



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA

TÍTULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS

**Determinación del deterioro poscosecha de la calidad de la caña de azúcar
Sacharum officinarum L. de una empresa procesadora de la ciudad de
Catamayo.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORAS: Sánchez Jaramillo, Estefany Germania

Solano Solano, Daniela de Jesús

DIRECTOR: Reyes Bueno, Jorge Felipe, Mg. Sc

LOJA – ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Mg. Sc.

Jorge Felipe Reyes Bueno

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mis consideraciones:

El presente trabajo de titulación: Determinación del deterioro poscosecha de la calidad de la caña de azúcar *Sacharum officinarum* L. de una empresa procesadora de la ciudad de Catamayo, realizado por: Estefany Germania Sánchez Jaramillo y Daniela de Jesús Solano Solano, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, enero de 2018

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Estefany Germania Sánchez Jaramillo y Daniela de Jesús Solano Solano declaramos ser autoras del presente trabajo de titulación: Determinación del deterioro poscosecha de la calidad de la caña de azúcar *Sacharum officinarum L.* de una empresa procesadora de la ciudad de Catamayo, de la Titulación de Ingeniero en Alimentos, siendo el Mg. Sc. Jorge Felipe Reyes Bueno director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales. Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f).....

Autor: Estefany Germania Sánchez
Jaramillo

Cedula: 0705841492

f)

Autor: Daniela de Jesús Solano Solano

Cedula: 1105963019

DEDICATORIA

Con el más profundo cariño dedico este trabajo a Dios por darme la fortaleza necesaria para cumplir con éxito mi objetivo, a mis padres Ángel y Alma por su apoyo, paciencia y amor incondicional brindado en cada momento de mi vida, a mi hermano por estar conmigo siempre y a mi familia por ser mi fuente de energía para cumplir cada uno de mis sueños

Estefany

Dedico este trabajo, como logro personal y profesional a Dios por ser mi fuerza y guía, a mi madre Carmita y a mi hermana Michelle por brindarme su amor, sus consejos y por la confianza innegable depositada en mis capacidades para cumplir cada uno de mis objetivos y por ser mis compañeras a lo largo de mi vida, así mismo, a mi tío Ángel por ser el estímulo y ejemplo de perseverancia.

Con cariño

Daniela

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios y a la Virgen María santísima por habernos guiado en cada paso de nuestra vida estudiantil para cumplir con éxito nuestra meta propuesta.

Nuestro agradecimiento infinito a nuestros padres por ser el pilar fundamental de educación, a nuestros hermanos por el apoyo incondicional y por el cariño brindado.

Y como no agradecerles a nuestras familias que nos apoyaron con amor, entendimiento y paciencia las decisiones tomadas durante esta etapa universitaria.

A nuestro tutor y maestro, Mg. Sc. Felipe Reyes Bueno y docentes de la UTPL por compartir sus conocimientos, experiencias, enseñanzas, paciencia y valiosa dirección a lo largo de nuestra carrera profesional.

Finalmente, a nuestros compañeros de carrera por haber compartido este recorrido universitario llenándolo de diversión, aprendizaje y experiencias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE ANEXOS	X
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1.1. La caña de azúcar	6
1.1.1. Taxonomía de la caña de azúcar.....	6
1.2. Composición química de la caña de azúcar	7
1.3. Hidratos de carbono en la caña de azúcar	7
1.3.1. Sacarosa.....	7
1.3.2. Glucosa.....	8
1.3.3. Fructosa.....	9
1.3.4. Dextranas.	9
1.4. Cambios químicos de la sacarosa.....	9
1.4.1. Inversión de la sacarosa.	9
1.4.2. Azúcares reductores.....	10
1.5. Acción de microorganismos	10
1.5.1.1. Leuconostoc.....	11
1.6. Determinación de la calidad del jugo de caña destinado a la elaboración del azúcar blanco11	
1.6.1. Sacarosa en jugo.....	11

1.6.1.1.	Polarización (pol).....	11
1.6.2.	Pureza.....	12
1.6.3.	Azúcares reductores en jugo.....	12
1.6.3.1.	Método de Fehling.	12
1.6.4.	Sólidos disueltos.....	12
1.6.4.1.	Grados brix.....	13
1.6.5.	Humedad.	13
1.6.6.	Fibra en caña.....	13
1.6.7.	pH.	13
1.7.	Pérdidas de rendimiento en la caña de azúcar.....	13
1.8.	Deterioro de la calidad en la caña de azúcar.....	14
1.8.1.	Factores que afectan el deterioro de la calidad en la caña de azúcar.....	15
1.8.1.1.	Tardanza entre corte y molienda.	15
1.8.1.2.	Variedades de la caña de azúcar.	15
1.8.1.3.	Madurez del cultivo (edad).....	16
1.8.1.4.	Tipo de corte.	16
1.8.1.5.	Factores ambientales.....	17
1.8.1.6.	Contenido de basuras o material extraño.....	17
1.8.1.7.	Método de cosecha.....	17
1.8.1.8.	Altura de corte.....	18
1.8.1.9.	Sistema de transporte.....	18
1.8.1.10.	Plagas y enfermedades.	18
1.8.1.11.	Aspectos microbiológicos.	19
CAPÍTULO II	OBJETIVOS.....	20
2.1.	Objetivo General.....	21
2.2.	Objetivos específicos.....	21
CAPÍTULO III	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1.	Ubicación.....	23
3.1.	Materia prima.....	23

3.1.1.	Caña de azúcar.	23
3.1.2.	Edad del cultivo.	23
3.1.3.	Datos metereológicos.....	24
3.2.	Obtención de línea base.....	24
3.3.	Muestreo de la caña	24
3.4.	Métodos de análisis	24
3.4.1.	Preparación de la caña para los análisis químicos.	24
3.4.2.	Determinación de sacarosa.....	24
3.4.3.	Determinación del rendimiento de azúcar comercial.....	25
3.4.4.	Determinación del coeficiente de pureza.....	25
3.4.5.	Determinación de azúcares reductores.	25
3.4.6.	Determinación de sólidos disueltos (°Brix).	26
3.4.7.	Determinación de humedad.	26
3.4.8.	Determinación de fibra.	26
3.4.9.	Determinación de pH.....	27
3.5.	Metodología experimental	27
3.5.1.	Cambios físicos y químicos en la caña durante su espera en campo.	27
3.5.2.	Cambios físicos y químicos en caña almacenada en patios.....	27
3.5.3.	Variables de estudio.....	27
3.5.3.1.	Tipo de corte.	27
3.5.3.2.	Espera de la caña en campo.	28
3.5.3.3.	Tiempo de almacenamiento en patio.....	28
3.6.	Análisis estadístico	28
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		29
4.1.	Cambios poscosecha de la caña durante la espera en campo.....	30
4.1.1.	Contenido de sacarosa.....	30
4.1.2.	Rendimiento de azúcar.....	31
4.1.3.	Contenido de pureza.....	31
4.1.4.	Contenido de azúcares reductores.....	32

4.1.5. Contenido de sólidos disueltos totales, humedad y fibra.....	33
4.2. Cambios poscosecha de la caña almacenada en patios.	34
4.2.1. Contenido de sacarosa.....	34
4.2.2. Rendimiento de azúcar.....	36
4.2.3. Contenido de pureza.....	36
4.2.4. Contenido de azúcares reductores.....	38
4.2.5. Contenido de sólidos disueltos totales, humedad y fibra.....	39
CONCLUSIONES.....	42
RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA.....	44
ANEXOS.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación botánica de la caña de azúcar.	6
Tabla 2. Composición química de la caña de azúcar y de los sólidos del guarapo.	8

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reacción química de la sacarosa en sus monosacáridos: glucosa y fructosa.	10
Figura 2. Lugares de procedencia de las muestras de caña de azúcar.	23
Figura 3. Curvas de la evolución del porcentaje de sacarosa en función del tiempo de almacenamiento.	35
Figura 4. Curvas de la evolución de las pérdidas de sacarosa en función tiempo de almacenamiento.	35
Figura 5. Curvas de la evolución de las pérdidas de rendimiento de azúcar en función del tiempo de almacenamiento.	36
Figura 6. Curvas de la evolución del porcentaje de pureza en función del tiempo de almacenamiento.	37
Figura 7. Curvas de la evolución de las pérdidas de pureza en función del tiempo de almacenamiento.	37
Figura 8. Curvas de la evolución del porcentaje de reductores en función del tiempo de almacenamiento.	38
Figura 9. Curvas de la evolución del aumento de reductores con función del tiempo de almacenamiento.	39
Figura 10. Curvas de la evolución del aumento de sólidos disueltos en función del tiempo de almacenamiento.	40
Figura 11. Curvas de la evolución de las pérdidas de humedad en función del tiempo de almacenamiento.	40
Figura 12. Curvas de la evolución del aumento de fibra en función del tiempo de almacenamiento.	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Tabla para determinar el porcentaje de sustancias reductoras.	48
Anexo B. Tabla para la determinar el factor de corrección para el brix refractométrico y determinación de sacarosa.	49

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar el deterioro poscosecha en la caña de azúcar de una empresa en la ciudad de Catamayo, diciembre 2016 a enero 2017. Se muestrearon cinco canteros de caña quemada y uno en verde, se analizaron las características fisicoquímicas del jugo. Se determinó el efecto del tiempo de espera en campo y en patio de almacenamiento, en el primero se consideró el tiempo que la empresa tarda desde cortar la caña hasta transportarla y el segundo se muestrearon cada 6 horas hasta alcanzar las 24. La caña quemada con tiempos en campo mayores a 11 horas, presentaron pérdidas significativas en la calidad del jugo y el cantero con una espera en campo de 3 horas fue poco afectado durante las dos etapas. En el patio de almacenamiento cinco canteros presentaron cambios significativos en la composición del jugo a partir de 6 horas. La caña cortada en verde no tuvo mayores cambios durante las dos etapas. Se logró verificar que existe una pérdida en la calidad de la caña, por el manejo que utiliza la empresa local.

Palabras claves: calidad, deterioro, caña de azúcar, sacarosa, rendimiento, pureza, azúcares reductores, sólidos disueltos, humedad, fibra.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the post-harvest deterioration in sugarcane from a company in Catamayo city from December 2016 to January 2017. We made a sampling of five quarries of burned cane and one in green, the physicochemical characteristics of its juice were analyzed. The effect of waiting time in the field and storage yard was determined, first, we considered the time that the company took from cane cutting to transporting them, second, we sampled every 6 hours until 24 the burned cane with field times greater than 11 hours, showed significant losses in the quality in the juice and the quarry with a field wait of 3 hours was little affected during two stages. In storage yard, five quarry presented significant changes in the juice after 6 hours. The burned cane in green didn't have greater changes during two stages, we verified that there are losses in the cane quality due to the management used by local company.

Key words: quality, deterioration, sugarcane, sucrose, performance, purity, reducing sugars, dissolved solids, moisture, fiber.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio consiste en la determinación del deterioro poscosecha de la calidad de la caña de azúcar de una empresa procesadora de la ciudad de Catamayo. El primer capítulo presenta la revisión bibliográfica, con lo cual se argumenta teóricamente algunos aspectos del cultivo de la caña como: la clasificación botánica y composición; conceptos y fundamentos de los azúcares y los factores que provocan cambios, como en el caso de la hidrólisis de la sacarosa. En el segundo capítulo se detalla los métodos de análisis y técnicas utilizadas durante la investigación. En el tercer capítulo se presenta los resultados y su discusión. Finalmente, en el último capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

El azúcar de caña es considerado uno de los productos agroindustriales de mayor contribución al desarrollo económico y social, muy importante para el país por la ocupación de mano de obra que genera en la cadena productiva.

El área cultivada de caña de azúcar en Ecuador es de aproximadamente 110.000 hectáreas, de las cuales la mayoría se utiliza para la fabricación de azúcar y el resto para la elaboración artesanal de panela y alcohol. Además, el consumo interno de azúcar blanco en Ecuador está en aproximadamente 10'200.000 sacos de 50 kg al año, de los cuales la provincia de Loja aporta con el 5% de la producción nacional.

Uno de los mayores problemas que afrontan las empresas procesadoras de azúcar son las pérdidas de sacarosa que se obtienen por el retraso poscosecha previas al procesamiento y transformación de azúcar blanco, por ello, se ha despertado un interés importante por la empresa local en el planteamiento de este estudio, permitiendo establecer las pérdidas en rendimiento de azúcar. Las mismas que pueden ser causadas por diversos factores, tales como: efecto de la tardanza entre corte y molienda, variedad y edad de la caña de azúcar, tipo de corte, método de cosecha, acción de microorganismos, y vienen acompañados de otros cambios como: el aumento de azúcares reductores, sólidos disueltos totales y fibra, pérdidas en el contenido de pureza y humedad en la caña.

El propósito de este trabajo fue determinar los niveles de pérdidas de sacarosa de una empresa procesadora local en sus operaciones regulares, se realizó en la ciudad de Catamayo, Provincia de Loja, en los meses de diciembre 2016 a enero 2017. Se utilizaron muestras correspondientes a seis canteros donde se efectuó el seguimiento respectivo desde campo hasta su almacenamiento en patio, analizando las características fisicoquímicas como: pH, sólidos disueltos, sacarosa, coeficiente de pureza, azúcares reductores, humedad y fibra, en función de los resultados logrados se comparó el valor

obtenido de la línea base recolectada en campo, con respecto a los análisis de las muestras almacenadas en patio cada 6 horas hasta un límite de 24 horas.

Se contó con el aporte de los laboratorios de la empresa para desarrollar la investigación, además de la colaboración de la Sección Departamental de Ingeniería de Procesos del Departamento de Química y Ciencias Exactas de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Los métodos de análisis y el procedimiento para la preparación de las muestras de caña se basaron en la metodología descrita en el "Manual de Laboratorio para la Industria Azucarera" de Buenaventura (1989), por ser específicos para las empresas de este tipo.

CAPÍTULO I
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. La caña de azúcar

La caña de azúcar es un híbrido complejo de varias especies del género *Sacharum*, principalmente del *Sacharum officinarum* L. (Rein, 2012). La caña es una planta perenne de crecimiento rápido y de gran tamaño, su altura varía de 1.5 a 5 metros con un diámetro de 5 a 6 centímetros, se presenta en coloraciones diversas (verde, amarillo, violáceo, rojizo) (Chen, 2000; Viejó Ojeda, 2013).

Las raíces, son ramificadas, numerosas, finas, y se extienden alrededor de la planta, a una profundidad de 1 a 2 metros (Osorio Cadavid, 2007). El tallo procede de una yema activa, desarrollada al nivel de un nudo; el nudo es la parte por la que conecta al tallo y donde están las yemas, la longitud y el diámetro de los mismos varían considerablemente entre los diferentes cultivares y condiciones de cultivo; el tallo es cilíndrico, con un diámetro variable de 3 a 7 centímetros y está dividido por los nudos en trozos de una longitud de 4 a 15 centímetros. Las hojas, situadas alternamente, de derecha e izquierda del tallo, son delgadas y largas, son verdes y por el centro tienen una lista blanca. Una hoja puede medir de 4 a 8 centímetros de ancho y 60 a 80 centímetros de longitud. Las flores de la caña llevan los órganos necesarios para la fecundación: ovarios y estambres. La caña puede reproducirse por trozos de tallo (estaquillado) o por semilla (reproducción sexual) (Rein, 2012; Chen, 2000).

1.1.1. Taxonomía de la caña de azúcar.

Tabla 1. Clasificación botánica de la caña de azúcar.

Taxonomía de la caña de azúcar	
REINO	Vegetal
TIPO	Fanerógamas
SUBTIPO	Angiospermas
CLASE	Monocotiledóneas
ORDEN	Glumales
FAMILIA	Gramíneas
TRIBU	Andropogoneas
GÉNERO	Saccharum
ESPECIE	<i>Spontaneum</i> y <i>robustum</i> (silvestres) <i>Edule</i> , <i>barberi</i> , <i>sinense</i> y <i>officinarum</i> (domesticadas)

Fuente: Osorio Cadavid (2007)

Elaboración: Autoras

1.2. Composición química de la caña de azúcar

La composición química de la caña de azúcar es la resultante de la integración e interacción de varios factores que intervienen en forma directa e indirecta sobre sus contenidos, variando los mismos entre lotes, localidades, regiones, condiciones del clima, variedad, edad de la caña, estado de madurez de la plantación, grado de despunte del tallo, manejo incorporado, características físico-químicas y microbiológicas del suelo, grado de humedad (ambiente y suelo), uso o no de madurantes, tiempo entre corte-molienda y contenidos de materia extraña incorporados durante el corte y alce (Chen, 2000; Zossi, Cárdenas, Sorol, & Sastre, 2010; Larrahondo, 2013).

Los tallos corresponden a la sección anatómica y estructural de la planta de caña de azúcar, que presenta mayor valor económico e interés para la fabricación de azúcar, panela, jugo y la elaboración de alcohol, motivo por el cual su composición química reviste especial significado (Aguirre, 2010).

En la **Tabla 2** se revelan los principales constituyentes en la caña de azúcar entre los cuales se destacan el agua y los sólidos solubles con un porcentaje del 10 a 16% en los tallos, mientras que en los componentes del jugo de caña en base seca, indica que la mayor proporción corresponde a los azúcares en un 75 a 92%, siendo uno de los principales la sacarosa, seguido por concentraciones menores como glucosa y fructosa (azúcares reductores). La calidad del jugo y de otros productos depende en buena parte, de la proporción de estos azúcares reductores, los cuales cuando aumentan por causa del deterioro o la inmadurez de la planta, pueden producir pérdidas de rendimiento en fábrica, incrementos en el color y variación en el dulzor (Larrahondo, 1995 citado por Morales Méndez, Duarte Álvarez, & Britos Bordón, 2010).

1.3. Hidratos de carbono en la caña de azúcar

1.3.1. Sacarosa.

La sacarosa es un disacárido de la unión química de dos monosacáridos: glucosa y fructosa (véase figura 1), su fórmula química es $C_{12}H_{22}O_{11}$, su estructura y configuración estereoquímica son la de α -D-Glucopiranosil- β -D-fructofuranósido (Herrera Zambrano, 2011).

La sacarosa es el azúcar de uso doméstico e industrial, siendo muy soluble en agua, como lo son casi todos los azúcares, es ligeramente soluble en metanol e insoluble en éter o cloroformo y funde a 188°C; una solución saturada de sacarosa contiene el 67.09% en peso.

Cuando se hidroliza, la sacarosa produce cantidades equimolares de glucosa y fructosa, mezcla que se conoce como azúcar invertida (Herrera Zambrano, 2011).

Tabla 2. Composición química de la caña de azúcar y de los sólidos del guarapo.

Constituyente químico	Porcentaje*
En los tallos:	
Agua	73 – 76
Sólidos	24 – 27
- Sólidos solubles (Brix)	10 – 16
- Fibra (Seca)	11 – 16
Composición del jugo en base seca:	
Azúcares	75 – 92
- Sacarosa	70 – 88
- Glucosa	2.0 – 4.0
- Fructuosa	2.0 – 4.0
Sales	3.0 – 4.5
- Ácidos inorgánicas	1.5 – 4.5
- Ácidos orgánicas	1.0 – 3.0
Ácidos orgánicos	1.5 – 5.5
- Ácidos carboxílicos	1.1 – 3.0
- Aminoácidos	0.5 – 2.5
Otros no azúcares	
- Proteína	0.5 – 0.6
- Almidones	0.001 – 0.050
- Gomas	0.30 – 0.60
- Ceras, grasas, fosfátidos	0.05 – 0.15
Otros	3.0 – 5.0

* En los tallos, el porcentaje se refiere a la planta de caña y en el jugo a sólidos disueltos

Fuente: Chen (2000)

Elaboración: Chen (2000)

1.3.2. Glucosa.

La glucosa es un monosacárido, que tiene la fórmula química $C_6H_{12}O_6$. Es una aldohexosa y su estructura recibe el nombre de α y β - D-glucopiranosas, estas dos formas están en equilibrio en solución saturada a temperaturas inferiores a 50°C, siendo la α -D-glucopiranosas la forma más estable. Una solución saturada contiene sólo un 57.6%. Así mismo es soluble en metanol e insoluble en éter. Las moléculas de glucosa se condensan en diferentes maneras para formar almidón, dextrana y celulosa (Chen, 2000; Herrera Zambrano, 2011).

Al comienzo del cultivo de caña el contenido de glucosa del guarapo es alto y disminuye con la madurez (Herrera Zambrano, 2011).

1.3.3. Fructosa.

En la caña este azúcar es el que menos abundante se encuentra, la fructosa es más dulce que la sacarosa y la glucosa. La fructosa disminuye con la maduración y puede ser imposible de detectar en algunas variedades de alta pureza en la madurez de la caña (Chen, 2000). La fórmula es igual a la de la glucosa $C_6H_{12}O_6$ y los cristales funden a $105\text{ }^\circ\text{C}$; es muy soluble en agua y ligeramente soluble en etanol. Una solución saturada a $20\text{ }^\circ\text{C}$ contiene un 78.94% (Herrera Zambrano, 2011).

La fructosa igual que la glucosa es un azúcar reductor, que posee un grupo de cetona en lugar de un aldehído. La mutarrotación en soluciones acuosas es más compleja que en el caso de la glucosa, ya que se establece el equilibrio entre la estructura anular furanósica y piranósica, y también entre sus formas α y β . (Herrera Zambrano, 2011).

1.3.4. Dextranas.

Son polisacáridos de elevado peso molecular, la síntesis de las dextranas ocurre a partir de la sacarosa, mediante la acción de la enzima dextranasa. En cada molécula de azúcar que se consume se utiliza solamente la fracción de glucosa en la síntesis de la dextrana, permaneciendo como subproducto la fructuosa, la cual se descompone en ácidos orgánicos y otros productos coloreados que inducen al descenso del pH; lo anterior ocasiona un aumento en la tasa de inversión de la sacarosa por catálisis ácida y contribuye al incremento de las pérdidas adicionales de azúcar comercial (Larrahondo, 1995 citado por Morales Méndez et al., 2010).

1.4. Cambios químicos de la sacarosa

1.4.1. Inversión de la sacarosa.

La sacarosa se hidroliza con facilidad en soluciones ácidas a velocidades que aumentan notablemente según el aumento de la temperatura y disminución del pH, con liberación de los monosacáridos constituyentes según la reacción:

A esta reacción hidrolítica se aplica generalmente el nombre de inversión, ya que produce un cambio en la actividad óptica dextrógira propia de la sacarosa a una actividad neta levógira. Como azúcar invertido se conoce a la hidrólisis de la sacarosa ya sea por inversión ácida o a través de la enzima invertasa en sus dos monosacáridos: glucosa y fructosa (véase figura 1), esta hidrólisis se la conoce como inversión de la sacarosa (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez, & Espinosa, 2014; Londoño Larrea, 2014; Herrera Zambrano, 2011).

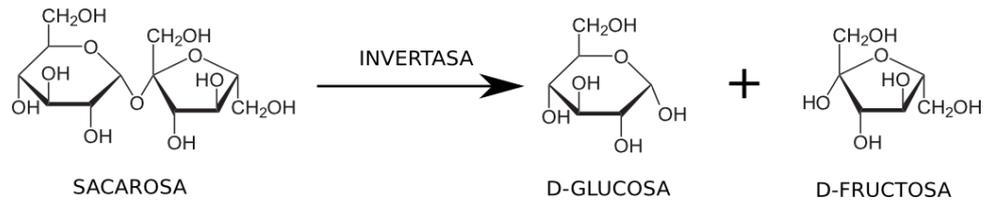


Figura 1. Reacción química de la sacarosa en sus monosacáridos: glucosa y fructosa

Fuente: Melgar et al. (2014)

Elaboración: Melgar et al. (2014)

Durante el suministro de caña de azúcar, un retraso de 3 a 5 días, agrava el proceso de deterioro de la caña cosechada debido a la inversión de azúcares y a su respiración, dando formación a ácidos, alcohol y polisacáridos (Bhatia, Uppal, & Batta, 2009).

1.4.2. Azúcares reductores.

Los azúcares reductores son aquellos que poseen su grupo carbonilo intacto (grupo funcional), entre ellos están los monosacáridos glucosa y fructosa que se encuentran presentes en el jugo de caña (Moreano Pilatasig, 2015; Cobeña Morán & Looor Chávez, 2016), estos carbohidratos son una clase amplia de aldehídos y cetonas polihidroxiladas o sustancias que al hidrolizarse dan productos como los monosacáridos que contienen una unidad polidroxialdehído o polihidroxicetona (Herrera Zambrano, 2011).

Así, los carbohidratos pueden ser oxidados con facilidad para producir los ácidos carboxílicos correspondientes, por ello, se denominan azúcares reductores (reductor porque el azúcar reduce al agente oxidante) (Herrera Zambrano, 2011).

1.5. Acción de microorganismos

El deterioro de la caña cosechada es un proceso bioquímico que se agrava con el paso de las horas, esto es seguido por la invasión microbiana a través del corte o sitios dañados del tallo, dando lugar a una rápida colonización de dichos microorganismos en el tejido dañado reduciendo el contenido de sacarosa, pureza, y el pH del jugo. Los agentes microbiológicos como *Leuconostoc mesenteroides* y *L. Dextranicum* son la principal causa del deterioro en la caña. Los principales subproductos originados durante la acción de *Leuconostoc* y de otros microorganismos como las levaduras (*Saccharomyces*) después del corte de la caña, son los ácidos acético, láctico y butírico, el manitol y el etanol, los cuales ayudan, aún más, al descenso del pH de los jugos y a la síntesis de materiales coloreados. Además de las pérdidas de sacarosa a consecuencia de la formación de dextranas, estos polímeros incrementan la viscosidad de los jugos, creando problemas en los evaporadores y tachos. Adicionalmente las dextranas causan elongaciones de los cristales de azúcar, lo cual se

denomina técnicamente como cristal aguja, incrementando las pérdidas de sacarosa en forma de mieles y aguas de lavado siendo uno de los constituyentes más influyentes, afectando a lo largo del proceso en la fábrica (Larrahondo, 1995 citado por Morales Méndez et al., 2010). El control de las dextranas en la agroindustria azucarera se ejecuta mediante el riguroso ajuste entre la quema (si esta se realiza o no), el corte mecanizado o manual y la entrega de la caña fresca a la fábrica (Jiménez, 2009).

1.5.1. ***Leuconostoc***.

Las bacterias del género *Leuconostoc* pertenecen a la familia *Streptococcaceae*, son cocobacilos grampositivos no esporulados, están acomodadas en pares o cadenas, además son catalasas negativas y anaerobias facultativas, la especie crece bien entre los 20 y 30°C, con grandes exigencias nutricionales para su crecimiento en medios de cultivo e intrínsecamente resistente a glucopéptidos. En la naturaleza están presentes en diversos ecosistemas vegetales y son bien conocidas en el ámbito de la industria alimentaria, dadas sus propiedades fermentadoras y su capacidad para generar compuestos odoríferos (Ray, Bhunia, Sánchez Monsiváis, & Sánchez, 2010; Ballesteros Sanza, Ruiz de Alegría Puigb, Fernández Mazarrasab, & Gutiérrez-Cuadra, 2010).

1.6. **Determinación de la calidad del jugo de caña destinado a la elaboración del azúcar blanco**

Los análisis rutinarios que los laboratorios de control de calidad en los ingenios azucareros realizan en la caña utilizada como materia prima en la producción de azúcar, son:

1.6.1. **Sacarosa en jugo.**

Rein (2012) indica que el método básico para la evaluación del contenido de sacarosa en la caña, se realiza en términos de pol.

1.6.1.1. **Polarización (pol).**

Esta propiedad se utiliza en la industria azucarera para conocer la riqueza de los jugos de caña, es una medida real para determinar el contenido de sacarosa de una solución, mediante un aparato óptico llamado polarímetro, de donde se deriva la expresión pol; este equipo se basa en medir la rotación óptica en el plano de la luz polarizada de una solución de sacarosa. Es un método simple, rápido y altamente reproducible (Rein, 2012; Calderón Ambelis, 2014).

Con el valor de rotación resultante se estima el porcentaje de sacarosa en el jugo mediante fórmulas y tablas establecidas, teniendo en cuenta que la lectura en el polarímetro haya sido

a 20°C, puesto que a temperaturas superiores la sacarosa disminuye, para lo cual la pol observada debe ser corregida (Chen, 2000).

1.6.2. **Pureza.**

La pureza del jugo es el factor más crítico que determina el porcentaje de sacarosa en caña, se define como la razón porcentual entre la sacarosa en el jugo y el brix. La pérdida se debe a la disminución del porcentaje de pol, aumento de los azúcares reductores y a la presencia de microorganismos, debidos al envejecimiento de la caña (Datir & Joshi, 2015).

1.6.3. **Azúcares reductores en jugo.**

El análisis de los azúcares reductores, es utilizado como un parámetro para determinar la calidad de la caña que ingresa a un ingenio azucarero. Rein (2012) menciona que los azúcares reductores se refiere y/o se interpreta como azúcares invertidos, usualmente son determinados mediante el método volumétrico Lane and Eynon, el cual utiliza un procedimiento que involucra una titulación para determinar la reducción de una solución de Fehling donde el punto final de la valoración se detecta por cambio de color (Calderón Ambelis, 2014).

Este método también es un análisis aproximado, ya que sustancias como los oligosacáridos serán cuantificados como azúcares reductores (Calderón Ambelis, 2014).

1.6.3.1. **Método de Fehling.**

El método de Fehling se trata de una reacción redox en la que el grupo aldehído (reductor) de los azúcares es oxidado. Tanto los monosacáridos como los disacáridos reductores reaccionan con el Cu^{2+} dando un precipitado rojo de óxido cuproso. La reacción tiene lugar en medio básico por lo que es necesario introducir en la reacción tartrato sódico-potásico para evitar la precipitación del hidróxido cúprico (Calderón Ambelis, 2014; Herrera Zambrano, 2011).

1.6.4. **Sólidos disueltos.**

Rein (2012) menciona, “El contenido de sólidos disueltos totales en una corriente de proceso, se mide en la escala Brix, representando gramos de soluto por 100 gramos de solución”.

1.6.4.1. Grados brix.

Chen (2000) menciona que “los grados brix representan el porcentaje en peso de la sacarosa en una solución de azúcar pura y que se lo acostumbra considerar como: porcentaje de materia sólida, o sólidos disueltos en un líquido de azúcar puro”.

El instrumento para medir los grados brix es el refractómetro, el cual debe ser calibrado y utilizado a una temperatura de 20°C, puesto que el índice de refracción, la longitud de onda y la cantidad de sólidos disueltos varían considerablemente con la temperatura, y cualquier lectura hecha por arriba o por debajo de 20°C debe corregirse (Benítez & Guagalango, 2011) (Zossi et al., 2010).

1.6.5. Humedad.

Es el porcentaje de agua presente en una muestra, la humedad en la caña oscila entre valores de 73 y 76% (Buenaventura Osorio, 1989; Calderón Ambelis, 2014).

1.6.6. Fibra en caña.

La fibra de la caña de azúcar es una mezcla compleja de material insoluble, formado por celulosa, hemicelulosa y lignina, su cantidad en el tallo es variable de acuerdo a su longitud y diámetro, dependiendo de la variedad de la caña, su edad y condiciones de crecimiento, entre otros factores (Rein, 2012). Su valor porcentual en la caña cosechada comercialmente depende, además de las condiciones de trabajo, del tipo de cosecha: caña quemada o sin quemar, verde, etc. (Zossi et al., 2010).

1.6.7. pH.

pH o concentración de iones de hidrógeno (potencial hidrógeno) es la medida de la intensidad de la acidez o alcalinidad (Chen, 2000).

El control del pH en las industrias azucareras es uno de los factores más importantes para conocer la calidad de los jugos, productos intermedios (meladura) y finales (azúcar crudo) (Hernández, Cervantes Beyra, & Silva Oliva, 2016; Cobeña Morán & Loor Chávez, 2016).

1.7. Pérdidas de rendimiento en la caña de azúcar

En los últimos años el aumento de la producción de caña azúcar ha evidenciado la existencia de problemas en la organización, coordinación y control de los distintos procesos

involucrados en la cosecha, transporte y recepción de la materia prima, causando pérdidas significativas en la agroindustria azucarera (Morales Méndez et al., 2010).

Con el propósito de mejorar la calidad de la materia prima, se debe analizar las labores en el campo y la eficiencia en el proceso fabril (Morales Méndez et al., 2010). La primera es importante ya que determina el máximo contenido de azúcar factible a recuperar, incide en la calidad del azúcar y contribuye a reducir los costos. La segunda porque un proceso eficiente, asegura la máxima recuperación industrial del azúcar (Morales Méndez et al., 2010).

Una materia prima de óptima calidad es aquella que se caracteriza por un alto contenido de sacarosa, bajo contenido de materias extrañas, bajo contenido de sustancias solubles no-sacarosa y por un nivel adecuado de fibra, asegurando un máximo rendimiento, el cual, se reconoce al término de su procesamiento industrial por la cantidad de azúcar, que se recupera por tonelada de caña molida, resultando en una mejor eficiencia y rentabilidad, tanto de la fábrica como del productor cañero (Morales Méndez et al., 2010). Un estudio realizado por Salomon (2007) reportó una pérdida de 13 kg de azúcar por tonelada de caña molida.

Solomon (2009) menciona que es necesario el conocimiento de los múltiples factores que inciden en la calidad de la materia prima, los cuales posibilitarán fomentar manejos y sistemas de control en la producción, cosecha, transporte y en la etapa industrial.

La pérdida de sacarosa en la caña de azúcar es un factor determinante dentro de los ingenios azucareros a nivel mundial, debido a que afecta perjudicialmente por diversos motivos intrínsecos y extrínsecos en la caña, generando problemas económicos que causan una enorme depreciación en el tonelaje de caña dentro de estas fábricas, impidiendo así altos rendimientos en el procesamiento industrial con pérdidas significativas (Solomon, 2009; Zepeda Guardado, 2012).

1.8. Deterioro de la calidad en la caña de azúcar

Debido a los constantes problemas generados y a la demanda de azúcar se requiere realizar estudios de las variables más influyentes con la finalidad de minimizar las pérdidas contribuidas por las mismas y aumentar la productividad. Datir & Joshi (2015) mencionan que uno de los principales desafíos que enfrenta la industria azucarera es mantener el menor tiempo posible la caña cortada en el patio de almacenamiento y de esta forma bajar las pérdidas en el contenido de sacarosa del jugo y evitar el deterioro microbiológico. La falta de información con respecto a los procesos a seguir después de la poscosecha de la

caña de azúcar bajo diferentes condiciones agroclimáticas contribuyen a las pérdidas de sacarosa (Solomon, 2009; Rekkuyappan, Shekinah, Gopalasundaram, Mathew, & Asokan, 2009).

La calidad se reconoce en el momento de la molienda por la cantidad de azúcar recuperable o rendimiento que se obtiene por tonelada de caña molida, lo cual depende de las características como: alto contenido de sacarosa, bajo contenido de materiales extraños, bajo contenido de sólidos solubles diferentes de la sacarosa y bajo niveles de fibra, estos indicadores permiten fomentar sistemas adecuados para evitar el excesivo deterioro en la caña de azúcar (Larrahondo, 1995 citado por Morales Méndez et al., 2010).

1.8.1. Factores que afectan el deterioro de la calidad en la caña de azúcar.

El deterioro de la sacarosa en la caña de azúcar en la poscosecha depende de muchos factores, como por ejemplo, la tardanza entre corte y molienda, la variedad, madurez del cultivo, tipo de corte, factores ambientales, contenido de basuras o material extraño, método de cosecha, altura de corte, sistema de transporte y acción de microorganismos, los mismos que se describen a continuación (Bhatia et al., 2009).

1.8.1.1. Tardanza entre corte y molienda.

Luego del corte, la caña de azúcar está sujeta a deterioro, en gran parte debido a la actividad de microorganismos. Esto resulta en pérdidas de azúcar y en la formación de impurezas indeseables. El grado de deterioro es determinado por varios factores, pero en todos los casos el efecto en la recuperación de azúcar y procesamiento de caña es desfavorable. Por lo tanto la tardanza entre cosecha y molienda debe mantenerse al mínimo (Rein, 2012).

1.8.1.2. Variedades de la caña de azúcar.

Generalmente la selección y multiplicación de las variedades de la caña buscan una producción elevada por hectárea y un alto contenido de sacarosa. Existen algunas diferencias significativas entre variedades, las cuales son generalmente elegidas para satisfacer las condiciones agronómicas por ejemplo irrigación o lluvia, maduración temprana, tipo de suelo, duración del periodo de crecimiento y el sistema de cosecha (Rein, 2012).

Con el tiempo las variedades más populares que se cultivan en un área particular sufren cambios. Las diferencias en la composición del jugo entre diferentes variedades no son suficientemente grandes o previsibles como para efectuar ajustes en el procesamiento

según la variedad. Sin embargo la dureza de la caña y la disposición de la fibra varían de una variedad de la caña a la otra, lo que puede afectar su comportamiento en la planta de extracción. Las diferencias en componentes no-sacarosas son normalmente influenciadas en gran parte por la variedad de la caña (Rein, 2012). Estudio realizado por Castillo Morán et al. (2015) reportan para la variedad de RD 7511 cantidades de sacarosa de 21.665% y para la variedad de Mex 69-290 cantidades de sacarosa de 19.308% en caña cortada en verde.

1.8.1.3. Madurez del cultivo (edad)

Uno de los elementos agroindustriales que afecta la calidad de la caña, cuando se cosecha según la edad, es el desfase, donde la caña cosechada no ha llegado a su madurez o se ha sobrepasado el momento de su madurez óptima, afectando la composición del jugo en cuanto a su calidad: menos contenido de pol mayor contenido de azúcares reductores, así como la elevación del contenido de cenizas y un incremento en la fibra (Delgado Mora et al., 2016). En caso de que la caña esta inmadura al inicio de la zafra, se puede esperar que la sacarosa y la pureza del jugo sean bajos y que el contenido de azúcares reductores sea alto. A medida que la zafra transcurre y la caña madura, la sacarosa y la pureza se incrementan. En este momento alcanza la mejor recuperación de sacarosa dado que el contenido de no-sacarosas es bajo (Rein, 2012).

Variedades comerciales de caña como Mzc 74-275 y Mex 52-29 han mostraron buena maduración entre 12 y 15 meses mientras que otras como Pr 61-632 han sido más tardías, alcanzando su máximo valor de azúcar recuperable a los 18 meses de edad (Larrahondo, 1995 citado por Morales Méndez et al., 2010).

1.8.1.4. Tipo de corte.

En las empresas procesadora de caña de azúcar, existen dos tipos de corte: verde y quemada, la primera es cortada sin ningún tratamiento previo mientras que la caña quemada es sometida a fuego durante un período de 2 a 3 horas. El deterioro en la caña quemada comienza a partir del momento de la quema, pues generalmente el calor del fuego resquebraja la corteza y expone parte del jugo. En caña verde este comienza en el momento del corte y ocurre únicamente en las puntas cortadas de la caña, obteniendo pérdidas menores en el rendimiento de sacarosa (Rein, 2012).

Un estudio realizado en México para la valorización del efecto de corte sobre variedades de Mex 69-290, RD 75-11 y Mex 79-431 demostraron que el deterioro de la caña quemada de azúcar es más visible a partir de las 24 horas después del corte, los tres cultivares inician

con la disminución de pol, e incremento de azúcares reductores, por lo que se deben procesar estas cañas dentro de este periodo de tiempo en condiciones ambientales favorables (Aucatoma et al., 2015).

1.8.1.5. Factores ambientales.

En áreas donde la caña es cultivada utilizando irrigación y el abastecimiento de agua está asegurada la composición de la caña generalmente varía poco de una temporada a la siguiente. Sin embargo, en áreas dependientes de la lluvia, la producción y la composición pueden ser fuertemente afectadas por variaciones en la precipitación. La longitud del entrenudo es generalmente una función de la velocidad de crecimiento. En periodos de sequía, la longitud de los entrenudos se reduce y como resultado el contenido de fibra se incrementa. Esto resulta en un menor contenido de sacarosa, menor pureza del jugo y aumento de color en el jugo (Rein, 2012).

1.8.1.6. Contenido de basuras o material extraño

Las hojas y cogollos son considerados como materia extraña, pero también es todo lo demás que sea entregado con la caña incluyendo suelo del campo, suciedad, rocas y pedazos de hierro, estos materiales todos perjudiciales (Rein, 2012). La fábrica disminuye el contenido de sacarosa con esta clase de materiales, por efecto de dilución, además éstos contienen compuestos químicos que afectan la recuperación de la sacarosa y la calidad de los jugos en fábrica (fenoles, almidones, clorofilas, etc.). Se estima que la presencia de 1% de cogollos u hojas en la materia prima produce un incremento de color de 4 y 15%, respectivamente en el proceso fabril del azúcar (Aucatoma et al., 2015).

1.8.1.7. Método de cosecha

La cosecha de la caña se realiza manualmente o con máquinas cosechadoras, en muchos países con bajos costos de mano de obra, es aún más económico cosechar la caña manualmente. En casos donde la topografía incluye terrenos inclinados y montañosos, la cosecha mecánica no es viable porque las máquinas cosechadoras no pueden ser usadas en este tipo de terrenos. En la mayoría de casos, el corte manual conduce a menos pérdidas en el campo y mejor calidad de caña que la cosecha mecánica. Con la manual las hojas y los cogollos pueden ser removidos antes de apilar la caña conduciendo a una mejor calidad con menos limitaciones respecto a las condiciones del campo, pero es cada vez menos común (Rein, 2012). Por su lado Larrahondo 1995 citado por Morales Méndez et al., 2010 menciona que cuando el corte es mecánico el deterioro incrementa debido a las infecciones de origen bacteriano en los tallos por la entrada de microorganismos a la planta como

resultado de las operaciones, especialmente cuando las cuchillas de las cosechadoras no estaban bien alineadas ni afiladas.

1.8.1.8. Altura de corte

En los estudios sobre la altura óptima de corte, en caña se ha encontrado que al avanzar el periodo vegetativo la planta alcanza su maduración cerca al punto natural de quiebre: en algunas variedades comerciales como CP 57-603, el mejor punto de corte esta alrededor de los entrenudos 3 y 4 numerados de arriba hacia abajo desde dicho punto. Por lo tanto, si se desea alcanzar la máxima calidad y el mayor rendimiento, el material que se debe descartar en el campo al momento del corte debe medir entre 55 y 70 cm, ya que el promedio de la longitud de un entrenudo es de 10 cm y la longitud de los cogollos varía entre 25 y 30 cm (Larrahondo, 1995 citado por Morales Méndez et al., 2010).

1.8.1.9. Sistema de transporte.

El sistema de transporte de caña comprende: hombres, bueyes, camellos, automóviles altamente mecanizados, ferrocarril, entre otros, este es un factor importante que gobierna la calidad de la caña cosechada. El factor tiempo durante el transporte, las condiciones de almacenamiento, el grado de daño del equipo de carga, el tamaño y la forma de los contenedores de transporte son elementos importantes en la regulación de la calidad de la caña. El transporte de caña fresca en pequeños contenedores de almacenamiento es menos propenso al deterioro, mientras que cargadores de agarre, cadenas, eslingas, rastrillos, etc. pueden mutilar la caña que se agrava por el lodo y la alta temperatura, es probable que estos bastones desarrollen una población masiva de *Leuconostoc*, especialmente si se deja por un tiempo más largo (Solomon, 2009).

1.8.1.10. Plagas y enfermedades.

Dependiendo del tipo de deterioro que ocasionan las plagas y enfermedades puede haber una afectación tanto en el peso de la caña como en la calidad de los jugos. Una de las plagas más perjudiciales es el grupo de los insectos barrenadores, representados por *Diatraea saccharalis*, *Metamasius hemipterus* y *Telchin licus*. Los insectos barrenadores, a más del daño directo (galerías en el tallo), ayudan a la entrada de otros microorganismos que causan la pudrición roja (*Fusarium* y *Colletotrichum*), disminuyendo la pureza y el rendimiento de azúcar (Aucatoma et al., 2015).

1.8.1.11. Aspectos microbiológicos.

Los agentes microbiológicos, en especial las bacterias como *Leuconostoc mesenteroides* y *L. Dextranicum*, afectan la calidad de los jugos después del corte de la caña. Estas bacterias dan origen a polisacáridos como las dextranas utilizando la sacarosa como materia prima, y contribuyen así, a la pérdida de esta última. Chen (2000) explican que las bacterias del género *Leuconostoc*, mismas que se encuentran en casi todos los suelos, invaden los tejidos internos expuestos del tallo, sea cual fuere la causa. El daño causado por el fuego, el corte, el viento, las enfermedades y los insectos, además de los daños mecánicos, son causa de heridas en los tallos que permiten la entrada de *Leuconostoc* y propician la formación de dextranas. El intervalo de tiempo entre el corte y la molienda es el periodo en el que los niveles de dextrana alcanzan sus valores más altos, la reducción al mínimo constituye la medida más efectiva y practica de controlar la formación de dextranas.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. **Objetivo General**

- Estudiar los factores responsables de las pérdidas del rendimiento de sacarosa en los patios de almacenamiento de una empresa procesadora de caña de azúcar.

2.2. **Objetivos específicos**

- Determinar la influencia que tiene el tiempo de espera de las cañas en campo sobre las pérdidas de sacarosa.
- Determinar las pérdidas de sacarosa que se dan en función del tiempo de almacenamiento en el patio de una empresa procesadora de caña de azúcar.
- Evaluación de las pérdidas de rendimiento de la caña de azúcar por influencia en el almacenamiento en patios.

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

Las muestras fueron entregadas por una empresa procesadora de caña de azúcar del Cantón Catamayo, Provincia de Loja, y correspondieron a seis canteros (lugar o zona en donde se cosecha la caña de azúcar) los cuales se representan con sus respectivos códigos en la **Figura 2**.

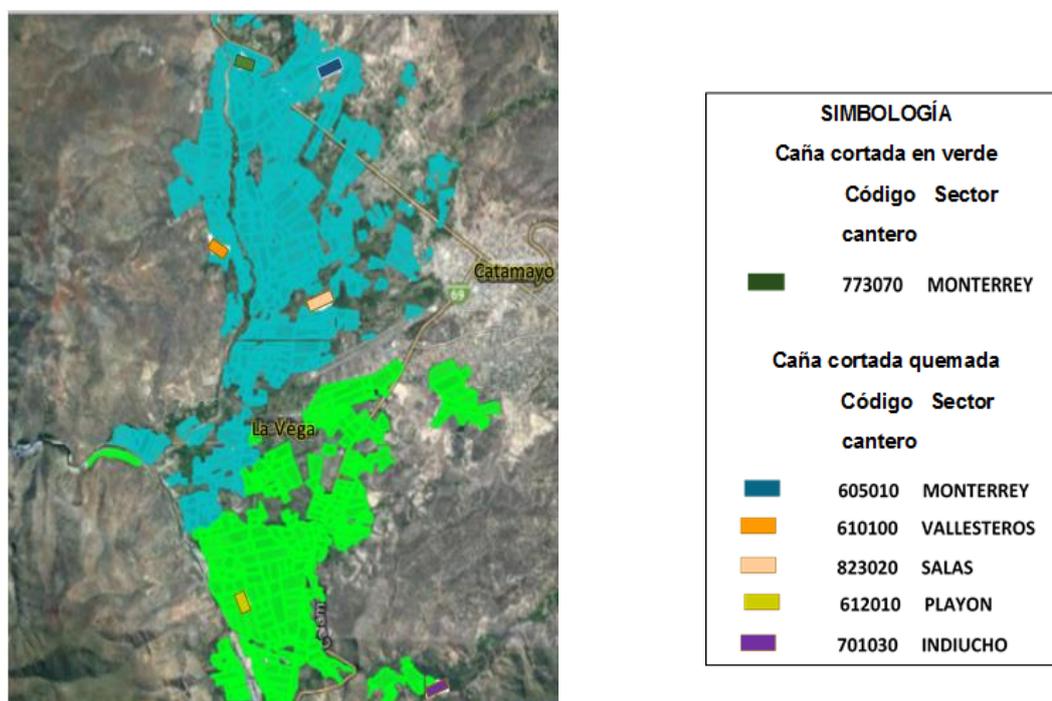


Figura 2. Lugares de procedencia de las muestras de caña de azúcar.

Fuente y **Elaboración:** Las autoras

3.2. Materia prima

3.2.1. Caña de azúcar.

El presente trabajo utilizó caña de azúcar (*Sacharum officinarum L.*) de la variedad PR 61-632 (Originaria de Puerto Rico).

La experimentación se realizó a partir de los meses de diciembre 2016 a enero 2017 (temporada de invierno).

3.2.2. Edad del cultivo.

Fue establecida mediante la planificación de cosecha realizada por la empresa procesadora de caña de azúcar. Se consideró edades de 13 a 18 meses.

3.2.3. Datos meteorológicos.

Se llevó un registro de la humedad relativa, temperatura ambiental media, radiación solar y horas luz, durante el período que implicó la evaluación del estudio, para lo cual se utilizó un equipo digital DAVIS VANTAGE PRO2, previamente calibrado.

3.3. Obtención de línea base.

El estudio empezó determinando la línea base, para lo cual se midieron las características físicas y químicas de la caña recién cortada. Este resultado nos permitió establecer los cambios fisicoquímicos de la caña con diferentes tiempos de espera en campo (3 a 46 horas) y de almacenamiento en patio (6 a 24 horas).

3.4. Muestreo de la caña

Las muestras estuvieron conformadas por 30 cañas de cada cantero que fueron recolectadas en forma aleatoria en diferentes puntos y 30 cañas para el patio de almacenamiento.

3.5. Métodos de análisis

Los métodos de análisis y el procedimiento para la preparación de las muestras de caña se basaron en la metodología descrita en el “Manual de Laboratorio para la Industria Azucarera” de (Buenaventura, 1989), por ser específicos para las empresas de este tipo.

3.5.1. Preparación de la caña para los análisis químicos.

Las 30 cañas recolectadas se dividieron en tres partes (10 cañas cada una), de las cuales se tomaron 2 kg, se picó, desfibró (trituration en pequeñas fibrillas) y homogenizó, para luego pesar 500 g junto con 1500 g de agua destilada, llevando a un desintegrador por 30 minutos. Posterior a lo cual se realizó un filtrado a través de un lienzo para obtener el jugo que permitió realizar los análisis químicos que se describen a continuación (Buenaventura, 1989).

3.5.2. Determinación de sacarosa.

Para evaluar el contenido de sacarosa se utilizó un polarímetro digital NIR-W2 con una longitud de onda entre 540 a 590 nanómetros en un tubo de 200mm, previamente calibrado, se tomaron en un frasco aproximadamente 100 ml del jugo extraído, se añadió 5 g de octapol (sal de plomo pulverizado), para la clarificación, se tapó y agitó el frasco,

seguidamente se filtró el extracto para proceder a realizar su medida, el equipo presenta la pol de la muestra (Buenaventura, 1989).

$$\% \text{ Sacarosa} = S [Fd - (0,0125 \times F)] \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

S: % sacarosa del extracto

Fd: factor de dilución

F: % fibra en caña (véase el ítem 3.4.8)

3.5.3. Determinación del rendimiento de azúcar comercial.

Se estimó según lo descrito por San Antonio de los Caballeros (2012), los resultados se expresaron en quintales por 150 toneladas de caña molida.

3.5.4. Determinación del coeficiente de pureza.

La determinación se ejecutó mediante la relación porcentual entre el porcentaje de sacarosa y porcentaje de sólidos disueltos (véase el ítem 3.4.6) (Buenaventura, 1989).

$$\% \text{ Pureza} = \frac{\% \text{ Sacarosa del extracto}}{\% \text{ sólidos disueltos en caña}} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

3.5.5. Determinación de azúcares reductores.

Se usó el método de Lane y Eynon, el cual consistió en llenar la bureta con la muestra de jugo previamente homogenizada, luego se preparó la solución de Fehling en un erlenmeyer de 250 ml, para lo cual se mezclaron 5ml de Fehling A (tartrato de sodio y potasio) más 5ml de Fehling B (sulfato de cobre), se adicionó al erlenmeyer aproximadamente 40 ml de muestra a la solución de Fehling y se sometió a ebullición durante dos minutos, posteriormente se agregó cuatro a cinco gotas de azul de metileno como indicador; la solución presentó una coloración azul, y la titulación se completó por adición de jugo gota a gota hasta que el color azul desapareció por completo, este proceso debe terminar en un tiempo menor a 3 minutos y durante este tiempo la muestra debe permanecer a ebullición con una agitación constante. Los azúcares reductores en la muestra de jugo de caña de azúcar se obtuvieron mediante el valor de la tabla del porcentaje de sustancias reductoras (véase anexo A) que está en función del volumen de su titulación, multiplicando el valor por el factor de dilución, en este caso 4 (Buenaventura Osorio, 1989).

3.5.6. Determinación de sólidos disueltos (°Brix).

Se determinó la cantidad de sólidos disueltos (°Brix), utilizando un refractómetro digital DUR-SW previamente calibrado. Se colocaron unas gotas del jugo extraído de caña sobre el prisma para posteriormente realizar su lectura, el equipo representa el valor del grado brix refractométrico del extracto (Buenaventura, 1989). El porcentaje de sólidos disueltos se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Sólidos disueltos} = b (Fd - 0.0125F) \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

b: brix refractométrico del extracto

Fd: factor de dilución

F: % fibra en caña

3.5.7. Determinación de humedad.

El análisis se basó en la evaporación del agua contenida en la caña mediante calor. Se pesaron 100 gramos de muestra en un recipiente de aluminio previamente secado y se colocó en la estufa de circulación de aire caliente a 125 ± 5 °C. La muestra se pesó después de cuatro horas, realizando un control cada 30 minutos hasta alcanzar un peso constante con diferencia no mayor a 0.1 gramos. Los resultados se obtuvieron por la variación de peso de la muestra, producida por la pérdida de agua (Buenaventura, 1989).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(M_2 - M_3)}{(M_2 - M_1)} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

M₁: peso (g) del recipiente

M₂: peso (g) de la muestra más recipiente

M₃: peso final (g) de la muestra más recipiente

3.5.8. Determinación de fibra.

La determinación de fibra de caña es por relación inversamente proporcional con el contenido de humedad, los resultados se expresaron en porcentaje usando la siguiente ecuación (Buenaventura, 1989).

$$\% \text{ Fibra} = \frac{[(100-H) - (Fd \times b)]}{[1-(0.0125 \times b)]} \times 100$$

Ecuación 5

Dónde:

H: %humedad en caña

Fd: factor de dilución

b: brix refractométrico del extracto

3.5.9. Determinación de pH.

Para el análisis de pH se tomaron aproximadamente 100 ml del jugo extraído y se midió en el pH-metro digital SEVEN EASY, previamente calibrado (Buenaventura, 1989).

3.6. Metodología experimental

3.6.1. Cambios físicos y químicos en la caña durante su espera en campo.

Para realizar esta parte se consideró la planificación de cosecha que la empresa procesadora de caña de azúcar tiene establecida por mes, tomando en cuenta los tiempos poscosecha que habitualmente usa la empresa en la espera en campo.

3.6.2. Cambios físicos y químicos en caña almacenada en patios.

La finalidad de este estudio fue evaluar los cambios durante el tiempo de almacenamiento en patio de la empresa procesadora de caña de azúcar, para lo cual se tomaron muestras cada seis horas hasta un tiempo máximo de 24 horas, almacenando las cañas como lo hace la empresa normalmente.

3.6.3. Variables de estudio.

3.6.3.1. Tipo de corte.

Se estableció junto con la empresa que los tipos de corte para el estudio son verdes (sin ningún tipo de tratamiento previo) y quemada (sometida a fuego durante un período de 2 a 3 horas).

3.6.3.2. Espera de la caña en campo.

Se consideraron los tiempos que la empresa normalmente espera en campo desde el corte de la caña hasta su alce, lo que correspondía a una espera máxima entre uno a dos días, dependiendo de la disponibilidad de la caña en fábrica.

3.6.3.3. Tiempo de almacenamiento en patio.

Para este estudio se tomaron muestras de caña en las horas 0, 6, 12, 18, y 24, realizando este muestreo tanto a caña quemada como en verde.

3.7. Análisis estadístico

Se aplicó un ANOVA unidireccional utilizando una comparación de rangos múltiples de Tukey con un nivel de confianza del 95%. Todo esto se hizo con la ayuda del programa estadístico Minitab 17. Las variables de respuesta estudiadas fueron: sacarosa, rendimiento, coeficiente de pureza, azúcares reductores, sólidos disueltos, humedad y fibra.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cambios poscosecha de la caña durante la espera en campo.

4.1.1. Contenido de sacarosa.

Los canteros codificados con los N° 612010 y 610100 (caña quemada), fueron estadísticamente iguales y presentaron contenidos altos de sacarosa, resultados relativamente bajos si se los compara con los valores registrados por El-Maghraby et al. (2009) y Castillo Morán et al. (2015) los cuales obtuvieron cantidades de sacarosa de 19.623% en caña verde y 21.665% en caña quemada, esto podría atribuirse a varios factores entre los cuales está: la **edad** de la cosecha, ya que si la caña no ha llegado a su madurez al inicio de la zafra se puede esperar que el contenido de sacarosa y pureza en el jugo sean bajos y que por el contrario el contenido de azúcares reductores sea alto. Hay que considerar que a medida que la zafra transcurre y la caña madura, la sacarosa y la pureza se incrementan, es decir mejora la recuperación dado que el contenido de azúcares reductores es bajo (Rein, 2012). Otro de los factores que pueden influir en las pérdidas de sacarosa es la **variedad** usada en la zona, debido a características tales como: la disposición de la fibra, temperatura ambiente, humedad, morfología de los tallos, período de almacenamiento, actividades de invertasas solubles en la caña, madurez y prácticas de manejo en lo posterior (riego, nutrición de la planta, edad y altura de corte, grado de quema, etc.) las cuales afectan respectivamente a la recuperación del azúcar (Solomon, 2009).

Por otro lado, en el período poscosecha, el porcentaje en pérdidas de sacarosa en caña quemada y verde varían, diferencia que se podría atribuir al tiempo de espera en campo, estos porcentajes se consideran altos si se los compara con los estudios realizados por, El-Maghraby et al. (2009) en los cuales se reporta una pérdida en el contenido de sacarosa del 0.913% en dos días en campo, mientras que Castillo Morán et al. (2015) obtiene un porcentaje de 0.8175% a las 36 horas. Larrahondo 1995 citado por Morales Méndez et al., 2010 menciona que el deterioro del contenido en sacarosa comienza casi inmediatamente después del corte, siendo mayor a medida que aumenta el tiempo de traslado a la planta de extracción, y generando así un incremento en la tasa de inversión, debido a la creciente actividad de las enzimas de degradación y a una mayor tasa de respiración con el aumento en el período de poscosecha (El-Maghraby et al., 2009). Otro factor que afecta a la sacarosa después del corte de la caña, son los agentes microbiológicos, en especial las bacterias como *Leuconostoc mesenteroides* y *L. Dextranicum*, estos microorganismos dan origen a polisacáridos como las dextranas utilizando la sacarosa como materia prima contribuyendo así, a la pérdida de esta última (Larrahondo, 1995 citado por Morales Méndez et al., 2010).

En el caso de caña cortada en verde (no quemada), el único cantero que se incluyó en esta investigación presenta un porcentaje de sacarosa bajo (caña recién cortada), siendo este porcentaje menor en comparación con la tipo quemada. Castillo Morán et al. (2015) y Rein (2012) mencionan que las pérdidas de sacarosa comienza a partir del momento de la quema, pues generalmente el calor del fuego resquebraja la corteza y expone parte del jugo, mientras que en la caña sin quemar, el deterioro comienza en el momento del corte y este ocurre únicamente en las puntas cortadas de la caña en verde teniendo como consecuencia menores pérdidas de sacarosa.

4.1.2. Rendimiento de azúcar.

La calidad de la caña está dada por la cantidad de azúcar recuperable, es decir, el rendimiento que se obtiene de sacarosa por tonelada de caña molida. Por lo tanto, las mayores pérdidas en rendimiento de azúcar envasada se dieron con caña proveniente del cantero 823020, seguido por el 605010 y el 612010, así mismo la menor pérdida de sacarosa reportada fue en el cantero 610100 de caña quemada. En el caso de caña en verde se obtuvo una pérdida menor, según el estudio realizado por Salomon (2007) reportó una pérdida del 5.72% correspondiente a 19.5qq por 150 toneladas de caña (13 kg de azúcar envasada por tonelada de caña cortada molida), por lo que se puede concluir que las pérdidas de rendimiento varían en función del tiempo de espera en campo.

4.1.3. Contenido de pureza.

Los datos revelan que no existen diferencias estadísticas, los canteros como el 773070 (caña verde) y 610100 (caña quemada) presentan respectivamente los mayores porcentaje de pureza, mediante estudios realizados por Rekkuyappan et al. (2009) se presentó un máximo en el porcentaje de pureza del 88.0% en caña verde, valores bajos si los comparamos con los obtenidos en esta investigación y que se debe posiblemente a factores como la **variedad** usada en la zona y la **edad** en que se dio el corte respectivamente.

Los valores obtenidos durante el periodo de poscosecha expresan que la pureza se redujo significativamente en todos los canteros que cosecharon caña quemada, diferencias que se podrían atribuir al tiempo de espera en campo, cuyos porcentajes más altos en las pérdidas de pureza se obtuvieron en los códigos 8230300 y el 612010, en una investigación realizada por Rekkuyappan et al. (2009) reportaron pérdidas de pureza del 4.0% en un período de 72 horas, estos resultados demuestran que la demora para el procesamiento de la caña disminuye el porcentaje de pureza, indicando que existe un contenido menor de sacarosa en los sólidos solubles del jugo. Inicialmente la enzima invertasa, que se da en

forma natural en la caña se activa después de la cosecha, especialmente cuando la temperatura ambiente es elevada, grandes cantidades de invertasas se liberan, convirtiendo la sacarosa en azúcares reductores, reduciendo así significativamente la pureza (Morales Méndez et al., 2010).

El cantero de caña verde (773070) tuvo una pérdida de pureza estadísticamente menor que los presentados en los canteros de caña quemada 605010, 612010 y 823020, lo que podría atribuirse al deterioro que sufre la caña a partir del momento de la quema.

4.1.4. Contenido de azúcares reductores.

Los canteros 823020 y 605010 (caña quemada) presentaron contenidos de azúcares reductores significativamente mayores, valores menores a los reportados por El-Maghraby et al. (2009) y Castillo Morán et al. (2015) los cuales obtuvieron porcentajes de 0.460% en verde con la variedad G 99-103 y 0.537% en quemada con la variedad Mex 79-431, debido posiblemente a la variedad usada en la zona y/o a los factores ambientales en los que se realizó dicha investigación.

Los datos revelan que los azúcares reductores en todos los canteros, excepto en el 612010, aumentan estadísticamente con el período de poscosecha en caña quemada y verde, esto posiblemente es una consecuencia del tiempo que la caña espera en campo antes de ser trasladada a la empresa. Los canteros en los que se registraron los niveles más altos de azúcares reductores fueron los identificados con los códigos 823020 y 605010 en caña quemada respectivamente, estudios realizados por El-Maghraby et al. (2009) y Castillo Morán et al. (2015) reportaron que en dos días de permanencia en campo existe un aumento de azúcares reductores del 0.04% en caña verde y de 0.1% en caña quemada lo que podría atribuirse a las actividades mejoradas de las invertasas debidas al envejecimiento de la caña durante el tiempo en campo (Lontom, Kosittrakun, & Lingle, 2008; Verma, Singh, Agarwal; Solomon, 2012), como también a enzimas hidrolíticas y a la acción de microorganismos que convierte la sacarosa en azúcares reductores y dextranas (Solomon, 2009).

En la caña cortada en verde, un aspecto a destacar es a que pesar de que se observó un aumento significativo de azúcares reductores, está muy por debajo de lo que se registró para los canteros de caña quemada, siendo este valor comparable con los códigos 610100, 701030 y 612010 que tuvieron tiempos de espera en campo más corto, Castillo et al. (2015) mencionan que el tipo de cosecha de caña quemada también implica un aumento en los azúcares reductores, lo cual se demostró en un estudio realizado con la variedad Ragnar,

caña quemada y corte manual, que hay un incremento de 0.7% al momento del corte hasta 1.5% a las 84 horas después del corte, lo que podría atribuirse al deterioro que sufre la caña a partir del momento de la quema.

4.1.5. Contenido de sólidos disueltos totales, humedad y fibra.

Los resultados sobre el nivel de sólidos disueltos en caña recién cortada, alcanzaron el valor máximo en el cantero 612010 correspondiente a caña quemada, es importante destacarlo debido a que presentó un alto contenido de humedad, obteniendo una mínima deshidratación y una menor cantidad de fibra si se compara con los demás canteros de caña quemada, lo que explicaría un mayor rendimiento de sacarosa, además los canteros 605010, 610100 y 823020 (caña quemada) no presentan diferencia estadística en sólidos disueltos pero sí menores porcentajes de humedad y mayores porcentajes en fibra comparados con el cantero discutido anteriormente.

Los valores demuestran que existe un cambio de sólidos disueltos en caña quemada, obteniendo el mayor aumento en el cantero 612010 lo que representa una mayor pérdida de humedad y un aumento en fibra, esto posiblemente a consecuencia de la deshidratación que se da por el tiempo que la caña cosechada espera en campo previa a ser trasladada a la empresa. Además, los canteros cuya caña permaneció en campo menor tiempo luego de la cosecha, como era de esperarse presentaron un mínimo aumento en sólidos disueltos que se refleja en una menor pérdida de humedad y un menor aumento de fibra, el estudio realizado por el Castillo Morán et al. (2015) reportó para caña quemada un aumento en sólidos disueltos de 0.50% en 24 horas poscosecha con la variedad Mex 79-431, lo que según Morales Méndez et al. (2010) menciona que podría atribuirse al tiempo de espera en campo y la pérdida de peso que experimenta la caña por deshidratación respecto a las condiciones ambientales.

En el caso del cantero 773070 correspondiente a caña verde presentó una significativamente menor cantidad de sólidos disueltos poscosecha, resultados que están por debajo de lo reportado por El-Maghraby et al. (2009) los cuales obtuvieron valores de sólidos disueltos de 20.04% con la variedad G84-47, lo que se puede atribuir posiblemente a la variedad de la caña y/o a los factores ambientales de las zonas de cosecha de la caña de azúcar. Así mismo, al analizar el cantero de caña verde se puede observar que la sacarosa se constituye en el principal componente de los sólidos disueltos, presentando mayor humedad y menor cantidad de fibra si se lo compara con los canteros evaluados de caña quemada, lo que coincide con lo reportado por Chen (2000) quien menciona que el contenido de humedad en caña de azúcar cortada en verde varía entre 73 a 76% y en fibra

de 11 a 16%, pero si estos valores se comparan con los canteros de caña quemada todos ellos están por debajo del rango, esto probablemente se dio al fuego dando lugar a su deshidratación y este fenómeno explica lo que sucedió en caña quemada.

Además, en la caña verde, se obtuvo un aumento de sólidos disueltos, pérdidas humedad y aumento en fibra, considerando el tiempo de espera en campo, estos porcentajes son bajos debido que la caña no sufrió grandes cambios físicos en su estructura, valores menores que los reportados por Rakkiyappan et al. (2009) quienes indican una pérdida de humedad de 5.60% en 48 horas de espera en campo.

4.2. Cambios poscosecha de la caña almacenada en patios.

En la siguiente sección se indican los cambios de los parámetros fisicoquímicos que se dan en el control de la calidad del jugo de caña de azúcar en un patio de almacenamiento por 24 horas previo al proceso.

4.2.1. Contenido de sacarosa.

En la **figura 3**, se puede observar el comportamiento de la sacarosa en función del tiempo que permanece la caña cortada en el patio de almacenamiento, pudiéndose notar que en la mayoría de los canteros existen pérdidas significativas en el contenido de sacarosa del jugo a partir de las 6 horas hasta el límite de las 24 horas del estudio, mientras que el cantero 773070 (caña verde) presentó cambios significativos.

Así mismo, en la **figura 4** se observa que los canteros de código 610100 y 612010 correspondientes a caña quemada mostraron una pérdida de sacarosa significativamente mayor respecto a su origen y a otros canteros, pérdidas relativamente altas si se las comparan con los obtenidos por Castillo Morán et al. (2015) quienes reportan para la variedad de Mex 79-431 pérdidas de 1.03% en caña quemada almacenada por 24 horas. De acuerdo a Solomon (2009) y Larrahondo (1995), estos resultados podrían atribuirse a que al aumentar el período de almacenamiento de caña en la pos cosecha (campo y patio) mayor es la tasa de inversión de sacarosa debido al desfase temporal entre recolección y molienda, temperaturas elevadas, mayor tasa de respiración, presencia de bacterias como *Leuconostoc* sp. (*L. mesenteroides* y *L. Dextranicum*) en los tallos que están dañados o cortados dando origen a polisacáridos como las dextranas, utilizando la sacarosa como materia prima. Colonizan el tejido dañado y reducen el contenido de sacarosa, pureza y pH, dando lugar a pérdidas en el rendimiento de azúcar en el proceso fabril.

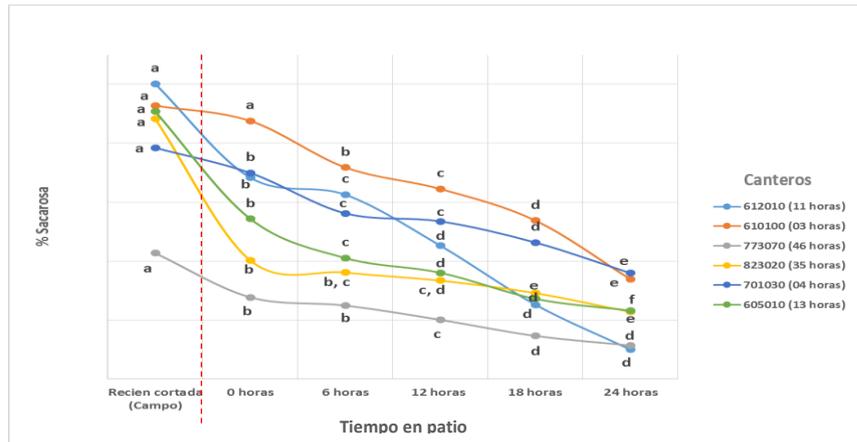


Figura 3. Curvas de la evolución del porcentaje de sacarosa en función del tiempo de almacenamiento.

Fuente: Las autoras

Elaboración: Las autoras

Valores promedio de un mismo cantero seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (tukey, $P < 0.05$)

Por otro lado, en caña verde (773070) las pérdidas de sacarosa en el patio de almacenamiento son significativamente menores si se las compara con el resto de los canteros evaluados. Estudios realizados por Castillo Morán et al. (2015) indican que la caña cortada en verde es menos susceptible al pos deterioro dándose las pérdidas de sacarosa en el momento del corte ya que ocurre únicamente en las puntas cortadas de la caña.

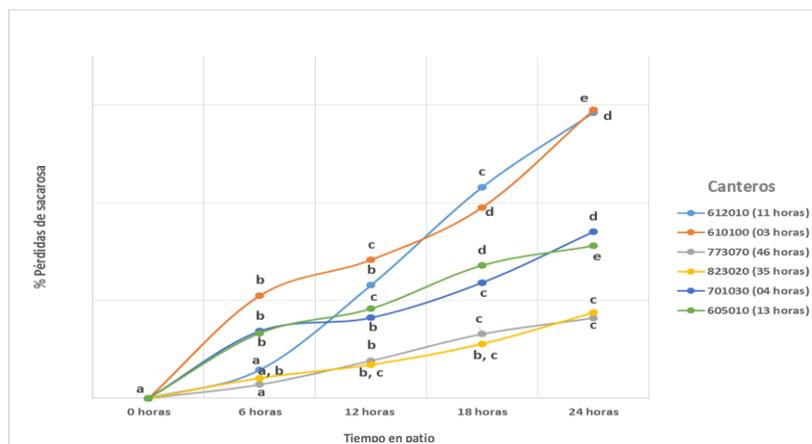


Figura 4. Curvas de la evolución de las pérdidas de sacarosa en función tiempo de almacenamiento.

Fuente: Las autoras

Elaboración: Las autoras

Valores promedio de un mismo cantero seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (tukey, $P < 0.05$)

4.2.2. Rendimiento de azúcar.

En la **figura 5**, se muestra la relación de las pérdidas en quintales del azúcar cristalizada por 150 toneladas de caña en función del tiempo que permanece la caña cortada en el patio de almacenamiento e indica que en un período de 24 horas las mayores pérdidas de sacarosa se presentaron en el cantero 612010 seguido por el cantero 610100.

Por otro lado, en la caña de azúcar cortada en verde, no representa una pérdida mayor si se lo compara con los canteros de caña quemada. Estudios reportados por Zossi et al. (2010) mencionan que las pérdidas en 24 horas de almacenamiento de caña cortada en verde para la variedad LCP 85-384 son del 52.27% correspondiente a 178.2qq por 150 toneladas de caña (11.88 kg de azúcar envasada por cada 100 kilogramos de caña cortada en verde).

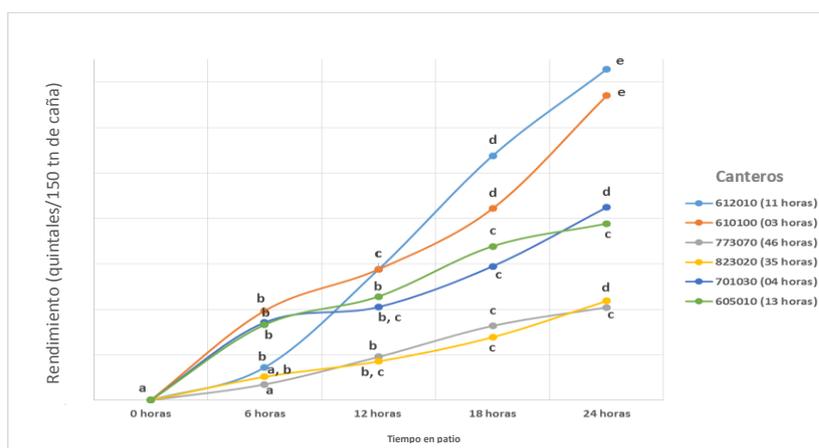


Figura 5. Curvas de la evolución de las pérdidas de rendimiento de azúcar en función del tiempo de almacenamiento.

Fuente: Las autoras

Elaboración: Las autoras

Valores promedio de un mismo cantero seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (tukey, $P < 0.05$)

4.2.3. Contenido de pureza.

En la **figura 6**, se puede notar que la pureza va disminuyendo a medida que la caña cortada permanece en el patio de almacenamiento e indica que su contenido en jugo es significativamente menor en todos los canteros evaluados a partir de las 6 horas.

Además, los resultados que se registran en la **figura 7** indican que los canteros 612010 y 610100 referente a caña quemada presentaron una pérdida estadísticamente mayor respecto a su origen (0 horas) y al resto de canteros evaluados durante el período de almacenamiento. Por su parte la caña cortada en verde (véase figura 7), resultados relativamente altos si se los compara con lo obtenido por Morales Méndez et al. (2010)

quienes mencionan que “por cada día de retraso en la molienda se estima una pérdida equivalente a 2.16% de pureza”, la disminución de este parámetro podría deberse posiblemente al retraso en el procesamiento de la caña, indicando que existe un contenido

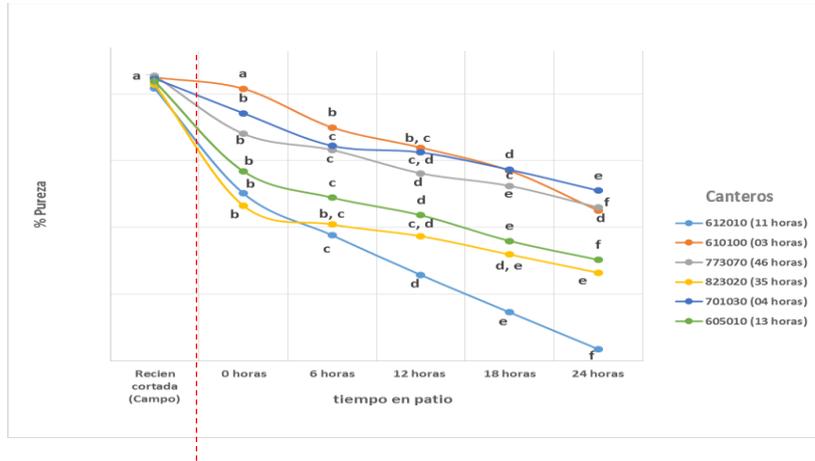


Figura 6. Curvas de la evolución del porcentaje de pureza en función del tiempo de almacenamiento.

Fuente: Las autoras

Elaboración: Las autoras

Valores promedio de un mismo cantero seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (tukey, $P < 0.05$)

menor de sacarosa en los sólidos solubles del jugo, muy posiblemente debido a que enzima invertasa se activa cuando la temperatura ambiente es elevada, convirtiendo la sacarosa en azúcares reductores y reduciendo significativamente el contenido de pureza (Datir & Joshi, 2015; Morales Méndez et al., 2010).

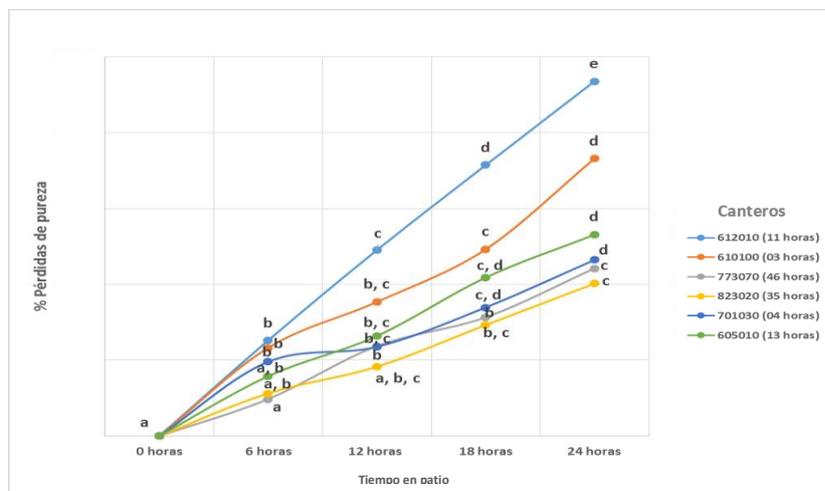


Figura 7. Curvas de la evolución de las pérdidas de pureza en función del tiempo de almacenamiento.

Fuente: Las autoras

Elaboración: Las autoras

Valores promedio de un mismo cantero seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (tukey, $P < 0.05$)

4.2.4. Contenido de azúcares reductores.

En la **figura 8**, se puede apreciar que existen dos grupos claramente diferenciados en función de su contenido de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento, lo cual se puede explicar debido a que los canteros 823020 y 605010 son dos de los canteros que mayor tiempo espera en campo y que presentan una mayor cantidad de reductores desde su cosecha en campo hasta el inicio de espera en el patio de almacenamiento, resultados que están por debajo de lo reportado por Rekkiyappan et al. (2009) los cuales obtuvieron 0.62% de azúcares reductores.

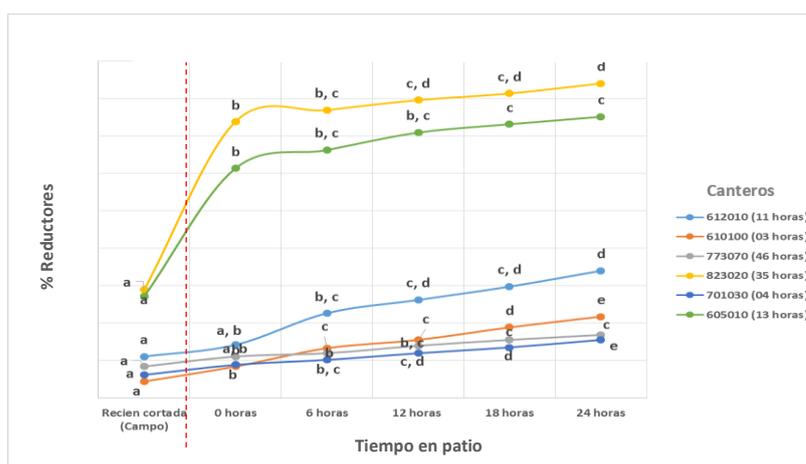


Figura 8. Curvas de la evolución del porcentaje de reductores en función del tiempo de almacenamiento.

Fuente: Las autoras

Elaboración: Las autoras

Valores promedio de un mismo cantero seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (tukey, $P < 0.05$)

Por su parte, en la **figura 9** se observa que el cantero 612010 correspondiente a caña quemada, revela que los azúcares reductores aumentan estadísticamente durante el período de almacenamiento, valor alto si se lo compara con el estudio realizado por Castillo Morán et al. (2015) quienes reportan que existe un aumento de 0.05% en caña quemada almacenada por 24 horas con la variedad de Mex 69-290, esto debido posiblemente al tiempo que permaneció la caña en el patio previo al proceso lo que podría atribuirse a la presencia de enzimas invertasas y de bacterias como *Leuconostoc* sp. (*L. mesenteroides* y *L. Dextranicum*) en los tallos que están dañados o cortados, estos microorganismos dan origen a las dextranas utilizando la sacarosa como materia prima contribuyendo así, a la presencia de azúcares reductores (Larrahondo, 1995 citado por Morales Méndez et al., 2010; Solomon, 2009).

Por otro lado, se observa que en el cantero 773070 de caña verde (véase figura 9) existe un aumento menor de azúcares reductores durante el tiempo que duró el estudio si lo

comparamos con los canteros de caña quemada, lo que confirma la relativa estabilidad durante el tiempo de almacenamiento y el efecto negativo que tiene el proceso de quema de caña (Castillo Morán et al., 2015; Rein, 2012).

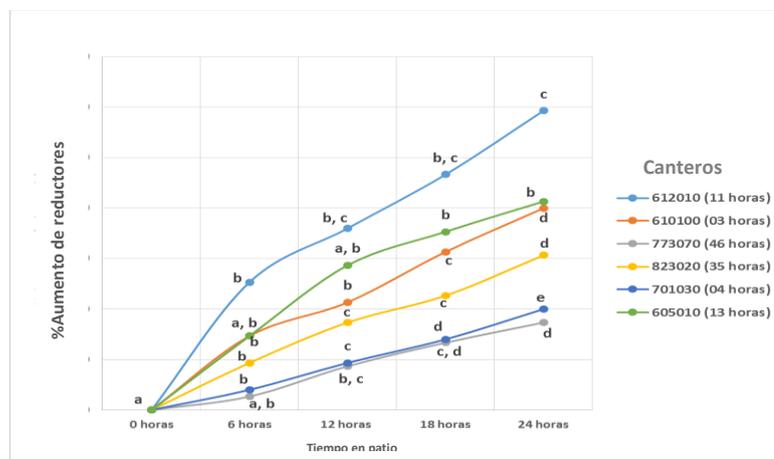


Figura 9. Curvas de la evolución del aumento de reductores con función del tiempo de almacenamiento.

Fuente: Las autoras

Elaboración: Las autoras

Valores promedio de un mismo cantero seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (tukey, $P < 0.05$)

4.2.5. Contenido de sólidos disueltos totales, humedad y fibra.

Los valores en la **figura 10** muestran que existe un aumento significativo en sólidos disueltos en caña de azúcar del cantero 612010 que estuvo almacenada en patio correspondiente a caña quemada, además en este cantero se reporta una significativamente mayor pérdida de humedad (véase figura 11) y un aumento de fibra (véase figura 12), resultados relativamente altos si lo comparamos con el resto de canteros evaluados y también respecto a lo obtenido en el estudio realizado por Castillo Morán et al. (2015) quienes reportan un aumento de sólidos disueltos no mayor del 0.85% en caña quemada almacenada por 24 horas. Lo anterior podría explicarse si se considera que la caña experimenta una pérdida de peso a consecuencia de la deshidratación por el tiempo de almacenamiento en el patio de la empresa y a las condiciones climáticas. Además, se puede observar que los canteros 610100 y 701030 muestran valores bajos de sólidos disueltos, esto puede deberse a que estos dos canteros mencionados son los que menor tiempo de espera en campo tuvieron.

Por otro lado, el cantero 773070 correspondiente a caña verde (véase figura 11) tuvo un aumento significativo en sólidos disueltos aunque su valor no es alto, presentó una pérdida de humedad y un aumento en fibra respecto a la hora cero de almacenamiento,

considerando que este cantero fue el que mayor tiempo permaneció en campo, los cambios químicos no fueron mayores, esto posiblemente a que la caña no sufrió un proceso de quema, por lo tanto no hay una pérdida de peso excesiva por deshidratación (El-Maghraby et al., 2009; Morales Méndez et al., 2010; Datir & Joshi, 2015), pero los valores registrados son mayores a lo reportado por Datir & Joshi (2015) quienes indican un aumento de sólidos disueltos de 0.36% para caña verde almacenada por 24 horas.

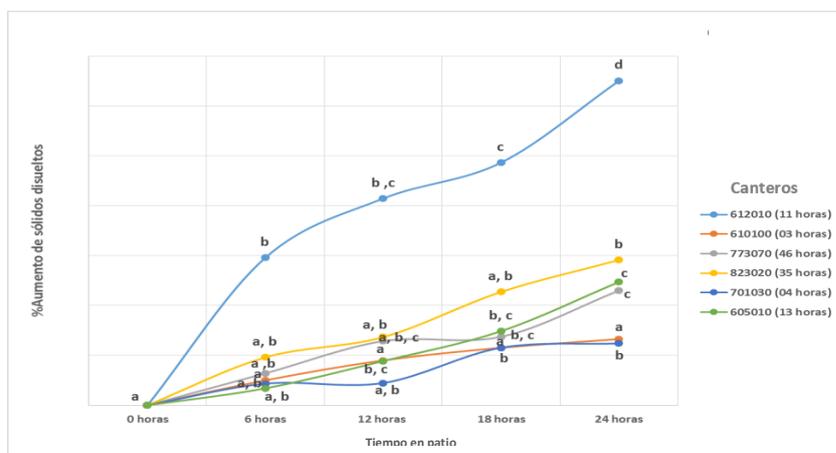


Figura 10. Curvas de la evolución del aumento de sólidos disueltos en función del tiempo de almacenamiento.

Fuente: Las autoras

Elaboración: Las autoras

Valores promedio de un mismo cantero seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (tukey, $P < 0.05$)

Además, en lo que respecta al porcentaje de fibra del cantero antes mencionado, es bajo si se lo compara con lo obtenido en el estudio realizado por Zossi et al. (2010) quienes reportan para caña cortada en verde un aumento de fibra de 16.49% para la variedad CP 65-357 en 24 horas de almacenamiento, lo que podría atribuirse a la humedad, longitud, diámetro, número de nudos, variedad y madurez de la caña (Rein, 2012 y Zossi et al. 2010).

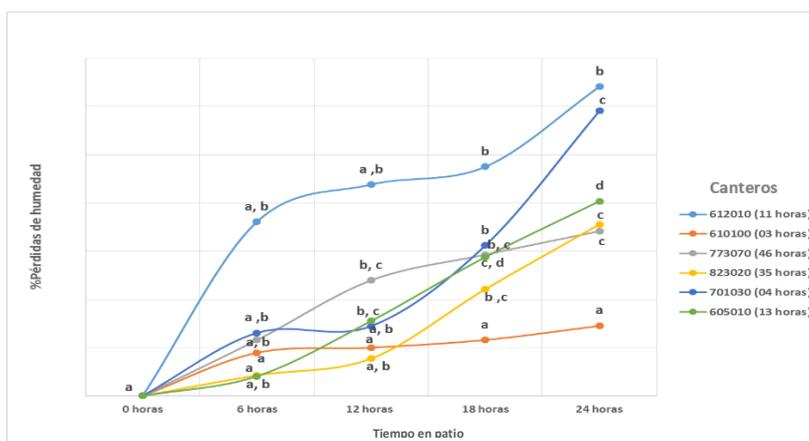


Figura 11. Curvas de la evolución de las pérdidas de humedad en función del tiempo de almacenamiento.

Fuente: Las autoras

Elaboración: Las autoras

Valores promedio de un mismo cantero seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (tukey, $P < 0.05$)

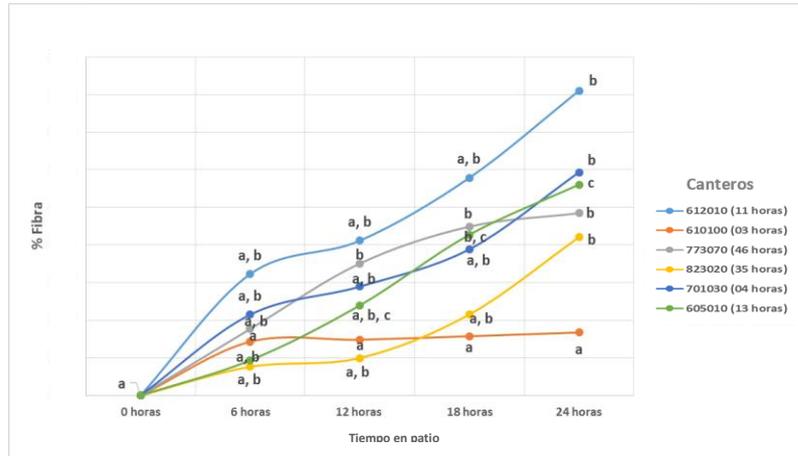


Figura 12. Curvas de la evolución del aumento de fibra en función del tiempo de almacenamiento.

Fuente: Las autoras

Elaboración: Las autoras

Valores promedio de un mismo cantero seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (tukey, $P < 0.05$)

CONCLUSIONES

El cantero cortado en verde fue uno de los que presentó menores pérdidas en la calidad del jugo de caña durante las dos etapas que se dividió el estudio, considerando que permaneció 46 horas poscosecha en campo.

Se determinó que los canteros de caña quemada que tienen un tiempo poscosecha en campo mayor a 11 horas presentaron pérdidas significativas en la calidad del jugo de caña.

Se determinó que durante el almacenamiento en patio la mayoría de canteros presentaron cambios significativos en la composición del jugo de caña.

RECOMENDACIONES

Se debe considerar un mayor número de canteros de caña de azúcar cortada en verde, con el objetivo de verificar los datos obtenidos en este estudio.

Se recomienda complementar este trabajo con un análisis microbiológico, que considere el análisis de *Leuconostoc mesenteroides* y *L. Dextranicum*, con el propósito de evaluar el efecto perjudicial sobre la calidad de la caña de azúcar, ya que estas generan pérdidas en el rendimiento fabril ocasionadas por el consumo de sacarosa desde el momento en que se forman.

Se recomienda la determinación del análisis de dextranas con la finalidad de corroborar el contenido de las pérdidas de sacarosa.

Ampliar el estudio a 2 o 3 días de almacenamiento en patio considerando la situación real de permanencia de la caña de azúcar en la empresa procesadora.

Se recomienda mejorar la planificación de campo y fábrica en función del tiempo poscosecha entre corte y molienda, además aumentar la cantidad de caña cortada en verde para reducir las pérdidas de calidad en la caña de azúcar.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, M. (2010). *Jugo de caña de azúcar envasado en vidrio*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Aucatoma, B., Castillo, R., Mendoza, J., Silva, E., Garcés, F., & Vásquez, E. (2015). *Carta informativa 17. CINCAE* (Vol. 1). Ecuador.
- Ballesteros Sanza, M. ., Ruiz de Alegría Puigb, C., Fernández Mazarrasab, C., & Gutiérrez-Cuadra, M. (2010). Bacteriemia y sepsis por *Leuconostoc mesenteroides*. *Medicina Clínica*, 134(2), 87–88.
- Benítez, J. P., & Guagalango, R. R. (2011). *Evaluación de dos biocidas e implicaciones económicas del procesamiento de sanitización de jugos de caña en el área de molinos del IANCEM*. Universidad Técnica del Norte.
- Bhatia, S., Uppal, J. S. K., & Batta, K. S. T. S. K. (2009). Post harvest quality deterioration in sugarcane under different environmental conditions. *Sugar Tech*, 11 (2), 154–160.
- Buenaventura, C. (1989). *Manual de Laboratorio para la industria azucarera. Tecnicaña*. Cali.
- Calderón Ambelis, H. J. (2014). *Determinación de un modelo matemático para el cálculo de sacarosa en caña mediante la comparación de los métodos de desintegración húmeda y prensa hidráulica*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Castillo Morán, A., Alarcón García, L. A., Rodríguez Lagunes, D. A., Milanés Ramos, N., Pantaleón Paulino, G., & Aguilar Rivera, N. (2015). Deterioro poscosecha en caña de azúcar (*Saccharum* spp. Híbrido) en el área de abasto de central Motzorongo, S. A. DE C. V., 1–11.
- Chen, J. P. (2000). *Manual del azúcar de caña: para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados*. (L. S.A, Ed.). México.
- Cobeña Morán, J. J., & Loor Chávez, I. F. (2016). *Caracterización Físico-Química del jugo de cinco variedades de caña de azúcar (Saccharum officinarum) en la hacienda El Jardín*. Bachelor's thesis, Calceta: Espam.
- Datir, S., & Joshi, S. (2015). Original Research Article Post Harvest Sugarcane Quality under Manual (Whole Cane) and Mechanical (Billet) Harvesting. *Int. J. Curr. Microbiol. App.*

Sci, 4(9), 204–218.

- Delgado Mora, I., Suarez, H. J., Vera, A., Hernández Cornide, T. M., Díaz Mujica, F. R., Gómez Perez, J., ... Puchades Isaguirre, Y. (2016). Influencia de la edad y cultivar de caña de azúcar en el momento de la cosecha. *Centro Agrícola*, 43(2), 59–65.
- El-Maghraby, S., Ahmed, A. Z., & El Soghier, S. (2009). Post-harvest change studies in sugar cane cultivars under upper Egypt condition. *African Crop Science Society*, 9, 31–37.
- Hernández, J. de los R., Cervantes Beyra, R., & Silva Oliva, L. R. (2016). Evaluación de las pérdidas de azúcar en miel final en el Central Azucarero “ Manuel Fajardo .” *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(1), 39–45.
- Herrera Zambrano, A. C. (2011). *Estudio Comparativo De Métodos Para La Determinación De Sacarosa Y Azúcares Reductores En Miel Virgen De Caña Utilizados En El Ingenio Pichichí S.a.* Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Jiménez, E. R. (2009). Dextranase in sugar industry : A review. *Sugar Tech*, 11(2), 124–125.
- Larrahondo, J. E. (1995). Calidad de la Caña de Azúcar. *El Cultivo de La Caña En La Zona Azucarera de Colombia*, 337–355.
- Larrahondo, J. E. (2013). *Definición y alcances de la alcoquímica: la calidad de las materias primas y su impacto en el proceso alcoquímico.* Ecuador.
- Londoño Larrea, P. A. (2014). *La tensión del agua como variable en la extracción de azúcar residual de caña.* Central del Ecuador.
- Lontom, W., Kosittrakun, M., & Lingle, S. E. (2008). Relationship of acid invertase activities to sugar content in sugarcane internodes during ripening and after harvest. *Thai J. Agricult. Sci*, 41(3), 141–151.
- Melgar, M., Meneses, A., Orozco, H., Pérez, O., & Espinosa, R. (2014). *El cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala.* (CENGICAÑA, Ed.). Guatemala.
- Morales Méndez, W. I., Duarte Álvarez, O. J., & Britos Bordón, U. T. (2010). Pérdida del rendimiento agroindustrial de la caña de azúcar asociada al retraso de la molienda en poscosecha. *Investigación Agraria*, 12(2), 75–78.
- Moreano Pilatasig, M. M. (2015). *“Determinación de azúcares reductores y su relación con*

los carbohidratos no absorbidos en los niños (a) del Centro de Educación Inicial 'María Montessori' del Cantón Latacunga en el período 2014- 2015.” Universidad Técnica de Ambato-Facultad de Ciencias de la Salud-Carrera Laboratorio Clínico.

Osorio Cadavid, G. (2007). Manual Técnico de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en la producción de caña y panela. *FAO*, 199 p.

Ray, B., Bhunia, A., Sánchez Monsiváis, R. I., & Sánchez, P. (2010). *Fundamentos de microbiología de los alimentos*. (M. Hill, Ed.) (4. ed.). México.

Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlin-Alemania.

Rekkiyappan, P., Shekinah, E., Gopalasundaram, P., Mathew, M., & Asokan, S. (2009). Post-harvest deterioration of sugarcane with special reference to quality loss. *Sugar Tech*, 5, 7–10.

Salomon, S. (2007). Strategies to minimize post-harvest sucrose Losses in sugar cane: another view. In: Annual Convention STAI. *Cooperative Sugar*, 68, 112–121.

Solomon, S. (2009). Post-harvest deterioration of sugarcane. *Sugar Tech*, 11(2), 109–123.

Verma, A. K., Singh, S. B., Agarwal, A. K., & Solomon, S. (2012). Influence of postharvest storage temperature, time, and invertase enzyme activity on sucrose and weight loss in sugarcane. *Postharvest Biology and Technology*, 73, 14–21.

Viejó Ojeda, K. E. (2013). *Estudio de la cadena de valor de la caña de azúcar Saccharum Officinarum en el recinto de tres postes de la Provincia del Guayas*. Universidad Agraria del Ecuador.

Zepeda Guardado, E. R. (2012). *Propuesta de alternativas para la reducción de pérdidas de sacarosa en un ingenio azucarero*. Universidad El Salvador.

Zossi, B. S., Cárdenas, G. J., Sorol, N., & Sastre, M. (2010). Influencia de compuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de caña de azúcar en Tucumán (R. Argentina) Parte 1: caña limpia y despuntada. *Revista Industrial Y Agrícola de Tucumán*, 87(1), 15–27.

ANEXOS

Anexo A. Tabla para determinar el porcentaje de sustancias reductoras.

Titulación(cm ³)	SUSTANCIAS REDUCTORAS EN JUGO(Método Rápido de Lane & Eynon)									
	Sustancias reductoras (%)									
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
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	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31
15	0,31	0,31	0,31	0,31	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	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
19	0,26	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
20	0,21	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22

Fuente: Buenaventura Osorio, (1989)

Elaboración: Buenaventura Osorio, (1989)

Anexo B. Tabla para la determinar el factor de corrección para el brix refractométrico y determinación de sacarosa.

FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL BRIX REFRACTOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE SACAROSA.									
Sol.	Factor	Sol.	Factor	Sol.	Factor	Sol.	Factor	Sol.	Factor
0,0	0,00000	5,0	0,25570	10,0	0,25070	15,0	0,24572	20,0	0,24076
0,1	0,26040	5,1	0,26560	10,1	0,26060	15,1	0,24562	20,1	0,24066
0,2	0,26053	5,2	0,26550	10,2	0,26050	15,2	0,24552	20,2	0,24056
0,3	0,26043	5,3	0,26540	10,3	0,26040	15,3	0,24542	20,3	0,24046
0,4	0,26033	5,4	0,26530	10,4	0,26030	15,4	0,24532	20,4	0,24036
0,5	0,26023	5,5	0,26520	10,5	0,26020	15,5	0,24522	20,5	0,24026
0,6	0,26013	5,6	0,26510	10,6	0,26010	15,6	0,24512	20,6	0,24017
0,7	0,26002	5,7	0,26500	10,7	0,26000	15,7	0,24502	20,7	0,24007
0,8	0,25992	5,8	0,26490	10,8	0,24990	15,8	0,24492	20,8	0,23997
0,9	0,25982	5,9	0,26480	10,9	0,24980	15,9	0,24482	20,9	0,23987
1,0	0,25972	6,0	0,26470	11,0	0,24970	16,0	0,24473	21,0	0,23977
1,1	0,25962	6,1	0,26460	11,1	0,24960	16,1	0,24463	21,1	0,23967
1,2	0,25952	6,2	0,26450	11,2	0,24950	16,2	0,24453	21,2	0,23957
1,3	0,25942	6,3	0,26440	11,3	0,24940	16,3	0,24443	21,3	0,23947
1,4	0,25932	6,4	0,26430	11,4	0,24930	16,4	0,24433	21,4	0,23938
1,5	0,25922	6,5	0,26420	11,5	0,24920	16,5	0,24423	21,5	0,23928
1,6	0,25912	6,6	0,26410	11,6	0,24910	16,6	0,24413	21,6	0,23918
1,7	0,25902	6,7	0,26400	11,7	0,24900	16,7	0,24403	21,7	0,23908
1,8	0,25892	6,8	0,26390	11,8	0,24890	16,8	0,24393	21,8	0,23898
1,9	0,25882	6,9	0,26380	11,9	0,24881	16,9	0,24383	21,9	0,23888
2,0	0,25872	7,0	0,26370	12,0	0,24871	17,0	0,24373	22,0	0,23878
2,1	0,25862	7,1	0,26360	12,1	0,24861	17,1	0,24363	22,1	0,23868
2,2	0,25852	7,2	0,26350	12,2	0,24851	17,2	0,24353	22,2	0,23859
2,3	0,25841	7,3	0,26340	12,3	0,24841	17,3	0,24343	22,3	0,23849
2,4	0,25831	7,4	0,26330	12,4	0,24831	17,4	0,24333	22,4	0,23839
2,5	0,25821	7,5	0,26320	12,5	0,24821	17,5	0,24324	22,5	0,23829
2,6	0,25811	7,6	0,26310	12,6	0,24811	17,6	0,24314	22,6	0,23819
2,7	0,25801	7,7	0,26300	12,7	0,24801	17,7	0,24304	22,7	0,23809
2,8	0,25791	7,8	0,26290	12,8	0,24791	17,8	0,24294	22,8	0,23799
2,9	0,25781	7,9	0,26280	12,9	0,24781	17,9	0,24284	22,9	0,23789
3,0	0,25771	8,0	0,26270	13,0	0,24771	18,0	0,24274		
3,1	0,25761	8,1	0,26260	13,1	0,24761	18,1	0,24264		
3,2	0,25751	8,2	0,26250	13,2	0,24751	18,2	0,24254		
3,3	0,25741	8,3	0,26240	13,3	0,24741	18,3	0,24244		
3,4	0,25731	8,4	0,26230	13,4	0,24731	18,4	0,24234		
3,5	0,25721	8,5	0,26220	13,5	0,24721	18,5	0,24224		
3,6	0,25711	8,6	0,26210	13,6	0,24711	18,6	0,24215		
3,7	0,25701	8,7	0,26200	13,7	0,24701	18,7	0,24205		
3,8	0,25691	8,8	0,26190	13,8	0,24691	18,8	0,24195		
3,9	0,25681	8,9	0,26180	13,9	0,24681	18,9	0,24185		
4,0	0,25671	9,0	0,26170	14,0	0,24671	19,0	0,24175		
4,1	0,25661	9,1	0,26160	14,1	0,24661	19,1	0,24165		
4,2	0,25651	9,2	0,26150	14,2	0,24651	19,2	0,24155		
4,3	0,25641	9,3	0,26140	14,3	0,24642	19,3	0,24145		
4,4	0,25631	9,4	0,26130	14,4	0,24632	19,4	0,24135		
4,5	0,25621	9,5	0,26120	14,5	0,24622	19,5	0,24125		
4,6	0,25611	9,6	0,26110	14,6	0,24612	19,6	0,24116		
4,7	0,25600	9,7	0,26100	14,7	0,24602	19,7	0,24106		
4,8	0,25590	9,8	0,26090	14,8	0,24592	19,8	0,24096		
4,9	0,25580	9,9	0,26080	14,9	0,24582	19,9	0,24086		

Fuente: Buenaventura Osorio, (1989)

Elaboración: Buenaventura Osorio, (1989)