



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN POR CARACTERIZACIÓN  
ESPECTROFOTOMÉTRICA EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES:  
CP72-2086, CP88-1165 Y CP73-1547 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD GUATEMALA**

**Nancy Paola Castro Méndez**

Asesorado por el Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez

Guatemala, febrero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN POR CARACTERIZACIÓN  
ESPECTROFOTOMÉTRICA EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES:  
CP72-2086, CP88-1165 Y CP73-1547 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**NANCY PAOLA CASTRO MÉNDEZ**

ASESORADO POR EL ING. ESTUARDO EDMUNDO MONROY BENÍTEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayora
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
EXAMINADORA	Inga. Adela María Marroquín González
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN POR CARACTERIZACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES: CP72-2086, CP88-1165 Y CP73-1547 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 23 de abril de 2014.

**Nancy Paola Castro Méndez**

Guatemala, 15 de julio de 2014

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
USAC  
Presente

Por este medio yo, Estuardo Edmundo Monroy Benítez, en calidad de asesor técnico, hago constar que apruebo el informe final de EPS de seis meses, titulado "DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN POR CARACTERIZACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIETADES CP72-2086, CP88-1165 Y CP73-1547 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD GUATEMALA" presentado por la estudiante Nancy Paola Castro Méndez, quien se identifica con carné no. 200924415.

Sin otro particular,



Estuardo Monroy Benitez  
Ingeniero Químico  
Colegiado No. 446

---

Estuardo Edmundo Monroy Benítez

Colegiado: 446

e-mail: [ingmonroy1@yahoo.com](mailto:ingmonroy1@yahoo.com)

Tel: 57748672



Guatemala, 28 de octubre de 2014.  
Ref.EPS.DOC.1098.10.14.

Ing. Juan Merck Cos  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Merck Cos.

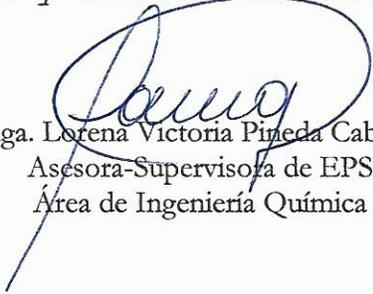
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Nancy Paola Castro Méndez** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200924415**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDON POR CARACTERIZACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES: CP72-2086, CP88-1165 Y CP73-1547 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD GUATEMALA”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera  
Asesora-Supervisora de EPS  
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo  
LVPC/ra



Guatemala, 28 de octubre de 2014.  
Ref.EPS.D.629.10.14.

Ing. Victor Manuel Monzón Valdéz  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Monzón Valdéz.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDON POR CARACTERIZACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIETADES: CP72-2086, CP88-1165 Y CP73-1547 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD GUATEMALA"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Nancy Paola Castro Méndez**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por la Ingeniera **Lorena Victoria Pineda Cabrera**.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora-Supervisora de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



Guatemala, 18 de noviembre de 2014  
Ref. EIQ.TG-IF.059.2014

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo 006-2014 le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN  
-Modalidad Ejercicio Profesional Supervisado-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Nancy Paola Castro Méndez**.  
Identificada con número de carné: **2009-24415**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

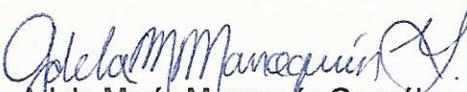
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN POR CARACTERIZACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES CP72-2086, CP88-1165 Y CP73-1547 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD GUATEMALA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Estuardo Edmundo Monroy Benítez**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Inga. Adela María Marroquín González  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.011.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado **(EPS final)** de la estudiante **NANCY PAOLA CASTRO MÉNDEZ** titulado: **“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN POR CARACTERIZACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES: CP72-2086, CP88-1165 Y CP73-1547 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD GUATEMALA”**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

  
Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, enero de 2015

Cc: Archivo  
VMMV/ale



DTG. 034.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN POR CARACTERIZACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES: CP72-2086, CP88-1165 Y CP73-1547 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria Nancy Paola Castro Méndez, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 3 de febrero de 2015

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por cada una de sus bendiciones, por darme la vida, sabiduría y fortaleza para continuar y lograr esta meta.
- Mis padres** Roger Castro y Lilian Méndez, que con su testimonio de amor han sido la mejor guía y ejemplo en mi vida, por la ayuda invaluable que siempre me han dado.
- Mi hermana** Alejandra Castro, por ser mi compañera de vida, por confiar siempre en mí.
- Mis abuelos** Amilcar Méndez y Francisca Díaz (q.e.p.d.), por compartirme su amor, consejos y experiencias, y por motivarme a salir adelante.
- Mi abuela** Ana Martínez, por ser un ejemplo de madre y más que amiga, por ser mi confidente y brindarme su apoyo incondicional.
- Mis tíos** Elizabeth Castro, Vila Castro, Neshi Castro, María Castro, Erwin Castro, Chavi Castro, Celia Castro, Mayra Castro, Walter Méndez, Aroldo Méndez y Byron Méndez, a quienes quiero mucho y han estado pendientes de mí.

**Sonia Méndez**

A quien quiero como una madre, por demostrarme que los esfuerzos valen la pena.

**Oscar Barrera**

Por ser como un hermano y brindarme su apoyo y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

**Elky Peña**

A quien quiero como una hermana por estar ahí siempre sin importar las circunstancias y demostrarme su sincera amistad.

**Francisco Valladares**

Por inspirarme a cumplir otros ideales y demostrarme que si se quiere se puede.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad de  
San Carlos de  
Guatemala y  
Facultad de  
Ingeniería**

Especialmente a la Escuela de Química, por la formación académica y brindarme mucho conocimiento y experiencias enriquecedoras.

**Mis amigos**

Especialmente a Byron Roldán, Bryan Carrera, Ernesto Aragón, José Leppe, Ivonne Soto, Andrés Puac, Leonel Morataya, Pablo Samaniego, Rocío Lira y Ana Herrera, por dejarme aprender de ellos, por compartir a su lado durante estos años, y demostrarme que podemos trabajar en equipo.

**Lourdes Castillo y  
Alejandra Peláez**

Por compartir conmigo durante la realización del EPS, como también de una casa, una vida juntas, por demostrarme que podemos ser grandes amigas y brindarnos apoyo en cualquier momento.

**Ingeniero Estuardo  
Monroy**

Por dedicar su tiempo, experiencia y consejos en la realización de este trabajo de graduación.

**Ingenio Trinidad**

Por darme la oportunidad de desarrollar este proyecto en prestigiosa empresa.

**Colaboradores del  
Ingenio Trinidad**

Especialmente a Luis Cifuentes, Byron Obregón, Manaen Ramos y René Morales, por sus consejos laborales y apoyarme en la parte experimental de este trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
Hipótesis.....	XVI
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1.    ANTECEDENTES .....	1
2.    MARCO TEÓRICO.....	3
2.1.    Caña de azúcar .....	3
2.1.1.    Composición química general de la caña de azúcar.....	3
2.1.2.    Principales constituyentes químicos de la caña de azúcar y su relación con el proceso industrial .....	4
2.1.3.    Principales oligosacáridos y polisacáridos de la caña de azúcar .....	6
2.1.4.    Efectos de los polisacáridos en el proceso azucarero.....	8
2.2.    Almidón en la caña de azúcar .....	9
2.3.    Efectos en la variedad de caña .....	10
2.3.1.    Variedades de caña en Guatemala .....	10
2.3.1.1.    Variedad a analizar en el Ingenio Trinidad .....	11

2.4.	Cambios debidos a condiciones climáticas y al momento de la zafra .....	14
2.4.1.	Efecto del estrés por sobrehumedecimiento y sequía en el suelo .....	15
2.4.2.	Efectos de la edad de corte en la calidad de la caña .....	16
2.5.	Estrato altitudinal en Guatemala .....	16
2.6.	Espectrofotometría .....	17
2.6.1.	La Ley de Beer-Lambert.....	18
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
3.1.	Variables .....	21
3.2.	Delimitación de campo de estudio .....	22
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	22
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos).....	23
3.4.1.	Equipo .....	23
3.4.2.	Cristalería .....	23
3.4.3.	Reactivos y materia prima .....	24
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	24
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	25
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	26
3.7.1.	Curva de calibración.....	26
3.7.2.	Toma de datos de concentración de almidón.....	27
3.8.	Análisis estadístico.....	27
3.8.1.	Media de una muestra.....	27
3.8.2.	Desviación estándar .....	28
3.8.3.	Coeficiente de variación .....	28

3.8.4.	Comparación de dos medias mediante t de student.....	29
4.	RESULTADOS.....	33
4.1.	Concentración de almidón en diferentes estratos altitudinales por variedad de caña .....	33
4.2.	Concentración de almidón por variedad de caña .....	34
4.3.	Concentración de almidón por ensayo ordenado cronológicamente .....	35
4.5.	Concentración de almidón entre cada variedad por edad de caña (cosechada) .....	37
4.4.	Concentración de almidón entre cada variedad de caña por estrato altitudinal .....	36
4.6.	Concentración de almidón por edad de caña (cosechada).....	39
4.7.	Análisis estadístico .....	40
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	43
6.	LOGROS OBTENIDOS .....	47
	CONCLUSIONES .....	49
	RECOMENDACIONES .....	51
	BIBLIOGRAFÍA.....	53
	APÉNDICES .....	55
	ANEXOS.....	61



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Aspectos físicos de la variedad de caña Cp72-2086 .....	12
2.	Aspectos físicos de la variedad de caña Cp88-1165 .....	13
3.	Aspectos físicos de la variedad de caña Cp73-1547 .....	14
4.	Contenido de almidón (ppm) en función de la edad de caña .....	16
5.	Estratificación zona cañera .....	17
6.	Diseño experimental .....	25
7.	Concentración de almidón en jugo de caña en función de la variedad de caña .....	34
8.	Concentración de almidón por ensayo en el tiempo .....	35
9.	Concentración de almidón en jugo de caña en función del estrato altitudinal por variedad de caña .....	36
10.	Concentración de almidón en jugo de caña en función del estrato altitudinal .....	37
11.	Concentración de almidón en función de la edad de caña en meses que fue cosechada la variedad CP72-2086 .....	38
12.	Concentración de almidón en función de la edad de caña en meses que fue cosechada la variedad CP73-1547 .....	38
13.	Concentración de almidón en función de la edad de caña en meses que fue cosechada la variedad CP88-1165 .....	39
14.	Concentración de almidón en función de la edad de caña en meses que fue cosechada (todas las variedades incluidas) .....	40

## TABLAS

I.	Promedio de la composición química de los tallos y jugos de caña de azúcar .....	5
II.	Contenido de materiales en solución y suspensión en el jugo de caña ....	6
III.	Lista de variables .....	21
IV.	Lista de variables a manipular .....	22
V.	Datos para la curva de calibración para determinar la concentración de almidón presente en el jugo de caña .....	26
VI.	Hoja de toma de datos de 10 muestras diarias .....	27
VII.	Valores críticos de la distribución t .....	31
VIII.	Concentración de almidón en diferentes estratos altitudinales para la variedad CP72-2086 .....	33
IX.	Concentración de almidón en diferentes estratos altitudinales para la variedad CP88-1165 .....	33
X.	Concentración de almidón en diferentes estratos altitudinales para la variedad CP73-1547 .....	34
XI.	Porcentaje de almidón en jugo de caña por variedad muestreada .....	35
XII.	Contraste de significación (t de student) entre las tres variedades .....	41
XIII.	Contraste de significación (t de student) entre los tres estratos altitudinales .....	41

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Absorbancia
<b>Cp</b>	Canal point
<b>Brix</b>	Grados Brix (°Brix)
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>G</b>	Gramo
<b>Ha</b>	Hipótesis alternativa
<b>Ho</b>	Hipótesis nula
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>L</b>	Litro
<b>Mg</b>	Miligramo
<b>mL</b>	Mililitro
<b>M</b>	Molaridad
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>pH</b>	Potencia de hidrogeno
<b>Psig</b>	<i>Pound square inch gauge</i> (libras por pulgada cuadrada).



## GLOSARIO

<b>Absorbancia</b>	Cantidad de intensidad de luz que absorbe una solución.
<b>Almidón</b>	Polisacárido de reserva energética en la caña de azúcar que contiene alrededor de un 20 % de amilosa y un 80 % de amilopectina.
<b>Amilasa</b>	Enzima hidrolasa que tiene la función de catalizar la reacción de hidrólisis de los enlaces 1-4 del componente $\alpha$ -Amilasa al digerir el almidón.
<b>Amilopectina</b>	Polisacárido con cadena altamente ramificada por enlaces $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6) del almidón, formada por $\alpha$ -D-glucopiranosas, en la que hay uniones $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4).
<b>Amilosa</b>	Polisacárido sin ramificaciones con una disposición helicoidal del almidón, formada por $\alpha$ -D-glucopiranosas unidas por enlaces $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4).
<b>Aurícula</b>	Apéndices ubicados en el margen de la vaina y en el extremo superior de la caña.
<b>Azúcar invertida</b>	Hidrólisis de la sacarosa en fructosa y glucosa.

<b>Azúcar reductor</b>	Azúcar que posee un grupo carbonilo, por lo que es capaz de reaccionar reduciendo otra sustancia.
<b>Brix</b>	Medida de los sólidos disueltos en azúcar, jugo, licor o jarabe utilizando un refractómetro.
<b>Cogollo</b>	Parte superior de la caña, flores, tallos y hojas que nacen de un mismo pie.
<b>Color</b>	Índice de atenuación, determinado por absorción, generalmente se mide empleando el método ICUMSA.
<b>CONSECANA</b>	(Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool) consejo de la caña de productores de azúcar, azúcar y alcohol.
<b>Cristalización</b>	Proceso de concentración en los tachos de la meladura para formar las partículas sólidas de azúcar.
<b>Dextrana</b>	Polisacárido soluble en el jugo de caña producto de la degradación de la sacarosa y de la polimerización de la dextrosa.
<b>Espectrofotometría</b>	Métodos cuantitativos, de análisis químico que utilizan la luz para medir la concentración de las sustancias químicas.

<b>Estrato altitudinal</b>	Nivel dependiente de la altitud, distancia vertical al nivel cero, para el que se suele tomar el nivel medio del mar.
<b>Evaporación</b>	Proceso de remoción de agua
<b>Filtración</b>	Proceso de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido.
<b>Fructosa</b>	Cetosa levógira o levulosa, al igual que la glucosa tiene la fórmula $C_6H_{12}O_6$ , siendo isómeros.
<b>Glucosa</b>	Aldosa dextrógira o dextrosa, al igual que la fructosa tiene la fórmula $C_6H_{12}O_6$ , siendo isómeros.
<b>ICUMSA</b>	(International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis).
<b>Lígula</b>	Apéndice membranoso que sirve de separación entre la vaina y la lámina en la caña de azúcar.
<b>Longitud de onda</b>	Distancia que hay entre dos crestas (los puntos más altos) consecutivas en una onda.
<b>Materia extraña</b>	Contenidos fraccionales de hojas, cogollo, caña seca, raíces más cepa, tierra y piedras, que ingresan al proceso de fabricación.

<b>Melansígenes</b>	Pérdida de azúcar en la miel final
<b>Miel</b>	Licor madre, separado por centrifugación de la masa cocida.
<b>Nudos</b>	Zonas del tallo desde donde nacen las hojas.
<b>Oligosacárido</b>	Moléculas constituidas por la unión de dos a nueve monosacáridos cíclicos.
<b>Pol</b>	Contenido de sacarosa aparente expresado como porcentaje de masa, medido a partir de la rotación óptica de luz polarizada al pasar por una solución azucarada.
<b>Polisacárido</b>	Biomoléculas formadas por la unión de una gran cantidad de monosacáridos. Se encuentran entre los glúcidos.
<b>Sacarosa</b>	El compuesto químico puro $C_{12}H_{22}O_{11}$ que es conocido como azúcar blanco, generalmente medido mediante polarización.
<b>Zafra</b>	Temporada en la que se recolecta la caña de azúcar y se produce azúcar.

## RESUMEN

En el proyecto de investigación se determinó la concentración de almidón por caracterización espectrofotométrica en el jugo de caña de azúcar de las 3 variedades más utilizadas en el Ingenio Trinidad, cp72-2086, cp88-1165 y cp73-1547, debido a que en Guatemala no se cuenta con información sobre dichas concentraciones.

Para cuantificar la cantidad de dicho polisacárido se aplicó una metodología de muestreo y preparación de jugo de caña propuesto por CONSECAN y un método de ensayo espectrofotométrico para el análisis por ICUMSA.

Se evaluó la concentración de almidón por variedad de caña en los diferentes estratos altitudinales propuestos, obteniendo un mayor valor de concentración en el estrato litoral para las variedades de caña CP72-2086 CP88-1165; sin embargo, la concentración de almidón para la CP73-1547 es mayor en el estrato medio. Al analizar entre las tres variedades el estrato litoral, sí presenta diferencia estadísticamente significativa ante los otros dos estratos, por consiguiente no se obtuvo diferencia significativa entre el medio y bajo.

Se obtuvo distintos datos de concentración de almidón por variedad de caña, al evaluar las 3 variedades estas presentaron diferencia estadísticamente significativa entre los promedios obtenidos. Por lo tanto, la hipótesis nula es rechazada y la hipótesis de investigación es aceptada. Y por último se encontró una relación que demuestra que al aumentar la cantidad en meses de caña cosechada, aumenta la concentración de almidón.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar la concentración de almidón por caracterización espectrofotométrica en el jugo de la caña de azúcar de las variedades: CP 72-2086, CP 88-1165 y CP 73-1547 utilizadas en el Ingenio Trinidad.

### **Específicos**

1. Determinar la concentración de almidón en los diferentes estratos altitudinales: alto, medio bajo y litoral, para las variedades de caña CP 72-2086, CP 88-1165 y CP 73-1547.
2. Comparar mediante un análisis gráfico y estadístico de T de student, las diferentes concentraciones por variedad de caña: CP 72-2086, CP 88-1165 y CP 73-1547, y la significancia entre ellas.
3. Realizar un análisis gráfico y estadístico comparativo de T de student, las diferentes concentraciones de almidón entre cada variedad de caña (CP 72-2086, CP 88-1165 y CP 73-1547), por cada estrato altitudinal: alto, medio, bajo y litoral.
4. Analizar gráficamente las diferentes concentraciones de almidón entre cada variedad (CP 72-2086, CP 88-1165 y CP 73-1547) por rangos de edad de caña.

## **Hipótesis**

Las tres variedades de caña de azúcar de más uso en el Ingenio Trinidad; Cp72-2086, Cp88-1165 y Cp73-1547, poseen diferentes concentraciones de almidón dependiendo de la variedad, el estrato altitudinal y la edad de la caña.

### **Hipótesis nula:**

Existe una diferencia significativa en los niveles de concentración de almidón en jugo de las diferentes variedades de caña; Cp72-2086, Cp88-1165 y Cp73-1547.

### **Hipótesis alternativa:**

No existe una diferencia significativa en los niveles de concentración de almidón en jugo de las diferentes variedades de caña; Cp72-2086, Cp88-1165 y Cp73-1547.

## INTRODUCCIÓN

En la agroindustria alimenticia guatemalteca, el procesamiento de la caña de azúcar es una de las actividades más importantes productiva y económicamente. Por consiguiente, es necesario realizar avances en la investigación para conocer más la naturaleza de la caña de azúcar; y el desarrollo de técnicas que puedan hacer más eficiente la extracción de sacarosa y mejorar los procesos de producción en las fábricas.

El almidón es un compuesto presente en los jugos de la caña de azúcar que provoca dificultades en el proceso industrial, en las etapas de filtración, clarificación y específicamente cristalización, dando efectos negativos debido al aumento de viscosidad y adherencia de estos a las paredes de los tachos, aumentando así el tiempo de cocimiento de masas y disminuyendo la eficiencia del proceso. Debido a ello se debe controlar la cantidad presente y evitar perjudicar la etapa de cristalización del proceso.

En Guatemala no se cuenta con información necesaria sobre las concentraciones de dicho compuesto en el jugo de variedades de caña de mayor producción, esta información si existe, pero en caña de azúcar de otros países, haciéndose evidente que las condiciones de desarrollo son diferentes que las del país, y estos proveen indicativos que solo son tomados como referencia. Por lo tanto, conocer la materia prima con la que se está trabajando es de suma importancia para obtener, por medio de investigaciones, resultados que muestren las necesidades reales en el proceso de fabricación, y por consiguiente tomar decisiones para prevenir y corregir las problemáticas que causa este componente.



## 1. ANTECEDENTES

Las investigaciones relacionadas con trabajos previos de almidón para la caña de azúcar en otros países han sido realizadas con diferentes enfoques, pero, para la caña de azúcar guatemalteca se ha tenido escasos conocimientos, sin embargo hay estudios indicativos del comportamiento de este componente relacionado a ingenios azucareros y su incidencia en el proceso fabricación del azúcar.

La tesis: *Determinación de la relación existente entre la concentración de sacarosa con respecto a la concentración de diferentes compuestos químicos presentes en el jugo de caña de azúcar en 5 variedades*, de Ronald Pocasangre (2006) CENGICAÑA Guatemala; el objetivo general fue determinar si existió relación directa entre la acumulación de sacarosa y de compuestos y elementos los cuales fueron: glucosa, fructosa, almidón, fenol, fósforo, cobre, cinc, hierro, manganeso, calcio, potasio, porcentaje de fibra, humedad del tallo; a diferentes edades fenológicas y en distintas variedades, para conocer un poco más la naturaleza productiva de la caña de azúcar, donde se estableció que el almidón se acumula en más bajas cantidades que la sacarosa, tendiendo a incrementarse conforme se aumenta la sacarosa. En el décimo mes de edad, la acumulación de almidones tiende a ser similar a la sacarosa, siendo la variedad CP73-1547 la que acumuló más almidón.

El estudio realizado por Jesús E. Larrahondo (1995) CENICAÑA COLOMBIA: *Calidad de la caña de azúcar*, describe la importancia de la calidad de la caña de azúcar y los factores relacionados para que esta dé un buen rendimiento en el proceso fabril como características agronómicas, aspectos morfológicos, calidad de los jugos y condiciones agroclimáticas; describiendo principales constituyentes químicos de la caña de azúcar, donde se concluyó que la calidad de los jugos afecta el procesamiento de la caña y la recuperación de sacarosa en los ingenios; en este sentido se reconoció que algunos polisacáridos como los almidones reducen y dificultan la filtración durante el proceso químico, encontrando que el contenido de almidones en los tallos de la planta es una característica varietal, susceptible a ser reducida mediante prácticas agrícolas como el riego y la fertilización con potasio, por último, listó los factores que afectan la calidad de la caña antes del corte y después del corte, en cuanto al contexto de la misma.

La investigación: *Evaluación del impacto de adicionar la enzima alfa amilasa durante el proceso de evaporación en los niveles de almidón de azúcar crudo producido en un ingenio azucarero*, por Max Penados Amado (2004), muestra un estudio experimental realizado en el ingenio La Unión, S. A., para poder producir azúcar crudo con bajo contenido de polisacáridos, específicamente el almidón, y así poder cumplir con las especificaciones de calidad de clientes en el extranjero. Se concluyó que al adicionar la enzima alfa-amilasa al jugo de caña de azúcar en su proceso de evaporación, disminuyó la cantidad de polisacáridos naturales como el almidón; disminuyendo consecuentemente la concentración de este en el azúcar crudo producido.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Caña de azúcar**

Es una planta herbácea de gran tamaño que se cultiva en países tropicales y subtropicales. Es un híbrido complejo de varias especies, derivadas principalmente del *Saccharum officinarum*. La caña se propaga vegetativamente sembrando trozos de sus tallos. La nueva planta o retoño crece a partir de los cogollos o yemas de los nudos del tallo, asegurando así una descendencia uniforme. La producción de caña varía significativamente de un área a otra, dependiendo de la variedad, utilizando factores climáticos, disponibilidad del agua, prácticas de cultivo y la duración del periodo de crecimiento.

#### **2.1.1. Composición química general de la caña de azúcar**

La caña de azúcar está constituida, en general, por agua aproximadamente en un 70 por ciento y materia seca en un 30 por ciento. La materia seca comprende a su vez la fibra (parte insoluble) y los sólidos totales solubles en el agua, denominados brix.

La fibra está formada fundamentalmente por celulosa, la cual está constituida por azúcares sencillos como glucosa (dextrosa). Los sólidos solubles en agua (brix expresado en porcentaje de la caña) y el agua constituyen lo que se denomina jugo absoluto de la caña.

Los sólidos solubles a su vez, comprenden sacarosa y las no-sacarosas. La razón porcentual entre la sacarosa y el brix de la caña o jugo se conoce

como pureza de la caña o del jugo, respectivamente. El contenido aparente de sacarosa, expresado como un porcentaje en peso y determinado mediante métodos polarimétricos se denomina “pol”. Los sólidos solubles diferentes de la sacarosa incluyen los azúcares reductores como: la glucosa, la fructosa y otros compuestos orgánicos e inorgánicos solubles en el agua.

### **2.1.2. Principales constituyentes químicos de la caña de azúcar y su relación con el proceso industrial**

En promedio, los porcentajes de agua (expresados como porcentajes de humedad de caña) oscilan entre 70 y 73 por ciento. Por tanto, los porcentajes de materia seca (sólidos solubles e insolubles) pueden encontrarse entre 27 y 30 por ciento, de los cuales cerca de 15 a 17 por ciento corresponden a los denominados sólidos solubles (brix<sup>o</sup> caña). Además, las variedades de caña de azúcar pueden exhibir niveles de fibra de 12 a 15 por ciento, bajo condiciones de un procesamiento de caña limpia, o sea, exceptúa de impurezas o materia extraña de carácter mineral. Así, la materia extraña afecta los niveles de brix, pureza y fibra.

Los principales constituyentes químicos de los jugos de la caña de azúcar son los azúcares, sales orgánicas e inorgánicas, ácidos orgánicos, aminoácidos y otros no azúcares como material colorante. Los niveles de sacarosa en los jugos, expresados como pureza (porcentaje brix), oscilan en la caña madura entre 70 a 90 por ciento de los sólidos totales solubles. Los azúcares reductores se encuentran en los jugos entre 2 y 4 por ciento. Otros no azúcares como sales y ácidos orgánicos alcanzan porcentajes (brix) entre el 1 y 6 por ciento.

Tabla I. **Promedio de la composición química de los tallos y jugos de caña de azúcar**

<b>Constituyente químico en los tallos</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Agua</b>	70 – 73
<b>Sólidos</b>	27 - 30
Sólidos solubles (brix)	15 - 17
Fibra (seca)	12 – 15
<b>Constituyente químico en el jugo</b>	<b>Porcentaje (% base brix)</b>
<b>Azúcares</b>	75 - 92
Sacarosa	70 – 88
Fructosa	2 – 4
Glucosa	2 – 4
<b>Sales</b>	27 - 30
Inorgánicas	3 – 3.4
Orgánicas	1,5 – 4,5
<b>Ácidos orgánicos</b>	1 – 3
<b>Otros no azúcares orgánicos</b>	
Proteínas	0,5 – 0,6
Almidones	0,001 – 0,05
Gomas	0,3 – 0,6
Grasas, ceras, etc.	0,15 – 0,5
Compuestos fenólicos	0,1 – 0,8

Fuente: LARRAHONDO, Jesús Eliécer. *Composición y características químicas de la caña de azúcar*. p. 24.

El jugo de la caña de azúcar es extraído mediante extracción en los molinos o por un proceso de difusión, el cual contiene materiales en solución y suspensión, los cuales se describen en la tabla II.

Tabla II. **Contenido de materiales en solución y suspensión en el jugo de caña**

<b>Materiales en solución</b>	<b>Materiales en suspensión</b>
Azúcares	Fibra
Sales inorgánicas	Arena
Ácidos orgánicos	Arcilla (suelos)
Polisacáridos	Médula
Proteínas	Clorofila
Pectinas	Almidones
Colorantes	Ceras
Taninos (polifenólicos)	Aire

Fuente: LARRAHONDO, Jesús Eliécer. *Composición y características químicas de la caña de azúcar*. p. 24.

### **2.1.3. Principales oligosacáridos y polisacáridos de la caña de azúcar**

Esta clase de azúcares en los jugos de caña y posteriormente en las masas del proceso azucarero han sido demostrados como la principal causa de elongación de los cristales en la industria azucarera y dificultades en el agotamiento de las mieles. La reducción asociada en las tasa de cristalización, con la presencia de oligosacáridos, en el proceso fabril conduce a altos tiempos en la etapa de cristalización, estos se encuentran de forma natural en los jugos de la caña de azúcar, pero su acumulación entre la cosecha y el procesamiento de la caña, es la mayor fuente de problemas potenciales asociados entre los oligosacáridos y la etapa de cristalización o agotamiento de las mieles.

Los polisacáridos son carbohidratos de alto peso molecular presente en la caña de azúcar y particularmente en los jugos extraídos durante el procesamiento azucarero. Se incluyen entre estos: almidón, la celulosa, polisacáridos de las paredes celulares y dextranas. La concentración de polisacáridos (solubles) en los jugos varía aproximadamente de 1 500 a 3 000 mg/kg de sólidos disueltos, dependiendo de la variedad de caña. La concentración de polisacáridos, generalmente es más alta en las hojas y cogollos que en el tallo.

El contenido de polisacáridos totales depende del lugar y la variedad de la caña. El efecto varietal es muy pronunciado, con un rango de valores entre 6 500 y 12 000 mg/kg de sólidos disueltos medidos en diferentes variedades. Entre los polisacáridos más importantes de la caña se pueden citar: el polisacárido ISP (polisacárido nativo de la caña), los almidones, los glucanos y las dextranas. El polisacárido ISP, los almidones y los glucanos han sido reconocidos como polisacáridos de origen natural de la caña y más asociados con las características varietales y sitio de cultivo.

El almidón es un polisacárido de origen natural en la caña de azúcar; se encuentra presente en forma de pequeños gránulos insolubles en el agua y constituye una reserva de carbohidratos alimenticios. Se forma por condensación de glucosa y consiste de una mezcla de dos polisacáridos. El mayor componente es la milo-pectina, que representa de 75 a 85 por ciento del almidón y tiene una estructura altamente ramificada; el resto, la amilasa, es esencialmente un polímero sin ramificaciones.

El contenido de almidones depende en gran parte de la variedad de caña de azúcar; se encuentra en los puntos de crecimiento de la planta y aún más en las hojas. Se ha encontrado además, que está más concentrado en la caña no

madura y, por tanto, la caña madura tiene un contenido más bajo de almidón. El contenido de almidón puede variar entre 275 y 1 500 mg/kg de sólidos, con un promedio aproximadamente de 700 mg/kg.

Cuando los jugos se calientan durante el proceso fabril, los gránulos de almidón se gelatiniza y esto aumenta mucho la viscosidad de las soluciones, lo cual puede causar problemas con la filtración de los materiales del proceso o de las soluciones azucaradas. La incorporación de altos niveles de almidón con los jugos en la fábrica, se pueden controlar mediante el procesamiento de caña madura y bajo contenido de materia extraña vegetal (hojas, cogollos) y el uso de variedades de bajo contenido de almidones. Por otra parte, el empleo de enzimas termos estables, como amilasas, es también recomendado.

#### **2.1.4. Efectos de los polisacáridos en el proceso azucarero**

Se reconoce que los almidones y otras clases de polisacáridos producen efectos negativos en el proceso fabril relacionados con las viscosidades, calores de polarización, filtrabilidad, cristalización (crecimiento, forma y desarrollo del cristal) y melasigénesis (reducción en la recuperación de azúcar en la fábrica).

En las altas viscosidades observadas en jugos de caña de azúcar se encuentra la disminución en la transferencia de calor en los evaporadores, cristalizadores y tachos, lo cual incrementa el punto de ebullición unido a una disminución en los rendimientos de azúcar y su calidad, con incrementos en los costos energéticos.

Durante el crecimiento del cristal, la forma de estos puede estar influenciada por la presencia de las impurezas. Los polisacáridos son una de las

impurezas que preferencialmente se unen o se absorben en la superficie del cristal, causando que una crezca más lentamente.

## **2.2. Almidón en la caña de azúcar**

Almacenamiento y síntesis de alimento en la planta.

- Rotación óptica entre  $+190^\circ$  y  $+220^\circ$  (sacarosa  $+66,47^\circ$ ).
- Cosecha mecánica: incorpora partes de la planta con más alto contenido de almidones, variaciones por variedad.
- Almidón: se solubiliza por acción del calor y la cal.
- Cerca del 80 % sobrevive la clarificación y cerca del 30 % queda en el cristal.
- Efecto en filtrabilidad.

Clasificación por solubilidad

- Solubles: parcialmente eliminados en clarificación y pasan hasta el azúcar terminado.
- Insolubles: eliminados en clarificación y filtraciones y puede pasar al azúcar terminado como materia insoluble.

Presencia en azúcar crudo

- Polisacáridos solubles en azúcar crudo (Clarke, 1986): almidón 10- 20 %, dextranas 20- 60 %, otros polisacáridos solubles 25-55 %.

## **2.3. Efectos en la variedad de caña**

Existen algunas diferencias significativas entre variedades, la cuales son generalmente elegidas para satisfacer las condiciones agronómicas, por ejemplo: irrigación o lluvia, maduración temprana, tipo de suelo, duración del periodo de crecimiento y el sistema de cosecha. Con el tiempo, las variedades más populares que se cultivan en un área particular sufren cambios. Las diferencias en la composición del jugo entre diferentes variedades no son suficientemente grandes o previsibles como para efectuar ajustes en el procesamiento según la variedad. Sin embargo, la dureza de la caña y la disposición de la fibra varían de una variedad de caña a la otra, lo que puede afectar su comportamiento en la planta. Las diferencias en componentes no-sacarosas son normalmente influenciadas, en gran parte, por la variedad.

### **2.3.1. Variedades de caña en Guatemala**

A nivel de agroindustria azucarera guatemalteca la variedad CP72-2086 es la variedad más cultivada con 28,8 por ciento, ocupado más del 40 por ciento del área sembrada durante más de 10 años y, con más de 8 toneladas de azúcar por hectárea. La segunda variedad en área sembrada es CP88-1165 con 28,4 por ciento, pero con una tendencia fuerte hacia el decremento en área sembrada. La tasa de decremento promedio anual observada en los últimos dos años es 5,3 por ciento a partir de la zafra 2011-12. En la zafra 2013-14, la variedad CP73-1547, con 12,4 por ciento del área ocupa el tercer lugar en área sembrada y esta posición es el resultado de incrementos menores en las últimas zafras, esta variedad se ha mantenido como tercera opción en la agroindustria azucarera guatemalteca en áreas importantes, por más de 29 zafras. A pesar de que la variedad CP73-1547 es de alta productividad de azúcar, el área no se ha incrementado debido, principalmente, a que muestra

alta incidencia de floración y corcho, por lo que su adaptabilidad es específica para el inicio de zafra en noviembre y diciembre.

### **2.3.1.1. Variedades a analizar en el Ingenio Trinidad**

Variedad promisoras de caña de azúcar CP72-2086

- Aspecto de planta: hábito de crecimiento de tallos semierecto, poco deshoje natural y cantidad de follaje intermedio.
- Lamina foliar: borde aserrado.
- Entrenudo: color verde amarillento con manchas negras y forma de crecimiento cilíndrico y ligeramente curvado al costado de la yema.
- Aurícula y lígula: aurícula forma transicional ascendente, y lígula generalmente deltoide con rombo.
- Nudo: yema redonda con alas, de base angosta y anillo de crecimiento.
- Cuello: color café y superficie semilisa.
- Vaina: desprendimiento intermedio, color rosado y centro quebradizo.
- Observaciones: incidencia alta a mosaico, raya roja y amarillamiento foliar.

Figura 1. Aspectos físicos de la variedad de caña Cp72-2086



Fuente: CENGICAÑA. *Catálogo de variedades promisoras de caña de azúcar de la agroindustria azucarera guatemalteca*. p. 40.

#### Variedad promisor de caña de azúcar CP88-1165

- Aspecto general de planta: regular deshoje natural, hábito de crecimiento de tallos semierectos y follaje escaso.
- Lamina foliar: borde semiliso.
- Entrenudo: color rojizo, forma de crecimiento curvado ligeramente en zigzag y posee un canal en el lado de la yema. Los tallos se rajan.
- Aurícula y lígula: aurícula forma lanceolada larga y corta en la misma vaina y lígula creciente lineal.
- Nudo: forma de crecimiento obconoidal en el lado opuesto de la yema ovalada con alas.
- Cuello: color verde oscuro y superficie lisa.
- Vaina: regular desprendimiento de color verde con manchas moradas y rojas y poca presencia de afate.

- Observaciones: la mayoría de tallos se rajan y la mayoría de vainas se concentran en un solo lado.

Figura 2. **Aspectos físicos de la variedad de caña Cp88-1165**



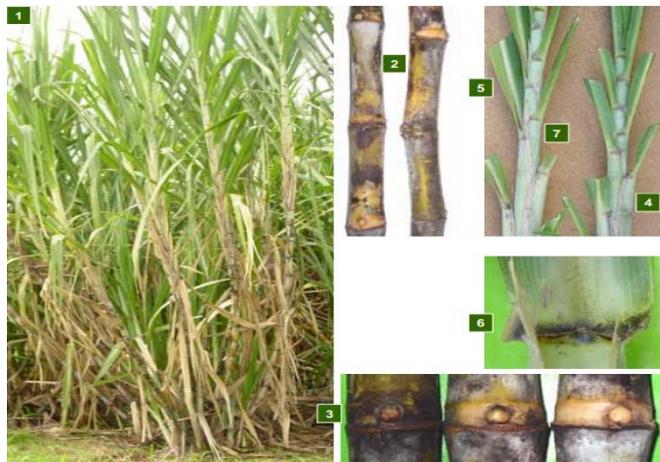
Fuente: CENGICAÑA. *Catálogo de variedades promisoras de caña de azúcar de la agroindustria azucarera guatemalteca*. p. 41.

#### Variedad promisor de caña de azúcar CP73-1547

- Aspecto general de planta: regular deshoje natural, hábito de crecimiento de tallos semiabiertos, regular cantidad de follaje y cogollo largo.
- Lamina foliar: hojas anchas verde oscuro.
- Entrenudo: color verde amarillento con mancha negra y cerosa, forma de crecimiento ligeramente curvado en zigzag.
- Aurícula y lígula: aurícula forma lanceolada larga y corta en un lado y en el otro transicional inclinada y lígula deltoide con rombo.
- Nudo: forma de crecimiento cilíndrico, yema aproximadamente redonda protuberantes con alas.

- Cuello: color verde oscuro y superficie la mayoría lisa.
- Vaina: desprendimiento intermedio, color verde con manchas rojizas, borde seco, unido longitudinalmente.
- Observaciones: incidencia baja a escaldadura y carbón.

Figura 3. **Aspectos físicos de la variedad de caña Cp73-1547**



Fuente: CENGICAÑA. *Catálogo de variedades promisoras de caña de azúcar de la agroindustria azucarera guatemalteca*. p. 41.

#### **2.4. Cambios debidos a condiciones climáticas y al momento de la zafra**

En áreas donde la caña es cultivada utilizando irrigación y el abastecimiento de agua está asegurado, la composición de caña, generalmente varía poco de una temporada a la siguiente. Sin embargo, en áreas dependientes de la lluvia, la producción y la composición pueden ser fuertemente afectadas por variaciones en la precipitación. El efecto sobre la composición de la caña puede apreciarse con las cifras comparativas de temporadas normales y secas. La longitud del entrenudo es, generalmente,

una función de la velocidad de crecimiento. En periodos de sequía, la longitud de los entrenudos se reduce y como resultado el contenido de la fibra se incrementa. Esto resulta en un menor contenido de sacarosa, menos pureza del jugo y aumento de color en el jugo. Por el contrario, en áreas donde se presentan fuertes lluvias durante la temporada de zafra, generalmente se observa un incremento en la materia extraña, principalmente en términos del contenido del suelo.

Dependiendo de los factores climáticos, pueden presentarse un efecto pronunciado del momento de la zafra sobre la composición de caña. En caso de que la caña esté inmadura al inicio de la zafra, se puede esperar que el contenido de sacarosa y la pureza del jugo sean bajos y que el contenido de azúcares invertidos sea alto. A medida que la zafra transcurre y la caña madura, el contenido de sacarosa y la pureza se incrementan. En este momento se alcanza la mejor recuperación de sacarosa dado que el contenido de no-sacarosa es bajo. Hacia el final de la zafra, a veces se observa un aumento del contenido de fibra. Debido a que la temporada de lluvias es normalmente el factor que determina la duración de la zafra, la lluvia al final de la zafra causa caídas en la calidad y un incremento en la materia extraña.

#### **2.4.1. Efecto del estrés por sobrehumedecimiento y sequía en el suelo**

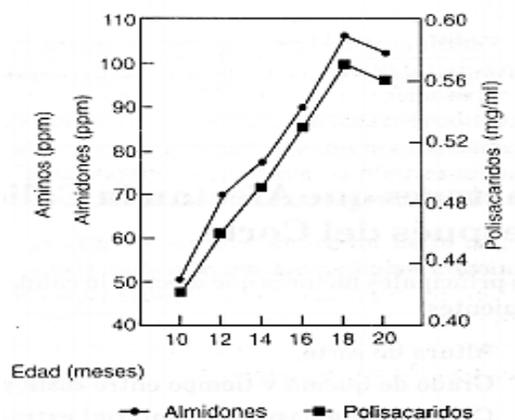
La caña de azúcar se ve sometida a varios tipos de estrés, los cuales son el exceso y falta de agua en el suelo, generando limitaciones en el desarrollo de la planta, estos dos efectos pueden causar que la producción de sacarosa disminuya y la de almidón aumente, debido que, la caña al verse estresada tiende a generar un mayor número de entrenudos y fibra y a mayor

número de nudos, mayor cantidad de almidón. Es por ello que el factor humedad de suelo es importancia para obtener una caña de buena calidad.

#### 2.4.2. Efectos de la edad de corte en la calidad de la caña

Los contenidos totales de compuestos como fenólicos y de polisacáridos solubles y almidones en los jugos, tienden a incrementar con la edad de la planta en las variedades.

Figura 4. **Contenido de almidón (ppm) en función de la edad de caña**

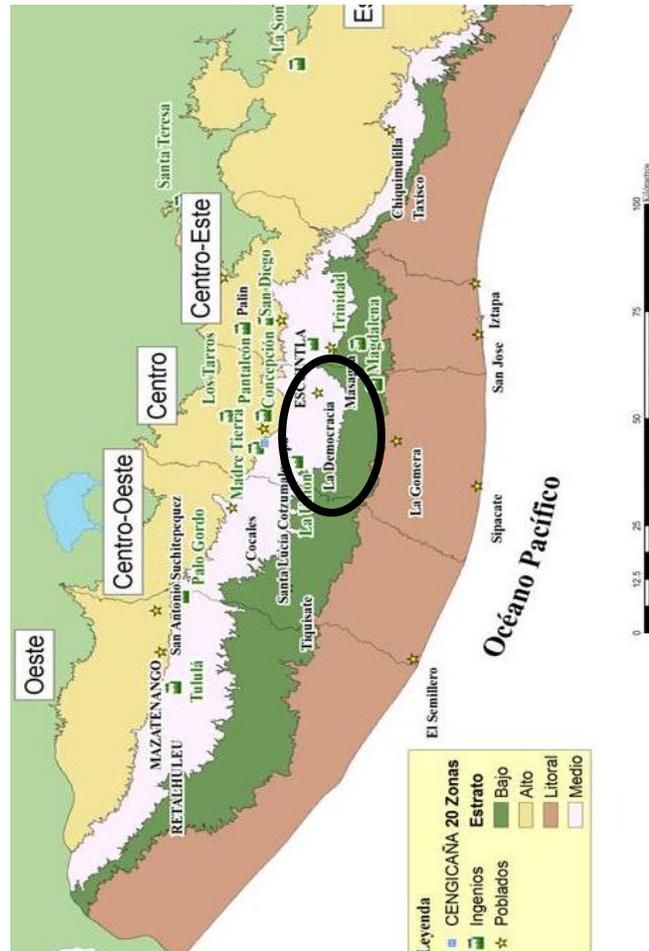


Fuente: LARRAHONDO, Jesús Eliécer. *Composición y características químicas de la caña de azúcar*. p. 24.

#### 2.5. Estrato altitudinal en Guatemala

Guatemala está dividida en 4 estratos de zonas cañeras, las cuales tienen diferentes condiciones de desarrollo, como tipo de suelo y clima (humedad y temperatura), generando que las condiciones de la caña también se modifiquen.

Figura 5. Estratificación zona cañera



Fuente: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. [en línea]. <http://www.cengicaña.org>. Consulta: agosto de 2013.

## 2.6. Espectrofotometría

Un espectrofotómetro se utiliza para determinar las concentraciones de diferentes compuestos en solución, basado en la medida relativa de la luz transmitida o absorbida a través de una solución, como una función de la

longitud de onda; debido a que cuando una luz monocromática pasa a través de una solución es parcialmente absorbida y transmitida en relación a la concentración. El equipo tiene una escala entre 0 y 1 de absorbancia y 0 y 100 por ciento de transmitancia.

La espectrofotometría es la medida relativa de la luz transmitida como una función de la longitud de onda. Las medidas son relativas, ya que la intensidad de la luz es transmitida por el material de referencia o blanco.

Su principio se basa en que muchos materiales obedecen la ley de Beer, la cual se refiere a la relación entre la energía radiante transmitida y la concentración de la solución irradiada, pudiéndose describir así: cuando una luz monocromática pasa a través de una solución, la intensidad de energía disminuye exponencialmente a medida que aumenta aritméticamente la concentración de la solución, o de otra forma, cuando una luz monocromática pasa a través de una solución es parcialmente absorbida en relación a la concentración.

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.

### **2.6.1. La Ley de Beer-Lambert**

La absorbancia con la concentración se encuentra por la relación de la ecuación para una línea recta,  $y = mx + b$ . Si la medición se realiza de tal manera que  $b = 0$  (es decir, una solución que no contiene colorante no tiene

absorbancia), y se se substituye esa ecuación por la formulación de la Ley de Beer-Lambert:  $A = \epsilon Cl$ , donde A: es la absorbancia,  $\epsilon$ : el coeficiente de extinción molar para una determinada longitud de onda y l: distancia que atraviesa la luz por la muestra en centímetros.

La pendiente de la línea recta resultará de la representación gráfica de la concentración vs la absorbancia. Para utilizar un espectrofotómetro hay que preparar una serie de diluciones con concentración conocida. Una de estas muestras no contendrá soluto y es conocido como el blanco. Se usa para ajustar el instrumento para leer absorbancia cero.

Luego se registran absorbancias de concentración conocida (estándares), al tener una serie de muestras se realiza una gráfica del valor de absorbancia (el eje vertical o Y) *versus* la concentración (el eje de las abscisas o X). La pendiente de la línea es el coeficiente de extinción ( $\epsilon$ ).

Este valor puede calcularse para cada lectura y el promedio asumida como el valor de la pendiente. Este valor es una constante. Así, una vez que se calcula, subsiguientemente puede usarse para determinar una concentración desconocida por un nuevo rearrreglo de la Ley del Beer-Lambert  $C=A/\epsilon$ .



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Al analizar los factores que influyen en el proceso a realizar, se determinó las variables que, de manera directa e indirecta, están presentes en el proceso. Estas se detallan en la tabla III.

Tabla III. Lista de variables

Variable	Independiente	Dependiente	Constante	No constante
Temperatura del ambiente	X		X	
Periodo de muestreo		X		
Estrato altitudinal	X			X
Edad de la caña	X			X
Concentración de almidón		X		X
Absorbancia		X		X
Cantidad jugo de caña	X		X	
Variedad de caña	X			X

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Lista de variables a manipular**

Variable	Independiente	Dependiente	Constante	No constante
Concentración de almidón grado reactivo curva de calibración	X			X

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. **Delimitación de campo de estudio**

La realización del proyecto de investigación se llevará a cabo en San Diego S. A., unidad industrial, Ingenio Trinidad, en él se realizarán las pruebas a nivel laboratorio por un método espectrofotométrico en donde se seguirá una línea de muestreo, preparación y análisis de jugos de caña solamente de las 3 variedades de mayor impacto. Con esto se tomarán los datos necesarios que permitan realizar la determinación de la concentración presente en jugo de caña de azúcar.

### 3.3. **Recursos humanos disponibles**

Para el desarrollo del trabajo de investigación se necesitó de recurso humano. Los recursos humanos utilizados para el desarrollo del proceso experimental y la asesoría se detallan a continuación.

- Investigadora: Nancy Paola Castro Méndez
- Revisor: Ing. Qco. Estuardo Edmundo Monroy
- Asesor externo: Ing. Qco. Félix René Morales Magarín
- Colaborador: Luis Enrique Cifuentes Ruíz

### **3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)**

Durante el planteamiento y desarrollo del trabajo de investigación, se necesitó de diversos recursos materiales, estos se clasificaron en equipo de laboratorio, cristalería y reactivos y materia prima.

#### **3.4.1. Equipo**

El equipo utilizado para el desarrollo de la etapa experimental del trabajo de investigación se detalla a continuación. Este equipo fue proporcionado por el Ingenio Trinidad.

- Espectrofotómetro Genesys 10S Series UV-Visible, con lectura digital en absorbancia, ancho de banda espectral 1,8 nm, rango de longitud de onda de 190-1100nm.
- Balanza semianalítica, resolución 0,01g.
- Balanza analítica, resolución 0,1 mg
- Baño de maría que atiende a condiciones de temperatura de agua en ebullición.
- Agitador magnético.
- Potenciómetro.

#### **3.4.2. Cristalería**

La cristalería utilizada para el desarrollo de la etapa experimental del trabajo de investigación se detalla a continuación. Esta cristalería fue proporcionada por el Ingenio Trinidad.

- Pipetas serológicas (10 y 25 mL)
- Pipeta volumétrica (30mL)
- Balones aforados (100, 200 y 1000 mL)
- Beaker (250 mL)
- Erlenmeyer (250 mL)
- Probeta (100 mL)

### **3.4.3. Reactivos y materia prima**

Los reactivos y materia prima utilizados para el desarrollo de la etapa experimental del trabajo de investigación se detallan a continuación. Los reactivos y materia prima fueron proporcionados por el Ingenio Trinidad.

- Jugo de caña de las variedades CP72-2086, CP88-1165 y CP73-1547
- Cloruro cálcico dihidratado, con pureza mínima de 98,0 %
- Ácido acético glacial
- Yodato potásico
- Yoduro potásico
- Sacarosa grado reactivo, con pureza mínima de 99,0 %
- Almidón grado reactivo, con pureza mínima de 99,0 %

### **3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa**

La metodología utilizada en la investigación de análisis de jugo de caña incluye la medición de parámetros cuantitativos y cualitativos, las cuales implican conocer lo siguiente:

- Tipo de caña
- Estrato altitudinal de cosecha de caña

- Edad de caña (cosechada)

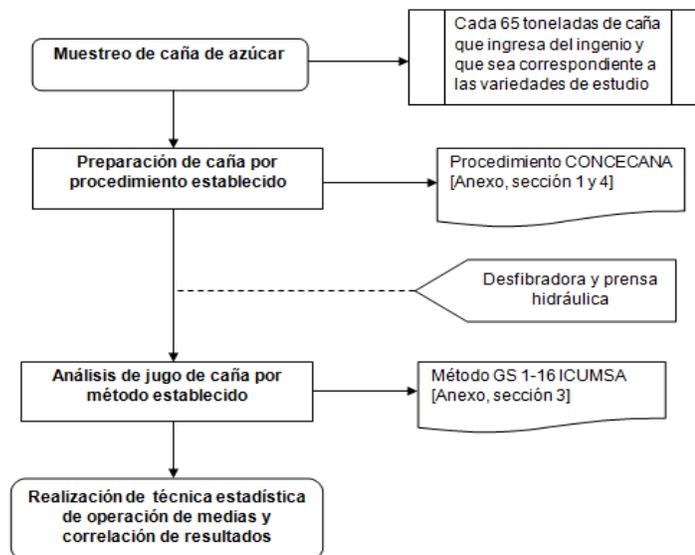
Conociendo dichas cualidades, se realizó un método de ensayo, donde con los datos que se recopilados, se obtuvo:

- Medición de concentración de almidón en jugo de caña.
- Comparación entre medias de concentración por variedad y estrato altitudinal por medio de una técnica estadística.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

A continuación se describe el procedimiento utilizado para la recolección y ordenamiento de los datos necesarios, para la obtención de los objetivos planteados.

Figura 6. **Diseño experimental**



Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

A continuación se describe el procedimiento utilizado para la recolección y ordenamiento de los datos necesarios para la obtención de las relaciones planteadas para cada objetivo.

#### 3.7.1. Curva de calibración

Se realizó una curva de calibración para el método de almidón en jugo de caña para las condiciones de laboratorio. Para ello se realizaron 8 corridas, variando la concentración de almidón y luego 2 repeticiones para cada concentración.

Tabla V. **Datos para la curva de calibración para determinar la concentración de almidón presente en el jugo de caña**

Corrida	Solución almidón mg / kg	Absorbancia 1	Absorbancia 2
1	0,0		
2	50,0		
3	100,0		
4	150,0		
5	200,0		
6	250,0		
7	350		
8	500		

Fuente: elaboración propia.

### 3.7.2. Toma de datos de concentración de almidón

Se utilizó una tabla para la toma de datos diaria, para anotar la nota de peso de la caña, con la cual posteriormente se podía obtener el brix, estrato altitudinal y la edad de caña cosechada.

Tabla VI. Hoja de toma de datos de 10 muestras diarias

Número de muestra	Nota de peso de la caña	Absorbancia	Concentración almidón (ppm)
1			
2			
3			
4			
...			
10			

Fuente: elaboración propia.

### 3.8. Análisis estadístico

A continuación se detalla el procedimiento utilizado para el análisis estadístico. Esto incluye promedio, desviación estándar y contraste de significación mediante t de student.

#### 3.8.1. Media de una muestra

Al clasificar por variedad, por estrato y por edad de caña cosechada, se realizó una media de jugos de caña con la misma variedad, mismo estrato o igual edad de caña cosechada, según fue el caso, para realizar la media se utilizó la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \frac{\sum_i x_i}{n}$$

[Ecuación 4]

### 3.8.2. Desviación estándar

Se determinó la desviación estándar de la concentración de almidón de jugos de caña con la misma variedad, mismo estrato o igual edad de caña, según fue el caso; para realizar la desviación estándar se utilizó la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\sum_i \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

[Ecuación 5]

### 3.8.3. Coeficiente de variación

Hará referencia a la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, a mayor valor del coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los valores de la variable; y a menor C.V., mayor homogeneidad en los valores de la variable.

$$C_V = \frac{\sigma}{|\bar{x}|} \cdot 100$$

[Ecuación 6]

### 3.8.4. Comparación de dos medias mediante t de student

Esta prueba se realizó para determinar si hay diferencia significativa entre la cantidad de almidón por variedad de caña, para aceptar o rechazar la hipótesis.

Es la prueba estadística utilizada para distinguir si la diferencia entre las concentraciones de almidón medidas se puede atribuir a errores aleatorios o si la diferencia es significativa. En este caso se tendrá dos medias muestrales  $x_1$  y  $x_2$ . Se tiene una hipótesis nula que indica que existe una diferencia significativa en los niveles de concentración de almidón en jugo de las 3 diferentes variedades de caña. Por lo que se necesita probar entre las 3 variedades si CP88-1165 y CP73-1547, CP88-1165 y CP72-2086 y CP73-1547 y CP72-2086 difieren significativamente de cero.

Para decidir si  $H_0: \mu_1 \neq \mu_2$ , cuando se tiene dos muestras con desviaciones estándar diferentes, se calcula el estadístico t, mediante la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

[Ecuación 6]

Donde:

$t$ : valor de t calculada

$\bar{x}$ : media

$n$ : número de muestras

$s$ : desviación estándar

El valor de t calculada por este estadístico es contrastado posteriormente utilizando el valor crítico de t mostrado en la tabla VII. Este valor depende del nivel de significancia y de los grados de libertad.

Los grados de libertad son calculados mediante la siguiente ecuación:

$$G.L. = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{s_1^4}{n_1^2(n_1-1)} + \frac{s_2^4}{n_2^2(n_2-1)}}$$

[Ecuación 7]

Donde:

*G.L.*: grados de libertad

*n*: número de muestras

*s*: desviación estándar

Los grados de libertad se aproximan al entero siguiente.

El criterio de decisión sobre los valores de t calculado y críticos, son los siguientes:

- Si  $t_{cal} < t_{crit}$  entonces las medias no tienen diferencia significativa
- Si  $t_{cal} > t_{crit}$  entonces las medias tienen diferencia significativa

Tabla VII. Valores críticos de la distribución t

Valor de t para un intervalo de confianza de valor crítico de  t  para valores de P de números de grados de libertad	90 %	95 %	98 %	99 %
	0,1	0,05	0,02	0,01
1	6,31	12,71	31,82	63,66
2	2,92	4,30	6,96	9,92
3	2,35	3,18	4,54	5,84
4	2,13	2,78	3,75	4,60
5	2,02	2,57	3,36	4,03
6	1,94	2,45	3,14	3,71
7	1,89	2,36	3,00	3,50
8	1,86	2,31	2,90	3,36
9	1,83	2,26	2,82	3,25
10	1,81	2,23	2,76	3,17
12	1,78	2,18	2,68	3,05
14	1,76	2,14	2,62	2,98
16	1,75	2,12	2,58	2,92
18	1,73	2,10	2,55	2,88
20	1,72	2,09	2,53	2,85
30	1,70	2,04	2,46	2,75
50	1,68	2,01	2,40	2,68
∞	1,64	1,96	2,33	2,58

Fuente: MILLER & MILLER. *Estadística y quimiometría para química analítica*. p. 136.



## 4. RESULTADOS

### 4.1. Concentración de almidón en diferentes estratos altitudinales por variedad de caña

A continuación, en las tablas VIII, IX y X se muestra el resultado de la medición de concentración de almidón por cada una de las 3 variedades en los 3 distintos estratos altitudinales: medio bajo y litoral.

Tabla VIII. **Concentración de almidón en diferentes estratos altitudinales para la variedad CP72-2086**

<b>Estrato altitudinal</b>	<b>Concetracion de almidón (ppm %Brix)</b>
<b>Litoral</b>	1936,97
<b>Bajo</b>	1061,17
<b>Medio</b>	1074,21

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Concentración de almidón en diferentes estratos altitudinales para la variedad CP88-1165**

<b>Estrato altitudinal</b>	<b>Concetracion de almidón (ppm %Brix)</b>
<b>Litoral</b>	1665,99
<b>Medio</b>	1263,73

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Concentración de almidón en diferentes estratos altitudinales para la variedad CP73-1547**

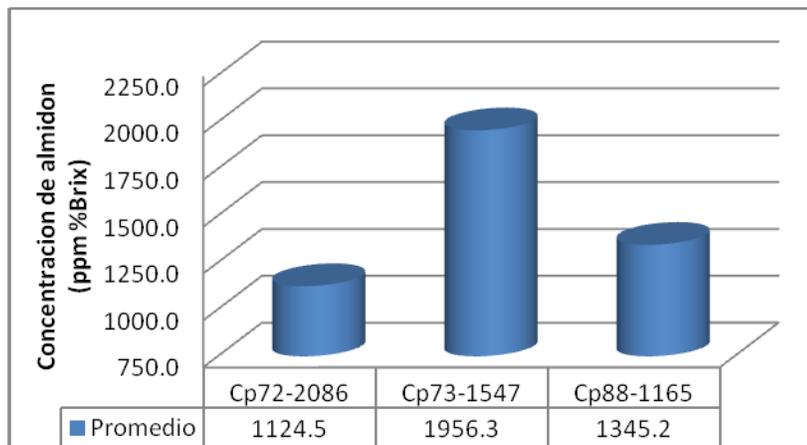
Estrato altitudinal	Concetracion de almidón (ppm %Brix)
Litoral	899,48
Bajo	2191,63
Medio	1500,90

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. Concentración de almidón por variedad de caña

A continuación se muestra la relación entre la concentración de almidón y la variedad de caña, correspondientes al segundo objetivo. Se observan los 3 principales tipos de caña: CP72-2086, CP73-1547 y CP88-1165.

Figura 7. **Concentración de almidón en jugo de caña en función de la variedad de caña**

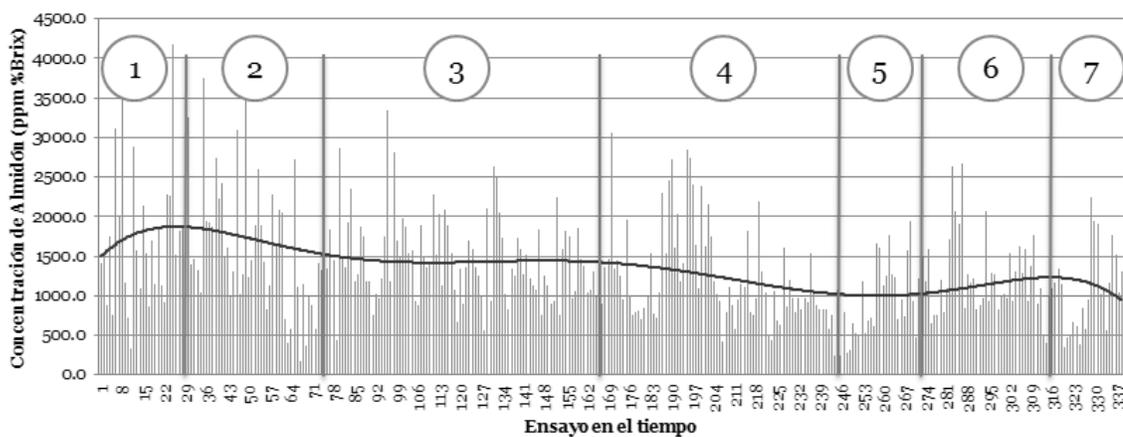


Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Concentración de almidón por ensayo ordenado cronológicamente

A continuación se muestra el resultado de la medición de concentración de almidón en el jugo de caña de las 3 variedades conforme a como fueron muestreadas cada día. Posteriormente se presenta una tabla con la descripción de la numeración de la figura 8.

Figura 8. Concentración de almidón por ensayo en el tiempo



Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Porcentaje de almidón en jugo de caña por variedad muestreada

No.	Fecha	Porcentaje por variedad (%)			Promedio almidón (ppm)
		Cp73-1547	Cp88-1165	Cp72-2086	
1	2 Dic -11 dic	41,9	12,9	45,2	1500-2000
2	12 Dic-29 dic	39,5	14,0	46,5	2000-1500

Continuación de la tabla XI.

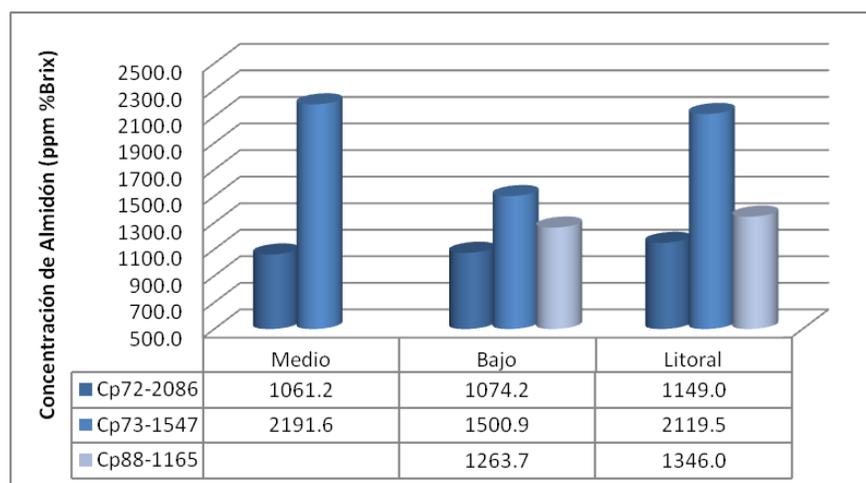
3	2 Ene-29 ene	24,1	26,4	49,4	1500
4	30 Ene-24 feb	23,3	19,2	57,5	1500-1000
5	25 Feb-5 mar	9,5	42,9	47,6	1000
6	6 Mar-23 mar	32,5	2,5	65,0	1000-1250
7	23 Mar- 27 mar	22,2	7,4	70,4	1250-1000

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Concentración de almidón entre cada variedad de caña por estrato altitudinal

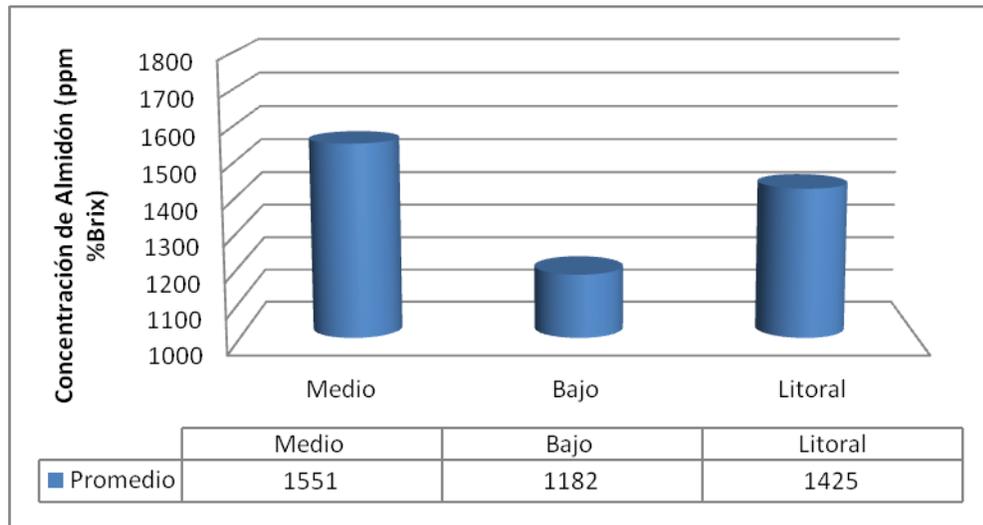
A continuación se muestra el resultado de la medición de concentración de almidón por cada una de las 3 variedades en los 3 distintos estratos altitudinales: medio bajo y litoral.

Figura 9. Concentración de almidón en jugo de caña en función del estrato altitudinal por variedad de caña



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Concentración de almidón en jugo de caña en función del estrato altitudinal**

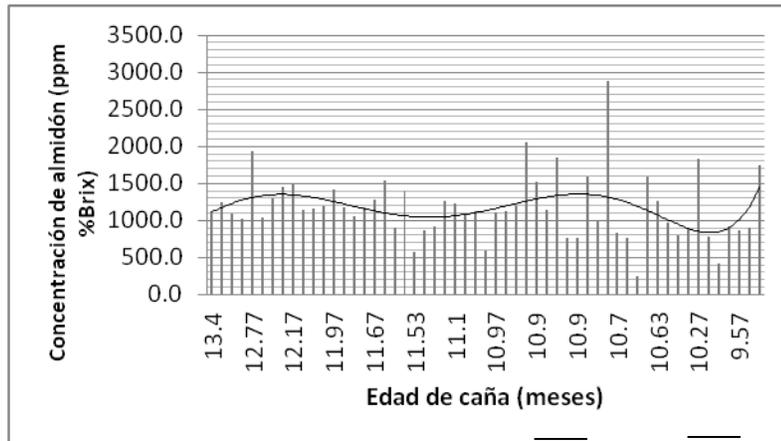


Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. **Concentración de almidón entre cada variedad por edad de caña (cosechada)**

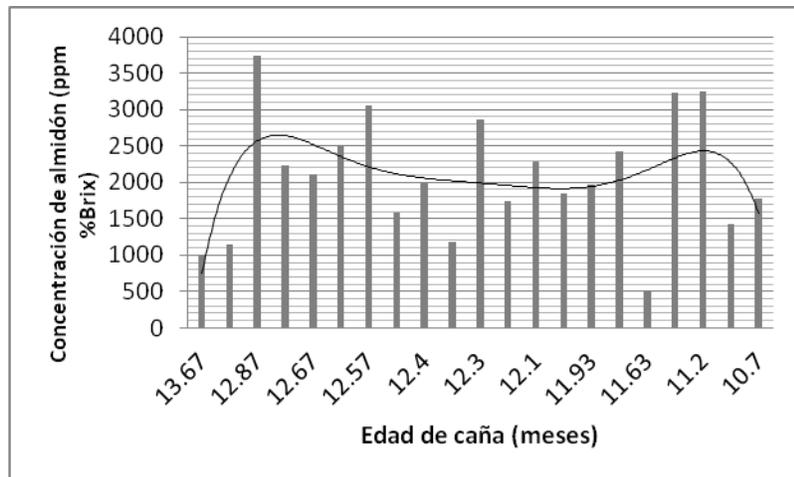
A continuación se muestra el resultado de la medición de concentración de almidón por cada una de las 3 variedades en función a la edad que llega esta para ser cosechada.

Figura 11. **Concentración de almidón en función de la edad de caña en meses que fue cosechada la variedad CP72-2086**



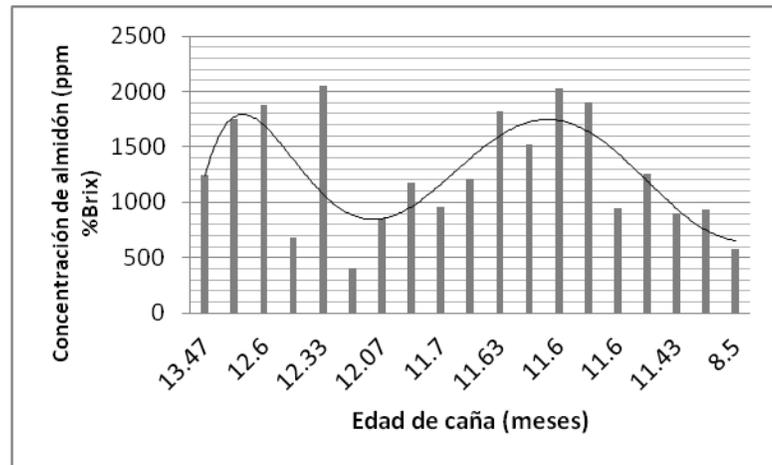
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Concentración de almidón en función de la edad de caña en meses que fue cosechada la variedad CP73-1547**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Concentración de almidón en función de la edad de caña en meses que fue cosechada la variedad CP88-1165**

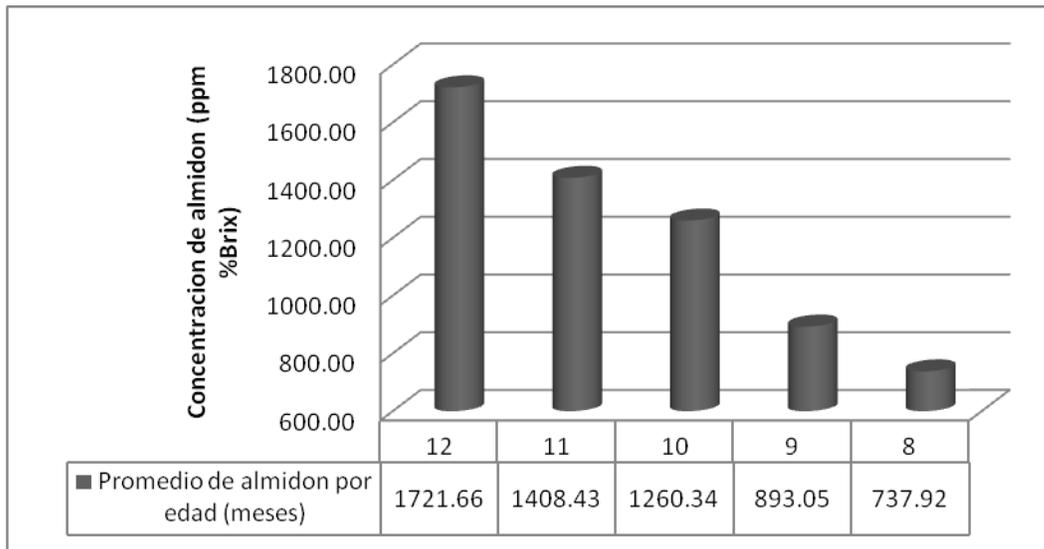


Fuente: elaboración propia.

#### 4.6. **Concentración de almidón por edad de caña (cosechada)**

A continuación se muestra el resultado de la medición de concentración de almidón con las 3 variedades incluidas en función a la edad que llegó esta para ser cosechada.

Figura 14. **Concentración de almidón en función de la edad de caña en meses que fue cosechada (todas las variedades incluidas)**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.7. **Análisis estadístico**

A continuación se muestra el análisis estadístico. Se utilizó el contraste de significación: t de student para las variedades de caña y estrato altitudinal (ambas entre parejas).

Tabla XII. **Contraste de significación (t de student) entre las tres variedades**

Comparación de variedades	Grados de libertad	T Crítica	T Calculada	Resultado	Conclusión
CpP72-2086 y Cp73-1547	100,56	1,96	8,43	H <sub>0</sub> aceptada T <sub>calc</sub> > T <sub>crit</sub>	Si hay diferencia estadísticamente representativa entre los 3 pares de variedades
CpP72-2086 y Cp88-1165	119,85		3,06	H <sub>0</sub> aceptada T <sub>calc</sub> > T <sub>crit</sub>	
Cp73-1547 y Cp88-1165	131,91		5,50	H <sub>0</sub> aceptada T <sub>calc</sub> > T <sub>crit</sub>	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Contraste de significación (t de student) entre los tres estratos altitudinales**

Comparación de variedades	Grados de libertad	T Crítica	T Calculada	Resultado	Conclusión
Medio y bajo	40,42	1,96	2,42	H <sub>0</sub> aceptada T <sub>calc</sub> > T <sub>crit</sub>	Si hay diferencia estadísticamente representativa
Medio y litoral	36,05		0,97	H <sub>0</sub> Rechazada T <sub>calc</sub> < T <sub>crit</sub>	No hay diferencia estadísticamente representativa
Bajo y litoral	186,93		2,92	H <sub>0</sub> aceptada T <sub>calc</sub> > T <sub>crit</sub>	Si hay diferencia estadísticamente representativa

Fuente: elaboración propia.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Durante la zafra 2013-2014 se realizó la determinación de concentración de almidón presente en los jugos de tres variedades promisoras de caña de mayor impacto que ingresan al proceso de azúcar en el Ingenio Trinidad: CP72-2086, CP73-1547 y CP88-1165, mediante un método espectrofotométrico.

Se realizó el procedimiento representativo estadísticamente de muestrear cada 65 toneladas de caña que ingresen al ingenio que sean correspondientes a las variedades de estudio: CP88-1165, CP73-1547 y CP72-2086. La preparación de caña para la obtención de jugo a nivel laboratorio, se realizó mediante el procedimiento de concecana que aplica una desfibradora de caña y prensa hidráulica.

La medición de la concentración de almidón se realizó mediante un método espectrofotométrico de ICUMSA, utilizado para análisis de azúcar crudo, previamente validado para jugo de caña. Para la aplicación del método se requiere digerir el jugo de caña con una solución caliente de ácido acético/cloruro de calcio y adicionar una solución de yoduro/yodato de potasio para formar el complejo azul de almidón-yodo. Los resultados se obtuvieron mediante la comparación de medias y correlación de resultados.

Dicha zafra fue dividida en tres temporadas que denotaron la cantidad promedio de almidón en jugo de caña cosechada que ingresa, siendo noviembre-diciembre, enero-febrero y marzo-abril respectivamente. La figura 15 demuestra que conforme fue avanzando cada período la presencia de almidón

de las variedades a analizar fue diferente, en el primer tercio de zafra la variedad con mayor impacto fue la CP73-1547, en el segundo CP72-2086, y para el último CP88-1165; la tendencia demuestra cómo disminuye en el tiempo la cantidad de almidón presente por el porcentaje de variedades ingresando al proceso, como se observa en la figura 8.

Se observa en la figura 7 que el promedio de la concentración de almidón varía conforme la variedad. Se obtuvo la concentración más alta de almidón en la variedad CP73-1547, seguida de CP88-1165 y, por último, la CP72-2086. En el análisis estadístico, tabla XII se observa que entre las 3 variedades analizadas si existe diferencia significativa. Esto se debe a la dureza de la caña y la disposición de la fibra que varía de una variedad a otra, lo que afecta su comportamiento en la planta y en este caso el factor más importante, las diferencias en componentes no-sacarosas, como el almidón.

Cabe resaltar que la variedad CP73-1547 es la que contiene la mayor cantidad debido a que es una de las variedades más floreadoras que fácilmente puede aumentar su concentración de almidón por estrés hídrico, Las dos variedades siguientes contienen menor cantidad de almidón debido a que sus condiciones de desarrollo pueden ser más variables que la anterior, estas resisten más diversidad de suelos, y condiciones climáticas. Sin embargo, las tres variedades pueden concentrar mayor cantidad de almidón si esta se ve afectada por exceso o falta de agua y el desarrollo de la misma, no será igual generando mayor presencia de nudos en la caña, fibra, cogollos y hojas.

En la figura 9 se observa que existe diferencia en el promedio de la concentración de almidón en los diferentes estratos altitudinales para las tres variedades, demostrando que el estrato bajo y litoral tienen el mismo comportamiento en función a las variedades CP72-2086 y la CP88-1165 que

aumentan su concentración de almidón del estrato medio dirigido al litoral, ya que el estrato litoral se encuentra ubicado más cerca del mar generando mayor producción de almidón en la planta; sin embargo, esto no se cumple para el estrato medio debido a la mayor presencia de la CP73-1547, ya que por la ubicación geográfica (en la figura 5) se encuentra en Escuintla, área de mucha lluvia que se muy marcado al inicio de la zafra, y como se observa en la figura 8, el periodo donde la mayor cantidad de CP73-1547 es cosechada, viéndose estresada más por lluvia, que por las mismas condiciones de humedad que presentaría en el litoral.

En la figura 10 se observa que no lleva una tendencia de concentración por estratos (del medio dirigido al litoral), debido a que en todos los estratos el valor de concentración de almidón más alto es el de la variedad CP73-1547, respecto a las otras dos variedades, excepto en el estrato bajo, de donde se obtuvo menor cantidad de datos que en los demás estratos, es por ello que el estrato que mayor almidón concentra es el medio por las condiciones de zafra mencionadas anteriormente y la temporada de cosecha de esta variedad, afectando el comportamiento de datos, que demuestra que hay más concentración en el medio seguido del estrato litoral y, por último, el estrato bajo, ya que en estos últimos dos la cantidad de datos de las otras dos variedades (CP72-2086 y CP88-1165) era mucho mayor.

En la tabla XIII se observa que sí existe diferencia estadísticamente representativa entre los estratos medio bajo y bajo litoral y entre litoral medio no existe diferencia estadísticamente representativa, por lo mencionado anteriormente

En la figura 14 se demuestra que si aumenta la cantidad en meses de caña para ser cosechada, aumenta la concentración de almidón, es decir que con caña madura habrá mayor cantidad de almidón, debido a que la presencia de componentes no-sacarosa aumenta pasando su tiempo óptimo de producción de sacarosa, esta gráfica es representativa, ya que engloba las tres variedades, los estratos altitudinales de desarrollo y la cantidad de datos necesaria, como se muestra en las figuras 11, 12 y 13 que están divididas por estrato altitudinal no fueron tomadas en cuenta, ya que no demuestran ningún comportamiento por la falta de datos para el análisis.

La hipótesis planteada indica que existe diferencia significativa entre la concentración de almidón de las variedades CP72-2086, CP73-1547 y CP88-1165. Por consiguiente, la hipótesis nula es aceptada y es rechazada la hipótesis alternativa.

## 6. LOGROS OBTENIDOS

A continuación se muestran los logros obtenidos en los 6 meses de realización de EPS, y posteriormente en la etapa final de análisis de datos y correlación de resultados.

- Se logró obtener el comportamiento de la concentración de almidón de las variedades de caña que constituyen el 87 por ciento de la materia prima del Ingenio Trinidad, según variedad de caña, estrato altitudinal y edad de caña cosechada.
- Se brindó a la organización un proyecto donde se aplicó un sistema de investigación y análisis de contenidos de almidón presentes en jugo de caña de azúcar, que aportó datos que sirvieron para la toma de decisiones a nivel industrial, específicamente en el área de fabricación, mejorando el proceso de producción de azúcar y aumentando la productibilidad, ya que se decidió agregar alfa-amilasa al proceso de fabricación obteniendo menos galonaje de miel y aumentando la cantidad de azúcar por tonelada de caña.
- Se obtuvieron resultados que presentaron a la empresa la aplicación de acciones correctivas y preventivas como estar preparados con qué tipo de variedad que va ingresar al proceso, que dieron beneficio a la fábrica con reducción de costos en área de operación.



## CONCLUSIONES

1. La variedad de caña CP73-1547 posee la mayor concentración de almidón, respecto a las demás variedades, aunque variables como estrato altitudinal y edad de caña varíen.
2. La concentración de almidón entre las tres variedades de caña de estudio es diferente, y entre todas sí existe diferencia estadísticamente significativa con una confianza del 95 por ciento.
3. La concentración de almidón aumenta mientras disminuye la altura respecto al nivel del mar, siendo el estrato altitudinal litoral en el que se encuentra la mayor concentración de almidón para las variedades CP72-2086 y CP88-1165; sin embargo, para la variedad CP73-1547 no se observa el mismo comportamiento, ya que en el medio presenta la mayor concentración de almidón.
4. No existe diferencia estadísticamente representativa entre la concentración de almidón de los estratos medio y litoral.
5. Mientras aumente la edad de la caña para ser cosechada se genera mayor cantidad de componentes no-sacaros, aumentando la concentración de almidón en los jugos de caña.
6. El almidón repercute en el proceso de fabricación de azúcar, generando más mieles, y disminuyendo la eficiencia del proceso.



## RECOMENDACIONES

1. Implementar un sistema de investigación que ataque posibles problemáticas que integren factores agrícolas, agronómicos y de fabricación, lo cual ayudará a enfocar las medidas de control para obtener producciones más eficientes y rentables, con el objetivo de llegar a obtener mayor concentración de sacarosa y producción de azúcar.
2. Adicionar enzimas termoestables en forma continua durante el proceso de fabricación de azúcar, para lograr una mejor recuperación de sacarosa y agotamiento de las mieles finales.
3. Implementar un sistema de control más riguroso para la limpieza y despunte de la caña de azúcar, ya que es en las hojas y los tallos de la misma donde se encuentra el mayor contenido de almidón.
4. Conocer otras variedades promisoras de caña de azúcar que puedan beneficiar la recuperación de sacarosa y contengan menos contenido de almidón.
5. Aplicar a las plantaciones de caña de mayor floración inhibidores de floración.



## BIBLIOGRAFÍA

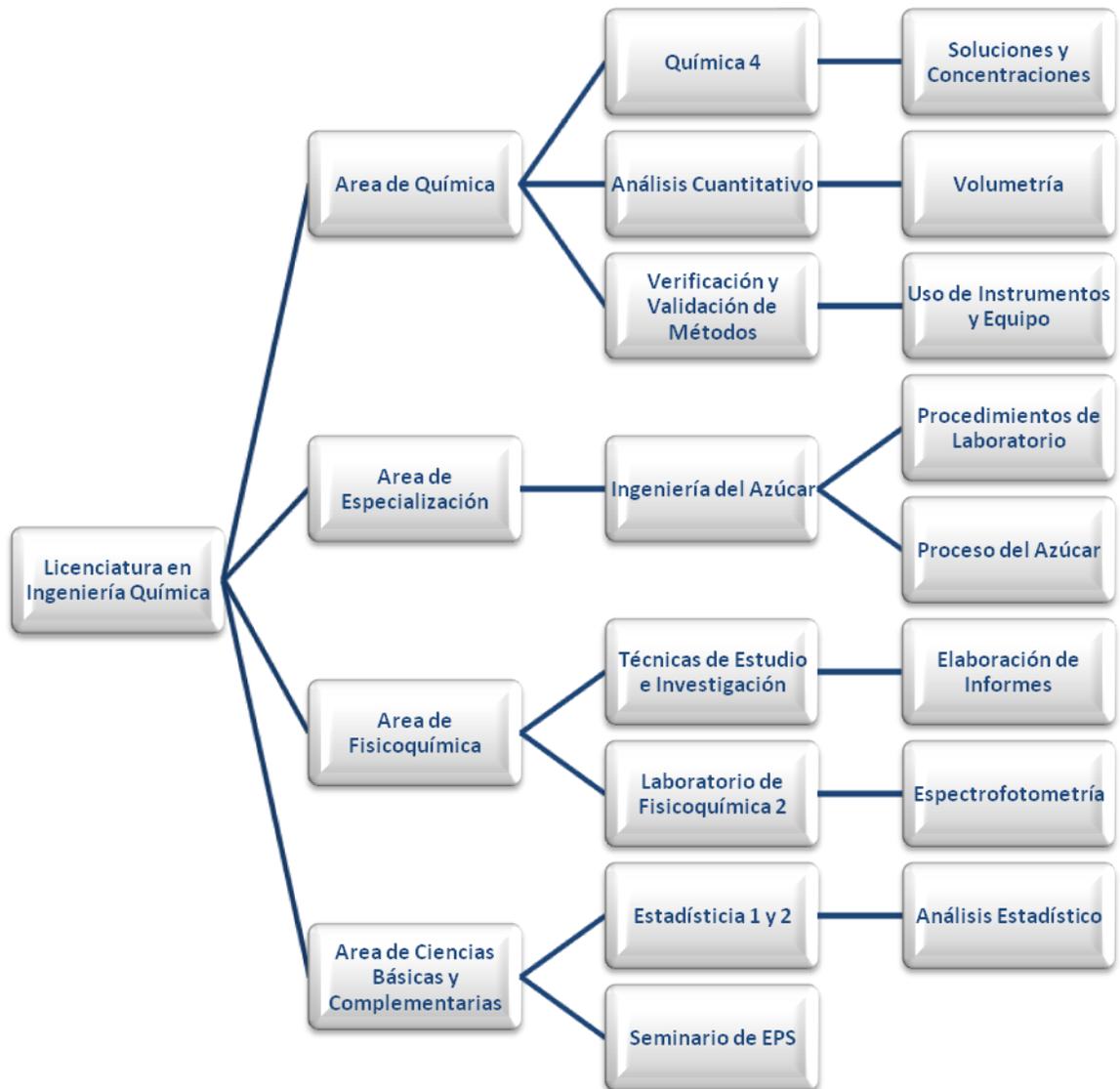
1. BRUNATTI, Carlos; MARTÍN, Ana María. *Introducción a la espectroscopia de absorción molecular ultravioleta, visible e infrarrojo cercano*. [en línea]. <http://materias.fi.uba.ar/>. [Consulta: 28 de agosto de 2013].
2. BUENAVENTURA, C. N. et al. *Manual de laboratorio para la industria azucarera*. Colombia: Tecnicaña, 1989. 227 p.
3. \_\_\_\_\_. *Manual de laboratorio para la industria azucarera*. Colombia: Tecnicaña, 1989. 227 p. 4.
4. CENGICAÑA. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Guatemala: Artemis Edinter, 2012. 512 p.
5. \_\_\_\_\_. *Censo variedades Guatemala*. [en línea] <http://www.cengicaña.org>. [Consulta: 28 de agosto de 2013].
6. CHEN, JCP. *Manual del azúcar de caña; para fabricantes del azúcar de caña y químicos especializados*. México: Limusa. 1991. 1200 p.
7. Concejo Editorial QUIMICAWEB. *Efecto del estrés por sobrehumedecimiento del suelo en la dinámica del índice de cultivos tropicales*, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas Cuba. vol. 28, núm. 4, 2007. 40 p.

8. CONCEJO EDITORIAL TECNOLOGIAS LIMPIAS. *Etapas y equipos del proceso*. [en línea] <http://www.tecnologiaslimpias.org/>. [Consulta: 25 de agosto de 2012].
9. FERNANDES, Antonio. *Cálculos na agroindustria da cana-de-açúcar*. 3a ed. Brasil: STAB, 2011. 416 p.
10. LARRAHONDO, Jesús Eliécer. *Composición y características químicas de la caña de azúcar*. Colombia: Universidad del Valle, 2012. 110 p.
11. MILLER, James; MILLER, Jane. *Estadística y quimiometría para química analítica*. 4a ed. España: Prentice Hall, 2002. 278 p.
12. OROZCO VÁSQUEZ, HÉCTOR. Et al. *Catálogo de variedades promisoras de caña de azúcar de la agroindustria azucarera guatemalteca*. Guatemala: CENGICANA. 2004. 40 p. [en línea] <http://cengidoc.cengican.org>. [Consulta: 26 de agosto de 2013]
13. PORTA, Antonio. *Fabricación del azúcar*. España: Salvat, 1955. 809 p.
14. REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. Alemania: Bartens, 2012. 880 p.
15. SPENCER, Guilfor; MEADE, George. *Manual del azúcar de caña*. 9a ed. España: Montaner y Simón, 1967. 940 p.

## **APÉNDICES**

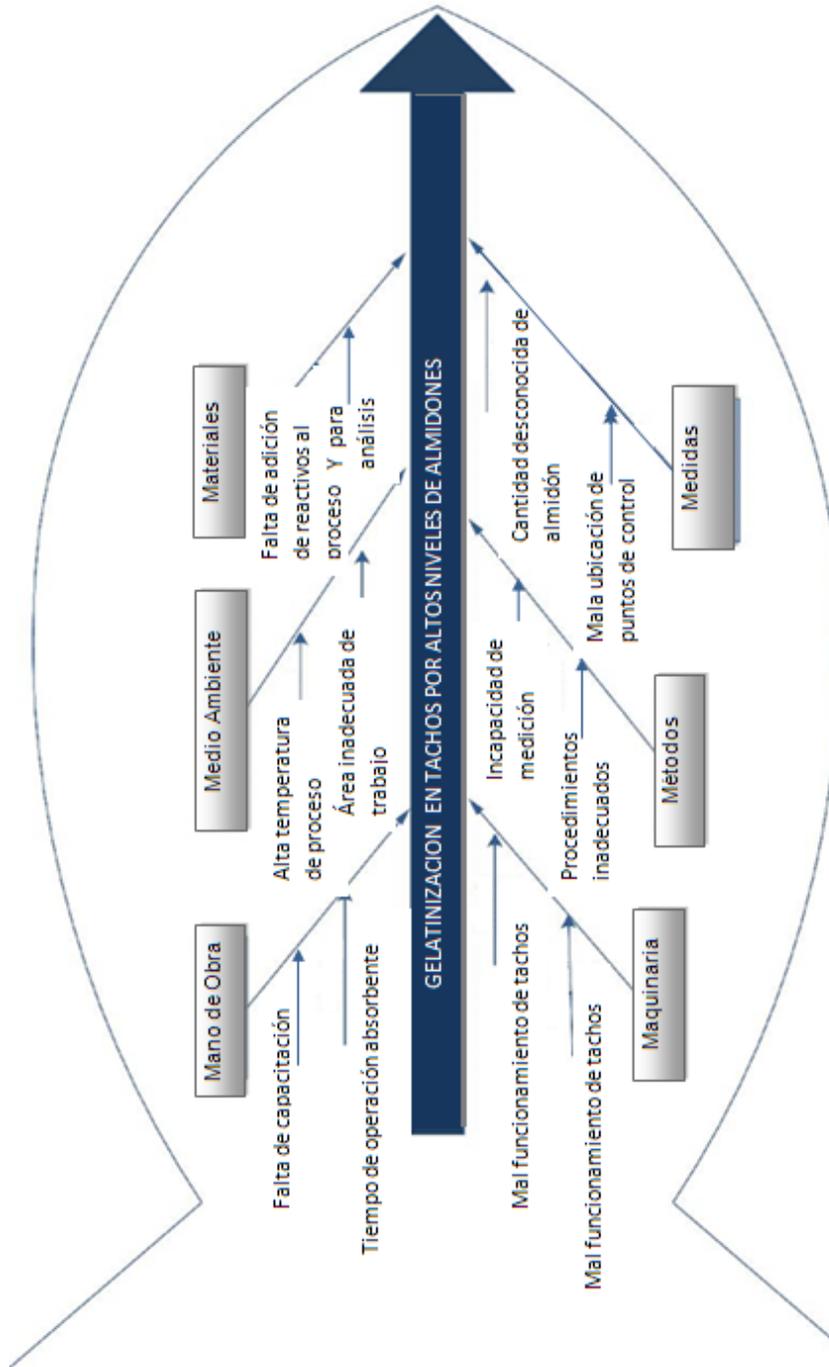


Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



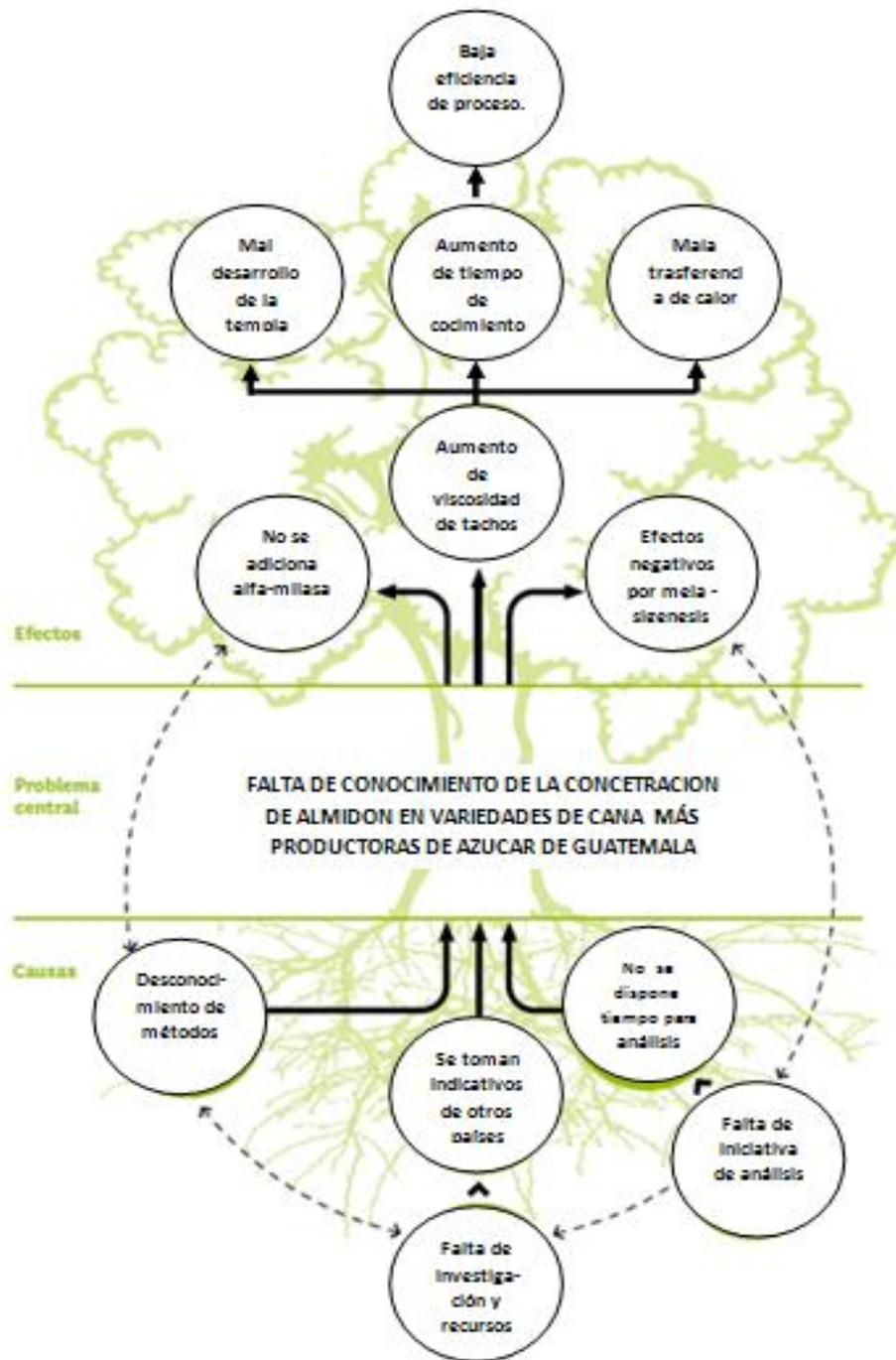
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Árbol de problema



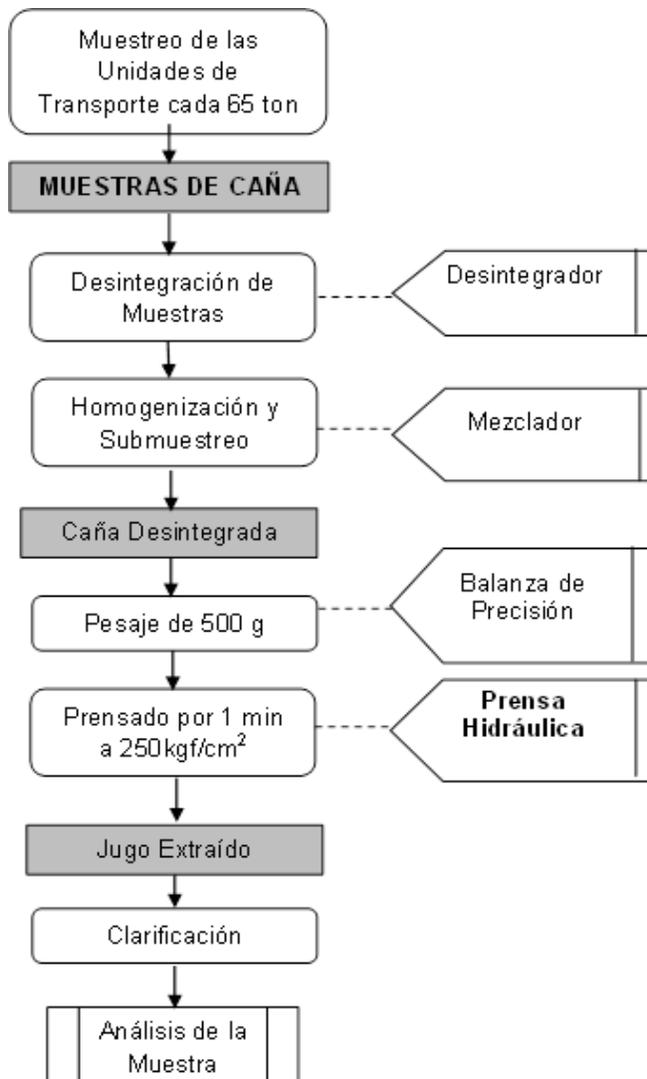
Fuente: elaboración propia.



## **ANEXOS**



Anexo 1. **Muestreo y preparación de la caña, método adoptado por el sistema de pago en la calidad de la caña de azúcar en Brasil (Concecana-SP, 2006)**



Fuente: FERNANDES, Antonio. *Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar*. p. 110.

## Anexo 2. Análisis

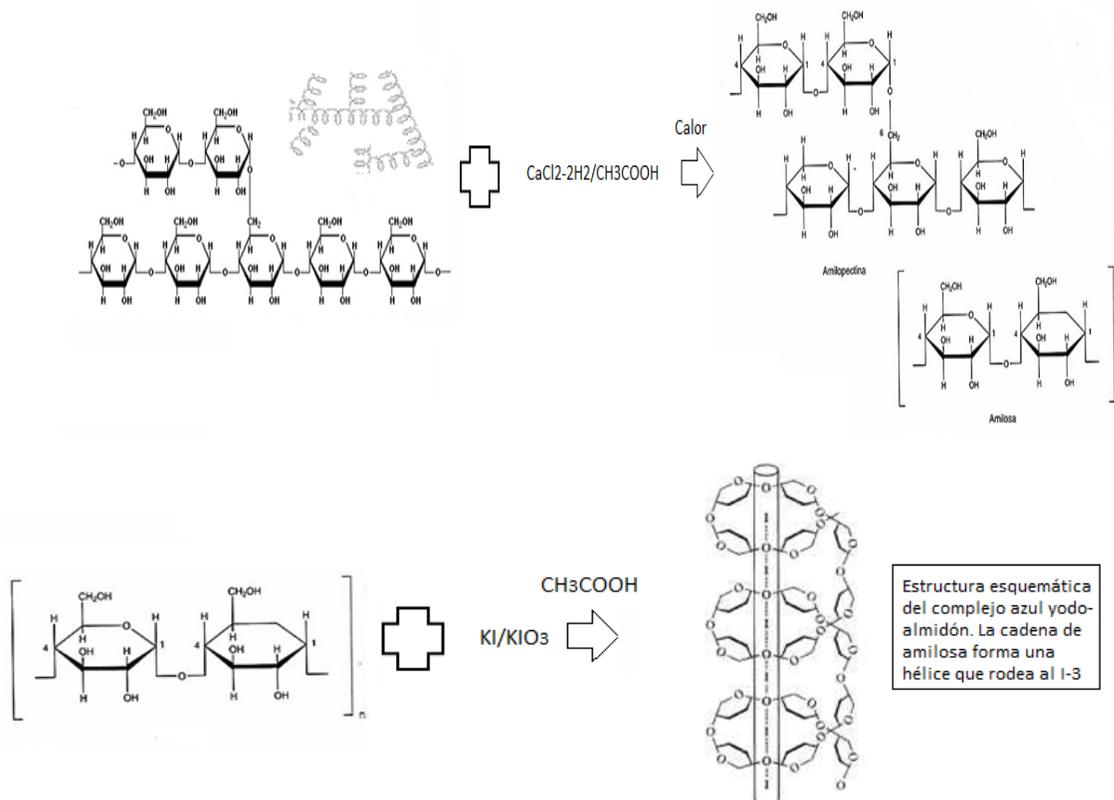
Para la determinación de la concentración de almidón se llevara a cabo el método de ensayo establecido por ICUMSA para azúcar crudo, el cual fue validado por EEAOC (Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres [Anexo 2]) para jugos de caña de azúcar.

### Resumen del método

Digerir el azúcar disuelto en agua (o jugo de caña de azúcar) con una solución caliente de ácido acético/ cloruro de calcio para solubilizar cualquier almidón presente.

La solución de yoduro/yodato de potasio se adiciona para formar un complejo azul de almidón-yodo, tornándose de color azul.

- Reacción:



## **Equipo**

- Baño de María 95 – 100 ° C
- Cronómetro
- Balanza
- Espectrofotómetro / 700 nm (celdas de 10 mm)
- Plancha de calentamiento con agitador
- Balones de 100 mL

## **Reactivos**

- Solución de cloruro de calcio / ácido acético
- Solución de acético 0.033 M
- Solución de yoduro / yodato de potasio

## **Metodología:**

**A.** Medir el brix del jugo y anotar el dato.

**B.** Preparar dos balones de 100 mL y para cada uno pesar 20.00 +/- 0.01 g de jugo, uno será la solución de prueba y el otro será el blanco, el cual debe identificarse visiblemente.

**C.** Agregar a cada balón 30 mL de la solución de cloruro de calcio / ácido acético y mezclar.

**D.** Colocar los balones en baño María, a los 5 –10 minutos de iniciado el calentamiento, agitar los balones para disolver el almidón.

**E.** Remover los balones del baño María después de transcurridos 15+/- 1 minutos tomados desde el momento en que se colocaron y enfriar con agua a temperatura ambiente.

**F.** A cada balón agregar 30 mL de la solución de ácido acético 0.033 M y mezclar.

**G.** Aforar el balón que contiene la solución blanca con agua destilada y mezclar.

**H.** A la muestra a analizar agregar 20 mL de la solución de yoduro / yodato de potasio y si es necesario completar el volumen de aforo con agua destilada, mezclar bien.

**I.** Colocar el espectrofotómetro en el modo de absorbancia, a una longitud de onda de 700 nm.

**J.** En una celda de 20 mm colocar la solución blanca y calibrar el espectrofotómetro a CERO. Vaciar la celda y agregar la solución a analizar, colocarla en el espectrofotómetro y anotar el dato de absorbancia.

#### Curva de calibración para el cálculo de Almidón en jugo:

Preparación de Estándares:

**A.1** Pesar 7.20 +/- 0.01 g se sacarosa grado reactivo dentro de cada uno de los seis balones volumétricos de 100,0 mL.

**A.2** Usando las pipetas clase A ( $\pm 0,01$  mL) adicionar las alícuotas de 0, 2, 4, 6, 8 y 10 mL de la solución estándar de almidón (180 mg / L) a cada uno de los seis balones. Las soluciones corresponden a las concentraciones 0, 50, 100, 150, 200 y 250 mg / kg de almidón en azúcar.

**A.3** Colocar usando una pipeta de  $25 \pm 0.2$  mL, dentro de cada uno de los seis balones; 14., 12,0, 10.0, 8,0, 6.0, y 4,0 mL de agua destilada, con ello se completan 14,0 mL de volumen en cada balón y disolver completamente el azúcar.

**A.4** Usando la repipeteadora de 25,0 mL agregar  $30,0 \pm 0,2$  mL de la solución de cloruro de calcio / con ácido acético, dentro de cada balón, mezclar bien y tapar.

**A.5** Colocar cada balón en un baño de María a  $95 - 100$  C, durante  $15 \pm 1$  minuto, cronometrando desde el momento que los balones se colocan en el baño. Después de transcurridos 5 – 10 minutos del calentamiento en el baño María, agitar los balones para ayudar a disolver el almidón. Después de los 15 minutos remover los balones del baño de María y enfriar con agua a temperatura ambiente.

**A.6** A cada balón agregar  $30.00 \pm 0.10$  mL de la solución de ácido acético 0.033 M. Usar pipeta de 15 mL o una repipeteadora de 10 mL.

**A.7** Para determinar la corrección de las celdas, colocar agua destilada en un par de ellas.

**A.8** Agregar a la solución con 0.0 mg / kg de almidón  $20.00 \pm 0.10$  mL de la solución de yodato/ yoduro de potasio, usando una

repipeteadora de 10 mL. Si es necesario completar el volumen de aforo del balón con agua destilada, y mezclar bien.

**A.9** Inmediatamente agregar la solución del balón a la celda y leer la absorbancia a 700 nm, usando como referencia la lectura obtenida con agua destilada.

**Nota:**

1. La absorbancia de la solución debe ser efectuada en el lapso de 2 a 5 minutos después de ser agregada la solución de yodato/ yoduro de potasio.

**A.10** Repetir los pasos A9 al A10 para cada solución en los balones, para obtener la curva de estandarización.

**Nota:**

1. La lectura de absorbancia de la solución de concentración de almidón 0 mg /Kg no debe exceder 0,010 para la celda de 20 mm. Y como guía, la lectura de absorbancia para la concentración 200 mg /Kg, no debe ser mayor de 0.320.

**A.11** Plotear los datos de mg/kg de almidón con los datos de absorbancia y; realizar una correlación.

- Curva estándar

**B.1** Las siguientes instrucciones permiten la preparación de una curva de calibración, con resultados de absorción a 700 nm para conocer la concentración de almidón.

### Proporciones para preparar la solución analizar

Azúcar (g)	Almidón estándar(mL)	Agu a destilada (mL)	Cloruro de calcio/ ácido acético (mL)	Ácido acético0.03 3 M(mL)	Yoduro / yodato (mL)
7,20	0,0	14,0	30,0	30,0	20,0
7,20	2,0	12,0	30,0	30,0	20,0
7,20	4,0	10,0	30,0	30,0	20,0
7,20	6,0	8,0	30,0	30,0	20,0
7,20	8,0	6,0	30,0	30,0	20,0
7,20	10,0	4,0	30,0	30,0	20,0

Fuente: Método GS1-16  
ICUMSA.

### Datos teóricos para la curva de calibración de solución de almidón en función de la absorbancia

C	Solución almidón mg / kg	Absorbancia
1	0,0	0,009
2	50,0	0,075
3	100,0	0,148
4	150,0	0,225
5	200,0	0,290
6	250,0	0,363

Fuente: Método GS1-16 ICUMSA.

B.2            Al plotear los valores obtenidos de absorbancia para cada solución de almidón y realizar un análisis de regresión para obtener el modelo matemático que mejor ajusta los puntos de la curva.

## Anexo 3. Normas operacionais de determinación de la calidad de la caña de açúcar (CONECANA-SP)

### ANEXO I. NORMAS OPERACIONAIS DE DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

#### • FUNDAMENTOS

- N-001. A qualidade da cana-de-açúcar, de fornecedores e própria, destinada à produção de açúcar e de álcool, no Estado de São Paulo, será avaliada através de análise tecnológica em amostras coletadas no momento de sua entrega.
- N-002. Será de responsabilidade da unidade industrial, a operação do sistema de avaliação da qualidade da matéria prima, incluindo todas as etapas, desde a pesagem da cana até o processamento dos dados.

#### • VEÍCULOS DE TRANSPORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR

- N-003. Os veículos utilizados para o transporte de cana-de-açúcar deverão permitir, necessariamente, a amostragem por sonda mecânica, horizontal ou oblíqua.
- N-004. Quando a cana for transportada em veículos com uma ou mais carretas, estas serão consideradas cargas separadas para fins de amostragem.
- N-005. Para a amostragem de cargas de cana inteira, por sonda horizontal, os veículos deverão afixar em suas carrocerias, em local visível, o número de vãos passíveis de amostragem.
- N-006. Consideram-se vãos, os espaços passíveis de amostragem existentes entre fúeros ou outras estruturas destinadas à contenção das cargas.
- N-007. As carrocerias deverão possuir, no mínimo, 5 (cinco) vãos, equidistantes ao longo da carroceria, separados entre si por uma

distância máxima de 1 m (um metro), medida de centro a centro dos vãos. Os casos que não atendam a esta norma serão avaliados pelas partes.

N-008. Os vãos serão contados a partir da cabina do veículo transportador.

#### • BALANÇA DE PESAGEM DAS CARGAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

- N-009. As unidades industriais deverão efetuar, através do INMETRO – Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial ou por empresas por ele credenciadas, pelo menos, 2 (duas) aferições da balança de pesagem de cana, sendo a primeira no início do período de moagem e a segunda, na metade do período de moagem, afixando o respectivo certificado em local de fácil acesso.
- N-010. As unidades industriais deverão permitir aos representantes das associações de classe dos fornecedores, a qualquer momento, a solicitação para a calibração das balanças de carga, através de entidades credenciadas.

#### • ENTREGA DA CANA-DE-AÇÚCAR

- N-011. A entrega da cana, sob a responsabilidade do fornecedor, deverá ser realizada até 72 h (setenta e duas horas) da queima, no período compreendido entre o início do período de moagem até 31 de agosto e de 60 h (sessenta horas) da queima, a partir de setembro até o final do período de moagem.
- N-012. A cana entregue após os tempos estabelecidos (T) na norma N-011, a critério da unidade industrial, poderá sofrer descontos no valor da tonelada de cana, conforme a expressão:

$$K = 1 - (H - T) \times 0,002,$$

K = fator de desconto a ser aplicado à quantidade de ATR do produtor;

H = tempo, em horas, da respectiva queima;

T = 72 h entre o início da moagem e 31 de agosto;

Continuación del anexo 3.

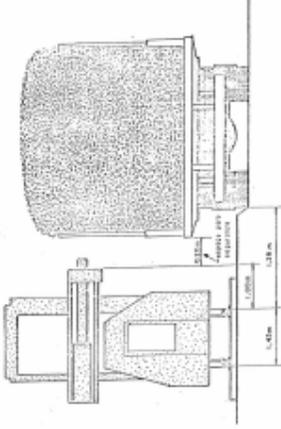


Fig. 1 – Distancia entre o veículo e a sonda amostrada

= 80 h, a partir de setembro até o final da moagem.

- N-013. Salvo quando dispensados da obrigação, os fornecedores deverão informar, por meios pré-estabelecidos, a hora da queima, às unidades industriais.
- N-014. Será descontado do tempo que compõe o fator K:  
 - o tempo de interrupção do recebimento de cana nas unidades industriais, motivado por causas não programadas;  
 - o tempo de espera na fila de entrega na unidade industrial, desde que não respeitada a proporcionalidade entre as entregas de cana própria e as de fornecedores.
- N-015. Não será aplicado o fator K, quando os serviços de colheita forem efetuados pela unidade industrial ou empresa prestadora destes serviços por ela gerenciada.
- N-016. As unidades industriais deverão controlar os tempos previstos na norma N-011, devendo incluir, em relatórios, os tempos transcorridos nas ocorrências que incidirem descontos devido à demora de entrega.
- N-017. As unidades industriais deverão dispor de local apropriado, antes das balanças de pesagem da tara dos veículos, para remoção dos colmos remanescentes dos carregamentos.

• AMOSTRAGEM DAS CARGAS

- N-018. A amostragem das cargas será efetuada por sonda mecânica, horizontal ou oblíqua.
- N-019. A sonda amostradora deverá estar localizada após a balança de pesagem da carga.
- N-020. No caso de sonda amostradora sobre trilhos, o estacionamento do veículo deverá respeitar a distância de 20 cm (vinte centímetros) entre a coroa do tubo amostrador e a cana dos carregamentos (Fig. 1).

- N-021. As posições de amostragem, quando se tratar de sondas horizontais, serão definidas por sorteio informatizado, levando-se em conta o número de vãos de cada tipo de unidade de transporte. As posições de amostragem e a identificação informatizada das cargas amostradas deverão ser impressas nos Boletins de Análise.
- N-022. As perfurações das cargas, para fins de amostragem, deverão ser feitas no ponto central da área definida pelo sorteio. Quando houver algum impedimento causado por obstáculo físico, a perfuração poderá ser realizada ao redor do local sorteado.
- N-023. Em todos os tipos de sonda amostradora horizontal, o tubo amostrador deve ser introduzido totalmente na carga e esvaziado após cada perfuração. Quando não for possível introduzir totalmente o tubo amostrador, será necessária a re-introdução no mesmo furo.
- N-024. O número de possibilidades de pontos de amostragem, por sondas horizontais, será dado pela equação:

$$P = 2 \times V - 4, \text{ onde:}$$

V = número de vãos para cada tipo de carroceria.

Exemplos:

(a) carroceria com 7 vãos :  $P=2 \times 7 - 4 = 10$  possibilidades (Fig.2)

Continuación del anexo 3.

NÚMERO DE UNIDADES DE TRANSPORTE		
Entregues/dia	Amostradas/dia	%
01-05	Todas	100,0
06-10	06	75,0
11-15	07	53,8
16-25	08	39,0
26-35	10	32,8
36-45	12	29,6
46-55	14	27,7
56-70	17	27,0
71-85	21	26,9
86-100	23	25,8
>100		25

N-028. Quando o número diário de carregamentos, por produtor e por fundo agrícola, excedera 10 (dez), as amostragens deverão ser distribuídas proporcionalmente ao longo do período diário de entrega.

N-029. Em se tratando de sonda amostradora oblíqua, a amostra será retirada em apenas 1 (uma) posição, seguindo a linha horizontal e central da parte superior do carregamento, em duas etapas e na mesma perfuração, retirando e descartando as sub-amostras de cada etapa.

N-030. A coroa dentada das sondas amostradoras, horizontais ou oblíquas, deverá ser afiada ou trocada quando demonstrar baixa eficiência de corte, observada pelo esmagamento e extração de caldo.

N-031. É necessário ajustar todo o conjunto amostrador da sonda oblíqua quando ainda que estando as coroas afiadas, as amostras apresentarem esmagamento e extração de caldo.

N-032. Qualquer que seja o tipo de sonda amostradora, o peso da amostra final, não poderá ser inferior a 10 kg (dez quilogramas).

N-033. O desrespeito às normas N-021 a N-032, acarretará a anulação da amostragem efetuada, repetindo-se a operação na mesma carga, em local próximo à anterior.

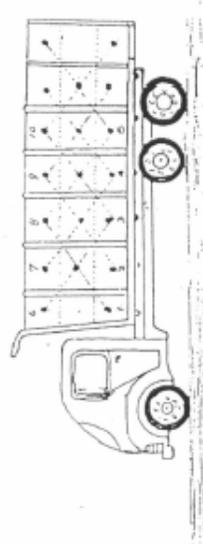


Fig.2 - Veículo com 7 vãos

(b) carroceria com 12 vãos : P=2x12-4 = 20 possibilidades (Fig.3)

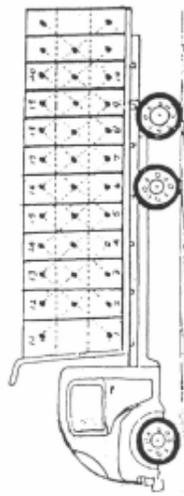


Fig.3 - Veículo com 12 vãos

N-025. Em se tratando de sonda amostradora horizontal, a amostra será composta por 3 (três) sub-amostras, coletadas em vãos consecutivos e a partir da primeira perfuração, não podendo haver coincidência no sentido horizontal ou vertical. As canas que excederem as extremidades da carroceria serão partes integrantes do primeiro e último vãos, respectivamente.

N-026. Quando se tratar de carrocerias para o transporte de cana picada, a amostra deverá ser composta por 3 (três) sub-amostras, retiradas em furos dispostos no sentido diagonal das mesmas.

N-027. O número mínimo de amostra a ser coletado por fundo agrícola (cana de fornecedor e cana própria), obedecerá ao seguinte critério:

## Continuación del anexo 3.

N-043. Uma quantidade de amostra homogeneizada de 1,5 kg a 2,0 kg (um e meio a dois quilogramas), aproximadamente, será conduzida ao laboratório onde a amostra final de 500 g (quinientos gramas) será pesada e servirá para as análises tecnológicas.

### • LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE CANA-DE-AÇÚCAR

N-044. O laboratório deve estar localizado no pátio da unidade industrial, próximo do local de coleta de amostra e de seu preparo.

N-045. A rede elétrica deve estar dimensionada de modo a atender as especificações originais dos fabricantes de todos os equipamentos à plena carga operacional e possuir sistema de aterramento específico. Não será permitida a utilização de qualquer dispositivo que possa alterar as características originais da corrente elétrica exigida pelos aparelhos ou equipamentos de laboratório. Não será permitido o emprego de derivações (extensões) em tomadas, a fim de evitar interferências nos equipamentos.

N-046. A temperatura interna deve ser mantida à  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  (vinte mais ou menos cinco graus Celsius).

N-047. Os equipamentos devem estar dimensionados de modo a atender à demanda operacional das análises da unidade industrial (cana de fornecedor e própria), particularmente, no tocante a:

- sonda(s) amostradora(s)
- desintegrador (es)
- homogeneizador (es), tipo betoneira
- balança(s) semi-analítica (s)
- digestor (es), tipo sul africano
- aparelho para determinação do índice de preparo
- prensa(s) hidráulica(s)
- estufa(s) de circulação forçada de ar
- refratômetro digital automático, com correção automática de temperatura ou banho termostático a  $20^{\circ}\text{C}$
- sacarímetro digital automático
- espectrofotômetro infravermelho próximo (NIR), quando utilizado para substituir o refratômetro e o sacarímetro.
- microcomputador ou terminal para processamento de dados etc.

### • DESINTEGRAÇÃO DA AMOSTRA

N-034. A amostra a ser analisada, resultante da mistura das amostras simples deverá ser preparada em aparelhos desintegradores com as suas características originais.

N-035. O desintegrador deverá estar em perfeitas condições mecânicas e operacionais, tendo, no mínimo, um jogo de facas, de contra-facas e de martelos, de reposição.

N-036. As facas dos desintegradores deverão ser substituídas, diariamente, ou, pelo menos, a cada 250 (duzentos e cinquenta) amostras, independentemente do valor do Índice de Preparo (IP).

N-037. A contra-facas do desintegrador deverá estar regulada a uma distância de  $2 \pm 0,5$  mm (dois milímetros, mais ou menos, meio milímetro).

N-038. As facas e a contra-facas deverão estar sempre afiadas, não devendo apresentar bordas onduladas e arredondadas.

N-039. Os mantelos e contra-mantelos deverão ser substituídos quando apresentarem bordas arredondadas.

N-040. O material desintegrado deverá conter somente partículas pequenas e homogêneas, sem pedaços ou lascas e que forneça um Índice de Preparo (IP) de 80% (noventa por cento). Pontualmente, será permitida uma tolerância de, mais ou menos, 2 (dois) pontos percentuais.

N-041. A metodologia para a determinação do Índice de Preparo encontra-se na norma N-0137.

### • HOMOGENEIZAÇÃO DA AMOSTRA

N-042. A amostra desintegrada deverá ser homogeneizada em betoneiras adaptadas com raspador, de maneira a impedir a retenção de amostra no fundo do tambor (Fig.4).

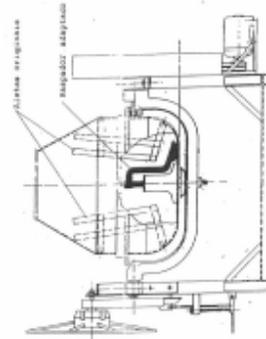


Fig.4 - Homogeneizador, tipo betoneira, detalhando o raspador

## Continuación del anexo 3.

- N-048. A balança semi-analítica deve ser instalada em local que atenda ao fluxograma operacional e não deve ter influência de correntes de ar ou de trepidações.
- N-049. Os reagentes devem ser de qualidade p.a. (pró-análise) e de origem comprovada.
- N-050. Os materiais de laboratório: béqueres, funis, frascos coletores de caldo não clarificado e clarificado, balões volumétricos, agitadores, etc., devem ser dimensionados de acordo com o volume diário de análises. Os balões volumétricos, provetas, pipetas e outras vidrarias para medições de volumes deverão ser calibrados.
- N-051. Equipamentos, instrumentais analíticos e reagentes devem ser homologados pelo CONSECANA-SP, através de testes conduzidos e aprovados pela CANATEC-SP.
- N-052. Os boletins ou registros magnéticos, diários, quinzenais e mensais deverão conter os elementos referidos na norma N-060.
- N-053. No gerenciamento e recursos humanos recomenda-se, como ideal, a seguinte estrutura funcional:
- Supervisores: apresentar nível técnico reconhecido pelos conselhos regionais respectivos. Responder por todos os funcionários internos e externos do laboratório, necessários ao seu funcionamento. Proceder ou solicitar manutenção e reparos nos equipamentos ou, quando em acordo com o representante da associação de classe, justificar a correção de alguma anormalidade.
  - Liderança de turno: o nível de formação técnica deverá ser semelhante ao do supervisor ou, no mínimo, 2º (segundo) grau completo e também, deverá responder por todos os funcionários internos e externos, na ausência do supervisor.
  - Auxiliares de laboratório: os funcionários incumbidos de operar o refratômetro, sacarímetro, equipamentos de determinação do índice de preparo ou o NIR deverão apresentar nível técnico ou, no mínimo, 2º (segundo) grau completo e ter recebido o necessário treinamento.
  - Demais funcionários: deverão ter, pelo menos, o 1º (primeiro) grau completo e serem devidamente treinados.
- N-054. O funcionamento do laboratório deve ser compatível com o horário de entrega de cana e com o número de cargas a ser amostrado.
- N-055. A balança(s) semi-analítica(s), o(s) refratômetro(s) e o(s) sacarímetro(s) devem ser calibrados antes do início do período de moagem, por empresa credenciada e, durante este período, através da utilização de pesos-padrões, soluções de índice de refração conhecidos e pelo tubo de quartzo, respectivamente.
- N-056. A linearidade e a repetitividade do refratômetro e do sacarímetro serão determinadas por leituras de soluções padrões de sacarose, conforme as normas N-138 a N-141.
- PESAGEM DA AMOSTRA PARA ANÁLISE**
- N-057. A pesagem de 500 g (quinhentos gramas), com tolerância de, mais ou menos, 0,5 g (cinco decigramas), da amostra final, homogeneizada mecanicamente, será feita em balança semi-analítica, eletrônica e com saída para impressora e/ou registro magnético, com resolução máxima de 0,1 g (um decigrama). O material restante servirá como contra prova, não podendo ser desprezado, até que sejam concluídas as leituras de brix e de pol.
- EXTRAÇÃO DO CALDO**
- N-058. A extração do caldo, a pesagem do bagaço úmido e as leituras de brix e de pol devem ocorrer imediatamente após a desintegração e homogeneização das amostras.
- N-059. O caldo será extraído em prensa hidráulica com pressão mínima e constante de 24,5 MPa (vinte e quatro mega-pascal e cinco décimos), correspondente à 250 kgf/cm<sup>2</sup> (duzentos e cinquenta quilogramas-força por centímetro quadrado), sobre a amostra, durante 1 min (um minuto).
- N-060. O manômetro da prensa deve ser calibrado a cada safra.
- N-061. A calibração da prensa será realizada por Célula de Carga homologada, calibrada por empresa credenciada.
- N-062. Realizada a calibração, será afixada uma etiqueta sobre o

Continuación del anexo 3.

manómetro da prensa, indicando a sua pressão de trabalho, para que a pressão sobre a amostra esteja em conformidade com a norma N-059.

Fuente: Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool. Manual del conductor.

p. 77.

Tabla I. Valores críticos de t

<i>Valor de t para un intervalo de confianza de</i> <i>Valor crítico de  t  para valores de P de número</i> <i>de grados de libertad</i>	<i>90%</i>	<i>95%</i>	<i>98%</i>	<i>99%</i>
	<i>0.10</i>	<i>0.05</i>	<i>0.02</i>	<i>0.01</i>
1	6.31	12.71	31.82	63.66
2	2.92	4.30	6.96	9.92
3	2.35	3.18	4.54	5.84
4	2.13	2.78	3.75	4.60
5	2.02	2.57	3.36	4.03
6	1.94	2.45	3.14	3.71
7	1.89	2.36	3.00	3.50
8	1.86	2.31	2.90	3.36
9	1.83	2.26	2.82	3.25
10	1.81	2.23	2.76	3.17
12	1.78	2.18	2.68	3.05
14	1.76	2.14	2.62	2.98
16	1.75	2.12	2.58	2.92
18	1.73	2.10	2.55	2.88
20	1.72	2.09	2.53	2.85
30	1.70	2.04	2.46	2.75
50	1.68	2.01	2.40	2.68
$\infty$	1.64	1.96	2.33	2.58

Fuente: MILLER & Miller. *Estadística y quimiometría para química analítica*. p. 88.



