcar por tonelada de caña de azúcar procesada y por cada hora (1) de permanecía de caña de azúcar no transportada las pérdidas de azúcar recuperable ascienden 0.15kg en caña molida por tonelada (Cenicaña, 2001).

Los ingenios efectúan mayor ingreso de toneladas de caña de azúcar cosechada por sistema mecanizado, este sistema de cosecha incrementa considerablemente la cantidad de materia extraña, que agrega al proceso concentración de compuestos no azucarados. Además,

disminuyen la extracción de azúcar debido a las pérdidas de sacarosa por incremento del volumen de bagazo y humedad. Por lo tanto, un porcentaje elevado de materia extraña puede tener un efecto determinante sobre el color del azúcar (Navarro, 2014).

Conociendo dicha necesidad es importante buscar información y solución en los procesos que deben ser mejorado (cosecha, transporte), de esta manera y con ayuda de recursos humanos y material bibliográfico ya existentes en cada ingenio, se puede conservar la sacarosa en caña de azúcar cosechada, reducir las causas y efectos en la producción de azúcar.

Objetivos

Objetivo general

Describir el impacto generado por la presencia de materia extraña y tiempo de permanencia de caña de azúcar cosechada en la disminución del contenido de sacarosa en los ingenios del Valle del Cauca.

Objetivos específicos

Determinar los análisis que definen la calidad de la caña de azúcar en precosecha y cosecha en el área de recepción de los ingenios del Valle del Cauca.

Identificar la materia extraña y permanencia en la caña de azúcar cosechada que disminuyen el contenido de sacarosa.

Recomendar acciones que pueden ser implementadas por los ingenios del Valle del Cauca para disminuir las pérdidas del contenido de sacarosa en caña de azúcar con permanencia y materia extraña.

Marco conceptual y teórico

Historia de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca

Históricamente se establece que, la caña de azúcar fue introducida al departamento del Valle del Cauca por medio de Sebastián de Belalcázar entre 1538 y 1541 sembrándola inicialmente en el Municipio de Yumbo; a partir de ese punto, comenzó un proceso de extensión en las zonas aledañas al Río Cauca (Larrahondo, 1995, p. 3). En el siglo XVI se inicia la clarificación de jugo de caña de azúcar con floculante natural y evaporan el agua paso a paso por calderos en línea y esta miel podía alcanzar punto de panela o miel. En los años siguientes como 1975 inicia el aumento de trapiches en municipios como: Buga y Palmira. En 1867, Santiago Eder reemplazó en la Rita el molino de tracción animal con dos cilindros de madera que habían descrito Jorge Isaac en su novela La María que constaba de un molino de tres masas horizontales y rueda de hierro que rotaba con impulso hidráulico, su producción con este nuevo montaje alcanzaba 350 libras de azúcar por día (Larrahondo, 1995).

En el siglo XVII, ya se encontraba funcionando los primeros ingenios en los municipios de Amaime, Caloto y otros estaban siendo fundados en Candelaria, Yumbo, Palmira, Sonso, Buga y Tuluá. Se extendían los primeros cultivos de caña de azúcar por todo el departamento del Valle del Cauca, para cumplir con las necesidades de comercio de azúcar y miel en el país, con esto implementaron una planeación de siembra y cosecha.

El transporte de caña de azúcar a los trapiches se efectuaba en carretillas jaladas por bueyes y caballos. En los cultivos se empezaron a implementar el riego por gravedad y en fábrica talleres de reparación, que dieron como inicio la cultura de programación de sus actividades, su carácter industrial por ordenamiento y técnicos, conducentes de transformar productos y obtener rentabilidad económica (Larrahondo, 1995).

En la mayoría de las haciendas del Valle del Cauca existían cultivos como: millo, maíz, algodón, huertas de legumbres, yerbas medicinales, árboles frutales y ganadería, siendo esta una de las actividades más destacadas por su alta producción. El azúcar se producía en menor cantidad en municipios como: Buga, Palmira, Vijes y Jamundí. El número de trapiches seguía creciendo y las haciendas prosperaban por sus cultivos de caña de azúcar y otras por venta de víveres (Larrahondo, 1995).

Algunos de los trapiches existentes ya manejaban libros contables, una buena organización para lograr una alta producción de caña de azúcar, iniciaban realizando estudios a los suelos para lograr una buena siembra de caña de azúcar y con esto tener una excelente cosecha y producción, muchos de estos trapiches contaban con una jerarquía de colaboradores.

En 1901, los trapiches se fueron industrializando, uno de los ingenios destacados en estas innovaciones y como pionero en el Valle del Cauca fue Manuelita un ingenio familiar, en esta época fue ejemplo para empresarios que presentaban interés en esta industria azucarera. Que al final se asocian y deciden invertir y al final industrializan los trapiches existentes o creación de otros como: el ingenio incauca que perteneció a la familia Eder, en años 80 y 90 el empresario Carlos Ardila lulla se asocian y al final compra su totalidad, esto mejoro la expansión de cultivos de caña de azúcar en suelos planos de los departamentos Valle del Cauca y Cauca (Ripoll, 2020).

En el siglo XX en Colombia aparece la transformación del paisaje rural con grandes vías de ferrocarril y vías rurales, las creaciones de instituciones de apoyo a los agricultores por parte del gobierno y la industria seguía fortaleciéndose. Además, surge interés de los empresarios por invertir en este sector azucarero, buscando mejorar la tecnología, aumento de producción, esto permitió que los ingenios fueran considerados como unidades productoras modernas de azúcar centrifugada (Mejía, 2014).

La asociación de cultivadores de caña de azúcar y los empresarios unen capitales y esfuerzos, en compañía de políticas y del presidente como Alfonso López Pumarejo con el tema de expansión de territorios que significó para los ingenios un incremento de tierras dedicadas al cultivo de caña de azúcar, como: favoreciendo la legalización y compra de tierras a campesinos, facilito que los ingenios aumenten las siembras de caña en haciendas y parcelas. Esto garantizo mayor producción de caña, azúcar crudo (centrifugado) y el ingreso a los mercados.

La siembra de caña de azúcar se expande por otros departamentos de Colombia como: Nariño, Cauca, Risaralda y Boyacá, utilizada para la producción de panela y miel para el mercado interno del país (Mejía, 2014). A partir de los siglos XIX y XX, existió una notoria participación gubernamental en la producción de azúcar, lo cual favoreció enormemente los mercados internos y externos. Esta tendencia continuó y los empresarios vallecaucanos se vieron beneficiados con la construcción de nuevos caminos facilitando el transporte de la caña de azúcar a sus fábricas (lugar donde procesa la caña de azúcar) (Mejía, 2014, p. 5).

En los años 1960 y 1999 algunos ingenios no se consolidan económicamente por falta de compradores potenciales de azúcar y pocas inversiones en sus plantas de producción, también reportan que las huelgas de trabajadores y sindicatos logran que los ingenios más pequeños cerraran definitivamente y vendieran sus tierras a otros ingenios que contenían mayor poder económico. En la actualidad solo 13 ingenios azucareros se consolidan con seguridad en la producción constante de azúcar y se dan a conocer como las mejores empresas agroindustriales del País, que cumplen con sus pedidos a mercados internos, externos y asumen nuevos retos de producción, de nuevos subproductos y diferentes presentaciones de azúcar.

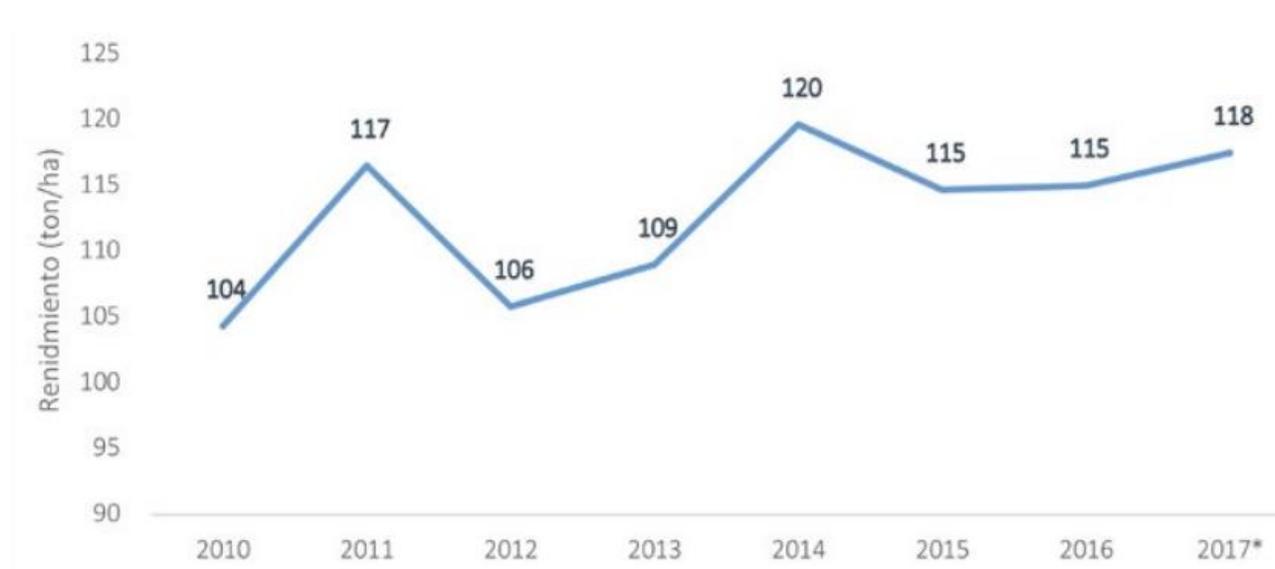
En los años 2000 hasta el 2004 los ingenios reportan mayor crecimiento en producción de caña de azúcar como se muestra la “Figura 1”. A partir de los años 2005 a 2008 se observa una

reducción en la producción de caña de azúcar, que es resultado de diferentes fenómenos como: cambios climáticos durante estos años.

Así mismo, el incremento en la producción de caña de azúcar está bien establecido por ventas de azúcar, sub productos como: energía, alcohol carburante, que se mezcla con gasolina y se vende para motores de combustión (Cepal, 2002).

Figura 1

Producción de caña de azúcar entre 2010 a 2017



Fuente: Tomado de (Chaves, 2004).

En el año 2019, Cenicaña, una institución que brinda información del progreso y avances en inversión por parte de los ingenios y el gobierno. Asegurando que la industria azucarera cuenta con 200.499 hectáreas sembradas de caña de azúcar, con una producción de 2.203.983 toneladas de azúcar, 443.570 millones de litros en bioetanol y energía 1.657 GWH (gigavatios - hora) (Asocaña, 2020).

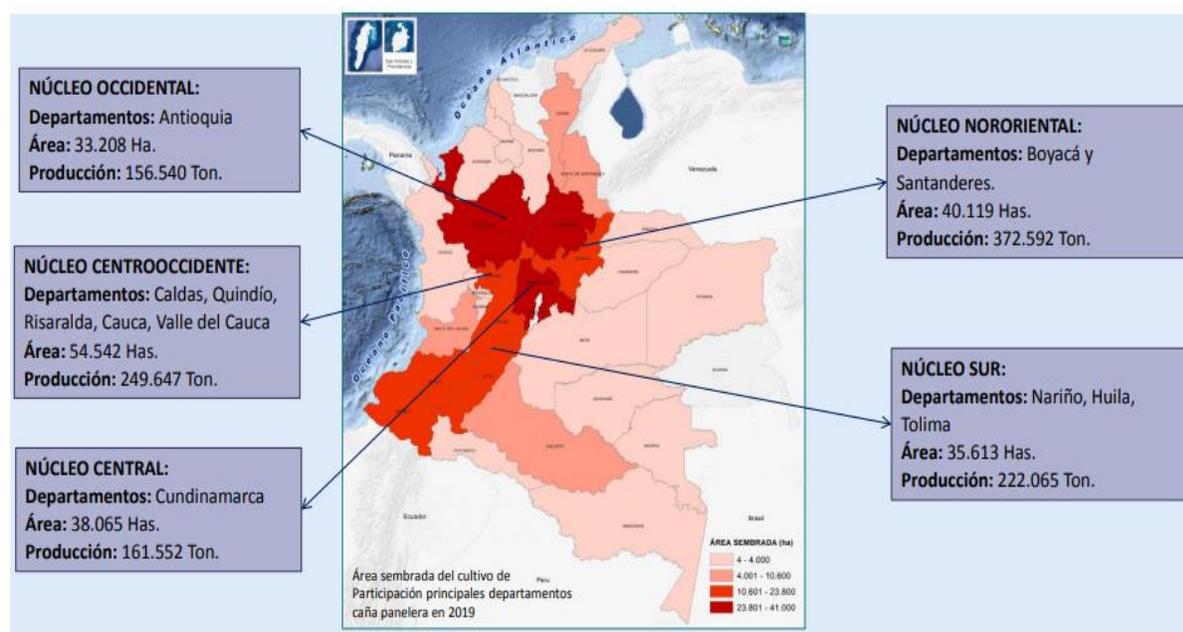
Producción de caña de azúcar en Colombia

La caña de azúcar se cultiva prácticamente en todas las regiones tropicales y subtropicales de algunos departamentos de Colombia. La poca producción de cultivos de caña de azúcar que reportan estos departamentos, es por suelos quebrados que dificultan labores de siembra, cosecha, transporte. Su producción principal es la panela, guarapo y alimentación para animales.

En los departamentos como: Valle del Cauca, Cauca, Risaralda en su zona de suelos planos, reportan la mayoría de cultivos de caña de azúcar, esto permitió industrializarse para producir azúcar que se comercializan en mercados internos y externos. En la "Figura 2". Se presenta el área sembrada y la producción en toneladas de caña de azúcar en País (Ministerio de Agricultura 2020).

Figura 2

Producción de caña de azúcar en Colombia



Fuente: Tomado de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020).

En el Valle geográfico del Río Cauca se ubican 50 municipios de 6 departamentos que son: Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Caldas, Quindío y Meta, donde se encuentran ubicados los ingenios azucareros. La geometría de sus suelos planos permite sembrar, cosechar, transportar y usar tecnologías como: maquinas cosechadoras, sembradoras, alzadoras, trenes cañeros, el uso de cortes manual y mecánico.

El 75% de haciendas son de proveedores y el 25% son de propiedad de los ingenios. En los últimos años el área sembrada de caña de azúcar ha tenido un crecimiento como se muestra en la “Tabla 1”. Y la información de la producción de caña de azúcar por hectárea (Minagricultura, 2018).

Tabla 1

Área de caña de azúcar sembrada para la producción de azúcar en Colombia entre 2014 – 2018

Variable	2014	2015	2016	2017	2018
Áreas (ha)	240.157	243.548	294.119	263.189	273.717
Producción (Ton)	2.398.077	2.354.723	2.091.128	2.233.831	2.278.508
Rendimiento (Ton/ha)	119.63	114.68	115.02	120.81	126.24

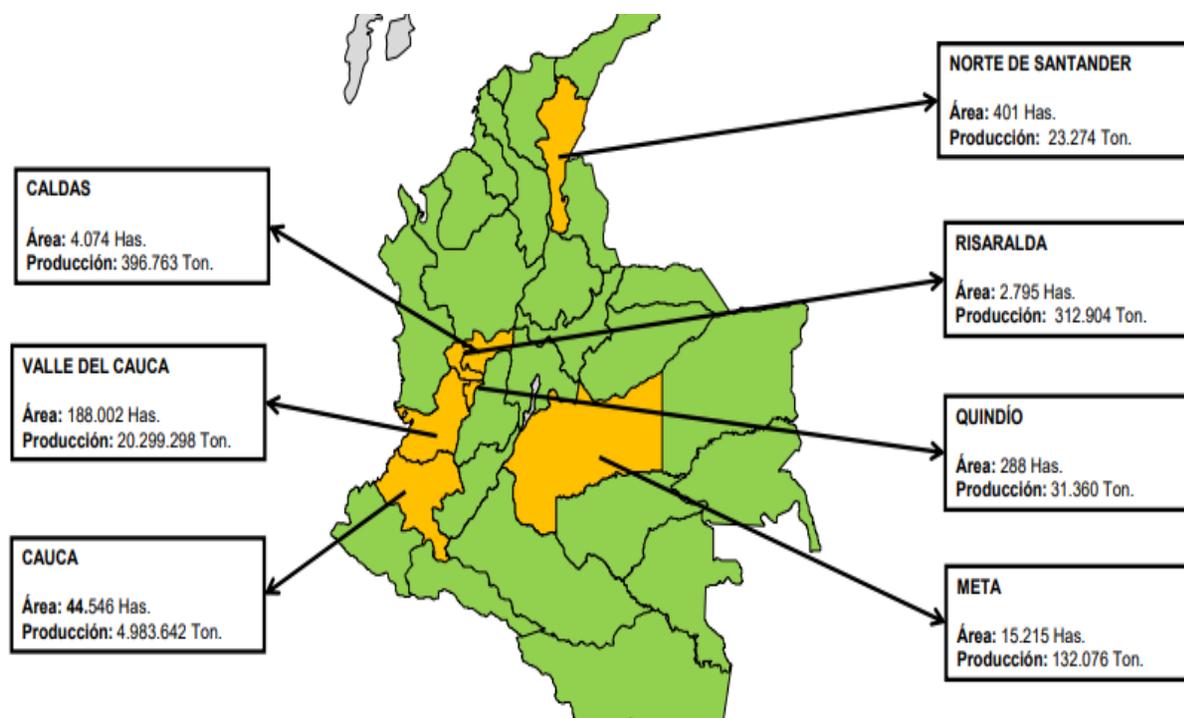
Fuente: Tomado de Minagricultura (2018).

Los ingenios en Colombia no trabajan en zafra (tiempo específico de cosecha y molienda), su siembra, cosecha y molienda es durante todo el año. Esto ha permitido realizar trabajos de investigación por instituciones Asocaña, Tecnicaña, Universidades, junto con los ingenios y proveedores buscando obtener mayor rendimiento de toneladas de caña de azúcar por hectárea sembrada, logrando una producción de 15 a 17 ton/ha (toneladas por hectárea) aproximadamente siendo uno de los mejores rendimientos a diferencia de otros países que

reportan un rendimiento de 13 ton/h (toneladas por hectárea), en la “Figura 3”. Se muestra el área sembrada de caña de azúcar y su producción (Minagricultura, 2018).

Figura 3

Departamentos de Colombia que producen caña de azúcar para producción de azúcar



Fuente: Asocaña (2019).

Los ingenios azucareros en Colombia no compiten en molienda de caña de azúcar, esta industria le apuestan en producir cultivos de caña de azúcar con mayor rendimiento, que les garantice obtener productos y sub productos de calidad que faciliten competir, vender, esto ha construido una economía estable en el tiempo para estas empresas y su región.

. En la “tabla 2”. Se observa el incremento de áreas sembradas por año y mayor capacidad de molienda, siendo el resultado de varias gestiones realizadas como: inversiones económicas en

compra de equipos utilizados en las diferentes áreas de la fábrica (lugar donde se procesa la caña de azúcar), maquinaria para mejorar las carreteras que faciliten el ingreso en las haciendas con suelos húmedos, quebrados, parcelas que no alcanzan a medir una hectárea y motobombas, tubería de transportar de agua a sus cultivos, todas estas adquisición garantizan la siembra, cosecha y producción de caña de azúcar (J. E. Larrahondo, 2019).

Tabla 2

Molienda de caña de azúcar y rendimiento obtenido entre los años 2002 – 2013

Año	Caña molida toneladas	Área neta sembrada por hectárea
2002	20.505.446	205.456
2003	21.669.400	198.038
2004	22.165.268	197.013
2005	21.784.805	198.049
2006	22.019.933	203.284
2007	21.090.203	202.926
2008	19.207.728	205.664
2009	23.588.646	208.254
2010	20.272.594	218.311
2011	22.728.758	233.905
2012	20.823.629	227.748
2013	21.568.243	225.260

Fuente: Asocaña (2016)

La Caña de Azúcar

La caña de azúcar pertenece a la familia de las gramíneas del género *Saccharum*, las variedades cultivadas son híbridos de la especie *officinarum* y otras afines (*spontaneum*). Es una planta herbácea de gran tamaño, que se cultiva en países tropicales y subtropicales (Colombia),

se propaga vegetativamente sembrando trozos de tallos. La nueva planta o retoño crece a partir de los nudos que tienen los tallos, asegurando así una descendencia uniforme.

Las variedades de caña de azúcar que más se siembran en las regiones azucareras de Colombia son: las que contienen alto porcentaje (%) de sacarosa, facilidad de adaptación en suelos, resistente a enfermedades, plagas y no se precipitan al suelo, que facilitan la cosecha mecánica (Ixpata, 2014).

Morfología Caña de Azúcar

Gracias a la morfología de las plantas es posible identificar las variedades y poder relacionar su rendimiento. La caña de azúcar tiene un tallo cilíndrico, con diámetro de 5 a 6 cm y su altura 2 a 5 metros, sus partes son: 1) la raíz: es la parte donde la planta se sostiene, el medio para absorción de nutrientes y agua, en planta se localiza dos tipos de raíz siendo las primordiales y permanentes.

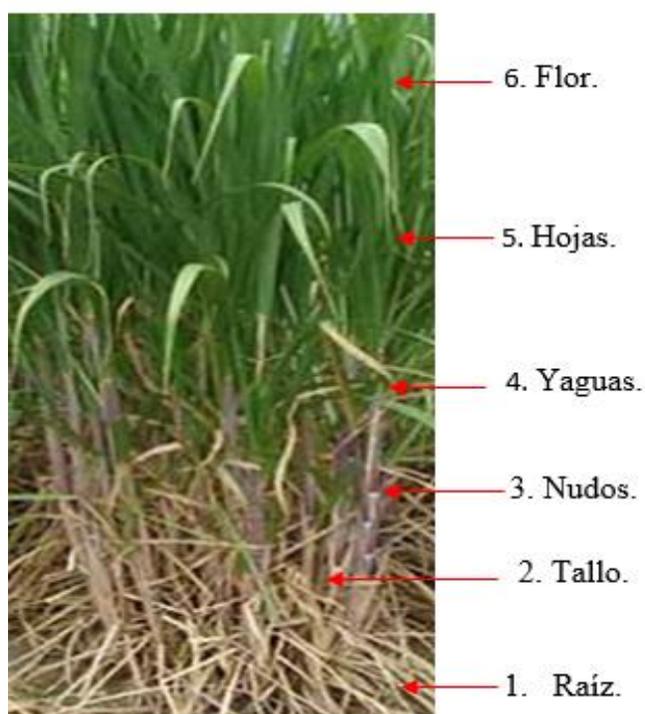
Las primeras pertenecen a la raíz de la primera estaca sembrada y se caracterizan por ser ramificadas esta solo tiene tres meses de utilidad por la plata y la deja morir; las raíces permanentes, surgen de los anillos de crecimiento, de los brotes nuevos que se encuentran en mayor cantidad, crecen rápidamente y se multiplican a medida que la planta se desarrolla;

2) el tallo que es largo aproximadamente de 2 a 5 metros según variedad y cuidados del cultivo, es el órgano de mayor importancia en la caña de azúcar ya que en este se acumula los azúcares; 3) los nudos que son la parte más dura y fibrosa, este también está conformado por anillos de crecimiento la franja de raíces; 4) las hojas, las cuales se originan entre nudos que se poseionan a lo largo del tallo, cada hoja está conformada por lamina foliar, yaguas, vaina, son intercaladas y las encargadas del proceso de fotosíntesis: 5) la yagua o vaina definida como la parte que envuelve el tallo y es de forma tubular, su tamaño es ancho según la variedad como se

muestra en “figura 4”. Contiene presencia de pelos urticantes; y 6) la flor, que es una inflorescencia en panícula sedosa en forma de espiga, es una flor hermafrodita, la floración ocurre cuando el cultivo ha tenido cuidados agrícolas adecuados y nutrientes necesarios (Marasca, 2015).

Figura 4

Morfología de la caña de azúcar



Fuente: La república (2017).

Composición de la Caña de Azúcar

De acuerdo con Técnicaña, Asocaña y otras instituciones en la industria azucarera, la caña de azúcar se compone en una combinación de jugo y fibra. Por un lado, la fibra: es la parte que es insoluble en agua y es constituida principalmente por celulosa; esta se compone de azúcares de tipo simples como lo son la glucosa y la destrona. (Valenzuela, 2019). A su vez, el

jugo es la fase líquida que se compone de azúcares como sacarosa, glucosa, fructosa, sales (orgánicas, inorgánicas), ácidos orgánicos, aminoácidos impurezas y otras azúcares, representado aproximadamente un porcentaje de 70 a 90% de la caña de azúcar.

El jugo de la caña de azúcar es el medio para identificar el (%) de pureza, con instrumentación de precisión, refractómetros o polarímetros.

Los análisis de calidad de caña de azúcar o porcentaje de (%) se pueden realizar en las diferentes edades, los más nombrados en la industria azucarera son: análisis de precosecha (caña libre de materia extraña) y análisis de calidad (caña de azúcar cosechada). La caña de alta calidad de azúcar se reconoce si su pureza se encuentra entre 90 a 95% dependiendo de variedad y cuidados que ha tenido el cultivo Valenzuela (2019).

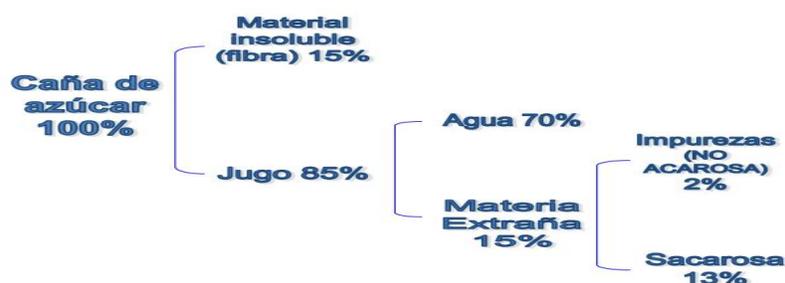
El jugo de caña de azúcar posee 2 grupos de constituyentes: primarios y secundarios. Los secundarios serían definidos como: materiales coloreados, polisacáridos, azúcares reductores e impurezas. En ese sentido, los polisacáridos se definen como los compuestos naturales de la caña de azúcar que contribuyen al color amarillento hasta marón y su concentración en jugo oscila 0,5 a 0.1%, y dentro de esto se pueden mencionar el almidón y dextranos (bacterias leuconostoc) que deterioran la caña de azúcar durante la cosecha, transporte y su almacenamiento en patios, (lugar que ha sido determinado por el ingenio para almacenar la caña de azúcar). Por otro lado, se encuentran los colorantes de origen vegetal que se establecen como resultado de la actividad enzimática como compuestos fenólicos, funcionando como antioxidantes y realizando la reactividad de color, al reaccionar con haldeados, aminos, hierro, cobre.

El jugo además presenta azúcares reductores, los cuales son básicamente azúcares presentes en la composición química de la caña como se expone en "figura 5". Siendo principalmente glucosa y fructosa. Estos presentan una importante influencia en la calidad del

azúcar, pueden influir sobre la dureza del grano y su color. Su mayor presencia se encuentra en caña de azúcar con avanzadas edad y manejos de cosecha inadecuados (permanecía de caña en campo, patios).

Figura 5

Composición de la caña de azúcar



Fuente: Adaptado de Valenzuela (2019).

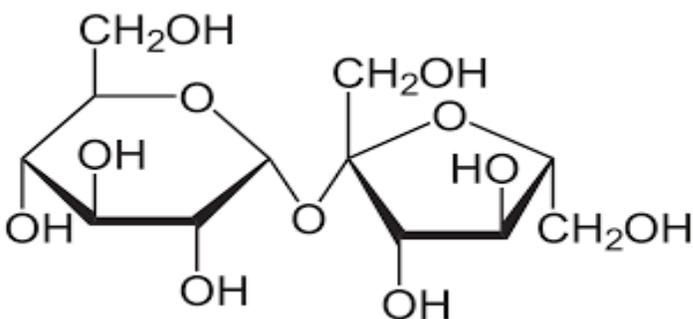
En relación a los constituyentes primarios (sólidos solubles) en el jugo de caña de azúcar estos son representados principalmente por la sacarosa con el mayor contenido, a diferencia de la glucosa y fructosa, siendo su contenido variable según el estado de maduración y mantenimiento de los cultivos.

La sacarosa se establece como un disacárido, el cual se encuentra formado a partir de 2 unidades de monosacáridos, siendo ellos la glucosa y la fructosa. Ver “Figura 6”. Los azúcares de tipo monosacáridos son un tipo de azúcares con 6 carbonos o hexosas originados como respuesta a los procesos fotosintéticos de la planta. Así pues, a lo largo del desarrollo natural de la planta, estos monosacáridos sufren modificaciones químicas dando origen a la sacarosa. (Naranjo, 2019). En este orden de ideas, el contenido referente a sólidos solubles que incluye principalmente a la sacarosa y los azúcares reductores son definidos en el medio como: brix, el cual es un valor que se expresa en porcentaje (%). Una vez conocida esta relación, se establece que la razón porcentual (%) que relaciona la sacarosa presente en el jugo y el brix es la

denominada pureza. Esta se mide por instrumentos de precisión como lo son el refractómetro y los polarímetros. Así mismo, su porcentaje es variable como consecuencia de factores como la variedad de la caña de azúcar, el suelo, la edad del cultivo, la calidad de mantenimiento del cultivo y la cosecha (Cardona, 2012). Así mismo, el contenido aparente de sacarosa puede ser expresado en porcentaje en peso es denominado “pol”, siendo determinado por el método polimétrico. En este sentido, se establece que solidos solubles que contienen los azucares reductores u otros componentes de carácter inorgánico u orgánico, es decir desemejantes a la sacarosa, son nombrados como “no-pol” (Cardona, 2012).

Figura 6

Estructura química de la sacarosa



Fuente: Tomado de (Ixpata Jorge, 2014)

La sacarosa extraída de la caña de azúcar se cristaliza por medio de procesos industriales para obtener el azúcar; esta no es un azúcar reductor, pero se hidroliza con la facilidad de otros disacáridos. Cuando la sacarosa se hidroliza se la conoce como inversión, que es efectuada por medios ácidos o enzimas. Su inversión depende de los ácidos minerales ya que tienen mayor poder a diferencia de los ácidos orgánicos. Una vez la caña de azúcar es cosechada, la sacarosa

puede sufrir alteraciones o deterioro por la acción de microorganismos, que separan la molécula de glucosa y fructosa provocando dificultades a la hora de la cristalización, disminuyendo de esta forma la producción de azúcar en los ingenios. La sacarosa en jugo de caña de azúcar se mide por instrumentación de luz óptica polarizada (polarímetros) que trabaja en ondas de luz, este permite medir el Pol o sacarosa aparente (Naranjo, 2019).

Condiciones para Cultivar Caña de Azúcar.

La caña de azúcar para su germinación y desarrollo necesita una temperatura de 14 a 16°C; para su mejor rendimiento requiere un clima con temperatura de 32 a 38°C y 8 horas luz, esto es garantía para obtener una caña de azúcar de calidad (altos porcentajes (%) sacarosa). Para su siembra, el suelo debe cumplir con adecuaciones y condiciones que faciliten su crecimiento, riego y drenajes, esta labor es la más importante para obtener un cultivo con excelentes rendimientos de sacarosa para ser cristalizada en los ingenios. Otro punto importante es garantizar un buen mantenimiento del cultivo de caña de azúcar, para no realizar una nueva siembra y fomentar un promedio de duración de 5 a 10 años sin realizar un nuevo sembrado. Por otro lado, este cultivo se debe renovar por bajo rendimiento de porcentaje (%) de sacarosa y toneladas por hectárea (Larraondo, 1995).

La siembra de caña de azúcar es realizada con material vegetativo en esquejes o conocidos como trozos. En Colombia, Cenicaña junto con los ingenios utilizan semillas más productivas, los esquejes deben ser desinfectados para sembrarlos, sanos y de tamaño adecuado, su siembra puede ser manual o mecánica. Su ubicación en el suelo es en traslape y la distancia de surco debe ser según adecuación de suelo y teniendo en cuenta los dos tipos de cosecha (mecánico, manual) a utilizar cuando el cultivo cumple su tiempo, lo más recomendado en distancia de surco es 1.35 a 1.40 cm, como se presenta “Figura 7” (Larraondo, 1995).

Figura 7*Caña de azúcar en germinación*

Fuente: Tomado de Mendelu (2015)

Por otro lado, la humedad adecuada favorece la formación y distribución de los agregados en el suelo, lo cual ayuda a la proliferación de raíces, aireación y penetración de agua. En este sentido, una humedad no adecuada puede propiciar la formación de suelo duro que afectaría el desarrollo de planta, su calidad, germinación de nuevo cultivo y elevación del costo por el uso de maquinaria en mantenimiento de cultivo.

Para potenciar las condiciones adecuadas para una buena producción, son fundamentales los cuidados del cultivo, los cuales agrupan actividades como la fumigación de nutrientes, el cuidado de plagas, el riego de agua según lo programado desde su siembra, tiempo de cosecha y distancia o disponibilidad de fuentes hídricas. El control de malezas se efectúa conociendo que tipo de maleza está asechando el cultivo y su área, para lo cual se pueden utilizar dos actividades para su eliminación siendo ellas la fumigación con herbicida o erradicación manual con herramientas (palas, picas, machete). Finalmente, se establece que el control puede ser manual o mecánico (J. E. Larrahondo, 1995).

Actividades de Cosecha, Transporte y Entrega a los Ingenios de la Caña de Azúcar

Las áreas que más participan en los ingenios para lograr la entrega de caña de azúcar como materia prima para la producción de azúcar y sub productos son: campo, cosecha, transporte, molinos y fábrica. El área de campo es la encargada de informar en el área de cosecha el cumplimiento del tiempo o la edad (12 a 14 meses) de la caña de azúcar para su cosecha; el área de cosecha conjuntamente con los laboratorios de calidad se encargan de realizar los correspondientes análisis de precosecha, de esta forma determinar la calidad de la caña que será cosechada (Incauca, 2015).

La cosecha es una de las etapas de mayor importancia en la producción de la caña de azúcar; su principal objetivo es recolectar la materia prima disponible en el campo minimizando las pérdidas y buscando una alta eficiencia, con menor tiempo entre cosecha, transporte y con bajos niveles de materias extrañas, especialmente de hojas, despunte y tierra; todo esto con el propósito de obtener azúcar de alta calidad (Telles , 2019).

Al realizar la actividad de la cosecha de la caña de azúcar, el personal encargado está en la obligación de cumplir normas de seguridad personal y cuidado del medio ambiente establecidas por la empresa y normativa que aplique; así mismo, es fundamental garantizar una cosecha segura y de alta calidad sin afectar a los pobladores de la zona, como indica la norma otorgada por el ministerio de medio ambiente junto con la Corporación Regional del Valle del Cauca (CVC) en la resolución número 0100 0564 expedida el 20 septiembre del 2020, donde se especifica el cumplimiento de obligaciones de planeación para la cosecha de caña de azúcar y su respectiva quema. Además, les permite realizar estas actividades de cosecha y transporte en áreas rurales con jurisdicción del departamento del Valle del Cauca, el cual cuenta con aproximadamente 430.000 ha, en donde 223.905 ha se dedica al cultivo de caña de azúcar (

Asocaña, 2020,). La cosecha de caña de azúcar por lo general se efectúa de tipo manual y mecánico en la gran mayoría de ingenios, siendo una actividad recurrente durante todo el año como resultado al tipo de suelo de la zona y clima. (Incauca, 2015)

Cosecha Manual de Caña de Azúcar.

En relación a este apartado, el corte manual es dispendioso debido a la poca disponibilidad de mano de obra, este tipo de corte es realizado con machete (largo y curvo) en caña de azúcar quemada y verde; su rendimiento depende de la cantidad de corteros y variedad de caña de azúcar. El éxito de este tipo de corte depende de la logística, la programación anual y el ajuste mensual. Los ingenios buscando optimizar esta actividad han implementado desde años atrás una designación de actividades por jerarquía como se presenta en “Tabla 3”. Lo cual ha posibilitado efectuar la actividad con coordinación y mayor eficiencia, logrando cierto grado de mejores rendimientos. Este tipo de corte en el Valle del Cauca fue tendencia en décadas de los años 80 y 90, hoy en día los ingenios efectúan el corte manual reducido al máximo debido a su alto costo y bajo rendimiento (Ortiz, 2012).

Tabla 3

Formación de frente de corte de caña de azúcar Colombia

Cargo	Funciones
Auxiliar de corte	Encargado de vigilar varios frentes
Cabo- corte	Encargado asistencia disciplina frente al corte Encargado de formar al cortero efectúa actividad de forma
Monitor	segura, eficiente
Brechero	Delimita área de trabajo (en metros)

Cortero

Persona que corta la caña

Fuente: Tomado de Cenicaña (1993).

El corte de caña de azúcar manual en los ingenios del Valle del Cauca se realiza durante todo el año buscando conservar y garantizar empleo a los corteros, se efectúa en suertes con suelos húmedos, con alto contenido de piedras y condiciones topográficas de difícil acceso para las cosechadoras. Además, cumplen con la norma 0100 0564, que les permite cosechar en zonas cerca de residencia y zonas rurales. El corte manual es asignado al cortero por un monitor y brechero quienes dividen la suerte o hectárea en partes iguales (tajos), los corteros realizan la actividad en línea recta cortando la caña de azúcar completa y desprenden sus hojas y cogollo. La caña es apilada como se indica en “Figura 8”. Además, despejan sus laterales, buscando que el alce mecánico recoja solo la caña de azúcar y se transporte a los ingenios con menor porcentaje (%) de materia extraña (Cenicaña, 1993).

Figura 8

Corte de caña de azúcar manual



Fuente: Revista Semana (2008).

El corte manual en el Valle del Cauca para cumplir con una molienda de 15% debe disponer de una logística de transporte de corteros, alzadoras y tractocamión. Una programación, organización y distancias cortas de los cultivos a las residencias de los corteros de caña de azúcar, con un total de 770 corteros con 6 alzadoras y 30 tractocamiones disponibles, la cosecha manual de caña de azúcar es de 9.000 toneladas por día” (Toro, 2020) .

Las ventajas del corte manual es el corte del tallo es a ras de suelo sin efectuar daños a las sepas que facilita mejor germinación de nuevas plántulas de caña de azúcar y garantiza un contenido de materia extraña baja. Sin embargo, si se utiliza maquinaria para esta finalidad, para el caso una alzadora, el contenido de materia extraña tiende a incrementarse, debido a que una porción destacable de esta materia se recoge adherida a la caña.

Otra desventaja es el bajo rendimiento de cargado de caña de azúcar en los vagones por máquina tipo alzadora, la caña de azúcar cosechada de tipo manual se obtiene en su mayoría entera con medidas de 2 a 3mts, por esta razón el llenado de vagones es lento, esto se debe a que la máquina alzadora carga la caña de azúcar por uñadas (capacidad de agarre y carga depende del diseño de la máquina) (Cenicña, 1993).

Cosecha Mecánica de Caña de Azúcar

La cosecha mecánica de caña de azúcar es efectuada por máquinas cosechadoras dotadas de tecnología y precisión que cortan la caña en trozos de: 20 y 30cm (centímetros), como se ilustra en la Figura 9, y son depositados directamente en vagones de transporte, para realizar esta actividad las máquinas cosechadoras requieren un nivel de suelo adecuado y clima seco (Ortiz, 2012). El corte mecánico de la caña de azúcar puede ser realizado sobre cosecha verde o quemada, el mismo se caracteriza por su mayor rendimiento en comparación del corte manual. Para esta actividad se necesita mayor compromiso por parte de los operarios que deben cosechar

la caña de azúcar con porcentajes (%) "aceptables" de materia extraña y evitando al máximo pérdidas de caña por los sistemas de limpieza de la cosechadora y cote alto (centímetros de caña de azúcar sin cortar); por lo tanto, son requeridas excelentes condiciones de campo y coordinación al momento de efectuar la cosecha mecánica como se expone en la "Figura 9". Para garantizar los mejores resultados.

En tiempos de lluvias, el rendimiento de este tipo de corte se reduce, dado que el porcentaje (%) de materia extraña (paja, hojas, tierra, sepas, piedras), es alto como consecuencia de que este material se adhiere con facilidad a la caña de azúcar.

Figura 9

Cosecha de caña de azúcar mecánica en los ingenios del Valle del Cauca



Fuente: Cenicaña (2015).

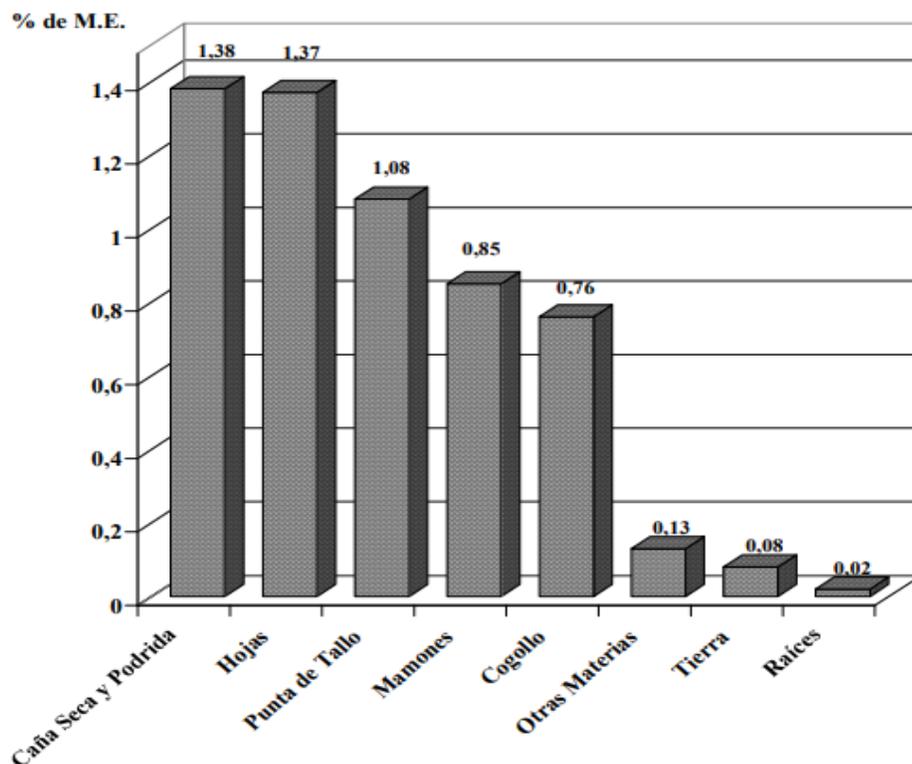
La ventajas del corte de caña de azúcar mecánico es que este tiene un rendimiento de 40 Ton/h (tonelada de caña de azúcar cosecha por hora), además de una mayor capacidad de carga en vagones ya que la caña de azúcar es cortada en trozos de 20 a 30 cm, lo cual mejora el llenado sin dejar espacios en la parte interna de los vagones de transporte (Bolaños, 2006). Otra ventaja es que este sistema mecánico se proyecta a futuro a ser el único a ser utilizado por los ingenios

de Colombia, lo anterior por una creciente falta de mano de obra para efectuar la cosecha manual, además como un medio de reducción de costos de producción y cuidados del medio ambiente, ya que la maquina cosechadora puede trabajar en caña verde (Bolaños, 2006).

Por otro lado, una desventaja de la cosecha mecánica es, como ya se mencionó previamente, son el alto porcentajes (%) de materia extraña que acarrea, lo cual afecta la calidad de caña de azúcar cultivada en campo, sin mencionar que reduce el porcentaje (%) de sacarosa y efectúa mayor uso de presupuesto económico para la producción de azúcar (Bolaño, 2006). De acuerdo con la información expuesta en la “Figura 10”. El porcentaje de materia extraña que puede ser encontrada en un sistema de corte mecánico, evaluado por sistema de muestreo aleatorio en las entregas comerciales, fue contabilizado así: caña de azúcar seca 1.38%, hojas 1.37%, puntas 1.1%, mamones (yaguas) 0.8%, cogollos 0.8%, y otras materias 0.1% (hierba, palos, hojas de palos, mineral tierra y raíces) (Oviedo, 2003).

Figura 10

Porcentaje de materia extraña en caña de azúcar cosechada por corte mecánico



Fuente: Oviedo (2003).

Otra desventaja de la cosecha mecánica es que los cultivos de caña de azúcar deben ser diseñados para trayecto de maquinaria, con surcos entre 300 y 600 metros de largo, nivelación de los mismos, vías y callejones internas en el cultivo para el ingreso y salida de maquinaria, además el aumento de área de patios o corredores para realizar el cargue de caña de azúcar (autovolteos) y personal calificado para la operación y mantenimiento de las máquinas (Bolaños, 2006). En este orden de ideas, otra preocupación es el aumento de costos como resultado de la recuperación de cultivo (resembrado de caña de azúcar) por los daños ocasionados por las llantas de la maquinaria que pisan las cepas y endurecimiento de suelos, sin mencionar los equipos de acoplamiento (vagones y tractores); lo anterior impide que la cepa (raíz) de la caña de azúcar germine adecuadamente y en consecuencia se favorece al alojamiento de enfermedades por microorganismos como hongos. (Bolaños, 2006).

La tendencia a la unificación en el uso de la cosecha mecánica de caña de azúcar en los ingenios del Valle del Cauca es por alces y zonas de corte (municipios). Los cultivos que se encuentran a lo largo del río Cauca son alrededor de 243.232 hectáreas sembradas, donde el 15% es cosechada por corte manual y restante 85% es de tipo mecánico; asegurando de esta forma una molienda de 24.119.958 toneladas de caña de azúcar. Desde el año 2013, se evidencio que el corte mecánico inicio con una mayor capacidad de cosecha de caña de azúcar con un total de 76.512 y en los años siguientes ha aumentado su capacidad; para el caso, en el año 2017 se reporta un incremento que alcanza las 123.747 hectáreas de caña de azúcar (Asocaña, 2019).

Transporte de Caña de Azúcar a los Ingenios.

Las operaciones de transporte de caña de azúcar a los ingenios son realizadas mediante transporte vehicular, por trenes remolcados por tractor o tractocamiión con capacidad de 80 a 100 toneladas y vagones de 20 a 40 toneladas como se muestra en “Figura 11”. Estos son movilizados desde los cultivos hasta el área de recepción de los ingenios, siendo esta etapa una de las más costosas del proceso productivo, como resultado del alto consumo de combustibles no renovables (hidrocarburos) y reparaciones. También, se considera la compra de maquinaria nueva que cumpla con lo exigido para transportar caña de azúcar durante 24 horas según la programación de producción de fábrica mensual y anual. Los vagones deben ser construidos con facilidad de cargue y descargue, de forma tal que no causen daño a los cultivos y suelo, y la cantidad de unidades de máquinas y personal es designada según la cantidad de hectáreas de caña de azúcar a cosechar y a la distancia que se encuentre los cultivos a los ingenios (Ixpata, 2014).

Figura 11

Transporte de caña de azúcar en los ingenios de Colombia



Fuente: Ingenio Riopaila (2016).

Aanálisis de Calidad de la Caña de Azúcar en Precosecha y Cosecha de los Ingenios

Un punto crítico y fundamental para el control de la calidad de la caña de azúcar en la etapa de recepción, es decir, el control de calidad que se efectúa sobre la caña de azúcar al llegar a los ingenios (López, 2014). La calidad de la caña de azúcar se establece en la operación de la molienda, guardando directa relación con la cantidad de azúcar recuperable obtenida por tonelada de caña molida, lo cual depende de características un serie de características como: alto porcentaje (%) o contenido de sacarosa, el bajo contenido de materiales extraños y los bajos niveles de fibra (Ixtapa, 2014). Los métodos de muestreo utilizados por los ingenios les permiten identificar la calidad de caña de azúcar que ingresa al proceso, éstos cuentan con un departamento designado y comúnmente conocido como el área de calidad y conformidad, dotado de laboratorios con instrumentación de precisión (sistema de muestreo, refractómetros,

polarímetros, basculas). Estos son los encargados de efectuar los análisis de calidad de caña de azúcar en precosecha (alistamiento para cosechar) y en cosecha (caña en recepción), cumpliendo normas nacionales o internacionales de evaluación de calidad en caña de azúcar y de esta manera dar información fundamental para efectuar su compra y venta por los proveedores a los ingenios. El análisis de la calidad de caña de azúcar permite identificar su porcentaje (%) de pureza y pérdidas de sacarosa (inversión de sacarosa). Esta información es utilizada para efectuar decisiones de producción, efectuar pago a los proveedores y mejorar el mantenimiento de cultivos en el área cosechada o su respectiva renovación. Los encargados de efectuar este análisis de calidad en caña de azúcar en precosecha y en recepción (caña cosechada) normalmente son tecnólogos, analistas, auxiliares o evaluadores de materia extraña, operador de sonda hidráulica y supervisor de área (Bustamante, 2018).

Los ingenios azucareros adoptan la estructura y organización más conveniente en sus laboratorios, de forma que se cumplan las exigencias de las leyes del país, cumpliendo normas de buenas prácticas de laboratorio de alimentos (resolución 3619 del 2013) y seguridad en el trabajo y cuidado del medio ambiente, entregando un resultado confiable para el área de fabrica (producción de azúcar), para que realice la producción de los tipos de azúcar requerida (refinada, morena y crudo o miel) (Pastora, 2019). Con relación a esto, el laboratorio de control de calidad de caña de azúcar presenta una serie de funciones claves relacionados a resultados económicos de la fabricación de azúcar. Por tanto, los parámetros analíticos en este tipo de laboratorios son de suma importancia a la hora de evaluar la pureza de la caña de azúcar tanto en precosecha como en cosecha, siendo resultados fundamentados en el Pol, °Brix, azúcares reductores y el porcentaje de humedad del bagazo (Bustamante 2018).

Análisis de Calidad en la Caña de Azúcar en Precosecha

Los ingenios junto con instituciones como Asocaña y Técnicaña efectúan análisis de calidad a la caña de azúcar que se destina para cosechar (caña de azúcar sin materia extraña), estos análisis se efectúan por medio de un muestreo aleatorio en diversos puntos del cultivo. La muestra se obtiene por personal capacitado cumpliendo normas de seguridad y cumplimiento de guía de muestreo en suertes, la caña de azúcar se corta y se limpia (libre de materia extraña) formando un paquete con informaciones claras y específicas de nombre de hacienda, variedad y fecha.

Esta muestra se entrega al personal del laboratorio, los cuales anotan los datos de la muestra en guías de evaluación de calidad en caña de precosecha. Esta se desfibra simulando la operación del molino de caña de azúcar, la muestra desfibrada se entrega al analista, el cual efectúa un pesado de muestra de mil gramos (1000 gr), se prensa en prensa hidráulica a 3000 PSI para la separación de jugo y fibra (bagazo); seguido, el jugo se filtra con ayuda de filtrantes o centrifuga eliminando impurezas (bagazo) y se efectúa la lectura de °Brix, Pol y azúcares reductores (glucosa). Estas lecturas son depositadas en un software (biosal agrícola) y estos programas efectúa cálculos obteniendo como resultado final el porcentaje (%) de pureza de la caña. Finalizado este proceso, el laboratorio de calidad comparte estos datos con las áreas de cosecha, campo y fabrica. Esta permite que las áreas implicadas tomen decisiones de cosecha o acciones de mejora en sus métodos o técnicas para obtener caña de alta calidad en sus nuevos cultivos, en la “Tabla 4”. Se pueden identificar los análisis realizados en caña de precosecha, en diversas suertes a modo de ejemplo. En el análisis de precosecha los valores de °Brix y Pol, son altos y su inversión es baja con un porcentaje mínimo de 0.1% y su pureza alcanza 94%, es decir

es posible definirse como una caña de alta calidad que puede ser cosecha como se muestra en “Figura 12” (Incauca, 2015).

Tabla 4

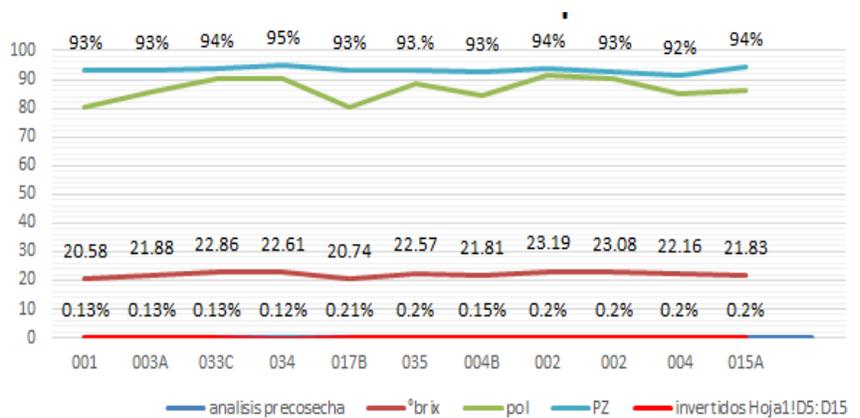
Análisis de caña de azúcar precosecha hacienda Magnolia

Nombre ha	Suerte	Edad mes	Invertido (%)	Brix	Pol	reductores %	Pz (%)
Nancy	001	12.94	0.14	20.58	80.06	32	93.4
Egipto	003A	11.73	0,12	21.88	85.52	37.2	93.3
Egipto	033C	12.12	0.12	22.86	90.28	36.2	94.8
Egipto	017B	11.93	0.12	22.61	90.07	39	94.8
Egipto	035	11.99	0.21	20,74	80.55	22	93.2
Egipto	004B	12.12	0.15	22.57	88.5	29.9	93.3
Soledad	002	12.39	0.15	21.81	84.53	30.9	92.6
Letonia	002	12.85	0.25	23.19	91.59	18.16	93.8
Magnolia	002	13.04	0.18	23.08	90.26	25	92.9
Magnolia	004	13.04	0.16	22.16	85.16	28.7	91.6
Rancho. P	05A	11.89	0.20	21.83	86.08	22.7	94.2

Nota: PZ (Pureza), Fuente: Incauca (2020)

Figura 12

Análisis caña de azúcar en precosecha



Fuente: Corte (2020)

Muestreo de Caña de Azúcar Cosechada en Recepción

Una vez el tractocamión llega cargado de caña de azúcar, ingresa al área de recepción para toma la de muestra y para efectuar el análisis de calidad (sacarosa). La toma de muestra es aleatoria realizada por equipos como software (biosal industrial) y sonda hidráulica, el programa permite ingreso de datos como nombre de la hacienda, números de vagón y este designa cual vagón se muestrea. La sonda mecánica hidráulica se compone de una estructura fabricada con diferentes perfiles y láminas de acero como se muestra en “Figura 13”. Está sonda va montada sobre un mecanismo hidráulico, que ordena un movimiento de translación en sentido vertical y extrae la muestra de la caña de azúcar del vagón. Su movimiento de rotación le permite cortar la fibra de la caña de azúcar y toma la muestra en ángulos de 40 y 45°, buscando que la muestra sea representativa entre 5, 7, 8, 10 kg. La muestra obtenida se deposita en recipientes marcados con el respectivo nombre de la hacienda y suerte. Posteriormente se traslada para realizar análisis de materia extraña y calidad. Una vez la sonda hidráulica termina el muestro, el operario le da ingreso al tren cañero al área de báscula para que continúe el proceso de producción de azúcar (Toro, 2020).

Figura 13

Toma de muestra por sonda hidráulica en caña de azúcar



Fuente: Incauca (2021).

Análisis de Materia Extraña en la Caña de Azúcar en Recepción.

La caña de azúcar se reconoce al término de su procesamiento industrial por la cantidad de extracción de sacarosa por tonelada de caña molida y rendimiento en producción de azúcar en fábrica (lugar donde se procesa la caña de azúcar). Al ingresar la caña de azúcar al área de recepción se procede a efectuar el análisis de calidad, éste define el porcentaje (%) de sacarosa, si el porcentaje promedio es 90 a 95% de sacarosa (pureza), esta caña de azúcar se caracteriza por un alto contenido de sacarosa, un bajo contenido de materias extrañas, sustancias reductoras (no-sacarosa) y porcentaje de humedad en fibra (Wilfredo, 2010).

La materia extraña en la caña de azúcar es resultante de la cosecha manual y mecánica que se adhiere con facilidad a la caña de azúcar. La materia extraña se compone de residuos vegetales de la misma caña de azúcar y minerales del suelo que no contienen sacarosa como cogollos, yaguas, hojas de caña de azúcar, caña ceca, chulquin (cañas nuevas en desarrollo) y mineral: tierra, piedras, sepas (caña con raíz), raíz.

Para realizar el análisis de materia extraña, la muestra de caña de azúcar se deposita en bandejas, mesón o sitio designado por el laboratorio para efectuar su respectiva separación de materia extraña y caña de azúcar, esta actividad es manual, realizada por el analista de materia extraña o personal capacitado, la materia extraña vegetal y mineral se deposita en recipiente marcados, como se muestra en “Figura 14”. Son pesados en gramos(gr) y la caña de azúcar limpia se pesa en kilogramos (kg), los resultados de los pesos se ingresan a un software (biosal industrial) el cual realiza los cálculos y entrega el resultado del porcentaje de materia extraña. La materia extraña vegetal, mineral y caña limpia se homogeniza para desfibrar y se entrega la muestra al analista para que efectué el análisis de calidad (Incauca, 2015).

Figura 14

Evaluación de Materia extraña en caña de azúcar en el área de recepción



Fuente: Incauca (2020)

Los ingenios consideran que, si una muestra analizada contiene un porcentaje del 5% en material vegetal y el 5% de material mineral, el contenido de materia extraña es muy alto, esto quiere decir que por cada tonelada de caña de azúcar que ingresa en los vagones el 10% es materia extraña y el 90% es caña de azúcar limpia.

En la “Tabla 5”. Se puede observar el análisis de materia extraña efectuado en caña de azúcar de la hacienda Magnolia del ingenio Incauca, el peso de las muestras obtenidas se encuentran cumpliendo un peso correspondiente de 6 a 7 kg de caña, por cada muestra extraída de los trenes que ingresaron de esta suerte (4), la materia extraña vegetal se encuentra con un peso de 600 a 700 gramos y mineral 50 a 80 gramos, como resultado peso de materia extraña total 700 a 800 por muestra analizada.

Es decir que la materia extraña vegetal es alta con 6% y mineral es baja con 1%, y su porcentaje total de materia extraña es alto con un 7 a 8% que afecta la calidad de la caña (Incauca, 2015).

Tabla 5

Análisis del porcentaje (%) de materia extraña en caña de azúcar de la hacienda Magnolia ingenio incauca.

Hacienda: 010816 – Magnolia			Suerte: 004				
Guía	Fecha, Corte	T. Corté	T. Corté	Peso (kg) Muestra	% Mte. Veg.	% Mte. Min	% Mte Total (
010811	25/9/20	Mecánic	Verde	6.29	7.82	0.58	8.40
		o					
010812	25/9/20	Mecánic	Verde	7.18	6.22	0.30	6.52
		o					
010813	25/9/20	Mecánic	Verde	5.97	6.29	0.68	6.97
		o					
010814	25/9/20	Mecánic	Verde	7.64	6.55	0.44	6.99
		o					
010815	25/9/20	Mecánic	Verde	6.97	6.23	0.31	6.54
		o					
Total, por suerte				34.05	6.17	0.44	6.62

Fuente: (Incauca, 2020).

Causas de la Materia Extraña en Caña de Azúcar.

Los principales factores que afectan la calidad de caña de azúcar es la materia extraña resultante de la cosecha mecánica o manual, esta agrega minerales como tierra que contiene componentes químicos como hierro, cobre y el vegetal agrega decoloración en el jugo que afecta la calidad en la producción de la azúcar (Telles , 2019).

La materia extraña en caña de azúcar cosechada con corte manual o mecánico aumenta su porcentaje (%) en tiempo de lluvias, los cultivos con poco control de herbicidas, cuidados y

edades de 15 a 18 meses que se caracterizan por un alto contenido de caña seca y chulquin (nuevas cañas de azúcar renacidas) el porcentaje (%) de materia extraña es alto. Un indicador de alto contenido de materia extraña de caña de azúcar que ingresa al proceso, es del deterioro o inversión de sacarosa, debido al incremento de infecciones de origen bacteriano (microorganismos degradadores de sacarosa) y pérdidas de jugos en bagazo en la materia extraña (J. E. Larrahondo, 1995).

Las materias extrañas disminuyen la sacarosa en caña de azúcar y mieles finales, así, a partir la caña de azúcar molida con alto porcentaje de materia extraña se obtiene jugo con 20% a 30% menos de sólidos solubles y el aumentó de azúcares reductores. A su vez, ocurre un incremento de capacidad de la molienda en 13% a 15%, la caña de azúcar con permanencia (caña de azúcar cosechada no transportada a tiempo), facilitando la descomposición de sacarosa (fermentación), sube el consumo de energía por tonelada de caña molida del 15% a 18%, se incrementan los costos por compras de cuchillas de la desfibradora, reparación de molinos del 20% a 25% y compra de productos químicos para su clarificación (Ixpata, 2014). En términos generales, la materia extraña causa atascamiento en las picadoras utilizadas para preparar la caña de azúcar antes de su entrada a molinos, agregado de color en el grano de azúcar, pérdidas importantes en los tiempos de producción, por incluir un porcentaje (%) material que no produce azúcar, dificultad en la clarificación del jugo, aumento de costos en: reparación de grúas que descargan la caña de azúcar en la mesa transportadora, compra de llantas para vagones, tractores, tractocamiones y cuchillas de maquina cosechadora (Ixpata, 2014).

Permanencia de Caña de azúcar cosechada en Campo

La permanencia de caña de azúcar inicia desde el momento de su corte y se contabiliza por horas desde que la caña de azúcar fue cosechada hasta su ingreso a el área de recepción de

los ingenios, esta se conoce como permanencia de caña de azúcar en campo. Cuando la caña de azúcar permanece almacenada en los patios (sitio designado por el ingenio para almacenar caña de azúcar) se conoce como permanencia en patios (Posada, 2014).

La permanencia de la caña de azúcar en campo se efectúa porque no es transportada a tiempo, por fallas mecánicas en máquinas (cosechadoras, vagones, tractocamión) y cultivos con largas distancias en kilómetros a los ingenios. En la “Tabla 6”. Se muestra la medición de los tiempos que efectúan los ingenios del Valle del Cauca desde que la caña de azúcar fue cargada, ingreso al ingenio y salida del tren cañeros a campo, esto el fin de buscar que los operarios cumplan con la actividad y obligaciones para que se reduzca la permanencia que afecta la calidad de caña de azúcar cosechada en campo (Posada, 2014).

Tabla 6

Tiempo controlable en operaciones de ingreso de la caña de azúcar.

	Tiempo en báscula (min)	T. total, muestreo (min)	T. total, espera de descargue (min)
Caña Picada	4.77	2.59	17.51
Caña. Larga	6.17	2.57	36.65
General. (Caña. P y L)	5.19	2.59	22.62

Fuente: Posada (2014)

Por lo general, la caña de azúcar con permanencia sufre un proceso de deterioro por cambios climáticos, procesos enzimáticos, químicos y microbianos. La enzima invertasa que se encuentra naturalmente en la caña de azúcar, convierte la sacarosa en azúcares invertidos (glucosa y fructuosa) disminuyendo así su porcentaje de pureza (Ixpata, 2014). La caña de azúcar con permanencia ha sufrido un deterioro químico que incluye la inversión causada tanto por las

condiciones ácidas, las cuales aumentan a medida que se deteriora la caña de azúcar, por un efecto secundario de algún tipo de crecimiento microbiano, la carga microbiana cambia aún más con el tiempo para formar ácidos y compuestos coloreados. El deterioro microbiano es causado principalmente por una bacteria del género *Leuconostoc*, los cuales son microorganismos que naturalmente consumen sacarosa, produciendo a su paso largas cadenas de glucosa y fermentando la fructosa en ácidos orgánicos. Estos microorganismos también son responsables por el proceso de formación de dextrano, siendo que en cantidades relativamente pequeñas presentes en el jugo de caña de azúcar (del orden de 103 ppm) aumentan la viscosidad, retardan la cristalización y la filtración y además disminuyen los rendimientos de sacarosa (Teresa, 2016).

Después de que la caña de azúcar es cosechada se genera un intervalo entre el transporte y molienda, en este período los niveles de dextrano alcanzan sus valores más altos, lo cual genera deterioro de la caña de azúcar y disminución del contenido de sacarosa, no solo generan impacto en caña cosechada, sino que aumentan la viscosidad del jugo dificultando, los procesos de evaporización y cristalización (Carlos, 2017).

Análisis de Calidad en Caña de Azúcar Cosechada en Recepción

Los ingenios de Colombia cuentan con laboratorios de calidad en análisis de caña de azúcar, son certificados en ISO (9001), estos cuenta con personal capacitado, infraestructuras modernas y equipos para evaluar la calidad de caña de azúcar (pureza). Los instrumentos que se utilizan en análisis de calidad de caña cosechada son los mismos de precosecha como polarímetro, refractómetro y método de análisis de reductores de Lane-Eynon (inversión glucosa) y porcentaje (%) de humedad en bagazo. Esto permite entregar un resultado confiable en el contenido del porcentaje de pureza (sacarosa) a fabrica (lugar donde procesa la caña de azúcar) y proveedores. El análisis permite el estudio del por qué la sacarosa (pureza) disminuye en la

etapas de cosecha, transporte, molienda (Cenicaña, 2016). Una vez fue realizando el análisis de materia extraña presente en la caña, esta se homogeniza y se desfibra en desfibradoras de martillo simulando la desfibradora de los molinos; paso seguido, el analista de calidad analiza y verifica el porcentaje de sacarosa, este utiliza los mismos métodos y análisis de la caña de azúcar en precosecha” (Incauca, 2015).

Lectura de °Brix y Pol en Jugo de Caña de Azúcar

El analista de calidad una vez terminado la separación de jugo y fibra, toma una muestra del jugo de la caña de azúcar, el cual es centrifugado para separar los sólidos (bagazo, tierra), lo cual permite realizar una lectura correcta en refractómetro para determinar los °brix (Pastora, 2019). Por su lado, para realizar la lectura de Pol del jugo de la caña de azúcar, se emplean ayudas filtrantes como la cal deshidratada (hidróxido de calcio) y el sulfato de aluminio, lo cual permite que se realice una filtración adecuada para lograr una lectura confiable en polarímetro de los sólidos solubles (sacarosa) presentes (Pastora, 2019).

Análisis de Azúcares Reductores en Caña de Azúcar Método de Lane-Eynon

La realización de este análisis permite identificar azúcares reductores en el jugo de la caña de azúcar en precosecha (caña lista para cortar) y cosecha (caña en recepción). Los ingenios junto con Asocaña y Técnicaña utilizan el método volumétrico de Lane-Eynon que se basa en la determinación del volumen de una disolución de una muestra que requiere para reducir completamente un volumen conocido de un reactivo alcalino de cobre, también requieren una etapa previa de preparación de muestra donde los azúcares no reductores como los disacáridos y polisacáridos sufren hidrólisis, la cual se caracteriza por la ruptura de ligaciones glucosídicas, disociándose en monosacáridos, representados por glucosa y fructosa, los cuales están constituidos por un grupo cetona libre. En este caso, en medio alcalino y alta temperatura esto se

oxida en contacto de la solución de Fehling A y B (A, sulfato cúprico + B, tartrato de sodio doble y potasio) cuyos iones cúpricos se reducen a óxido cuproso formando sal de sodio y representadas por obtener un precipitado de color rojo ladrillo en titulación (Incauca, 2015).

Para realizar la lectura de azúcares reductores en caña de azúcar se utiliza el método Lane-Eynon mencionado anteriormente. La ejecución de esta lectura (análisis) en caña de azúcar precosecha y cosecha se emplea Fehling A y B (sulfato cúprico + tartrato de sodio doble y potasio), una solución etanólica de azul de metileno al 1.0%, el análisis consiste en el uso de 5ml de solución de Fehling A, 5ml, solución, Fehling B, 50ml de jugo de caña de azúcar en bureta, agregar 2 ml de este jugo de caña de azúcar junto con las fehling A y B en un elermeyer, homogenización del jugo de caña de azúcar con las Fehling A y B, la solución debe llevarse a plancha que debe de estar a temperatura 350°C con rotación de 150 RPM se deja por 3 minutos, al terminar este tiempo se deben agregar 3 a 4 gotas de azul de metileno y titular con jugo de caña de azúcar, la solución del Erlenmeyer hasta que tome un color ladrillo, como se expone en “Figura 15”. Paso seguido, se deben anotar los mililitros gastados del jugo de caña en titulación, el resultado del jugo gastado son los reductores (%invertidos), con ayuda de unas tablas de lectura rápida de reductores en caña de azúcar de Lane-Eynon que se encuentran estandarizadas a nivel mundial (Figura 16). A mayor jugo gastado en titulación, el resultado de porcentaje de inversión es menor (Incauca, 2020).

Figura 15

Análisis de azúcares reductores en jugo de caña de azúcar por el método de Lane-Eynon



Fuente: (Corte & Trujillo, 2020).

Figura 16

Tabla de lectura de reductores en jugo de caña de azúcar por método rápido Lane-Eynon

INGENIO DEL CAUCA LABORATORIO DE CALIDAD DE CONFORMIDAD										
SUSTANCIAS REDUCTORAS EN JUGOS POR EL METODO RÁPIDO DE LANE EYNON										
ml. Títul	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
-mL	% SUSTANCIAS REDUCTORAS									
2	2.37	2.24	2.12	2.03	1.95	1.87	1.80	1.73	1.67	1.61
3	1.56	1.52	1.47	1.43	1.39	1.35	1.31	1.27	1.24	1.21
4	1.17	1.14	1.11	1.08	1.05	1.03	1.01	0.99	0.97	0.95
5	0.93	0.91	0.90	0.88	0.86	0.85	0.84	0.82	0.80	0.79
6	0.78	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68
7	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.63	0.62	0.61	0.60	0.60
8	0.59	0.58	0.57	0.56	0.56	0.55	0.54	0.54	0.53	0.53
9	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48	0.47
10	0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43
11	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.40	0.39
12	0.39	0.39	0.38	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37	0.36
13	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34
14	0.33	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31
15	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29
16	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
17	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26
18	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
19	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
20	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22
21	0.224	0.223	0.222	0.221	0.220	0.219	0.218	0.216	0.215	0.214
22	0.214	0.213	0.212	0.211	0.210	0.209	0.208	0.207	0.206	0.205
23	0.204	0.204	0.203	0.202	0.201	0.200	0.199	0.198	0.197	0.196
24	0.196	0.195	0.194	0.193	0.192	0.192	0.191	0.190	0.189	0.188
25	0.188	0.187	0.186	0.185	0.185	0.184	0.183	0.183	0.182	0.181
26	0.189	0.180	0.179	0.178	0.178	0.177	0.176	0.176	0.175	0.175
27	0.174	0.173	0.172	0.172	0.171	0.171	0.170	0.170	0.169	0.168
28	0.167	0.167	0.166	0.166	0.165	0.164	0.164	0.163	0.163	0.162
29	0.162	0.161	0.161	0.160	0.159	0.159	0.158	0.158	0.157	0.157
30	0.156	0.156	0.155	0.155	0.154	0.154	0.153	0.153	0.152	0.152
31	0.151	0.151	0.150	0.150	0.149	0.149	0.148	0.148	0.147	0.147

Fuente: (Corte & Trujillo, 2020)

Porcentaje de Humedad de Bagazo en la Caña de Azúcar en Precosecha y Cosecha

El porcentaje de la humedad del bagazo en la caña de azúcar, es una porción de caña desfibrada, que resulta de la extracción el jugo mediante una prensa hidráulica que separa el jugo

y la fibra, siendo que la dimensión de fibra es variable. En el peso del bagazo se identifica la cantidad de fibra en la caña de azúcar, sus resultados pueden ser alto o bajo, debido al contenido de materia extraña. El análisis que se efectúa para conocer su porcentaje de humedad se basa en el tarado de bandeja o canastilla seca, pesar sobre canastilla 100 gramos de caña de azúcar desfibrada anotar peso de tara de la canasta y caña, colocar la canasta en el horno a 150°C por 120 minutos, pesar el bagazo que se encontraba en el horno y se anota el resultado. Finalmente, se procede a ingresar al sistema los datos obtenidos en el software (Biosalc industrial, agropecuario) y este efectúa los cálculos del porcentaje de humedad de la caña de azúcar que ingresa a al ingenio. Esto debe hacerse lo más rápido posible para evitar errores debido a la absorción de humedad de la muestra caliente, también hay que tener cuidado de evitar que se pierdan (caída de bagazo de la bandeja) después de pesado en húmedo o secó (Cardona, 2012).

Conocer el porcentaje de humedad es fundamental, ya que refleja una de las pérdidas más importante de sacarosa que pueden estar en el bagazo. El bagazo con alto porcentaje de humedad influye en la calidad como combustible para calderas, ya que este aumenta el residuo de cenizas y su poder calórico, además presenta resistencia a la presión ejercida por los molinos sobre el colchón de bagazo(Ixpata, 2014).

Equipos Utilizados para Análisis de Calidad de Caña de Azúcar en Precosecha y Cosecha

Dentro de este grupo, se destaca la desfibradora de caña de azúcar, la cual está conformada por martillos que giran (RPM), simulando la desfibradora de los molinos, siendo que trocean el tallo de la caña de azúcar, materia extraña y mineral homogenizando en material particulado como se ilustra “Figura 17”. Este proceso se le conoce como preparación de caña de azúcar desfibrada, para separar el jugo del bagazo con mayor facilidad. Es operada por personal

que tenga el conocimiento de manejo y la importancia de la muestra de caña de azúcar (Pastora, 2019).

Figura 17

Desfibradora para análisis de caña de azúcar en recepción



Fuente: Machado (2019).

Por otro lado, se destaca la prensa hidráulica, siendo un método de prensado de la caña de azúcar, que consiste en el prensado de 1000gr de la caña de azúcar desfibrada como se muestra en la “Figura 18”. El tiempo de prensado es de tres (3) minutos con una presión de 3000 PSI

(libras de presión). Su función es extraer el jugo de la fibra para evaluar su calidad (pureza) (Cardona, 2012).

Figura 18

Prensa hidráulica separación de jugo de caña de azúcar de la fibra (bagazo)



Fuente: Cardona (2012).

Los polarímetros, definidos como equipos que miden el contenido de Pol de una sustancia, mediante el principio de rotación de un plano de luz polarizada que atraviesa una solución con azúcares ópticamente activa. Cuando un haz de luz ordinaria se hace vibrar a través de un solo plano por varios dispositivos ópticos, se dice que la luz está polarizada en un sentido, denominado plano de polarización. Muchas sustancias, tales como las soluciones de sacarosa y otras azúcares, tienen una propiedad de hacer girar el plano de polarización. El ángulo al cual es rotado el plano se conoce como ángulo de polarización y puede ser determinado por medio de instrumentos ópticos.

Los polarímetros empleados en las industrias azucareras son calibrados específicamente para tales fines. Como se muestra en la “Figura 19”. Se presenta un polarímetro de uso común en la industria de la caña de azúcar. Además, en la figura adjunta pueden verse tubos de observación donde se deposita y circula en segundos la muestra que se va a analizar. Los tubos de polariscopio se diseñan para facilitar el llenado, evitar la rotura y reducir la reflexión en las

paredes. Puesto que la rotación total es proporcional a la longitud de la trayectoria o de ondas, es necesario que el tubo tenga una gran precisión en su longitud entre las placas de los extremos; generalmente, la longitud es de 2 decímetros (20 cm), aunque existen de otras. El polarímetro permite ingresar por el tubo el jugo de caña de azúcar filtrado, este mide en 1 a 2 minutos el contenido de sacarosa presente, en diferentes longitudes de lectura de Pol como: 857,00 y 882.60 (Cardona, 2012). La lectura o escala establecida en el polarímetro está calibrada a partir de unidades de grados de azúcar o también conocidas como “S”. Esta lectura establece una relación entre gramos de sacarosa pura en 100 ml de solución. De esta forma, una solución conformada 100% por agua destilada tendrá una lectura de 0 grados de azúcar, indicando que el equipo está calibrado (Cardona, 2012).

Figura 19

Polarímetro (Pol) digital y los tubos de observación



Fuente: Cardona (2012).

El refractómetro, permite identificar los grados Brix ($^{\circ}$ brix), que representan el porcentaje en peso de la sacarosa en una solución de azúcar pura, se acostumbra a considerar los $^{\circ}$ brix como el porcentaje de materia sólida, o sólidos solubles totales disueltos en un líquido, aunque esto es solamente cierto en las soluciones de azúcar puro. Los grados brix, se puede determinar mediante un refractómetro, como se muestra en “Figura 20”. La medición o lectura de los $^{\circ}$ brix, se puede

hacer en el jugo de la caña de azúcar filtrado o centrifugado, en diferentes edades del cultivo buscando conocer su contenido de sacarosa (Cenicaña, 2015).

Figura 20

Refractómetro para lectura de °Brix en jugo de caña de azúcar



Fuente: Corte (2020).

El horno extractor de humedad, como se expone en “Figura 21”. Cuya función es extraer la humedad del bagazo después de terminar el prensado. El Porcentaje humedad se conoce después de someter 100 gr bagazo de caña de azúcar a temperatura de 105°C por 120min, siendo que el peso resultante es bagazo y el peso perdido se calcula en porcentaje de bagazo (Incauca, 2015).

Figura 21

Porcentaje de la humedad en el bagazo de la caña de azúcar en precosecha y cosecha



Fuente: Samsun (2021)

Importancia de la Sacarosa (Pureza) de la Caña de Azúcar

La pureza de la caña de azúcar se establece como un porcentaje determinado en el laboratorio de calidad, que busca definir el contenido de sacarosa del jugo en caña de azúcar. La información del porcentaje de sacarosa permite que las fábricas de los ingenios cristalicen la mayor parte de la sacarosa recibida en caña cosechada (Bustamante, 2018). La pureza de la caña de azúcar para los ingenios y proveedores (colonos) representa la calidad de materia prima que están produciendo en sus campos, del porcentaje de sacarosa (pureza) se determina el pago de la caña de azúcar y el rendimiento de producción de azúcar (Bustamante, 2018)

Los ingenios contienen información de los dos análisis en precosecha y cosecha (recepción) de cortes anteriores, esto les permite comparar el porcentaje (%) de la pureza de la caña de azúcar; de esta forma, si el contenido de sacarosa en cultivos antiguos mantiene su promedio se otorgan recursos económicos para continuar con el mantenimiento y cuidados como el riego de agua, abono orgánico y químico, sin embargo, si ocurre lo contrario y el porcentaje de pureza baja, el cultivo de la caña de azúcar se elimina del campo y se vuelve a sembrar y se toman medidas correctivas para los nuevos cultivos de caña de azúcar (Carvajal, 2018).

Para mayor apreciamiento de la importancia del porcentaje pureza (sacaros) en caña de azúcar, se puede observar la Tabla 7, donde se establecen análisis de calidad en campo (hacienda Magnolia). El análisis de calidad en la caña de azúcar en precosecha, demuestra un porcentaje de inversión de 0.188% y 1.69% evaluado por método rápido de Lane-Einon, y una pureza de caña de azúcar en 91% a 92%, este análisis confirma un porcentaje (%) de pureza es alto, con este resultado los analistas confirman que la caña de azúcar puede ser cosechada.

La caña de azúcar de la hacienda Magnolia en suertes 2 y 4 fue cosechada y los resultados de calidad se observan en la Tabla 8; con un porcentaje de invertidos por método rápido de Lane-Einon de resultado de azúcares reductores es (1.27, 0.97%) y su pureza fue (88, 84%) a comparación con análisis de precosecha disminuyo 4 a 8% . Este comportamiento se daría como resultado de factor como la materia extraña, que se reportó en “Tabla 5” con una lectura de (7, 8%), por ciento, los ingenios afirman que una caña de azúcar con un porcentaje de 10%, su materia extraña es alta. Es decir la caña analizada el porcentaje de materia extraña es alta y su porcentaje (%) de pureza (Pz) disminuye con facilidad, ya que los microorganismos efectúan mayor reproducción de colonia en caña de azúcar con alto porcentaje de materia extraña y disminuye su sacarosa (Incauca, 2015).

En la “tabla 7”. Se aprecia claramente el análisis de calidad y su respectiva lectura de °Brix, Pol, azúcares reductores (glucosa, fructosa) y porcentaje de pureza en las suertes 2 y 4, en el análisis de calidad realizando en precosecha en la hacienda Magnolia. su resultado de decontenido de pureza (sacarosa) es de 92 a 92%, es decir es una caña de azúcar de alta calidad, esta caña de azúcar no contiene materia extraña (Trujillo, 2020).

Tabla 7

Porcentaje (%) de pureza en la caña de azúcar en precosecha de la hacienda Magnolia

Hacienda: magnolia			Fecha: 24/9/21				
Suerte	Edad	% Invertidos	°Brix	Pol	glucosa. ml	% Sacarosa	% Pz
002	13	0,187	23.08	90.26	25,0	21.451	92.94
004	13	0.163	22.16	85.16	28.7	20.317	91.68

Fuente: Corte (2020)

Los ingenios conjuntamente con sus proveedores realizan grandes inversiones para

mejorar sus cultivos y obtener caña de azúcar de calidad o porcentaje de pureza de 95% en precosecha. Una vez la caña de azúcar es cosechada la materia extraña vegetal y mineral se adhiere con facilidad y es entregada a fabrica de los ingenios (lugar donde producen azúcar). El análisis de calidad efectuado en caña de azúcar de la hacienda Magnolia suerte 2 y su contenido de materia extraña, disminuye el porcentaje de Pureza (sacarosa) como se muestra en la “Tabla 8” (Wilfredo, 2010). En la “Figura 22”. Se aprecia el comportamiento y resultado de lecturas y contenido de pureza (Pz) en análisis de caña de precosecha y cosecha.

Tabla 8

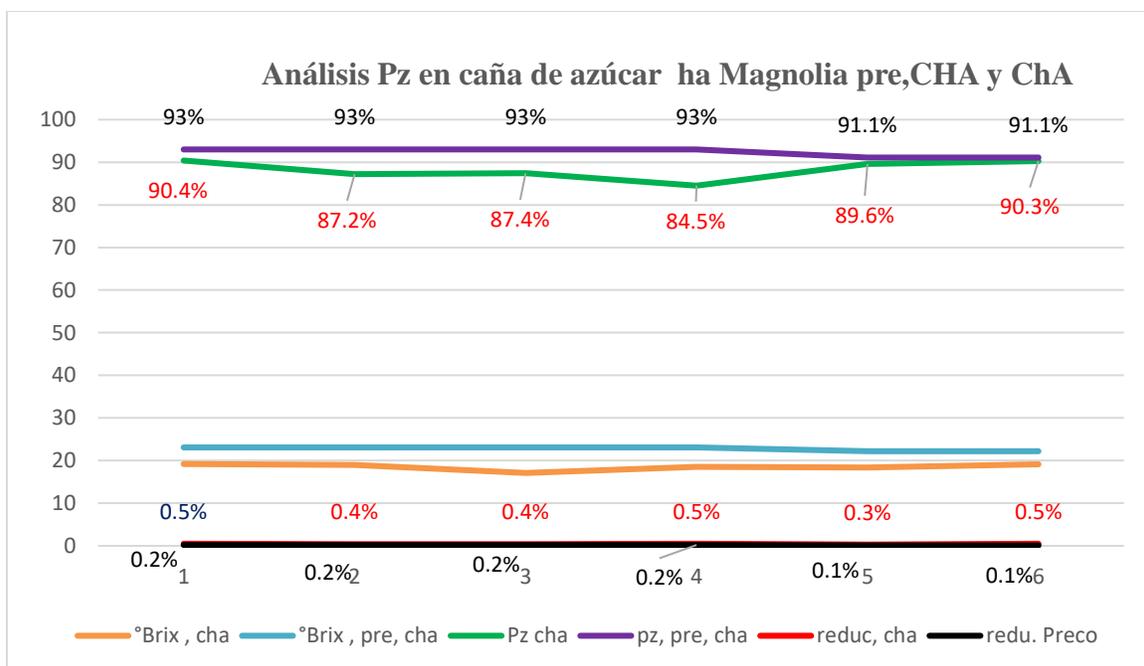
Porcentaje de (%) pureza en caña de azúcar en cosechada (recepción)

Hacienda: magnolia				Fecha: 2/10/20			
Suerte	Edad	% Invertidos	°Brix	Pol	glucosa. ml	% Sacarosa	% Pz
002	13	1.200	17.16	62.31	3.9		88.44
004	13	0.975	18.41	64.22	4.8		84.53

Nota: Pz: pureza. Fuente: Tomado de (Corte & Trujillo, 2020)

Figura 22

Comparación de pureza en la caña de azúcar precosecha y cosecha (recepción)



Fuente: Corte (2020)

Alternativas de Solución

Los ingenios del Valle del Cauca reciben su materia prima y demás insumos con evaluación de calidad como se mencionó en esta monografía. Estos análisis son garantía para la toma de grandes decisiones, conocer fallas que presentan en la producción de azúcar, y actuar en búsqueda de alternativas de solución (innovación).

La demanda de consumo de azúcar y subproductos por diferentes mercados ha permitido que la industria azucarera asuma el reto de construir, innovar su cadena de producción para obtener productos de calidad (Tigreros,2017).

Las alternativas de solución se trabajan para sostener o aumentar la producción de azúcar, estas se realizan en los ingenios y zonas donde producen sus cultivos de caña de azúcar, participan instituciones y regiones (zonas) como: comunidades cercanas a sus cultivos de caña de azúcar, nacimientos de fuentes hídricas, depósitos de residuos peligrosos, proveedores de caña de

azúcar o insumos, colaboradores (trabajadores), empresas especializadas, universidades, asocaña, senicaña, tecnicaña. Estos se une en grupos con el propósito de garantizar un resultado global positivo para mejorar y sostener la producción de caña de azúcar y productos (García, 2019).

Las innovaciones en los ingenios representan una inversión económica, es por eso que cada alternativa de solución debe ser estudiada por personal capacitado como: ingenieros y obreros que trabajan diariamente en el proceso de producción de azúcar, grupos de investigación especializados que recocer las fallas y emprenden la búsqueda de una alternativa de solución (innovaciones). que son presentadas a coordinadores (jefe de área) y la organización del ingenio (dueños), realizan el estudio previo teniendo en cuenta que la ejecución de proyecto no incremente los costos programados por cada año, que garantice la reducción de costos, riesgos de accidentes laborales, cuidado del medio ambiente y no afecte la calidad de sus productos. las mejoras aprobadas pueden se realiza un riguroso control por parte del grupo que presento la alternativa de solución (inovacio), delegados asignados por el ingenio o institución (Asocaña, 2016).

Se proponer la siguiente alternativa de solución conocido que la caña de azúcar cosechada en corte mecánico, la materia extraña se hediere con facilidad, se transporta y está ingresando al proceso de producción de azúcar. Afecta su calidad, disminuyendo el porcentaje de sacarosa (PZ), producción de azúcar, aumentando los costos de producción, daños mecánicos en su maquinaria de cosecha, fabrica, afectando los ingresos económicos par ingenios, colaboradores, proveedores y la región. El sistema de limpieza para cosecha de caña de azúcar en corte mecánico y fomentar el trabajo en equipo lograra reducir la perdida de sacarosa (Pz) y esto permitirá que los ingenios aumenten su producción de azúcar, su calidad y sea mas productivo.

Para realizar innovaciones o investigaciones a mayor profundidad en producción de azúcar participan los ingenios azucareros de otro país, cenicaña, tecnicaña, instituciones del gobierno (ministerio de agricultura), el proyecto trabajado (innovación) se convierte en una información que es publicada en medios de comunicación (periódicos, televisión) para demostrar la innovación adquirida por la industria azucarera y cuál será su nueva capacidad producción y calidad de azúcar que dispondrán en los mercados.

El personal o grupo de investigación que participo en el proceso son transferencia tecnología, que trabajan y asumen el reto de capacitar a sus mismos compañeros, jefes para iniciar las innovaciones o emprender la búsqueda una alternativa en su cadena de producción de azúcar, deben ser garantía de mejorar la calidad del producto. Que les permita establecer en qué nivel competitivo se encuentran su producción, y que áreas tienen mayores innovaciones (Cenicaña 2018).

Las alternativas de solución (innovaciones) en los ingenios algunas son estudiadas en escala de laboratorio esto con el fin de crea un contexto de claridad de su ejecución y que materiales construcción a utilizar, pruebas de operación y tiempo de montaje.

En el área de cosecha y transporte de caña de azúcar los ingenios se han caracterizado en realizar innovaciones (alternativas de solución) enfocadas a mejorar su rendimiento y entrega de caña de azúcar a los ingenios a tiempo (Mejía, 2014).

Una de las alternativas de solución y uso de tecnología para aumentar el rendimiento de cosecha de caña de azúcar fue la compra de máquinas cosechadoras y mecanización de alce de caña de azúcar, las actividades como el corte manual de caña de azúcar y actividades relacionadas en cultivo fueron reducidas.

los ingenios no solo innovaron el uso de máquinas (cosecha y alce) trabajaron con región y sus colaboradores (cortero, alzadores, familias) en brindar estudio, capacitación para aumentar su competencias laborales y que puedan ser contratados para trabajar en estas mismas áreas (cosecha, transporte) y mejoren su calidad de vida, en menos uso de esfuerzo físicos, accidentes de trabajo y eliminación definitiva de someter animales como: caballos y bueyes para transporte la caña de azúcar (Mejía, 2014).

Las alternativas de solución no resuelven definitivamente los problemas, sino que pueden surgir nuevos problemas, como alto porcentajes (%) de materia extraña, permanencia de caña en campo, en cosecha de caña de azúcar por cosechadora y alzadoras. Que ejecutan la actividad y facilitan que material vegetativo y mineral de la misma caña se adherida con facilidad y no es eliminada por completo por el sistema de limpieza de la caña de azúcar de la maquina cosechadora.

En la maquinas cosechadoras de caña de azúcar encontramos innovaciones (alternativas de solución) como: cambio de llantas por urugas, sensores de presión y temperaturas en motor para evitar que la maquina se recalienten (incendien), en vagones aumento de tamaño y capacidad de carga, pero no reportan un sistema de acoplamiento para disminuir el porcentaje (%) de materia extraña que genera causas como disminución de sacarosa, antes de que la caña de azúcar ingrese al proceso de producción (Mejía, 2014).

En este orden de ideas y conociendo las causas que ocasionan la materia extraña en caña de azúcar que cosechan como: perdidas de sacarosa antes de que la caña ingrese al proceso de molienda (extracción del jugo) Proponemos una alternativa de solución en esta máquina cosechadora ya que esta será en los próximos años el único tipo de corte de caña de azúcar que

utilizaran los ingenios del Valle del Cauca, debido a prohibiciones por parte del gobierno (ministerio de medio ambiente).

Para esta innovación se utilizará un vagón de transporte de caña de azúcar ya existente en los ingenios, se le ejecutaran cambios y diseños mecánicos, será acoplado en el tractor como el primer vagón, que realizara la función de eliminar de materia extraña que se adhiere a la caña de azúcar y cargado de caña limpia por banda en el segundo vagón transportador de caña de azúcar a los ingenios.

Para que este vagón realice la función de eliminar de la materia extraña, contendrá dos bandas. La primera banda transportadora en línea diagonal con inclinación (10 a 20°) de atrás hacia delante, en la parte interna del vagón, en esta banda la maquina cosechadora depositara la caña de azúcar que corta.

la segunda banda transportadora de elevación solo cumple la función de cargar la caña de azúcar limpia resultante de la banda interna del vagón.

para separación de la caña de azúcar y materia extraña se realiza mediante el siguiente mecanismo. La primera banda transportadora ejecutará movimientos vibratorios, que desprenderá la materia extraña mineral y vegetal. El material mineral (tierra, piedras, raíz) es eliminado por movimiento vibratorio ya que esta banda es perforada y facilita la salida por gravedad.

Para eliminación del material vegetal (hojas, verdes y secas) este vagón contendrá un ventilador que generará una corriente de aire con dirección a la caña que se transporta en la banda interna y parte trasera del vagón. Al final la materia extraña será distribuida uniformemente en el terreno gracias al movimiento de traslación que le genera el tractor.

Para no afectar el cargado del vagón dos (2) que transporta la caña limpia resultante del trabajo de limpieza ejecutado en el vagón (1). El diseño de la banda transportadora de elevación debe tener una altura considerada o mayor al vagón de carga, que facilitara un cargado uniforme y pueda ser llenado a su nivel máximo de carga.

Para disminuir la permanecía de caña de azúcar cosechada que no es transportada a tiempo, como alternativa de solución. Los ingenios deben trabajar en capacitar y brindar participación a sus trabajadores en todas sus áreas, en este caso los cosechadores y transportadores de la caña de azúcar, para que conozcan la importancia de conservar el contenido de sacarosa que se produce en los cultivos de caña en campo.

Las operaciones de cosecha de caña de azúcar deben realizarse cuando el tractocamión se encuentra en patio (lugar de cargado de caña de azúcar), una vez se cumple su llenado debe ser despachado de inmediato, por carreteras con poco tráfico y la maquina debe suspender la cosecha. Si esto se cumple con organización y colaboración, las pérdidas de sacarosa por permanencia (caña de azúcar cosechada no transportada a tiempo) disminuyen y los microorganismos degradadores tendrán poco tiempo para aumentar el crecimiento y realizar inversión de sacarosa en la caña de azúcar cosechada.

Las innovaciones mencionadas pueden ser conocidas si son viables o no para solucionar el problema de altos porcentajes (%) de materia extraña en caña de azúcar que cosechan, si los ingenios conocen la propuesta (proyecto) y se pone en estudio, de cuanta materia extraña se eliminaría utilizando un vagón de limpieza de caña de azúcar cosechada, ya que esta industria azucarera son conocedores de los veneficios que obtendrían con su implementación.

Conclusiones

A partir del desarrollo del presente trabajo, fueron construidas las siguientes conclusiones.

La investigación descriptiva realizada, permite identificar los impactos negativos de la disminución del contenido de la sacarosa de caña de azúcar cosechada, debido a la presencia de materia extraña y tiempo de permanencia en cosecha, siendo factores que ocasionan pérdidas económicas no solo a los ingenios, como también a proveedores y gremio en general.

La materia extraña que se genera en la cosecha de caña de azúcar sea de modalidad manual o mecánica, varía en su porcentaje según las condiciones climáticas, siendo que el mayor porcentaje siempre será como resultado de la cosecha mecánica ya que una vez la caña se corta en trozos pequeños la materia extraña se adhiere con facilidad, lo que permite que una parte de sacarosa se pierda en bagazo o por el crecimiento de microorganismos que causan degradación de la sacarosa.

El constante monitoreo y ejecución de análisis de calidad sobre la caña de azúcar permite identificar la pérdida de sacarosa en la etapa de recepción, estableciendo en esta etapa del proceso el grado de calidad de la caña de azúcar y definiendo su real rendimiento en próximas etapas; con lo anterior, se hace evidente la importancia de un adecuado control de la calidad de la caña en puntos estratégicos para de esta forma tomar las mejores decisiones técnicas.

El tiempo de permanencia que se genera en la entrega de caña (recepción) puede ser corto o mayor esto depende de la coordinación y condiciones climáticas, esta caña de azúcar con esta característica es de mala calidad presentando purezas muy bajas y cambios fisicoquímicos que efectuara que el contenido de sacarosa disminuya, generando un aumento de costo de producción, pérdidas económicas a proveedores de caña de azúcar ya que es pagada por análisis de calidad en la etapa de recepción.

La información obtenida y agrupada en esta monografía contribuiría de forma positiva a la toma de decisiones y acciones de mejora por parte de los ingenios en actividades de cosecha y transporte, buscando que la calidad de la caña de azúcar no sufra deterioros antes de iniciar con el proceso de producción, garantizando así ganancias económicas y un producto de calidad.

Bibliografía 2018, M. (2018). Caña de Azúcar.

Andres, G. (2019). Guía para labores del cultivo caña de azúcar en la empresa Garcés Eder

S.A.S. *Garcés Eder S.A.S*, 2–44. Retrieved from

<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11279/T8670F.pdf;jsessionid=6DFA229CE86E74CED65DD5E38E1B75B9?sequence=12>

Asocaña. (2016). Reporte de Sostenibilidad del sector azucarero 2015-2016, 64 p.

Asocaña. (2019). informe asocaña 2019. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 5–24.

Asocaña. (2020). Informe Anual 2019 - 2020 - Asocaña. Retrieved from

<https://www.asocana.org/modules/documentos/vistadocumento.aspx?id=15398>

Bolaños Porras, J., & Oviedo Alfaro, M. E. (2006). Efecto de la cosecha mecanizada sobre los rendimientos industriales de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) en el ingenio Quebrada Azul, San Carlos, Costa Rica, 1–91.

Bustamante, M., & Paar, A. (2018). Pureza aparente de la sacarosa una ventana a soluciones en azúcar.

Cardona. (2012). comparación de cinco métodos analíticos para determinar la calidad de la caña de azúcar marvin, 32.

Carlos, J., & Piedra, P. (2017). Destranasa y Amilasa en la Industria Azucarera. Retrieved from [file:///C:/Users/ALEX SANTIAGO/Desktop/12-Fábrica.pdf](file:///C:/Users/ALEX%20SANTIAGO/Desktop/12-Fábrica.pdf)

Carvajal, A., Campos, A., Martínez, J., Jaramillo, N., & Chávez, C. (2018). Aspectos Generales del Sector Agroindustrial de la Caña 2017 - 2018. Informe Anual.

<https://www.asocana.org>, 70. Retrieved from <https://www.asocana.org>

Cenicaña. (1993). *Cosecha, alce y transporte*. *Sidalc.Net*. Retrieved from

<http://www.sidalc.net/cgi->

[bin/wxis.exe/?IsisScript=BAC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=011789](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BAC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=011789)

Cenicaña. (2001). I a 2001.

Cenicaña. (2016). Etanol: más de 10 años de producción. *Carta Informativa*, 3, 20. Retrieved from http://www.cenicana.org/pdf_privado/carta_informativa/2016_n3/2016_n3.pdf

Cenicaña. (2018). Agrónica: Tecnologías que Fortalecen el Agro Colombiano. *Carta Informativa*, (2), 24.

Cepal. (2002). *El conglomerado del azúcar del Valle del Cauca, Colombia. Naciones Unidas* (Vol. 134). Retrieved from

http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4523/S0212973_es.pdf?sequence=1

Chaves, M. (2004). La caña de azúcar como materia prima para la producción de alcohol carburante. *Director*, (506). Retrieved from

<http://www.infoagro.go.cr/SEPSA/documentacion/genero/ALCOHOLCARBURANTE.pdf>

Corte, A., & Trujillo, D. M. (2020). evaluación % materia extraña hacienda magnolia ingenio incauca :

Fredy Enao. (2006). Evaluación de pérdidas indeterminadas de sacarosa por inversión en el proceso de clarificación en el ingenio castilla industrial. *Global Shadows: Africa in the Neoliberal World Order*, 44(2), 8–10.

García, R. A., Pérez, A., González, I., Villanueva, G., & González, E. (2019). Transferencia de tecnología para producir biodiesel con cachaza en la industria azucarera de Guatemala.

Ingeniería Investigación y Tecnología, 20(1), 1–10. Retrieved from

<http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v20n1/1405-7743-iit-20-01-00006.pdf>

Incauca. (n.d.). 1 Código C-270-001 5. 2015, 1–122.

Ixpata Jorge. (2014). *Ixtapa-Jorge.pdf*. Rafael Landivar. Retrieved from

<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/17/Ixtapa-Jorge.pdf>

Jorge Mendoza, Dario Gualle, P. G. (2009). Comparación de tres métodos para el análisis porcentual de caña de azúcar. *Carta Informativa*, 1 y 2, 19–25.

Juárez, J. R. R. (2011). Azúcar, En Un Evaporador De Placas De Película.

Larrahondo, J. E. (1995). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. *El Cultivo de La Caña En La Zona Azucarera de Colombia*, 337–354.

Larrahondo, J. E. (2019). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. Retrieved from https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p3-394.pdf

Larrahondo, Jesús E. (2013). Definición y alcances de la alcoquímica: la calidad de las materias primas y su impacto en el proceso alcoquímico. *III Congreso AETA*, 10. Retrieved from <http://www.aeta.org.ec/pdf/fabrica/Larrahondo, J. Definicion y alcances de la alcoquimica.pdf>

López, E. (2014). MONTAJE DE UNA Sonda MECÁNICA OBLICUA PARA MUESTRAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL INGENIO PALO GORDO, S. A. Erwin.

Marasca, I., da Silva, R. B., Sartori, M. M. P., Paz González, A., & Lanças, K. P. (2015).

Morfología de la caña de azúcar en la preparación profunda del suelo en canteros. *Idesia*, 33(4), 23–29. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000400004>

Mejía, H., & Santos, A. (2014a). Estado, Innovación Y Expansión De La Agroindustria

Azucarera En El Valle Del Río Cauca. *América Latina En La Historia Económica*, 201–

230.

- Mejía, H., & Santos, A. (2014b). Estado, Innovación Y Expansión De La Agroindustria Azucarera En El Valle Del Río Cauca. *América Latina En La Historia Económica*, 201–230. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/alhe/v21n3/v21n3a8.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). Cadena agroindustrial de la panela “primer trimestre 2020.” 2020, 24. Retrieved from [https://sioc.minagricultura.gov.co/Panela/Documentos/2020-03-30 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Panela/Documentos/2020-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)
- Naranjo, J. L. (2019). Diagnostico Y Planteamiento De Propuestas Para La Reducción De Pérdidas De Sacarosa En Los Equipos De Preparación De Caña, (2), 1–119. Retrieved from <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- Navarro, H., & Rostgard, L. (2014). Impacto de la Materia Extraña en la Calidad de los Jugos de Caña y en los Indicadores de Eficiencia de un Central Azucarero. *Revista Centro Azúcar*, 41, 44–54.
- Ortiz Laurel, H., Salgado García, S., Castelán Estrada, M., & Córdova Sánchez, S. (2012). Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(spe4), 767–773.
- Oviedo, M. (2003). Determinación de la cantidad y calidad de la materia extraña presente en las entregas comerciales de caña de azúcar (*saccharum spp*) en el ingenio la argentina, Grecia, Costa Rica. Marvin. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.
- Pastora. (2019). Control analítico y contabilidad azucarera, 16.
- Posada, V. (2014). Estudio de métodos y tiempos para mejorar la productividad en el sistema de cosecha de un ingenio azucarero. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 73.
- Resolucion 0564 Modifica Obligaciones ASOCAÑA.pdf. (n.d.).

- Ripoll Echeverría, M. T. (2020). El desarrollo de la industria azucarera en el Valle del Cauca, Colombia, 1901 - 2015. *Economía & Región*, 13(1), 87–143.
<https://doi.org/10.32397/er.vol13.n1.3>
- Teresa, G., Vázquez, G., Cruz, M. S., Valente, J., & Contreras, H. (2016). Sucrose Losses By Microorganisms Associated With Sugarcane Stem From, 1, 1–9.
- Toro, J. S. (2020). Análisis del rendimiento operacional del sistema de cosecha, alce y transporte de la caña de azúcar en el ingenio mayagüez s.a.
- Valenzuela, C. I. O. (2019). evaluación de la correlación entre el contenido de trash y compuestos fenolicos sobre el color del jugo de caña de azúcar.
- Vidal, T. (2017). Mejoramiento Del Proceso De Elaboracion De Jugo De Caña En Un Ingenio Azucarero. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- wilfredo. (2010). *Pérdida del rendimiento agroindustrial de la caña de azúcar asociada al retraso de la molienda en poscosecha¹ Loss. una*. Retrieved from <http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/151/148>