

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Carrera de Ingeniería en Alimentos  
Centro Universitario de Sur Occidente



“EVALUACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE TRASH Y  
COMPUESTOS FENOLICOS SOBRE EL COLOR DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR.”

**T.U. Carol Ivana Ortíz Valenzuela**

Asesora: Inga. Aurora Carolina Estrada Elena

Mazatenango, Suchitepéquez, Octubre de 2019.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



CARRERA DE INGENIERIA EN ALIMENTOS

“EVALUACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE TRASH Y  
COMPUESTOS FENOLICOS SOBRE EL COLOR DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR.”

PRESENTADO A LA TERNA EVALUADORA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN DE LA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE  
SUROCCIDENTE  
POR

**T.U. CAROL IVANA ORTÍZ VALENZUELA**  
ASESORA: INGA. AURORA CAROLINA ESTRADA ELENA

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ, OCTUBRE DE 2019.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

M.Sc. Murphy Olimpo Paiz Recinos

Rector

Arq. Carlos Enrique Valladares Cerezo

Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO  
UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano

Director

**REPRESENTANTES DE PROFESORES**

M.Sc. José Norberto Thomas Villatoro

Secretario

Dra. Mirna Nineth Hernández Palma

Vocal

**REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC**

Lic. Vilser Josvin Ramírez Robles

Vocal

**REPRESENTANTES ESTUDIANTILES**

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM y TAE Rony Roderico Alonzo Solís

Vocal

## **COORDINACIÓN ACADÉMICA**

M.Sc. Héctor Rodolfo Fernández Cardona  
Coordinador Académico

M.Sc. Rafael Armando Fonseca Ralda  
Coordinador Carrera de Licenciatura en Administración de Empresas

Lic. Edín Aníbal Ortíz Lara  
Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Ph.D. Rene Humberto López Cotí  
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

M.Sc. Víctor Manuel Nájera Toledo  
Coordinador Carrera de Ingeniería en Alimentos

M.Sc. Erick Alexander España Miranda  
Coordinador Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical

M.Sc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes  
Coordinadora Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Lic. José David Barrillas Chang  
Coordinador Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales,  
Abogado y Notario

Lic. José Felipe Martínez Domínguez  
Coordinador de Área Social Humanista

### **Carreras Plan Fin de Semana**

M.Sc. Tania Elvira Marroquín Vásquez  
Coordinadora de las Carreras de Pedagogía

M.Sc. Paola Marisol Rabanales  
Coordinadora Carrera de Periodista Profesional y  
Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

## **DEDICATORIA**

**A DIOS** fuente inagotable de sabiduría y fortaleza, por darme la vida y la oportunidad de cumplir mi objetivo universitario.

**A MIS ABUELOS** por su amor sincero y desinteresado, por brindarme palabras de aliento y darme apoyo en todo momento.

**A MIS PADRES** Ingrid Carolina Valenzuela López de Ortíz y Alejandro Ortiz Obregón por su ayuda invaluable, amor, cuidados, consejos y motivarme siempre a salir adelante. Espero retribuirles un poco de lo mucho que han hecho por mí.

**A MIS HERMANOS** Alejandro y Ana Ingrid por su cariño incondicional, presencia y complicidad en cada momento de mi vida.

**A MIS SOBRINOS** Annia, Marcelo, Boris y Valentina porque se esfuercen por lograr sus metas y sea esto un ejemplo a seguir.

## AGRADECIMIENTOS

**Universidad de San Carlos de Guatemala**, Alma Matér que me formo profesionalmente.

**Centro Universitario de Sur Occidente**, casa de estudios que me albergó y permitió finalizar mi carrera universitaria.

**Al equipo docente de la carrera de Ingeniería en Alimentos** por brindarme conocimientos y experiencias enriquecedoras.

**A mi asesora**, Inga. Aurora Carolina Estrada Elena por el tiempo dedicado, confianza y sus palabras alentadoras en todo momento.

**A Ingenio Palo Gordo S.A.**, por abrirme las puertas de la empresa y permitir desarrollar la investigación utilizando el equipo y la materia prima.

**Al personal del departamento de Aseguramiento de calidad y Control de gestión de Ingenio Palo Gordo S.A.**, por su valioso e incondicional apoyo brindado durante la fase experimental y la amistad demostrada en esta etapa.

**A mis amigos**, por el tiempo, la paciencia, pero sobre todo el cariño compartido durante estos años y hacer de cada trabajo, investigación, proyecto o gira educativa momentos irrepetibles.

## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN.....	v
SUMMARY.....	vi
1.INTRODUCCIÓN .....	1
2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
3.JUSTIFICACIÓN.....	5
4.MARCO TEÓRICO.....	7
4.1.Caña de Azúcar.....	7
4.1.1.Componentes de la caña de azúcar .....	7
4.1.2.Composición del jugo de caña de azúcar .....	9
4.2.Proceso de elaboración del azúcar de caña.....	11
4.2.1 Recepción de la caña.....	11
4.2.2 Preparación de la caña.....	11
4.2.3 Extracción o molienda de caña .....	11
4.2.4 Sulfitado y alcalizado del jugo.....	12
4.2.5 Calentamiento y clarificación del jugo .....	12
4.2.6 Filtración de lodos.....	12
4.2.7 Evaporación .....	12
4.2.8 Cristalización y agotamiento.....	12
4.2.9 Centrifugación.....	13
4.2.10 Secado y envase del azúcar terminado.....	13
4.3.Trash o materia extraña .....	14
4.3.1 Efectos de trash en el jugo de caña .....	14
4.4.Compuestos fenólicos.....	15
4.4.1 Método de Folin-Ciocalteu .....	17
4.4.1.1 La espectrofotometría .....	18
5.OBJETIVOS.....	19
5.1.Objetivo General .....	19
5.2.Objetivo Específicos.....	19
6.HIPÓTESIS .....	20

7.RECURSOS .....	21
7.1.Recurso humano disponible .....	21
7.2.Recurso institucional .....	21
7.3.Recurso físico .....	21
7.4.Recurso económico .....	23
8.DISEÑO ESTADÍSTICO .....	24
8.1.Determinación del tamaño de muestra. ....	24
8.2.Análisis estadístico de regresión y correlación múltiple .....	25
9.2.1 Análisis de correlación.....	25
9.2.2 Diagrama de dispersión.....	25
9.2.3 Clasificación de la correlación.....	25
9.2.4 Coeficiente de correlación .....	26
9.MARCO OPERATIVO.....	27
9.1.Variables.....	27
9.2.Delimitación del campo de estudio. ....	27
9.3.Preparación de soluciones utilizadas en la investigación. ....	27
9.4.Elaboración de curva de compuestos fenólicos mediante el método de Fenol-Folin Ciocalteu en jugo de caña de azúcar.....	27
9.5.Determinación de Trash Vegetal en cosecha de caña de azúcar. ....	28
9.6.Determinación de compuestos fenólicos en jugo de caña de azúcar. ....	29
9.7.Determinación de color en jugo de caña de azúcar a pH 7. ....	29
9.8.Registro de datos. ....	29
10.CRONOGRAMA .....	31
11.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
11.1.Resultados de elaboración de curva de fenoles. ....	32
11.2.Porcentaje de trash en caña cosecha.....	32
11.3.Concentración de fenoles en el jugo de caña cosecha. ....	32
11.4.Cantidad de color en el jugo de caña cosecha. ....	33
11.5.Resultado del análisis estadístico de correlación.....	33
11.6.Resultados del análisis de varianza global .....	34
11.7.Resultado de la correlación global entre variables .....	35

12.CONCLUSIONES .....	37
13.RECOMENDACIONES .....	38
14.REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA .....	39
15.ANEXOS .....	42
16.APÉNDICE .....	50
17.LISTA DE SÍMBOLOS .....	56
18.GLOSARIO .....	57

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

CONTENIDO	PÁGINA
1. Morfología de la planta de caña de azúcar.....	7
2. Composición de la caña de azúcar. ....	8
3. Proceso de producción de azúcar de caña. ....	13

## TABLAS

CONTENIDO	PÁGINA
I. Composición de la caña de azúcar libre de trash. ....	8
II. Composición del jugo de caña. ....	10
III. Compuestos fenólicos de mayor relevancia en el azúcar.....	17
IV. Escala de Correlación entre variables. ....	26
V. Variables empleadas en la investigación.....	27
VI. Promedio de la cantidad del porcentaje de trash. ....	32
VII. Promedio de la concentración de compuestos fenólicos.....	33
VIII. Promedio de la cantidad de color en el jugo de caña cosecha .....	33
IX. Resultado del análisis de correlación global simple .....	33
X. Resultados del análisis de varianza de la relación compuestos fenólicos/color.....	34
XI. Resultados del análisis de varianza de la relación trash/color .....	34
XII. Resultados del análisis de varianza de la relación compuestos fenólicos/trash .....	35
XIII. Matriz de la correlación de Pearson entre las variables de estudio.....	35
XIV. Correlación de la variables de estudio .....	35
XV. Gráfica de curva de concentraciones de fenol (ug/ml).....	50

## RESUMEN

El proyecto de investigación realizado en Ingenio Palo Gordo durante la zafra 2018-2019 se basó en el análisis de las variables de trash y compuestos fenólicos, con la finalidad de identificar si ambas incidían en el color del jugo de la caña cosecha. La investigación se realizó de manera general tomando en consideración las diferentes variedades de caña utilizadas en Ingenio Palo Gordo, recogiendo 97 muestras representativas y al azar de la caña que ingresaba.

La ejecución de los análisis se realizó de manera consecutiva, iniciando con la determinación de la cantidad de trash por medio del método de selección y pesaje de componentes. Una vez extraído el jugo de la caña, se procedió aplicar el Método de Fenol Folin-Ciocalteu con el propósito de obtener la concentración de compuestos fenólicos presentes en dicho jugo, asimismo, se emplea la técnica de espectrofotometría para conseguir el dato de color del jugo extraído.

Los datos adquiridos se sometieron a un análisis estadístico de correlación simple, teniendo como resultados para las relaciones compuestos fenólicos/color y compuestos fenólicos/trash coeficientes de 0.0464 y 0.1176 respectivamente, cifras que demuestran que no hay correlación entre las variables. Mientras que para la relación entre trash/color el coeficiente de correlación es de 0.3060 lo cual indica que tiene una correlación positiva débil. Lo antes descrito permite establecer que la relación entre las variables de estudio sobre el color del jugo de la caña de azúcar no es significativa.

## SUMMARY

The research project carried out at plant Palo Gordo during the 2018-2019 harvest was based on the analysis of the variables of trash and phenolic compounds, with the purpose of identifying if both affected the color of the juice of the cane crop. The research was conducted in a general way taking into consideration the different varieties of cane used in plant Palo Gordo, collecting 97 representative and random samples of the cane that entered.

The execution of the analyzes was carried out consecutively, beginning with the determination of the amount of trash by means of the method of selection and weighing of components. Once the juice of the cane was extracted, the Phenol Folin-Ciocalteu Method was applied with the purpose of obtaining the concentration of phenolic compounds present in said juice, also, the spectrophotometry technique is used to obtain the color data of the juice extracted.

The acquired data were subjected to a simple statistical correlation analysis, resulting in the ratios of phenolic compounds / color and phenolic compounds / trash coefficients of 0.0464 and 0.1176 respectively, figures that show that there is no correlation between the variables. While for the ratio between trash / color the correlation coefficient is 0.3060 which indicates that it has a weak positive correlation. The aforementioned allows us to establish that the relationship between the study variables on the color of sugarcane juice is not significant.

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria azucarera en Guatemala es una de las más grandes potencias económicas del país, según Asazgua, es generadora de 82 mil empleos directos y 410 mil empleos indirectos en toda la República. En el 2016 el azúcar fue el principal producto agroindustrial que exportó Guatemala, abarcando con ello el 9.3% de las exportaciones totales del país y obteniendo los siguientes lugares: segundo lugar de exportación de azúcar de Latinoamérica, tercer lugar en productividad a nivel mundial y cuarto lugar de exportación de azúcar a nivel mundial. El 72% de la azúcar producida en Guatemala fue exportada y el 28% usada para el consumo local durante la zafra 2015-2016.

La caña de azúcar es una planta herbácea de gran tamaño, cultivada en países tropicales y subtropicales, estructuralmente está compuesta de tallos limpios, que son la materia prima en el proceso fabril del azúcar, los cuales luego de ser prensados se obtiene fibra y jugo de caña, este último contiene sustancias orgánicas propias de la caña como lo son los compuestos fenólicos, los cuales reaccionan con iones metálicos como hierro, cobre y aminos para producir sustancias altamente coloreadas; asimismo, se encuentran estos compuestos en las hojas verdes, cogollos, hojas secas, tallos dañados o secos, raíces, maleza y suelo, que suelen acompañar a los tallos limpios en la etapa de recolección. A este conjunto de materia extraña también se le da el término de trash, que de acuerdo, a la cantidad presente puede afectar la pureza del jugo de caña y con ello incidir en el color del mismo. Esto debido a que existen colorantes de origen vegetal propios del trash como lo son los compuestos fenólicos.

Los compuestos fenólicos son importantes desde el punto de vista del proceso de elaboración de azúcar. Según Zossi et al (2010) más de dos terceras partes del color en el jugo se deben al pardeamiento enzimático de estos compuestos. También experimentan reacciones no enzimáticas de oxidación y autopolimerización, formando pigmentos oscuros.

Tomando en consideración lo que establece Peter Rein (2012), “el color del jugo de caña asociado con hojas y cogollos es mucho más elevado que en el tallo limpio. Estimándose que un

1% de cogollos u hojas incrementan el color total en 4% y 15% respectivamente. Por lo tanto una cantidad significativa de hojas y cogollos puede tener un efecto determinante sobre el color”.

Descrito lo anterior, se atendió el punto de estudio relacionado a valores altos en el jugo de caña de azúcar de una industria azucarera de la Costa Sur, y se realizó una investigación que permitió determinar la incidencia de compuestos fenólicos y trash sobre el color del jugo de caña de azúcar.

Únicamente las muestras a las que se les efectuó análisis de trash, fueron recolectadas al azar en el laboratorio de caña, para luego realizar los ensayos de determinación de concentración de compuestos fenólicos y determinación del color del jugo de la caña de azúcar correspondientes, en el laboratorio de control de calidad de la industria azucarera, obteniéndose para cada uno de los análisis un dato promedio de todas las muestras estudiadas. Valor que será utilizado como referencia para futuras zafras.

Para la determinación de la concentración de compuestos fenólicos se realizó una curva de calibración de dichos compuestos, en la que se obtuvo un modelo matemático que permitió calcular la concentración de los compuestos fenólicos en el jugo de la caña, luego de ejecutar el método de Folin-Ciocalteu y la técnica de espectrofotometría. Lo cual consistió en aplicar el reactivo de Fenol Folin-Ciocalteu, que al momento de entrar en contacto con compuestos fenólicos presentó una coloración azul intensa o ligera, que indica que es proporcional a la concentración de compuestos fenólicos presentes, y con la técnica de espectrofotometría se efectuó la lectura de interés.

La investigación se realizó en el periodo inicial de la zafra 2018-2019 que corresponde a los meses de Noviembre y Diciembre, en los que se recolectaron las muestras y se efectuaron los análisis antes descritos. Los resultados obtenidos se aplicaron al análisis estadístico de correlación, demostrando que no existe un dato significativo que relacione el trash con los compuestos fenólicos y que estos a su vez tengan incidencia en el color del jugo de la caña cosecha.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En toda industria química la composición de la materia prima es fundamental para la tecnología del proceso, la proporción de los constituyentes presentes tanto en la caña de azúcar como en el jugo, suelen depender de factores como la variedad de caña, clima, cultivos, suelos, fertilizantes, edad y madurez de la caña, extracción en la fábrica, etc. El color del jugo de la caña de azúcar es uno de los parámetros importantes que debe de ser controlado dentro del proceso industrial de azúcar.

El jugo de la caña está compuesto por azúcares, sustancias solubles llamadas no azúcares y agua. Según Aulio Ramos (2009) las principales impurezas contenidas en el jugo de caña que afectan la calidad del azúcar se pueden clasificar en dos grandes grupos: polisacáridos y colorantes de origen vegetal. Dentro de estos últimos se encuentran posicionados los compuestos fenólicos, los cuales son un aspecto importante a tomar en cuenta en el proceso de elaboración de azúcar, ya que influyen en la formación de color al momento de someterse a procesos de oxidación, o bien, cuando reaccionan al entrar en contacto con algunos otros elementos.

Asimismo el ingreso de trash es uno de los parámetros que se encuentra relacionado con el color del jugo de la caña, debido a que el material extraño contiene compuestos químicos que afectan la recuperación de la sacarosa y la calidad de los jugos en fábrica, según Navarro y Rostgaard (2014) detallaron que el incremento de material extraño no solo produce un aumento del color del jugo mezclado entre 350 a 400 ICUMSA por cada unidad porcentual de material extraño, además, que reduce la pureza del jugo mezclado debido al aumento de las impurezas, asimismo se presenta incidencias sobre los costos de producción.

Por tanto, se planteó investigar los compuestos fenólicos, pues estos influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos ya que actúan como colorantes, antioxidantes y proporcionan sabor, cualidades que son muy bien utilizadas en la industria de alimentos y bebidas; la cantidad de trash de la caña de azúcar pues esta materia extraña es la portadora de sustancias orgánicas de origen vegetal precursoras de color; y finalmente el color del jugo de caña de azúcar

que es el punto problema de la industria azucarera; pretendiendo con ello que se determinara si existía relación entre estas tres variables. Por lo que surgió el siguiente cuestionamiento.

¿Será posible que puede establecerse una relación entre el contenido de trash y compuestos fenólicos que afecte el color del jugo de caña de azúcar?

### 3. JUSTIFICACIÓN

En una industria azucarera guatemalteca de la costa sur la problemática que se presentó fueron los valores altos de color en el jugo de la caña de azúcar, situación que afecta principalmente el cumplimiento de las especificaciones de calidad del producto, por otra parte, en el área de recuperación de azúcar para lograr las especificaciones en cuanto a color establecidas debe aumentar los lavados del producto en el área de centrifugación, lo que provoca mayores tasas de recirculación de materiales e incremento en el consumo de aditivos de proceso y vapor.

Ante lo dicho, se hizo necesario determinar el compuesto que origina el aumento de color en el jugo de caña de azúcar, y para ello, se toma en consideración lo que indican bibliografías y estudios técnicos realizados, de que la materia extraña conocida como trash es causante de los niveles altos de color en el jugo de caña pues, contiene sustancias orgánicas de origen vegetal denominadas compuestos fenólicos, los cuales son precursores de color y en algunas ocasiones reaccionan produciendo sustancias coloreadas. Tal y como lo menciona Navarro y Rostgaard (2014) “el contenido de trash no solamente adiciona color, si no también incrementa la carga de impurezas que afecta el color del azúcar”.

Tomando como base el parámetro de trash en el cual según Navarro y Rostgaard (2014) “Se admite en la casi totalidad del mundo cañero un límite máximo del orden del 3 al 5% de materia extraña, la cual generalmente se compone de cogollos, tallos deteriorados, hojas secas y verdes, tierra, piedra y otros objetos. Se puede afirmar que por cada 1% de materia extraña entrada al ingenio se pierden 1.5 kg de azúcar por tonelada de caña procesada”.

Por tanto, el propósito principal de determinar la relación entre los compuestos fenólicos con la cantidad de trash proveniente y su incidencia en el color del jugo de caña era identificar el origen de los compuestos que proporcionan color en el jugo, estableciendo los factores que afectan al mismo. Con ello se tendrían argumentos para solicitar al área encargada, ejecutar las prevenciones o correcciones que permitieran cumplir con las especificaciones establecidas para el azúcar sin afectar el proceso productivo.

Debe mencionarse que la industria azucarera no contaba con ningún método de laboratorio que permitiera determinar la concentración de compuestos fenólicos en el jugo de la caña de azúcar.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Caña de Azúcar

*Saccharum officinarum* es el nombre científico de una planta de tallos largos duros, dulces, jugosos y con numerosos entrenudos, que comúnmente se conoce como caña de azúcar y la cual es cultivada en zonas tropicales y subtropicales del mundo. La propagación de este cultivo herbáceo se provoca por la plantación de trozos de caña, y luego de 11 o 17 meses dependiendo de la variedad y la zona, es cosechada manualmente o con maquinaria. Una vez cortada es transportada rápidamente al ingenio para evitar su deterioro.

#### 4.1.1. Componentes de la caña de azúcar

Morfológicamente la caña de azúcar está conformada por raíz, tallo, yemas o cogollos, hojas (verdes o secas) y vainas, e inflorescencias.

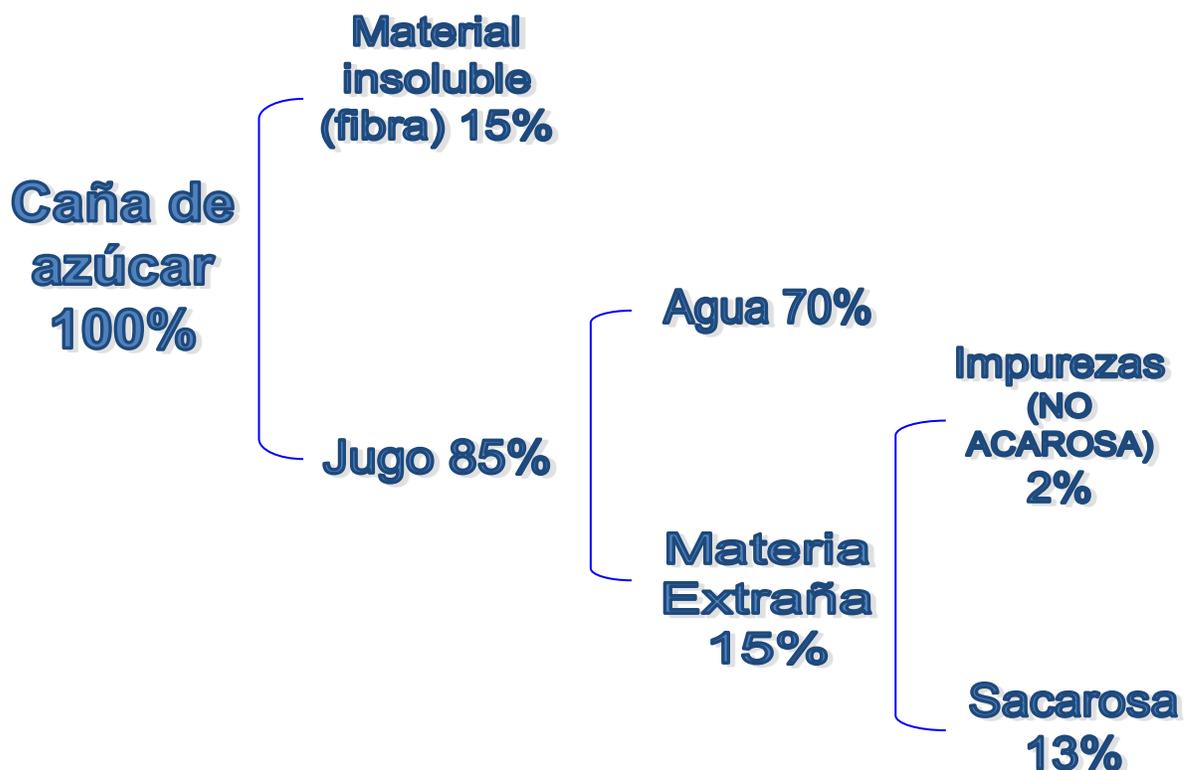
Figura 1. Morfología de la planta de caña de azúcar.



Fuente: Moreno, (2017).

Sin embargo, la composición de la materia prima es fundamental para la tecnología del proceso. La caña de azúcar esencialmente consta de una combinación de fibra y jugo, la fibra es considerada material insoluble y el jugo es la porción que contiene agua y material disuelto, dentro de este último se encuentra la sacarosa e impurezas.

Figura 2. **Composición de la caña de azúcar.**



Fuente: Ramos,(2009).

Tal como lo describe Rein (2012), el análisis más básico de la caña considera que esta consiste de agua, sólidos disueltos y fibra, apoyando lo antes descrito Ramos (2009) establece la composición de la caña de azúcar libre de trash de la siguiente manera:

Tabla I. **Composición de la caña de azúcar libre de trash.**

MATERIA	% EN CAÑA
Agua	73-75
<b>Sólidos</b>	
- Solubles	10-16
- Fibra (seca)	11-16

Fuente: Ramos, (2009).

Es importante resaltar que la composición tanto de la caña de azúcar como de su jugo es muy variable debido a factores como variedad de caña, edad de la caña, condiciones de cultivo y crecimiento, el uso de madurantes, factores climáticos y tiempo de quemas o corte.

#### **4.1.2. Composición del jugo de caña de azúcar**

El jugo es la fase líquida en la que los azúcares están en solución con agua junto a otros componentes solubles. En una caña de buena calidad, limpia y fresca, la pureza del jugo se encuentra alrededor de 90%, mientras que los sólidos disueltos varían entre 10 y 19 g/100g de caña.

El jugo de la caña tiene constituyentes orgánicos e inorgánicos, dentro los primeros podemos mencionar azúcares sencillos (glucosa y fructosa), disacáridos (sacarosa), oligosacáridos, polisacáridos, colorantes (fenoles, flavonoides, etc.) aminoácidos, proteínas y ácidos orgánicos, el segundo grupo lo componen las sales de potasio, fosfato, silica, calcio, magnesio, hierro, etc. (Larrahondo Aguilar, 2017)

Los sólidos disueltos se miden generalmente empleando un refractómetro y a menudo se designa simplemente como Brix. En la mayoría de los casos la sacarosa del jugo se mide usando un polarímetro y por lo tanto no es del todo precisa, obteniendo en general cifras inferiores al contenido real de sacarosa por unas pocas unidades porcentuales, identificando a esta medición como polarización o pol. La pureza representa la proporción de la sacarosa con el material soluble total expresada como porcentaje, donde pol y Brix son usados para el análisis y la proporción obtenida se conoce como pureza aparente. El contenido total de impurezas solubles se estima a partir de la diferencia entre sólidos disueltos y sacarosa, a lo cual se denomina como no-sacarosa (Rein, 2012).

Tabla II. **Composición del jugo de caña.**

<b>Materia</b>	<b>% En Sólidos Solubles</b>
<b>Azúcares</b>	75-82
- <b>Sacarosa</b>	- 70-88
- <b>Glucosa</b>	- 2-4
- <b>Fructosa</b>	- 2-4
<b>Sales</b>	3,0-4,5
<b>Ácidos Orgánicos</b>	1,5-5,5
<b>Proteínas</b>	0,5-0,6
<b>Almidones</b>	0,001- 0,050
<b>Gomas</b>	0,30-0,60
<b>Ceras y Grasas</b>	0,05-0,15
<b>Colorantes</b>	3,0-5,0

Fuente: Ramos, (2009).

Según Ramos (2009) describe que existen dos grandes grupos de impurezas contenidas en el jugo de la caña y que afectan la calidad del azúcar siendo estos:

- Polisacáridos: compuesto nativos o normales de la caña que contribuyen mucho al color del jugo de la misma (amarillenta hasta marrón), sus concentraciones en jugo oscilan en 0,5-1,0 % y en azúcar cruda de 0,1- 0,5%. Dentro de estos se puede mencionar el almidón que causa problemas con la filtración y para controlarlos debe procesarse caña madura y no incluir las hojas y cogollos, asimismo las dextranas (producto microbial) forman parte de este grupo generando perdida de sacarosa y causando problemas en el proceso de filtración.
- Colorantes de origen vegetal: son resultado de la actividad enzimática, dentro de estos se tiene los compuestos fenólicos, que tienen como rol en las plantas la pigmentación de flores y frutas, funcionan como antioxidantes, componentes del sabor y generan resistencia a insectos y a enfermedades. Además estos realzan la reactividad del color, al reaccionar con aldehídos, aminas, hierro y cobre.

Cuando se extrae el jugo también se extraen otros compuestos de la caña, algunos coloreados y otros sin color, transformándose una proporción de ellos en complejos coloreados que influirán en el color del azúcar. (Zossi, Cárdenas, Sorol, & Sastre, 2010)

## **4.2. Proceso de elaboración del azúcar de caña**

El principal objetivo al procesar la caña es recobrar el azúcar, que en su estado puro se conoce con el nombre químico de sacarosa. La sacarosa se forma en la planta a través de un proceso complejo que esencialmente consiste en la combinación de dos azúcares monosacáridos, fructuosa y glucosa (Rein, 2012).

Tal como lo aclara Ramos (2009), el azúcar es formado en el campo y la fábrica sólo efectúa su extracción y posterior cristalización al máximo de eficiencia y rendimientos económicos.

El proceso fabril de azúcar de caña inicia con:

### **4.2.1 Recepción de la caña**

Comienza con el pesaje mediante una báscula para luego realizar un rápido muestreo por parte de un laboratorio que permita establecer las características de calidad e impurezas de la misma, seguidamente es llevada al patio de caña para descargarse mediante volteadores sobre las mesas de caña en donde es lavada con agua o bien en seco con unos ventiladores para eliminar partículas adheridas o retirar gran parte de hojas.

### **4.2.2 Preparación de la caña**

Consiste en hacer pasar por desfibradoras la caña lavada para desmenuzarla y reducirla de tamaño, proporcionado con ello condiciones que favorecen el proceso de extracción. Si se calienta la caña a 80 °C o 90 °C antes de molerla, se puede conseguir una reducción del color del jugo de un 47% en promedio, debido a la inhibición de la actividad enzimática. (Zossi, Cárdenas, Sorol, & Sastre, 2011)

### **4.2.3 Extracción o molienda de caña**

Se ejecuta a través de un tándem de molinos (que generalmente suelen ser 5 o 6 molinos) con la finalidad de extraer mediante presión ejercida sobre la caña la mayor cantidad de jugo (sacarosa).

#### **4.2.4 Sulfitado y alcalizado del jugo**

El proceso de sulfitado se apoya en adicionar azufre al jugo con la finalidad de que éste compuesto arrastre consigo durante la sedimentación, las partículas en suspensión, ayudando con ello en la disminución del color del jugo, en la destrucción de una serie de microorganismos que afectan a la sacarosa debido al carácter ácido del azufre, además de disminuir la viscosidad del jugo. Es necesario resaltar que en la producción de azúcar cruda, el jugo no se necesita sulfitar. Por su parte el proceso de alcalizado no solo se encarga de neutralizar el jugo mediante la lechada de Cal (cal disuelta en agua) o de Sacarato de Calcio, también se caracteriza por la “defecación” en la que los iones de calcio reaccionan con las impurezas del jugo formando sólidos que precipitan separándolos fácilmente.

#### **4.2.5 Calentamiento y clarificación del jugo**

El calentamiento no es más que aplicar temperatura al jugo que fue sulfitado y alcalizado en dos fases, la primera lleva de 70-75°C y la segunda de 98-102°C. Una vez llegada a la última temperatura el jugo es llevado a unos tanques de flasheo en donde se le adiciona un floculante (polímero de acrilamida) que permite sedimentar los sólidos en suspensión.

#### **4.2.6 Filtración de lodos**

Es la parte en la que los lodos (impurezas líquidas) que salen del clarificador se mezclan con bagacillo y se hace pasar por unos filtros rotatorios que funcionan al vacío y los cuales al aplicarle agua caliente en forma de spray permite recuperar la sacarosa que estos aún contienen.

#### **4.2.7 Evaporación**

Es la disminución del contenido de agua presente en el jugo clarificado el cual pasa por un equipo que trabaja con vapor y al vacío, este tren de evaporadores permite obtener un jarabe o meladura de consistencia viscosa y color carmelita.

#### **4.2.8 Cristalización y agotamiento**

La meladura se concentra hasta alcanzar la sobresaturación y se induce la formación de cristales de azúcar mediante la adición de semilla (mezcla de azúcar pulverizada con alcohol etílico). Eventualmente se agrega un tensoactivo para mejorar la viscosidad de las masas. Los

crisales de azúcar se forman con la mezcla dando como resultado masas con distintas concentraciones.

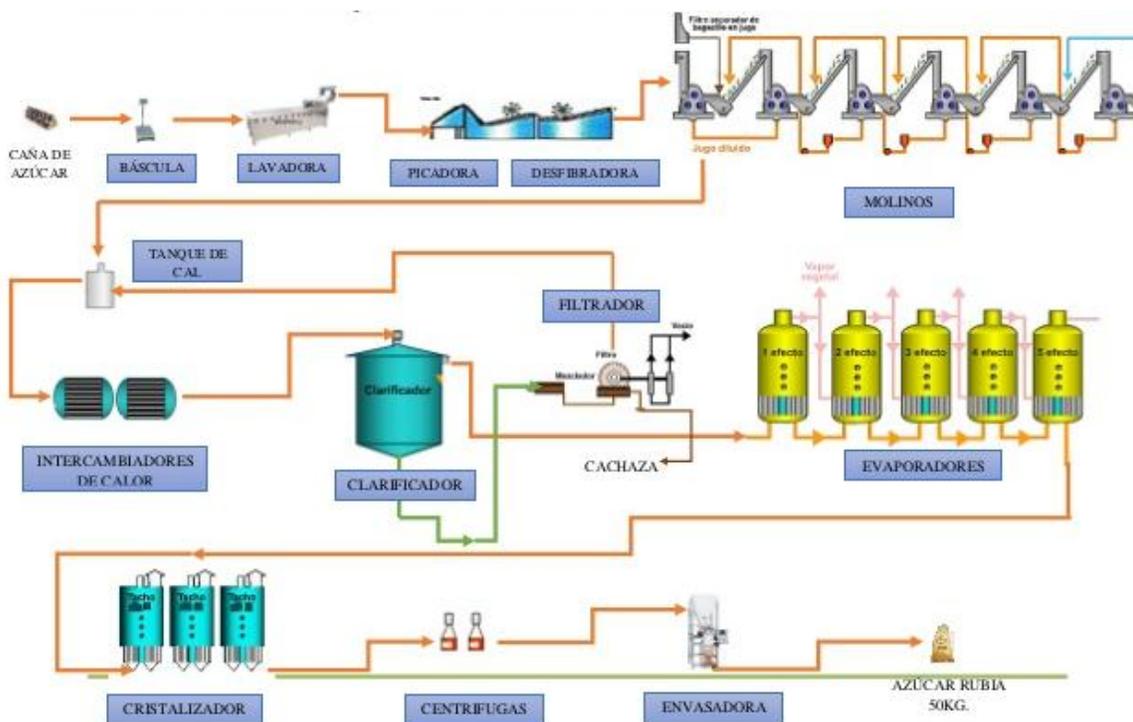
#### 4.2.9 Centrifugación

Es la separación del cristal de azúcar de la miel que lo rodea tras la aplicación de agua caliente dentro de un equipo que gira a una alta velocidad obteniendo con ello un cristal blanco y de aspecto brillante.

#### 4.2.10 Secado y envase del azúcar terminado

Debido a la aplicación de agua en la etapa de centrifugación es necesario bajar el contenido de humedad al cristal obtenido, lo cual se realiza mediante un tambor rotativo aplicando aire caliente en contracorriente. Para finaliza, el azúcar seco se envasa en empaques de diferentes capacidades.

Figura 3. **Proceso de producción de azúcar de caña.**



Fuente: ALIMENTACION NATURAL100, ( 2017).

### **4.3. Trash o materia extraña**

La caña de azúcar luego de ser cortada es levantada por medio de alzadoras de caña, las cuales recogen la materia prima y los elementos intrusos que se encuentren en contacto con ella, razón por la cual los tallos no llegan limpios a la fábrica.

El término “trash” o materia extraña es utilizado para referirse a las hojas secas o verdes, cogollos, tallos deteriorados, tierra, suciedad, rocas y otros objetos.

La presencia de material extraño depende de la eficiencia con que sea removido (corte manual o mecanizado) durante la cosecha, para Ramos (2009) los valores de materia extraña oscilan en 3.5-8.5%, mientras que en otros informes se admite en la casi totalidad del mundo cañero un límite máximo del orden del 3 al 5%, afirmando que por cada 1% de materia extraña entregada a la fábrica se pierde 1.5 kg de azúcar por tonelada de caña procesada. (Hernandes Navarro & Rostgaard Beltrán, 2014)

La incidencia del trash se ve reflejada sobre los costos de producción, pues no solo daña la eficiencia industrial, sino, por lo que determina en el encarecimiento del corte, tiro, alza y transporte.

#### **4.3.1 Efectos de trash en el jugo de caña**

Bien lo describe Rein (2012) que el color del jugo depende en gran medida de la variedad de la caña, de la región de cultivo, y de la presencia de materia extraña como hojas y cogollos, pues el color asociado con estos es mucho más elevado que el color obtenido con el tallo limpio, siendo esto reflejado en los análisis obtenidos. Se dice que el 1% adicional de cogollos u hojas incrementa el color total en 4% y 15% respectivamente. Por tanto una cantidad significativa de hojas y cogollo pueden tener un efecto determinante sobre el color, mayor que el efecto varietal.

Algunos autores están de acuerdo que el incremento de trash provoca los siguientes efectos en el jugo de la caña:

- Se reduce la pureza del jugo mezclado debido al incremento de las impurezas.

- Aumento del color del jugo mezclado entre 350 a 400 ICUMSA (UI) por cada unidad porcentual de materia extraña.
- El pH del jugo mezclado disminuye debido a la presencia de ácidos orgánicos, aumentando el consumo de lechada de cal. (Hernandes Navarro & Rostgaard Beltrán, 2014)

La investigación realizada en un ingenio cubano por Navarro y Rostgaard (2014) relacionada con el “impacto de la materia extraña en la calidad de los jugos de caña y en los indicadores de eficiencia de un central azucarero” se obtuvieron como resultados que el incremento de trash tiene influencia directa sobre la pureza del jugo mezclado, afectando con ello la calidad del mismo, no solamente por la concentración de azúcar (sacarosa) sino por acrecentar los niveles de concentración de compuestos no azúcares como flavonoides, antiocianos, compuestos fenólicos y los grupos aminos, que se consideran los responsables mayoritarios del aumento del color del jugo. Asimismo, al incrementar el material extraño la extracción de jugo mezclado se ve afectado, pues se aumenta la cantidad de fibra en la caña lo que propicia la pérdida de sacarosa en el bagazo, favoreciendo con ello mayor contenido de humedad en el mismo, aumentando a su vez la cantidad de cachaza, además de aumentar la recirculación de jugo en los filtros, disminuir el potencial de agotamiento de las masas cocidas, ejercer cierto poder inhibitorio en la cristalización de la sacarosa y finalmente reducir la producción de azúcar.

#### **4.4. Compuestos fenólicos**

Los fenoles o compuestos fenólicos son compuestos orgánicos que contienen dentro de su composición molecular al menos un grupo fenol, un anillo aromático unido a lo menos a un grupo hidroxilo, estos se consideran productos metabólicos secundarios que se forman en las plantas mediante dos vías, siendo estas la vía del ácido shikímico y la vía del ácido malónico. Se pueden clasificar en simples (eje. Ácido cafeico) y complejos (eje. Flavonoides). (Wikipedia 2015)

Los compuestos fenólicos y los flavonoides son responsables de las dos terceras partes del color en el azúcar crudo (Hernandes Navarro & Rostgaard Beltrán, 2014). Por otra parte se establece que el color en el jugo se debe al pardeamiento enzimático de éstos compuestos. (Zossi, Cárdenas, Sorol, & Sastre, 2010)

Los compuestos fenólicos son importantes desde el punto de vista del proceso de elaboración de azúcar debido a que reaccionan con iones metálicos para producir sustancias altamente coloreadas, también experimentan reacciones no enzimáticas de oxidación y autopolimerización, formando pigmentos oscuros; reaccionan con proteína y aminoácidos formando compuestos coloreados de marrones a negros y reaccionan con aldehídos en presencia de ácidos, formando productos de condensación rojos. (Zossi, Cárdenas, Sorol, & Sastre, 2010)

Como bien se mencionó con anterioridad el color es un parámetro importante que define la calidad de los azúcares (crudo o blanco), si bien es cierto, en un proceso normal de azúcar el color está determinado por el contenido de colorantes que entran con la caña. Sin embargo, se toma en consideración que el color en el azúcar puede tener un origen vegetal/natural o bien originarse durante el proceso fabril.

En el jugo de caña de azúcar, los compuestos fenólicos se encuentran usualmente como derivados del ácido cinámico, siendo el más común el ácido clorogénico. Tiene estructuras de ésteres cuando están unidos a un alcohol, o de glicósido cuando el ácido está ligado a una unidad de azúcar, tal como glucosa. Este tipo de compuestos proveen información sobre los colorantes que provienen de la planta de caña y pueden reaccionar enzimáticamente o no, tanto con grupos amino o aldehídos, durante el proceso de elaboración de azúcar, para formar compuestos de mayor peso molecular, pudiendo contribuir a su color. Es importante la cuantificación de los mismos para tener una idea de la calidad del azúcar a obtener. (Zossi, Cárdenas, Sorol, & Sastre, 2010)

Los antocianos son un tipo de compuestos fenólicos, intensamente coloreados y responsables del color de la corteza de algunas variedades de caña. Se descomponen con el calor y no sobreviven al proceso de clarificación. Son responsables de las pigmentaciones roja, violeta y azul en las plantas y su color se torna oscuro cuando el pH disminuye, pero se descomponen fácilmente a pH 7,0 durante la clarificación y el calentamiento, originándose un glicósido de cumarina incoloro. Aunque su concentración no causa efectos negativos durante la fabricación de azúcar, influye en el color del jugo. (Zossi, Cárdenas, Sorol, & Sastre, 2010)

Tabla III. **Compuestos fenólicos de mayor relevancia en el azúcar.**

Ácido ferúlico	Ácido quínico
Ácido cafeico	Ácido 3-hidroxibenzoico
Ácido clorogénico	Ácido vanílico
Ácido p-hidroxibenzoico	Vanillin

Fuente: Larrahondo Aguilar, (2017).

Los compuestos de naturaleza fenólica presentes en los jugos, pueden ser sencillo o de bajo peso molecular, o de estructura más compleja como los flavonoides, los cuales pueden existir en forma libre o como glucósidos, unidos a moléculas de azúcares. Algunos de los fenoles son incoloros dentro de la planta, pero se oxidan o reaccionan con aminas produciendo sustancias coloreadas. (Castillo Gómez, 2016)

Los niveles altos de coloración en el jugo de caña desde el punto de vista del proceso fabril, puede ser una problemática e indicar perdidas de azúcar, dificultades para la refinación, elevación de costos de remoción en la refinería y estar asociados con problemas de sabor, formación de “floc” y generación de complejos con otros elementos.

#### 4.4.1 Método de Folin-Ciocalteu

El reactivo de Folin-Ciocalteu o bien Folin-Denis es una mezcla de ácido fosfomolibdico ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ) y ácido fosfowolfrámico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) en medio básico, que se reduce por oxidación de los fenoles originando óxidos de wolframio ( $W_8O_{23}$ ) y de molibdeno ( $MO_8O_{23}$ ) los cuales pueden observarse a través de la coloración azul generada por la oxidación, dicha coloración es proporcional a la concentración de compuestos fenólicos presentes. (Castillo Gómez, 2016)

Utilizado para determinar antioxidantes fenólicos y polifenólicos, este reactivo no sólo mide los fenoles totales, sino que reacciona con cualquier sustancia reductora. Funciona midiendo la cantidad de sustancia analizada que se necesita para inhibir la oxidación del reactivo. (wikipedia, 2015)

El ensayo Folin-Ciocalteu se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu, a pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser determinada espectrofotométricamente a 765nm.

#### 4.4.1.1 La espectrofotometría

La espectrofotometría es una técnica de análisis que se basa en la relación existente entre la absorción de luz por parte de un compuesto y su concentración. Debido a que todas las sustancias son capaces de absorber energía radiante y cada una tiene su propio espectro de absorción es que se utiliza un espectrofotómetro para determinar las concentraciones de diferentes compuestos en solución, esto ocurre cuando al incidir una luz monocromática (de una sola longitud de onda) sobre un medio homogéneo, una parte de la luz es absorbida por el medio y la otra parte transmitida, como consecuencia de la intensidad del rayo de luz sea atenuada desde  $P_0$  a  $P$ , siendo  $P_0$  la intensidad de la luz incidente y  $P$  la intensidad del rayo de luz transmitido.

El diseño de un espectrofotómetro incluye una fuente de luz, un prisma, un portaceldas y una fotocelda. Conectado a cada equipo se tienen apropiados sistemas eléctricos o mecánicos para controlar la intensidad luminosa, la longitud de onda, y para la conversión de energía recibida por la fotocelda en un cambio de voltaje; y almacenada en una computadora para su posterior análisis.

La espectrofotometría puede aplicarse principalmente en:

- ✓ Determinar la cantidad de concentración en una solución de algún compuesto.
- ✓ Determinar estructuras moleculares.
- ✓ Identificar unidades estructurales específicas, ya que estas tienen distintos tipos de absorbancia (grupos funcionales o isomerías).

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo General**

Evaluar la correlación entre el contenido de trash y compuestos fenólicos sobre el color del jugo de caña de azúcar.

### **5.2. Objetivo Específicos**

1. Implementar el método de Fenol-Folin Ciocalteu para la determinación de compuestos fenólicos en jugos de caña de azúcar por medio de la técnica de espectrofotometría.
2. Determinar por medio del método de selección y pesaje de componentes la cantidad de trash presente en la caña cosecha.
3. Determinar por medio del método de Fenol-Folin Ciocalteu la concentración de compuestos fenólicos en el jugo cosecha.
4. Determinar por medio de la técnica de espectrofotometría el color de jugo cosecha.
5. Encontrarla relación de la cantidad de compuestos fenólicos y el porcentaje de trash que inciden en el color del jugo de la caña de azúcar a través de un análisis de correlación.

## **6. HIPÓTESIS**

El color del jugo de la caña de azúcar tiene relación con el contenido de trash y la concentración de compuestos fenólicos.

## 7. RECURSOS

### 7.1. Recurso humano disponible

Para el desarrollo del proyecto de investigación fue necesario contar con la colaboración del recurso humano, tanto para la realización de los análisis e investigación, así como la asesoría y evaluación de resultados

- Investigadora: Carol Ivana Ortíz Valenzuela
- Asesora: Inga. Aurora Carolina Estrada Elena
- Jefe de Laboratorio: Alexis González
- Asesora adjunta: Inga. Jeniffer Michelle Martínez Cervantes

### 7.2. Recurso institucional

- Ingenio Palo Gordo S.A.
- USAC-CUNSUROC

### 7.3. Recurso físico

- Laboratorio de Caña - Ingenio Palo Gordo S.A.
- Laboratorio de Control de Calidad - Ingenio Palo Gordo S.A.

Para la ejecución de los análisis de investigación fue necesario la utilización de diversos materiales, equipos y reactivos los cuales serán desglosados a continuación:

#### **Reactivos**

- Reactivo de Fenol-Folin Ciocalteu
- Carbonato de sodio 7.5% p/v
- Fenol 0.01%
- Metanol acidificado
- Agua desmineralizada o destilada
- Solución de ácido clorhídrico 0.1 N
- Solución de hidróxido de sodio 0.1 N

## **Materiales y equipo**

- Core Sampler (moto caña)
- Prensa hidráulica (Irbi 2500lb de presión)
- Balanza (pesaje de trash: OHAUS-Pionner)
- Recipiente plástico (250ml)
- Cubeta plástica (4 lts. y 19 lts.)
- Mesa con malla (150 cms. \* 100cms)
- Machete (Tramontina de 60 cms.)
- Escoba (Laser Industrial de 120 cms.)
- Pala (Ega Master de 0.95 kg)
- Lima (Ega Master-plana paralela)
- Guantes de latex
- Brocha
- Materia Prima (Cosecha de caña de azúcar)
- Pipetas de vidrio (1.5 y 10 ml)
- Tubo de ensayo de rosca de vidrio (10 ml)
- Baño ultrasónico (2.8L-115V-60HZ)
- Espectrofotómetro (de doble haz controlado por PC- Rango de longitud de onda: 190-1100nm- Exactitud: +/-0,2nm- Repetibilidad: +/- 0,1 nm- Rango fotométrico: -2 a +3 Abs, +/- 10000 %T)
- Celda de 10 mm de ancho
- Probeta de vidrio (10 ml)
- Refractómetro DR6000(Rangos de medición: 1,3200 – 1,5800 nD0-95 %Brix- Resolución: 0,0001 nD 0,1 %Brix Precisión: 0,0001 nD0,1 %Brix
- Balanza analítica (cap. 220 g-resolucion 0.1mg)
- Potenciómetro (Rangos de medición: -2,000/+20,000 pH- Resolución: 0,1 / 0,01 / 0,001 pH- Precisión:  $\pm 0,1$  /  $\pm 0,01$  /  $\pm 0,002$  pH-Compensación de temperatura: automática o manual de -20,0 a 120,0 °C)
- Equipo de filtración / membranas de 47 mm de diámetro de 0.45  $\mu\text{m}$
- Beaker de 250 ml

- Agitador magnético (Thasta 380 °C-velocidad de 100 a 1500 rpm)

#### **7.4. Recurso económico**

- Ingenio Palo Gordo S.A.
- Otros gastos fueron costeados por el investigador

## 8. DISEÑO ESTADÍSTICO

### 8.1. Determinación del tamaño de muestra.

En estadística el tamaño de la muestra es el número de sujetos que componen la muestra extraída de una población, necesarios para que los datos obtenidos sean representativos de la población. En esta investigación se utilizó la fórmula para determinar la muestra de una población que se considera como desconocida o infinita, y se asume un 95% de confiabilidad y un error experimental del 10%. A continuación se presenta la fórmula y el respectivo cálculo:

$$n = \frac{z^2 pq}{\varepsilon^2}$$

Dónde:

n= tamaño de la muestra

z= valor típico (confiabilidad)

p= probabilidad de éxito

q= probabilidad de fracaso (1-p)

$\varepsilon$ = error experimental

z= 1.96

p= por no tener valores se asume 0.5

q= 1-p = 1-0.5= 0.5

$\varepsilon$ = 0.1

Entonces:

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.1^2} = 96.04$$

A partir de este resultado se evaluaron 97 muestras escogidas al azar por método del Core Sampler.

Este muestreo se llevó a cabo durante la zafra 2018-2019 en los meses de Noviembre y Diciembre, en el turno de la mañana que corresponde de las 7 de la mañana a 3 de la tarde.

## **8.2. Análisis estadístico de regresión y correlación múltiple**

Para realizar la investigación correspondiente se estableció hacer uso del análisis estadístico de correlación simple, debido a que se analizó la relación que existe entre dos variables independientes: porcentaje de trash y compuestos fenólicos y una variable dependiente que corresponde al color del jugo de caña.

A continuación se detalla información relevante al método de Correlación y Regresión.

### **9.2.1 Análisis de correlación**

Dado dos o más variables, la correlación permite hacer estimaciones del valor de una de ellas conociendo el valor de las otras variables.

### **9.2.2 Diagrama de dispersión**

Los diagramas de dispersión son planos cartesianos en los que se marcan los puntos correspondientes a los pares ordenados (x,y) de los valores de las variables (Suárez, 2017).

### **9.2.3 Clasificación de la correlación**

- Según la relación entre variables

Correlación lineal: La correlación lineal se representa mediante una línea recta.

Correlación no lineal: La correlación no lineal se representa con una línea curva.

- Según el número de variables

Correlación simple: En la correlación simple la variable dependiente actúa sobre la variable independiente.

Correlación múltiple: Es una correlación múltiple cuando la variable dependiente actúa en función de variables independientes.

- Según el signo

Correlación positiva: Una correlación es positiva cuando al aumentar o disminuir el valor de una de ellas entonces el valor correspondiente a la otra aumentará o disminuirá respectivamente, es decir, cuando las dos variables aumentan en el mismo sentido, por ejemplo: Peso de una persona y su talla. (Suárez, 2017).

Correlación negativa: Una correlación es negativa cuando al aumentar o disminuir el valor de una de ellas entonces el valor de la otra disminuirá o aumentará respectivamente,

es decir, una variable aumenta y otra disminuye o viceversa. Por ejemplo: Número de partidos ganados por un equipo en una temporada y su posición final en la tabla. (Suárez, 2017).

#### 9.2.4 Coeficiente de correlación

Los coeficientes de correlación son medidas que indican la situación relativa de los mismos sucesos respecto a las variables, es decir, es la expresión numérica que indica el grado de relación existente entre las 2 o más variables y en qué medida se relacionan. Son números que varían entre los límites +1 y -1. Su magnitud indica el grado de asociación entre las variables; el valor  $r=0$  indica que no existe relación entre las variables; los valores  $\pm 1$  son indicadores de una correlación positiva perfecta (al crecer o decrecer X, crece o decrece Y) o negativa perfecta (al crecer o decrecer X, decrece o crece Y). (Suárez, 2017)

Para interpretar el resultado del coeficiente de correlación se utilizó la siguiente escala de correlación entre variables.

Tabla IV. **Escala de Correlación entre variables.**

Valor	Significado
-1	Correlación negativa perfecta
-0.81 a -0.99	Correlación muy fuerte
-0.61 a -0.80	Correlación negativa fuerte
-0.41 a -0.60	Correlación negativa moderada
-0.21 a -0.40	Correlación negativa débil
-0.20 a 0.20	No hay correlación
0.21 a 0.40	Correlación positiva débil
0.41 a 0.60	Correlación positiva moderada
0.61 a 0.80	Correlación positiva fuerte
0.81 a 0.99	Correlación positiva muy fuerte
1	Correlación positiva perfecta

Fuente:Sosa, (2017).

## 9. MARCO OPERATIVO

### 9.1. Variables.

La investigación fue realizada para determinar la influencia directa o indirecta que tiene las variables tomadas en cuenta sobre el color del jugo de caña. Estas se detallan a continuación:

Tabla V. **Variables empleadas en la investigación.**

Variable	Dependiente	Independiente
Trash		X
Color	X	
Compuestos fenólicos		X

Fuente: elaboración propia 2018

### 9.2. Delimitación del campo de estudio.

El proyecto de investigación se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la unidad industrial Ingenio Palo Gordo, específicamente en el área de laboratorio de Aseguramiento de la calidad con el apoyo del laboratorio de caña ambos de la misma institución, siendo el primero en donde se realizaron las pruebas y análisis del proceso de investigación, durante la zafra 2018-2019.

### 9.3. Preparación de soluciones utilizadas en la investigación.

Para la ejecución de los ensayos fue necesario utilizar cuatro soluciones que debían prepararse con anterioridad, estas fueron: solución de reactivo de Fenol-Folin Ciocalteu, solución de Carbonato de sodio 7.5 % p/v, solución de Fenol 0.01% y solución de metanol acidificado. La metodología de cada una de ellas se describe en anexos (ver anexos 1, 2, 3 y 4).

### 9.4. Elaboración de curva de compuestos fenólicos mediante el método de Fenol-Folin Ciocalteu en jugo de caña de azúcar.

Con las soluciones realizadas, se elaboró una curva de calibración de compuestos fenólicos, la cual consistió en una gráfica que relacionó la concentración de once soluciones estándar conocidas, con la absorbancia de cada una de ellas.

Para iniciar con el ensayo de la curva de calibración de compuestos fenólicos en el jugo de caña de azúcar, se enumeraron once tubos de ensayo de rosca y con tapón, haciendo uso de una pipeta se agregó a cada uno de ellos la solución patrón de Fenol 0.01%, solución de Metanol acidificado, solución de reactivo de Fenol-Folin Ciocalteu y la solución de Carbonato de sodio 7.5% en las cantidades que correspondían y por separado (ver anexo 5).

Una vez agregado todo lo anterior al tubo de ensayo, se cerraron y se agitaron con la finalidad de homogenizar la solución, y se colocaron en baño maría (45°C) por quince minutos. Pasado este tiempo se bajó la temperatura con agua fría para poder realizar la lectura de absorbancia en el espectrofotómetro a 765nm y con celda de 10 mm.

Los datos obtenidos se registraron en una hoja de cálculo y se graficaron permitiendo observar el comportamiento.

#### **9.5. Determinación de Trash Vegetal en cosecha de caña de azúcar.**

Una vez que se obtuvo la curva de calibración de compuestos fenólicos, se procedió con la técnica de muestreo empleada por el laboratorio de caña de Ingenio Palo Gordo para la determinación del porcentaje de trash vegetal, la cual está basada en la metodología establecida en el manual del Consejo de Productores de Caña de Sao Pablo Brasil (COSECANA).

La técnica consistió en tomar muestras al azar según la programación del equipo de Core Sampler de los camiones que transportan la caña de azúcar, razón por la cual las muestras fueron obtenidas de 30 min a 1 hora aproximadamente. Este análisis consistió en que una vez tomada la muestra del camión, la misma fue colocada en la mesa con malla para separar todo lo ajeno al tallo limpio (hojas secas, vainas, cepas, raíces y caña seca) y se depositó en una cubeta para luego ser pesada y anotado el dato como “peso trash vegetal”, seguidamente los trozos de caña fueron sacudidos con brochas eliminando la tierra que puede contener, dicha tierra se recolectó en las bandejas sujetas a la mesa con malla, para luego pesar y anotar el dato como “peso fondo”. Los resultados obtenidos se utilizaron para las fórmulas detalladas en anexos y con ello determinar el % de trash vegetal en cosecha de caña de azúcar (ver anexo 6).

#### **9.6. Determinación de compuestos fenólicos en jugo de caña de azúcar.**

La muestra obtenida con el Core Sampler se dividió en parte iguales, una parte para realizar la determinación de trash en la caña de azúcar, y la otra porción para la determinación de compuestos fenólicos en jugo de caña de azúcar.

Tomada la porción de caña, se desfibró y prensó para obtener un jugo cosecha (jugo de muestra) de aproximadamente 200ml, que se llevó al laboratorio de aseguramiento de la calidad para ejecutar el ensayo correspondiente, el cual consistió en diluir una pequeña cantidad del jugo de muestra con metanol acidificado, agitarlo y de dicha solución tomar cierta cantidad y vaciarlo a un tubo de ensayo en el cual se agregó la solución de reactivo de Fenol Folin-Ciocalteu y la solución de Carbonato de sodio, sellando y agitando el tubo de ensayo, colocándolo seguidamente en baño maría durante un tiempo estipulado, para luego vaciarlo en una celda y realizar la lectura con el espectrofotómetro (ver anexo 7).

#### **9.7. Determinación de color en jugo de caña de azúcar a pH 7.**

Paralelo al análisis anterior se realizó la determinación de color en jugo de caña de azúcar, para lo cual se pesó una cantidad del jugo de muestra agregando agua desmineralizada o destilada para completar el peso requerido, dicha solución se agitó y ajustó a un pH 7, seguidamente se filtró. El filtrado obtenido se agregó a una celda una parte para obtener una lectura en el espectrofotómetro, y otra parte es utilizada para la lectura en el refractómetro. Con los datos de lectura obtenidos se aplicó la fórmula establecida (ver anexo 8) y se utiliza la tabla de densidades de Brix (ver anexo 9) para completar los datos de dicha fórmula.

#### **9.8. Registro de datos.**

Finalizados los análisis, los valores obtenidos se registraron en una base de datos de Excel la misma contiene la siguiente información:

- Muestra
- Finca
- No. de análisis de trash
- Porcentaje de trash
- Absorbancia de fenoles

- Compuestos fenólicos  $\mu\text{g/ml}$
  - Absorbancia de color
  - Brix
  - Densidad Brix
  - Color
  - pH
- (ver apéndice 2).

## 10. CRONOGRAMA

Cronograma general de actividades 2018-2019																
"EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN DEL CONTENIDO DE TRASH Y COMPUESTOS FENOLICOS SOBRE EL COLOR DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR".																
Mes	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero			
Actividad	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S3	S1	S2	S3	S4
Verificación/gestión de reactivos																
Preparación de soluciones																
Ensayos de curva de calibración de compuestos fenólicos en el jugo de caña																
Análisis de datos de curva de calibración																
Ensayos para la determinación de trash vegetal																
Ensayos para determinación de compuestos fenólicos en el jugo de caña																
Ensayos para determinación de color en el jugo de caña																
Ordenamiento de datos																
Análisis de datos obtenidos																

Fuente: Elaboración propia 2018

## 11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados de la parte experimental de la investigación.

### 11.1. Resultados de elaboración de curva de fenoles.

Para crear la curva de calibración de fenoles, se utilizaron los valores resultantes de absorbancia junto a la cantidad de fenol manipulado en cada tubo de ensayo, los resultados obtenidos se aplicaron en una hoja de cálculo mediante un análisis de regresión y correlación y con ello se consigue el modelo matemático para la determinación de compuestos fenólicos en el jugo de caña cosecha (ver apéndice 1). Dando como resultados una relación de 0.995 dato considerado como positivo muy fuerte según la tabla IV (ver pág. 27) para darle credibilidad a dicha curva de calibración de fenoles.

El modelo matemático resultante es el siguiente:

$$y = 427.1x - 287.52$$

### 11.2. Porcentaje de trash en caña cosecha.

La tabla que a continuación se presenta detalla el porcentaje promedio de la cantidad de trash presente en las 97 muestras analizadas durante la realización del estudio.

Tabla VI. **Promedio de la cantidad del porcentaje de trash.**

No. de muestras	% de Trash
97	5.599381443

Fuente: Elaboración propia 2019

Siendo la media para el porcentaje de trash de 5.59 para la zafra 2018-2019

### 11.3. Concentración de fenoles en el jugo de caña cosecha.

En la tabla siguiente se muestra el resultado promedio de la medición de concentración de fenol para las 97 muestras analizadas durante la ejecución de la investigación.

Tabla VII. **Promedio de la concentración de compuestos fenólicos.**

No. de muestras	Concentración de fenoles (µg/ml)
97	120.3675449

Fuente: elaboración propia 2019

La media de concentración de fenoles es de 120.36 microgramos por mililitro, dato que se tomará como referencia para los próximos análisis.

#### 11.4. Cantidad de color en el jugo de caña cosecha.

La cantidad promedio resultante de color para las 97 muestras analizadas en la investigación corresponde a 20251.54 unidades ICUMSA, lo cual se detalla en la siguiente tabla.

Tabla VIII. **Promedio de la cantidad de color en el jugo de caña cosecha**

No. de muestras	Color (unidades ICUMSA)
97	20251.54342

Elaboración propia 2019

#### 11.5. Resultado del análisis estadístico de correlación.

A continuación se muestra el análisis estadístico realizado para el estudio de la relación sobre el contenido de trash y la concentración de compuestos fenólicos sobre el color del jugo de caña cosecha, y así determinar si la hipótesis planteada es aceptada o rechazada. Los resultados del análisis se obtuvieron mediante el análisis de varianza y el modelo estadístico de correlación simple, los cuales se detallan a continuación según las relaciones manejadas.

Tabla IX. **Resultado del análisis de correlación global simple**

Resultados	Relación		
	fenólicos/color	trash/color	fenólicos/trash
Coefficiente de Correlación Simple	0.0464	0.3060	0.1176
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.0021	0.0936	0.0138
R <sup>2</sup> ajustado	-0.0083	0.0841	0.0034

Fuente: elaboración propia 2019

Los resultados entre los coeficientes de correlación simple analizados entre las variables proporcionaron la siguiente información. Para el análisis de compuesto fenólicos con color el coeficiente de correlación simple es de 0.0464 lo cual indica según la tabla IV (ver pág. 27) que no hay correlación entre las variables. Para el análisis entre trash y color el coeficiente de correlación es de 0.3060 lo cual indica que tiene una correlación positiva débil. A su vez, en el análisis entre compuestos fenólicos con el trash tiene un coeficiente de correlación de 0.1176, lo cual indica que no hay correlación entre las variables.

El coeficiente de determinación  $R^2$  y  $R^2$  ajustado, indican la variabilidad que una variable comparte con otras y la validez del modelo de regresión. Debido a que los valores  $R^2$  y  $R^2$  ajustado en cada una de las relaciones tanto fenólicos/color como trash/color y fenólicos/trash son cercanos permite identificar que el modelo utilizado es confiable.

#### 11.6. Resultados del análisis de varianza global

Tabla X. **Resultados del análisis de varianza de la relación compuestos fenólicos/color**

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	63458110.5	63458110.53	0.20519889	0.65158968
Residuos	95	2.9379E+10	309251719.2		
Total	96	2.9442E+10			

Fuente: elaboración propia 2019

Tabla XI. **Resultados del análisis de varianza de la relación trash/color**

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	2758303054	2758303054	9.82004642	0.00229614
Residuos	95	2.6684E+10	280884930.4		
Total	96	2.9442E+10			

Fuente: elaboración propia 2019

Tabla XII. **Resultados del análisis de varianza de la relación compuestos fenólicos/trash**

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	56739.4194	56739.41942	1.3335464	0.25107179
Residuos	95	4042037.72	42547.76552		
Total	96	4098777.14			

Fuente: Elaboración propia

La correlación del modelo para la relación entre compuestos fenólicos/color y compuestos fenólicos/trash según el análisis de varianza, no es significativo, puesto que los valores críticos de F son de 0.6515 y 0.2510, los cuales son mayores a un  $\alpha=0.05$ , para una probabilidad del 95%. Por su parte, los resultados del análisis de varianza para la relación entre trash/color proporcionan un valor crítico de F de 0.0022, lo que indica que es significativo por ser un dato menor a un  $\alpha=0.05$ , para una probabilidad del 95%.

### 11.7. Resultado de la correlación global entre variables

Tabla XIII. **Matriz de la correlación de Pearson entre las variables de estudio**

	<i>% TRASH</i>	<i>COMPUESTOS FENOLICOS <math>\mu\text{g/ml}</math></i>	<i>COLOR</i>
<i>% TRASH</i>	1		
<i>COMPUESTOS FENOLICOS <math>\mu\text{g/ml}</math></i>	0.1176	1	
<i>COLOR</i>	0.3060	0.0464	1

Fuente: elaboración propia 2019

Tabla XIV. **Correlación de las variables de estudio**

Variable	Coefficiente de correlación	Significado
% Trash/Compuestos Fenólicos $\mu\text{g/ml}$	0.1176	No hay correlación
% Trash/Color	0.3060	Correlación positiva débil
Compuestos Fenólicos $\mu\text{g/ml}$ /Color	0.0464	No hay correlación

Fuente: elaboración propia 2019

La Matriz de Correlaciones de Pearson es un análisis breve e importante, ya que, analiza a todas las variables independientes y su correlación con la variable dependiente, así como la correlación entre variables.

Los signos positivos indican una asociación directa y los signos negativos indican una asociación inversa.

Basándose en los resultados obtenidos y según la tabla IV. de la escala de correlaciones entre variables, el trash/compuestos fenólicos y compuestos fenólicos/color no presentan correlación entre las variables, mientras que el trash/color muestran una correlación positiva débil.

## 12. CONCLUSIONES

1. En base a los coeficientes de correlación resultantes del análisis estadístico realizado, se establece que la hipótesis planteada es rechazada, pues las relaciones entre las variables de estudio sobre el color del jugo de caña de azúcar no son significativas.
2. La implementación del método de Fenol Folin-Ciocalteu proporciono como modelo matemático  $y=427.1x-287.52$  para la determinación de compuestos fenólicos en el jugo cosecha.
3. Se establece una cantidad media del 5.60% de trash vegetal presente en la caña cosecha para la zafra 2018-2019.
4. Se determina que la concentración media de compuestos fenólicos es de 120.36  $\mu\text{g/ml}$  en el jugo cosecha, tomándose en consideración que el dato corresponde a la implementación del Método de Fenol-Folin Ciocalteu para la zafra 2018-2019.
5. La media de Color en el jugo cosecha obtenida es de 20,251.54 Unidades ICUMSA según las muestras de estudio analizadas durante la zafra 2018-2019.
6. Según el análisis de correlación el trash con color presentan una correlación de 0.3060 lo cual indica una relación positiva débil, por otra parte, los compuestos fenólicos con color presentan una correlación de 0.0464 indicando que no existe correlación entre las variables. Por lo tanto se establece que ambas variables no inciden en el color del jugo de la caña.

### **13. RECOMENDACIONES**

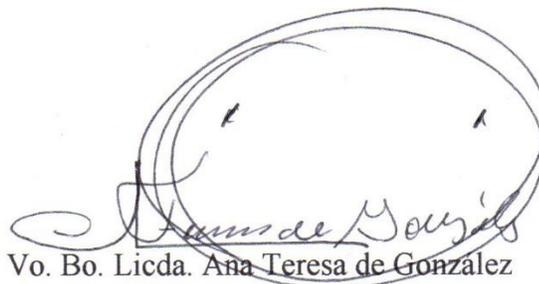
1. Realizar un estudio que permita determinar la relación entre el contenido de almidón y el color del jugo de la caña, por ser éste proveedor de color.
2. El modelo matemático conseguido es válido para absorbancias que van de 0.1115 a 1.816, utilizando en la toma de lectura longitudes de onda de 765nm.
3. Detallar la media del porcentaje de trash diario de las diferentes variedades de caña ingresadas al proceso, utilizando como control un límite máximo del 5% con la finalidad indicar al área agrícola el comportamiento para que puedan tomar las medidas correctivas.
4. Darle seguimiento a la utilización del Método de Fenol- Folin Ciocalteu para registrar las concentraciones de compuestos fenólicos en el jugo de caña cosecha, tomando como base comparativa el resultado de 120.36  $\mu\text{g/ml}$  para zafras futuras.
5. Determinar el color en las distintas variedades de caña de azúcar específicas de Ingenio Palo Gordo.

## 14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alimentación Natural100. (09 de 06 de 2017). *Alimentación Natural 100*. Recuperado el 15 de abril de 2018, de <https://alimentacionnatural100.wordpress.com/2017/06/09/como-se-crea-el-azucar/>
2. Castillo Gómez, M. L. (2016). *Determinación de la concentración de fenoles totales por el método de folin-ciocalteu en el jugo de caña de azúcar de las variedades CP722086, CP88-1165 y CP731547 utilizadas en el ingenio Trinidad*. Guatemala.
3. CENGICAÑA. (2012). *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. Guatemala: Artemis Edinter.
4. Chen, J. (1985). *Manual del azúcar de caña: para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados*. México: Noriega Editores.
5. Doherty, W.O.S., & Edye, L. (1999). *An overview on the chemistry of clarification of can sugarjuice*. Recuperado el 16 de marzo de 2017, de [https://www.assct.com.au/media/pdfs/1999\\_pa\\_m55.pdf](https://www.assct.com.au/media/pdfs/1999_pa_m55.pdf)
6. Doherty, W. E. (2002). *The effect of liming conditions in juice clarification*. *proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.* Recuperado el 17 de marzo de 2017, de [https://www.assct.com.au/media/pdfs/1999\\_pa\\_m55.pdf](https://www.assct.com.au/media/pdfs/1999_pa_m55.pdf)
7. Gómez, C. (2010). *Optimización del proceso de clarificación de meladura mediante el seguimiento de nueve variables fisicoquímicas en el ingenio Risaralda S.A.* Recuperado el 27 de marzo de 2017, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1823/664122G569.pdf?sequence=1>
8. Hernandez Navarro, H., & Rostgaard Beltrán, L. (2014). Impacto de la materia extraña en la calidad de los jugos de caña y en los indicadores de eficiencia de un central azucarero. *Centro Azúcar*, (41); 45.

9. Hugot, E. (1986). *Handbook of cane sugar engineering. (3a. ed.)* Amsterdam, Holanda: Elsevier Science Publishers B.V.
10. Julienne, L., & Montocchio, G. (1996). *Review on design and operation of clarifiers in the South African sugar industry for the period 1975 to 1995.* Recuperado el 17 de marzo de 2017, de [https://www.assct.com.au/media/pdfs/1996\\_pa\\_m55.pdf](https://www.assct.com.au/media/pdfs/1996_pa_m55.pdf)
11. Kulkarni, D. (1993). *Fabricación de azúcar de caña en la India.* Universidad de Michigan: Asociación de Tecnólogos del Azúcar de la India.
12. Larrahondo Aguilar, J. E. (2017). *Composición química de la caña de azúcar.* Recuperado el 01 de abril de 2018, de [https://www.atagua.org/presentaciones/XIVCongresoNacional2017/fabrica/composicion\\_quimica\\_dr\\_larrahondo.pdf](https://www.atagua.org/presentaciones/XIVCongresoNacional2017/fabrica/composicion_quimica_dr_larrahondo.pdf)
13. Moreno, N. (2017). *Elaboración de azúcar a partir de caña.* Recuperado el 15 de abril de 2018, de <http://slideplayer.es/slide/11122265/>
14. Ramos, A. A. (2009). *Procesos de elaboración del Azúcar y etanol de la Caña.* Colombia: Universidad del Valle.
15. Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar.* Berlin, Alemania: Verlag Dr. Albert Bartens KG.
16. Sosa, S. F. (2017). *Correlación entre las variables de control en la etapa clarificación y la eficiencia de los clarificadores rápidos modelos SRI en Ingenio Palo Gordo.* Mazatenango, Suchitepéquez, Guatemala.
17. Suárez, M. (2017). *Correlación y Regresión.* Recuperado el 27 de marzo de 2017, de <http://www.docentesinnovadores.net/Archivos/5862/CORRELACION%20Y%20REGRESION%20EMPLEANDO%20EXCEL%20Y%20GRAPH.pdf>
18. Van Der Poel, P., Schiwiek, H., & Schwartz, T. (1998). *Sugar Technology, Beet and Cane Sugar Manufacture.* Berlin, Alemania: Verlag Dr. Albert Bartens KG.

19. *Reactivo de Folin Ciocalteu*(05 de Noviembre de 2015). Recuperado el 05 de Abril de 2018, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Reactivo\\_de\\_Folin-Ciocalteu](https://es.wikipedia.org/wiki/Reactivo_de_Folin-Ciocalteu)
20. Zossi, S., Cárdenas, G., Sorol, N., & Sastre, M. (2010). Influencia de compuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de caña de azúcar en Tucumán (R.Argentina) Parte1: Caña limpia y despuntada . *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, (87);15-27.
21. Zossi, S., Cárdenas, G., Sorol, N., & Sastre, M. (2011). Influencia de compuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de caña de azúcar en Tucumán (R. Argentina)Parte 2:caña verde y quemada . *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*,(88);19-20



Vo. Bo. Licda. Ana Teresa de González

Bibliotecaria CUNSUROC



## 15. ANEXOS

### **ANEXO 1. Solución de Reactivo de Fenol-Folin**

#### Equipo

- Pipeta
- Repipeteador
- Balón de 100 ml

#### Reactivos

- Reactivo de Fenol-Folin Ciocalteu
- Agua desmineralizada o destilada

#### Metodología

- Medir 10 ml de reactivo de Fenol-Folin Ciocalteu y transferir a un balón de 100 ml.
- Disolver con agua desmineralizada o destilada y aforar

### **ANEXO 2. Solución de Carbonato de sodio 7.5% p/v**

#### Equipo

- Balanza
- Capsula de pesaje
- Balón de 50 ml

#### Reactivos

- Carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )
- Agua desmineralizada o destilada

#### Metodología

- Pesar 3.75 g de carbonato de sodio y transferir a un balón de 50 ml
- Disolver con agua desmineralizada o destilada y aforar

### **ANEXO 3. Solución de Fenol 0.01%**

#### Equipo

- Balón aforado de 100 ml
- Micropipeta

#### Reactivos

- Fenol
- Agua desmineralizada

#### Metodología

- Medir 0.01ml de fenol y transferir a un balón de 100 ml
- Disolver con agua desmineralizada o destilada y aforar

### **ANEXO 4. Solución de Metanol acidificado**

#### Equipo

- Pipeta
- Balón de 1000 ml
- Repipeteador

#### Reactivos

- Metanol ( $\text{CH}_4\text{O}$ )
- Ácido Clorhídrico (HCl)

#### Metodología

- Medir 27 ml de ácido clorhídrico y transferir a un balón de 1000 ml
- Agregar 973 ml de metanol al balón y mezclar

### **ANEXO 5. Curva de compuestos fenólicos en jugo de caña de azúcar**

#### Reactivos

- Reactivo de Fenol-Folin Ciocalteu
- Carbonato de sodio 7.5%
- Fenol 0.01%
- Metanol acidificado

#### Equipo

- Tubos de ensayo
- Pipetas de 50  $\mu\text{l}$  hasta 500  $\mu\text{l}$
- Baño maría
- Espectrofotómetro

- Celda de vidrio de 10 mm

#### Desarrollo

- Numerar 11 tubos de ensayo y colocar las cantidades de Fenol-Folin Ciocalteu y solución de Metanol acidificado que se indican a continuación.

No. de Tubo de ensayo	μl de patrón de fenol	Metanol acidificado
	Fenol 0.01% (p/v)	(μl)
1	0	500
2	50	450
3	100	400
4	150	350
5	200	300
6	250	250
7	200	200
8	350	150
9	400	100
10	450	50
11	500	0

- Colocar 2.5 ml del reactivo Fenol-Folin Ciocalteu, en cada tubo de ensayo.
- Agregar 2 ml de carbonato de sodio 7.5%.
- Mantener en baño maría por 15 minutos a 45 °C. Enfriar en baño de agua fría.
- Realizar las lecturas de absorbancia a 765nm y con celda de 10 mm de ancho.

### ANEXO 6. Determinación de trash vegetal en cosecha de caña de azúcar

#### Materiales y equipo

- Core Sampler
- Balanza
- Recipiente plástico
- Cubeta
- Mesa con malla
- Machete
- Escoba

- Pala
- Lima
- Guantes
- Brocha

#### Materia Prima

- Cosecha de caña de azúcar

#### Desarrollo

- Separar las hojas, vainas, cepas, raíces y caña seca y depositar en una cubeta.
- Pesar los elementos separados en el paso anterior y anotar como peso trash vegetal
- Limpiar cada trozo de caña con una brocha para separar la tierra que pueda estar adherida.
- Colocar en una cubeta la caña limpia y pesar. Anotar peso caña limpia.
- Recolectar todo el residuo de tierra que queda en la bandeja y pesar. Anotar como peso fondo.
- Ingresar los datos obtenidos al sistema de laboratorio. En caso contrario, con los datos obtenidos calcular los porcentajes de la siguiente manera:
- $\text{Peso total muestra trash} = \text{peso fondo} + \text{peso trash vegetal} + \text{peso caña limpia}$

$$\%caña\ limpia = \frac{\text{peso caña limpia}}{\text{peso total muestra trash}} \times 100$$

$$\%Trash\ Vegetal = \frac{\text{peso trash vegetal}}{\text{peso total muestra trash}} \times 100$$

$$\%Fondo = \frac{\text{peso fondo}}{\text{peso total muestra trash}} \times 100$$

## **ANEXO 7. Determinación de compuestos fenólicos en jugo de caña de azúcar**

### Equipo

- Pipetas de 1.5 y 10 ml
- Tubo de ensayo
- Baño maría
- Espectrofotómetro
- Celda de 10 mm de ancho
- Probeta de 10 ml

### Reactivos

- Solución de Metanol acidificado
- Reactivo de Fenol-Folin Ciocalteu
- Solución de Carbonato de sodio 7.5% p/v
- Agua desmineralizada o destilada

### Desarrollo

- Diluir el jugo 10 veces con solución de Metanol acidificado (1:10 ml), utilizando pipetas para medir las cantidades.
- Transferir 0.5 ml de jugo diluido del paso anterior a un tubo de ensayo.
- Agregar al tubo de ensayo, 2.5 ml de reactivo de Fenol-Folin Ciocalteu.
- Agregar al tubo de ensayo, 2 ml de carbonato de sodio 7.5%.
- Homogenizar la muestra en el tubo de ensayo y colocar en baño maría a 45 °C durante 15 minutos. Enfriar con agua del grifo (a temperatura ambiente). Realizar la lectura en el espectrofotómetro con celda de 10 mm.

## **ANEXO 8. Determinación de color en el jugo de caña a pH 7**

### Equipos

- Espectrofotómetro
- Celda de 10 mm
- Refractómetro
- Balanza analítica
- Potenciómetro

- Equipo de filtración
- Membranas de 47 mm de diámetro de 0.45  $\mu\text{m}$
- Beaker de 250 ml
- Tubo de ensayo
- Baño Ultrasónico

#### Reactivos

- Agua desmineralizada o destilada
- Solución de ácido clorhídrico 0.1 N
- Solución de hidróxido de sodio 0.1 N

#### Desarrollo

- Pesar 5grs. de muestra en el beaker y agregar 95 grs de agua desmineralizada y mezclar.
- Ajustar el pH de la muestra diluida a 7 +/- 0.05, si la muestra es inferior a pH 7 ajustarla con la solución de hidróxido de sodio 0.1 N, si en caso es superior a pH 7 ajustar con la solución de ácido clorhídrico a 0.1 N, hasta obtener la concentración indicada.
- Filtrar la muestra en un tubo de ensayo usando la membrana de filtración de 0.45  $\mu\text{m}$  47mm y el equipo de filtración.
- Descartar los primeros ml de filtrado y conservar el resto.
- Introducir el tubo de ensayo con la muestra en el baño ultrasónico por 5 minutos para deaerar la solución filtrada.
- Leer en el refractómetro el Brix de la solución filtrada, anotar el dato.
- Llenar una celda de vidrio 10 mm con agua desmineralizada, esta será solución blanca.
- Leer la absorbancia del agua en el espectrofotómetro, anotar el dato, este será el CERO.
- Llenar otra celda de vidrio con la solución deaerada y colocar la celda dentro del espectrofotómetro.
- Leer la absorbancia de la muestra y anotar el dato.

Resultados:

**Calcular el color de la muestra con la siguiente formula:**

$$\frac{\text{Absorbancia} \times 1000}{\text{ancho de celda} \times \text{Densidad según Brix}}$$

Nota: para obtener el dato de densidad según Brix, ver tabla de densidad de caña de azúcar en laboratorio.

**ANEXO 9. Tabla de densidad de caña de azúcar laboratorio industrial de aseguramiento de la calidad.**

Valores de densidad para soluciones puras de sacarosa a 20 °C

*w* = fracción máscica expresado como porcentaje,  $\rho$  = densidad en kg/m<sup>3</sup>,  $m_w/V$  = peso con respecto al aire por unidad de volumen en kg/m<sup>3</sup>,  $c$  = concentración máscica en g/cm<sup>3</sup>. La densidad  $\rho$  ha sido calculada iterativamente para fracciones máscicas a intervalos de 0,1 % utilizando el polinomio (1) y la relación  $c = w \times \rho$  ( $w$ , 20 °C). Los valores para  $m_w/V$  fueron calculados por medio de:  $m_w/V = (\rho - 1,2)/0,99985$ . Para valores  $w > 60\%$ : rango extrapolado.

<i>w</i> %	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$m_w/V$ kg/m <sup>3</sup>	$c$ g/cm <sup>3</sup>	<i>w</i> %	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$m_w/V$ kg/m <sup>3</sup>	$c$ g/cm <sup>3</sup>	<i>w</i> %	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$m_w/V$ kg/m <sup>3</sup>	$c$ g/cm <sup>3</sup>
0,0	998,203	997,153	0,000000	5,0	1017,805	1016,757	0,050890	10,0	1038,114	1037,070	0,103811
0,1	998,588	997,538	0,000999	5,1	1018,204	1017,157	0,051928	10,1	1038,528	1037,483	0,104891
0,2	998,974	997,924	0,001998	5,2	1018,604	1017,556	0,052967	10,2	1038,942	1037,897	0,105972
0,3	999,360	998,310	0,002998	5,3	1019,003	1017,956	0,054007	10,3	1039,356	1038,312	0,107054
0,4	999,746	998,696	0,003999	5,4	1019,403	1018,356	0,055048	10,4	1039,770	1038,726	0,108136
0,5	1000,132	999,082	0,005001	5,5	1019,804	1018,756	0,056089	10,5	1040,185	1039,141	0,109219
0,6	1000,519	999,469	0,006003	5,6	1020,204	1019,157	0,057131	10,6	1040,600	1039,556	0,110304
0,7	1000,906	999,856	0,007006	5,7	1020,605	1019,558	0,058174	10,7	1041,016	1039,972	0,111389
0,8	1001,293	1000,243	0,008010	5,8	1021,006	1019,959	0,059218	10,8	1041,431	1040,387	0,112475
0,9	1001,681	1000,631	0,009015	5,9	1021,408	1020,361	0,060263	10,9	1041,847	1040,804	0,113561
1,0	1002,068	1001,018	0,010021	6,0	1021,809	1020,762	0,061309	11,0	1042,264	1041,220	0,114649
1,1	1002,456	1001,407	0,011027	6,1	1022,211	1021,164	0,062355	11,1	1042,680	1041,636	0,115738
1,2	1002,845	1001,795	0,012034	6,2	1022,614	1021,567	0,063402	11,2	1043,097	1042,053	0,116827
1,3	1003,233	1002,184	0,013042	6,3	1023,016	1021,969	0,064450	11,3	1043,514	1042,471	0,117917
1,4	1003,622	1002,572	0,014051	6,4	1023,419	1022,372	0,065499	11,4	1043,932	1042,888	0,119008
1,5	1004,011	1002,962	0,015060	6,5	1023,822	1022,775	0,066548	11,5	1044,350	1043,306	0,120100
1,6	1004,401	1003,351	0,016070	6,6	1024,226	1023,179	0,067599	11,6	1044,768	1043,724	0,121193
1,7	1004,790	1003,741	0,017081	6,7	1024,629	1023,583	0,068650	11,7	1045,186	1044,143	0,122287
1,8	1005,180	1004,131	0,018093	6,8	1025,033	1023,987	0,069702	11,8	1045,605	1044,561	0,123381
1,9	1005,570	1004,521	0,019106	6,9	1025,438	1024,391	0,070755	11,9	1046,024	1044,980	0,124477
2,0	1005,961	1004,912	0,020119	7,0	1025,842	1024,796	0,071809	12,0	1046,443	1045,400	0,125573
2,1	1006,352	1005,302	0,021133	7,1	1026,247	1025,201	0,072864	12,1	1046,862	1045,819	0,126670
2,2	1006,743	1005,693	0,022148	7,2	1026,652	1025,606	0,073919	12,2	1047,282	1046,239	0,127768
2,3	1007,134	1006,085	0,023164	7,3	1027,058	1026,011	0,074975	12,3	1047,702	1046,659	0,128867
2,4	1007,526	1006,477	0,024181	7,4	1027,463	1026,417	0,076032	12,4	1048,123	1047,080	0,129967
2,5	1007,917	1006,868	0,025198	7,5	1027,869	1026,823	0,077090	12,5	1048,544	1047,501	0,131068
2,6	1008,310	1007,261	0,026216	7,6	1028,276	1027,230	0,078149	12,6	1048,965	1047,922	0,132170
2,7	1008,702	1007,653	0,027235	7,7	1028,682	1027,636	0,079209	12,7	1049,386	1048,343	0,133272
2,8	1009,095	1008,046	0,028255	7,8	1029,089	1028,043	0,080269	12,8	1049,808	1048,765	0,134375
2,9	1009,488	1008,439	0,029275	7,9	1029,496	1028,451	0,081330	12,9	1050,230	1049,187	0,135480
3,0	1009,881	1008,832	0,030296	8,0	1029,904	1028,858	0,082392	13,0	1050,652	1049,609	0,136585
3,1	1010,274	1009,226	0,031319	8,1	1030,311	1029,266	0,083455	13,1	1051,075	1050,032	0,137691
3,2	1010,668	1009,620	0,032341	8,2	1030,720	1029,674	0,084519	13,2	1051,497	1050,455	0,138798
3,3	1011,062	1010,014	0,033365	8,3	1031,128	1030,082	0,085584	13,3	1051,921	1050,878	0,139905
3,4	1011,457	1010,408	0,034390	8,4	1031,536	1030,491	0,086649	13,4	1052,344	1051,302	0,141014
3,5	1011,851	1010,803	0,035415	8,5	1031,945	1030,900	0,087715	13,5	1052,768	1051,726	0,142124
3,6	1012,246	1011,198	0,036441	8,6	1032,355	1031,309	0,088782	13,6	1053,192	1052,150	0,143234
3,7	1012,642	1011,593	0,037468	8,7	1032,764	1031,719	0,089850	13,7	1053,616	1052,574	0,144345
3,8	1013,037	1011,989	0,038495	8,8	1033,174	1032,129	0,090919	13,8	1054,041	1052,999	0,145458
3,9	1013,433	1012,385	0,039524	8,9	1033,584	1032,539	0,091989	13,9	1054,466	1053,424	0,146571
4,0	1013,829	1012,781	0,040553	9,0	1033,994	1032,949	0,093059	14,0	1054,891	1053,849	0,147685
4,1	1014,225	1013,177	0,041583	9,1	1034,405	1033,360	0,094131	14,1	1055,317	1054,275	0,148800
4,2	1014,622	1013,574	0,042614	9,2	1034,816	1033,771	0,095203	14,2	1055,743	1054,701	0,149915
4,3	1015,019	1013,971	0,043646	9,3	1035,227	1034,182	0,096276	14,3	1056,169	1055,127	0,151032
4,4	1015,416	1014,368	0,044678	9,4	1035,639	1034,594	0,097350	14,4	1056,596	1055,554	0,152150
4,5	1015,813	1014,766	0,045712	9,5	1036,051	1035,006	0,098425	14,5	1057,022	1055,981	0,153268
4,6	1016,211	1015,163	0,046746	9,6	1036,463	1035,418	0,099500	14,6	1057,450	1056,408	0,154388
4,7	1016,609	1015,561	0,047781	9,7	1036,875	1035,831	0,100577	14,7	1057,877	1056,835	0,155508
4,8	1017,007	1015,960	0,048816	9,8	1037,288	1036,243	0,101654	14,8	1058,305	1057,263	0,156629
4,9	1017,406	1016,359	0,049853	9,9	1037,701	1036,656	0,102732	14,9	1058,733	1057,691	0,157751

Fuente: Laboratorio Industrial de aseguramiento de la calidad, Ingenio Palo Gordo.

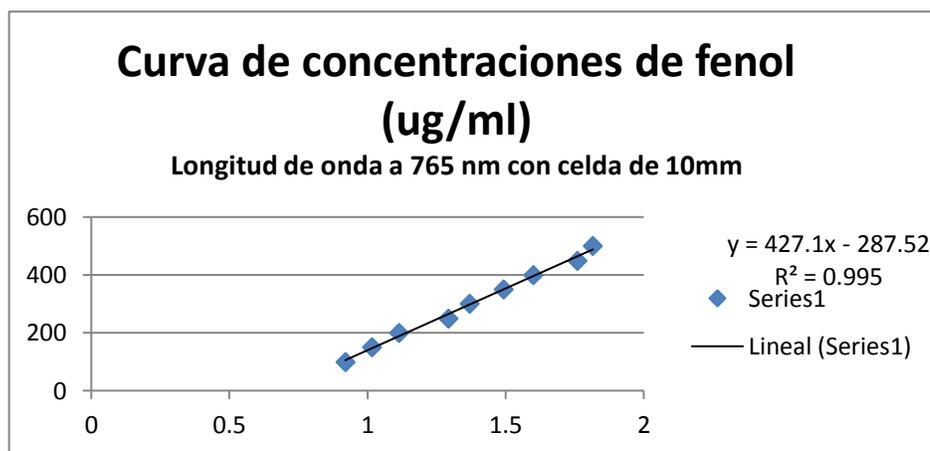
## 16. APÉNDICE

### Apéndice 1. Resultados de absorbancia para elaboración de curva de fenoles

No. de Tubo de ensayo	µl de patrón de fenol	Metanol acidificado	Absorbancia
	Fenol 0.01% (p/v)	(µl)	
1	0	500	0.1115
2	50	450	0.2857
3	100	400	0.9194
4	150	350	1.0166
5	200	300	1.114
6	250	250	1.2918
7	200	200	1.3701
8	350	150	1.4926
9	400	100	1.6
10	450	50	1.76
11	500	0	1.816

Fuente: elaboración propia 2019

Tabla XV. gráfica de curva de concentraciones de fenol (ug/ml)



Fuente: elaboración propia 2019

Siendo el modelo matemático resultante el siguiente:

$$y = 427.1x - 287.52$$

donde:

y= concentración de compuestos fenólicos(ug/ml)

x= absorbancia del jugo de caña

Nota: el valor de la concentración obtenido del modelo matemático debe multiplicarse por el factor de dilución (1:100), para obtener el valor real de concentración de fenol en jugo de caña.

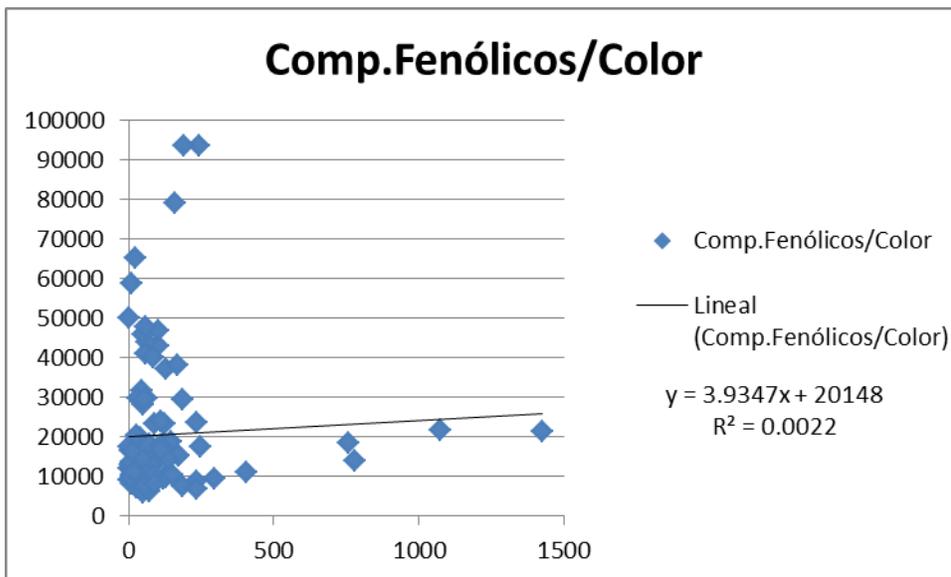
La curva desarrollada en Ingenio Palo Gordo, es válida para absorbancias desde 0.1115 a 1.816 con celdas de 10mm a 765nm.

### Apéndice 2. Hoja de registro de datos de los parámetros evaluados.

Muestra	Finca	#Análisis de Trash	% Trash	Absorbancia de fenoles	Compuestos fenólicos µg/ml	Absorbancia de color	Brix	Densidad de brix	Color
1									
2									
3									
4									

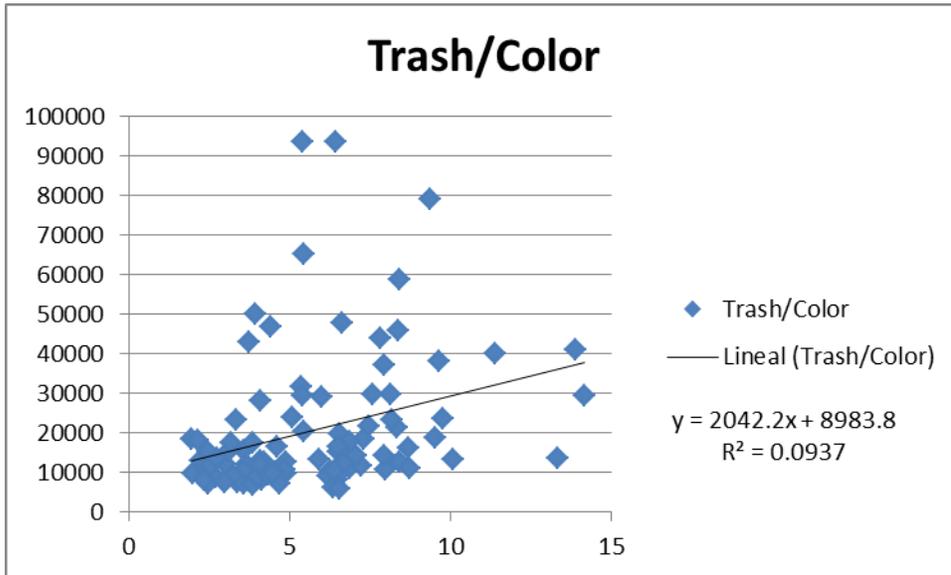
Fuente: elaboración propia 2018

### Apéndice 3. Grafica de la relación compuestos fenólicos/color.



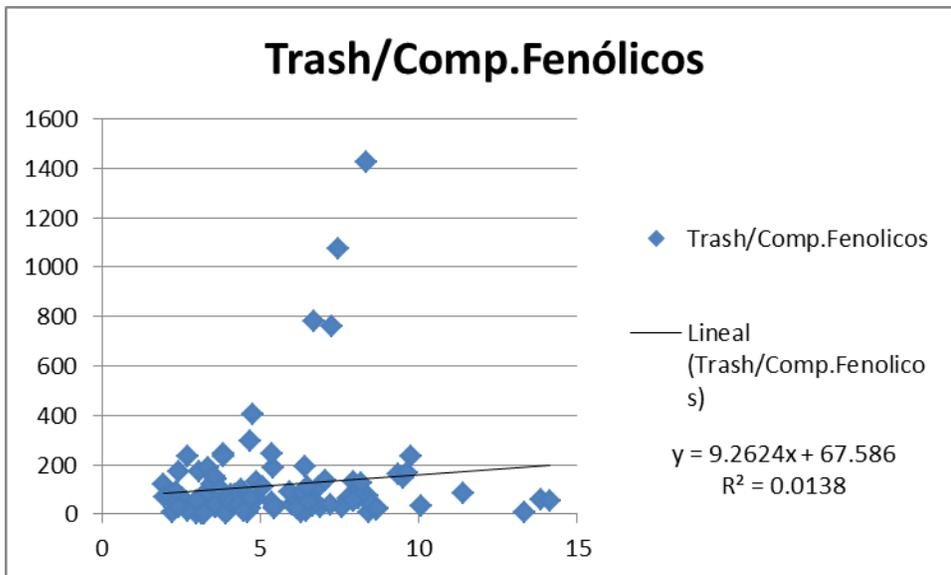
Fuente: elaboración propia 2019

#### Apéndice 4. Grafica de la relación color/trash.



Fuente: elaboración propia 2019

#### Apéndice 5. Grafica de la relación trash/compuestos fenólicos.



Fuente: elaboración propia 2019

**Apéndice 6. Resultados de ensayos de los parámetros evaluados.**

MUESTRA	FINCA	# TRASH	% TRASH	COMPUESTOS FENOLICOS µg/ml	COLOR
1	San Miguel Merida	787081	6.51	76.24107	15205.99
2	La Flecha	787057	4.87	128.21914	9828.064
3	La Flecha	787604	3.61	138.42683	10747.43
4	Monte Maria	787626	4.08	49.37648	28011.18
5	San Miguel Merida	787722	8.4	74.2337	12723.28
6	Los Almendros	789687	3.32	89.90827	23327.79
7	Los Almendros	789740	1.94	121.76993	18602.33
8	Agropecuaria Panorama	789771	5.37	45.78884	31813.64
9	La Libertad	789782	3.58	28.06419	15673.88
10	Veracruz	789831	4.12	52.70786	8219.634
11	Entre Lomas	790888	6.54	40.57822	19650.44
12	Los Almendros	791012	2.41	56.85073	11116.66
13	El Transito	791028	3.66	34.17172	12113.14
14	Providencia	791067	3.47	121.89806	9470.113
15	Los Almendros	791099	1.98	67.10113	9650.582
16	Santa Maria	791433	3.01	1.79754	12189.55
17	Las Leonas	791462	6.01	40.23654	29013.73
18	San Agustinxtacapa	795259	6.69	780.40084	14120.35
19	San José el compromiso	795251	7.46	1072.62266	21782.9
20	San Agustinxtacapa	795684	7.28	758.0208	18602.33
21	Santa Anita	795685	8.33	1425.53539	21248.44
22	San Agustinxtacapa	795739	3.09	171.35624	15228.02
23	La Gloria	795769	6.88	26.56934	11045.62
24	Delicias	801060	9.75	233.28574	23693.84
25	San Antonio Nima	801055	2.72	234.73788	8921.265
26	Cocales	801104	4.78	405.57788	10927.72
27	Naranjales	801108	4.68	297.47887	9290.49
28	Naranjales	801151	3.84	246.39771	17515.25
29	Santa Catalina	801154	4.88	65.56357	12671.66
30	San Francisco	841493	2.21	6.41022	13142.4
31	Cocales	801488	5.92	91.44583	13444.26
32	La Cabaña	801571	4.86	60.5665	10728.21
33	Agropecuaria Panorama	801611	4.54	49.16293	9959.086

Fuente: elaboración propia 2019

**Apéndice 7. Continuación de resultados de ensayos de los parámetros evaluados.**

MUESTRA	FINCA	# TRASH	% TRASH	COMPUESTOS FENOLICOS µg/ml	COLOR
34	Ofelia	801694	7.96	51.68282	10787.35
35	San José el compromiso	801698	2.16	71.62839	18214.73
36	Quebradas	802043	6.46	11.53542	8308.375
37	Naranjales	802046	3.37	188.01314	7504.241
38	San Ignacio	802116	3.57	32.54874	7204.87
39	Agropecuaria Panorama	802122	3.84	234.65246	6965.373
40	Osos	802521	4.59	7.39255	16672.21
41	Lorena	802529	3.57	152.73468	10471.44
42	San Ignacio	802620	4.02	11.57813	8891.328
43	Cocales	802603	3.17	1.02876	17537.44
44	San José el compromiso	802656	2.37	42.07307	10592.18
45	Quebradas	802653	3.24	2.60903	9001.098
46	San José el compromiso	804627	2.45	173.44903	15326.02
47	Monte Maria	804648	4.67	20.88891	8419.301
48	San José el compromiso	804677	5.4	186.68913	29567.91
49	San Martín	804682	6.56	52.32347	9749.526
50	Quebradas	804691	5.45	21.91395	65269
51	El pensamiento	804719	6.28	8.50301	10571.27
52	San Pedro Mangales	805130	10.08	31.05389	13341.98
53	El pensamiento	805132	5.45	28.49129	20486.98
54	Villas de Concepción	805156	4.7	56.85073	7291.194
55	El Tesoro	805185	3.75	101.61081	42899.91
56	Agropecuaria Panorama	805230	7.8	61.97593	43957.69
57	San Martín	805268	8.41	9.3145	58838.95
58	Villas de Concepción	805608	2.54	61.93322	11765.29
59	Delicias	805609	4.39	100.62848	46921.19
60	El Tesoro	805613	4.21	78.29115	12693.34
61	La Conchita	805634	8.38	50.82862	45978.92
62	El Salvador Nahualate	805638	6.66	34.85508	12222.22
63	Rancho Morán	805648	8.12	61.46341	29646.02
64	San Ignacio 4	886585	2.73	9.35721	13532.23
65	San Rafael las flores	886590	9.52	148.03658	18846.6
66	Los patos-magdalená	887410	5.38	245.20183	93444

Fuente: elaboración propia 2019

**Apéndice 8. Continuación de resultados de ensayos de los parámetros evaluados.**

MUESTRA	FINCA	# TRASH	% TRASH	COMPUESTOS FENOLICOS µg/ml	COLOR
67	La bendición	887402	6.17	21.05975	8986.784
68	El Tesoro	887422	6.87	110.40907	17825.85
69	Los nanzales	887479	9.35	159.61099	79176.3
70	Naranjales	888327	6.36	71.58568	6195.219
71	El Tesoro	888339	6.64	57.44867	47783.15
72	La bendición	888323	7.57	29.85801	29756.24
73	Santa Isabel III Magdalena	888340	7.94	130.35464	37191.9
74	Vado hondo-Pantaleón	891469	4.09	76.88172	12945.09
75	El pensamiento	891473	8.18	125.74196	23161.36
76	Naranjales	891686	3.93	0.55895	50094.8
77	Melimar	891754	6.39	86.70502	10487.98
78	La Concordia-Bonagro S.A.	892475	13.33	8.50301	13731.16
79	El Tesoro	892476	7.23	37.88749	11635.57
80	Naranjales	892581	2.45	26.48392	7254.765
81	Coyolares	892620	8.68	14.65325	16142.32
82	Naranjales	892805	5.07	111.17785	23932.58
83	Coyolares	892868	13.86	57.96119	41178.99
84	La Concordia-Bonagro S.A.	893574	7.06	137.65805	14332.08
85	Coyolares	893581	11.39	86.49147	40108.48
86	Naranjales	893589	6.55	50.01713	5842.697
87	El Tesoro	893608	4.08	43.65334	12157.52
88	Monte Maria	893659	4.32	39.72402	9525.593
89	Manacales-PG	893666	4.5	9.91244	9694.953
90	Melimar	893668	3	52.10992	7364.534
91	El retiro	893852	2.34	89.26762	8053.089
92	Monte Maria	893882	8.71	20.54723	11136.08
93	Coyolares	893904	14.16	53.26309	29450.69
94	Tacana zunil	894670	6.49	111.8185	16694.4
95	Santa Emilia II	894682	7.94	50.87133	14209.65
96	Monja Blanca-PG	894719	6.42	192.41227	93566.28
97	Cocales	894712	9.64	167.38421	38042.99

Fuente: elaboración propia 2019

## 17. LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Abs</b>	Absorbancia
<b>cm</b>	Centímetro
<b>°C</b>	Grado Celcius
<b>%</b>	Porcentaje
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>UI</b>	Unidades ICUMSA
<b>mm</b>	Milímetro
<b>nm</b>	Nanómetro

## 18. GLOSARIO

<b>Absorbancia</b>	Cantidad de intensidad de luz que absorbe una solución
<b>Agente oxidante</b>	Especie química que un proceso redox acepta electrones y, por tanto, se reduce en dicho proceso.
<b>Brix</b>	Sólidos totales solubles del porcentaje de materia seca en la caña de azúcar.
<b>Cogollo</b>	Parte superior de la caña de azúcar que nace de un mismo pie.
<b>Color</b>	Índice de atenuación, determinado por absorción, generalmente se mide empleando el método ICUMSA.
<b>Caña Cosecha</b>	Caña que proviene del campo y que ingresa al Ingenio en equipos móviles.
<b>Compuestos fenólicos</b>	Sustancias orgánicas que contienen al menos un grupo fenol, pueden ocasionar alto color en el proceso de producción de azúcar.
<b>Desfibradora</b>	máquina que desgarrar los pedazos de caña provenientes de las cuchillas, convirtiéndolos en tiras, sin extraer jugo alguno.
<b>Espectrofotometría</b>	Técnica de análisis que se basa en la relación existente entre la absorción de luz por parte de un compuesto y su concentración.
<b>Fabril</b>	Relativo, perteneciente y alusivo a la fábrica, manufactura, industria, factoría, obra, taller y también a los obreros o los operarios que trabajan en la rama industrial en todas las actividades comerciales.
<b>Herbácea</b>	Que tiene aspectos o características de la hierba.

<b>ICUMSA</b>	La Comisión Internacional para la Uniformidad de los Métodos de Análisis de Azúcar. Es la única organización internacional que se dedica exclusivamente a métodos analíticos para la industria azucarera.
<b>Jugo Cosecha</b>	Producto del desfibrado y extracción por prensa hidráulica de la caña ingresada al Ingenio después de ser muestreada por el equipo Core Sampler.
<b>Longitud de onda</b>	distancia que hay entre dos crestas (los puntos más altos) consecutivas en una onda.
<b>Pardeamiento enzimático</b>	Proceso mediante el cual compuestos fenólicos, que pueden ser incoloros, se oxidan para producir otros compuestos coloreados.
<b>Pol</b>	Contenido de sacarosa aparente, expresado como porcentaje de masa y determinado mediante un método polarimétrico.
<b>Refractómetro</b>	aparato destinado a medir el índice de refracción de un medio material.
<b>Sacarosa</b>	El compuesto químico puro $C_{12}H_{22}O_{11}$ que es conocido como azúcar blanco.
<b>Sustancia soluble</b>	Compuesto que tiene la capacidad de disolverse en otra sustancia.
<b>Trash</b>	Término en inglés que significa basura, utilizado en la industria cañera para referirse al material extraño que se encuentra en contacto con la caña.
<b>Zafra</b>	Temporada del año en la que se cosecha la caña de azúcar para la producción de azúcar de mesa.



Mazatenango, Suchitepéquez, Julio 2019

Señores:

Comisión de trabajo de graduación

Carrera de Ingeniería en Alimentos

CUNSUROC-USAC

Estimados señores:

Atentamente tenemos el gusto de dirigirnos a ustedes deseándoles toda clase de éxitos en sus actividades.

El motivo de la presente es para informarles que hemos revisado el trabajo de graduación elaborado por la estudiante T.U. Carol Ivana Ortiz Valenzuela, carné: 201031641, el cual lleva como título **“Evaluación de la correlación entre el contenido de trash y compuestos fenólicos sobre el color del jugo de caña de azúcar”**. Consideramos que dicho trabajo ha sido revisado y cumple con los puntos para ser evaluado en la etapa de Seminario II, por lo cual damos por aprobado dicho documento.

Sin otro particular nos suscribimos de ustedes, atentamente.

**Id y enseñad a todos**

  
Inga. Carolina Estrada  
Asesora

  
Inga. Jeniffer Martínez  
Asesora



Mazatenango, Suchitepéquez, Septiembre 2019

Señores:

Comisión de trabajo de graduación  
Carrera de Ingeniería en Alimentos  
CUNSUROC-USAC

Estimados señores:

Atentamente tenemos el gusto de dirigirnos a ustedes deseándoles toda clase de éxitos en sus actividades.

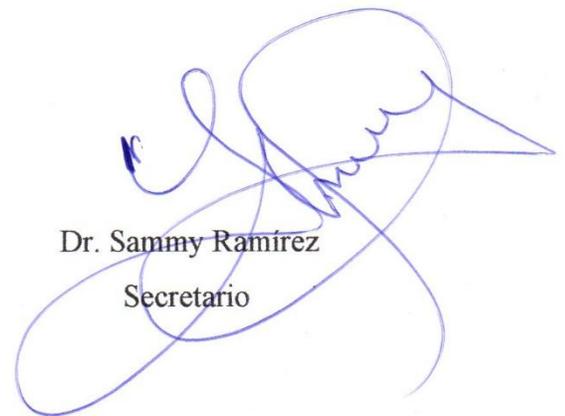
El motivo de la presente es para informarles que hemos revisado el trabajo de graduación elaborado por la estudiante T.U. Carol Ivana Ortiz Valenzuela, carné: 201031641, el cual lleva como título **“Evaluación de la correlación entre el contenido de trash y compuestos fenólicos sobre el color del jugo de caña de azúcar”**. Consideramos que dicho trabajo ha realizado las correcciones solicitadas en la evaluación de Seminario II, por lo cual damos por aprobado dicho documento.

Sin otro particular nos suscribimos de ustedes, atentamente.

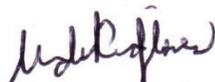


Ing. Víctor Nájera  
Presidente

**Id y enseñad a todos**



Dr. Sammy Ramírez  
Secretario



Ph.D. Marco Antonio del Cid  
Vocal



Mazatenango, Suchitepéquez, Septiembre 2019

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano  
Director del Centro Universitario del Sur Occidente  
CUNSUROC-USAC  
Presente

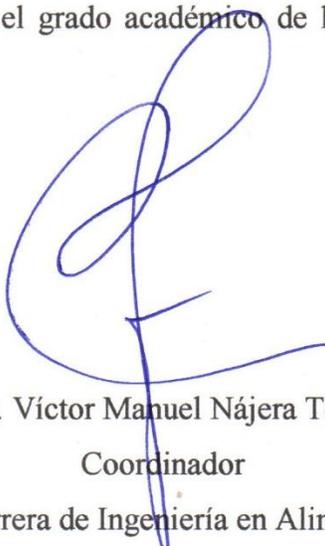
Le escribo cordialmente, deseándole éxitos en sus labores diarias.

De conformidad con el cumplimiento de mis funciones, como Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Alimentos del Centro Universitario del Suroccidente-CUNSUROC-, de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC-, he tenido a bien revisar el informe de trabajo de graduación titulado: **“Evaluación de la correlación entre el contenido de trash y compuestos fenólicos sobre el color del jugo de caña de azúcar”**. El cual ha sido presentado por la estudiante: **Carol Ivana Ortiz Valenzuela** quien se identifica con número de carné: **201031641**.

El documento antes mencionado llena los requisitos necesarios para optar al título de Ingeniera en Alimentos. En el grado académico de licenciado, por lo que solicito la autorización del imprimase.

Deferentemente.



  
Ing. Víctor Manuel Nájera Toledo  
Coordinador  
Carrera de Ingeniería en Alimentos



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE  
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ  
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

**CUNSUROC/USAC-I-10-2019**

DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,  
Mazatenango, Suchitepéquez, once de octubre de dos mil diecinueve\_\_\_\_\_

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes de la Comisión de Tesis y del Secretario del comité de Tesis, "EVALUACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE TRASH Y COMPUESTOS FENOLICOS SOBRE EL COLOR DEL JUGO DE AÑA DE AZÚCAR" de la estudiante **Carol Ivana Ortiz Valenzuela**, carné No. 201031641. CUI: 1837 26758 1001 de la carrera Ingeniería en Alimentos.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Guillermo Vinicio Tello Cano".

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano  
Director - CUNSUROC -USAC



/gris