



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

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FOSFATO POR UN MÉTODO  
COLORIMÉTRICO EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES CP88-1165,  
CP73-1547 Y CP72-2086 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD**

**Angélica María Alejandra Pelaéz Noriega**

Asesorado por el Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FOSFATO POR UN MÉTODO  
COLORIMÉTRICO EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES CP88-1165,  
CP73-1547 Y CP72-2086 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ANGÉLICA MARÍA ALEJANDRA PELAÉZ NORIEGA**  
ASESORADO POR EL ING. ESTUARDO EDMUNDO MONROY BENÍTEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
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. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADOR	Ing. Adrián Antonio Soberanis Ibáñez
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 FOSFATO POR UN MÉTODO  
COLORIMÉTRICO EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES CP88-1165,  
CP73-1547 Y CP72-2086 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD**

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



**Angélica María Alejandra Pelaéz Noriega**

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 FOSFATO POR UN MÉTODO COLORIMÉTRICO EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIETADES CP88-1165, CP73-1547 Y CP72-2086 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD" presentado por la estudiante Angélica María Alejandra Pelaez Noriega, quien se identifica con carné no. 200915260.

Sin otro particular,



Estuardo Monroy Benitez  
Ingeniero Químico  
Colegiado No. 446

---

Estuardo Edmundo Monroy Benítez  
Colegiado: 446  
e-mail: ingmonroy1@yahoo.com  
Tel: 57748672



Guatemala, 30 de septiembre de 2014.  
Ref.EPS.DOC.1017.09.14.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Usac.

Ing. Rodríguez Serrano:

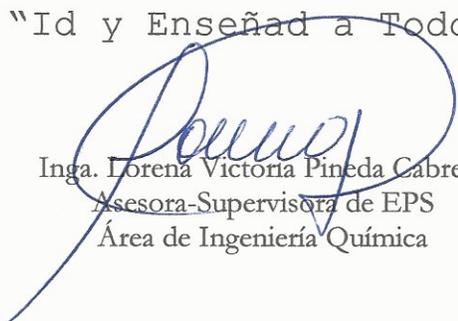
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Angélica María Alejandra Pelaez Noriega** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200915260**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FOSFATO POR UN MÉTODO COLORIMÉTRICO EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES CP88-1165, CP73-1547 Y CP72-2086 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD”**.

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, 30 de septiembre de 2014.  
Ref.EPS.D.560.09.14.

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 FOSFATO POR UN MÉTODO COLORIMÉTRICO EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES: CP88-1165, CP73-1547 Y CP72-2086 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Angélica María Alejandra Pelaez Noriega**, 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





# USAC

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica  
EIQD-REG-TG-008

Guatemala, 16 de octubre de 2014  
Ref. EIQ.TG-IF.049.2014

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 **004-2014** 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: **Angélica María Alejandra Pelaez Noriega**.  
Identificada con número de carné: **2009-15260**.  
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 FOSFATO POR UN MÉTODO COLORIMÉTRICO EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIETADES CP88-1165, CP73-1547 Y CP72-2086 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD

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”

Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.256.2014

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 **ANGÉLICA MARÍA ALEJANDRA PELAÉZ NORIEGA** titulado: **"DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FOSFATO POR UN MÉTODO COLORIMÉTRICO EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIEDADES CP88-1165, CP73-1547 Y CP72-2086 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD"**. 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, noviembre de 2014

Cc: Archivo  
VMMV/ale





DTG. 643.2014

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 FOSFATO POR UN MÉTODO COLORIMÉTRICO EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS VARIETADES CP88-1165, CP73-1547 Y CP72-2086 UTILIZADAS EN EL INGENIO TRINIDAD**, presentado por la estudiante universitaria **Angélica María Alejandra Pelaéz Noriega**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Alfredo Beber".

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno  
Decano en Funciones

Guatemala, 13 de noviembre de 2014



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por permitirme terminar esta meta tan importante en mi vida.
- Mis padres** Pedro Peláez y Angélica Noriega, que con su amor, enseñanza y ejemplo han sabido guiarme durante toda la vida.
- Mis hermanas** Karen, Cristina y Sophia Peláez Noriega, por ser mis compañeras de vida, por confiar siempre en mí y ayudarme en momentos difíciles.
- Mis abuelos** Amelia Morales, Albina Reyes y Alberto Peláez, por compartir consejos y experiencias como fortalecimiento y ayuda en los momentos que lo necesitaba.
- Mi abuelo** Francisco Noriega (q.e.p.d.), por ser un ejemplo de padre y abuelo, sé que aunque no esté físicamente siempre vivirá en mi corazón y estará guiándome desde el cielo.

**Mis tíos**

Elizabeth, Jorge, Marina, Lidia, Mario, Nery, Rosa, Francisco, Pedro, Delfido, Mario René, Patricia, Nidia, Oscar y Erica, porque sin ellos no hubiese podido terminar esta etapa tan importante de mi vida.

**Lidia y Elizabeth Peláez**

A quienes quiero como a una madre, por siempre estar dispuestas a escucharme y ayudarme en todos mis problemas, por ayudarme a terminar esta meta tan importante.

**Mis primos y sobrinos**

Mónica Guerra, Zindy Guerra, Claudia Guerra, René Rosales, Jorge Rosales, Francisco Peláez, Javier Noriega, Diego Peláez, Gabriela Noriega, Karen Peláez, Natalia Peláez, Rodrigo Peláez, Maria Andreé Peláez, Luis Pablo Lorenzana, Karla Lorenzana, Nataly Noriega, Valentina Rodríguez, Martín Quiñonez y Pablo Rodríguez, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

**José Alberto Rodríguez**

Por su amor, comprensión, paciencia y apoyo, por acompañarme durante todo este camino y compartir conmigo alegrías y fracasos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

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

Por la formación académica.

**Mis amigos**

Especialmente a José Rodríguez, Lubet Calderón, Yilma Sazo, Ana Fernández, José Leppe, Luis Aragón, Bryan Carrera, Byron Roldán, Gabriela Coyoy y Ana Herrera, por brindarme su apoyo durante toda mi carrera.

**Lourdes Castillo y  
Nancy Castro**

Por compartir conmigo durante la realización del EPS, por demostrarme que podemos ser grandes amigas y compañeras de trabajo a la vez.

**Ingeniero Estuardo  
Monroy**

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

**Colaboradores del  
Ingenio Trinidad**

Especialmente a Luis Cifuentes, Byron Obregón, Manaen Ramos y René Morales, por permitirme realizar mi EPS 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.    Fisiología de la caña de azúcar .....	3
2.1.2.    Composición de la caña de azúcar.....	4
2.1.3.    No sacarosa en caña.....	4
2.2.    Fosfato en la caña de azúcar .....	5
2.2.1.    Fosfato en plantas y suelo.....	6
2.2.2.    Fosfato en la caña y su importancia en la producción de azúcar .....	7
2.3.    Caña de azúcar en Guatemala.....	8
2.3.1.    Ubicación geográfica de la zona cañera.....	8
2.3.2.    Variedades de caña de azúcar utilizadas en Guatemala .....	12
2.4.    Tipos de suelo .....	13
2.5.    Espectrofotometría .....	15

2.5.1.	Transmitancia, absorbancia y concentración .....	15
2.5.2.	Colorímetro.....	17
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
3.1.	Variables .....	19
3.2.	Delimitación de campo de estudio .....	20
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	20
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos).....	21
3.4.1.	Equipo .....	21
3.4.2.	Cristalería .....	21
3.4.3.	Reactivos y materia prima .....	22
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	22
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	23
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	23
3.7.1.	Validación del método .....	24
3.7.2.	Toma de datos de concentración de fosfato.....	24
3.8.	Análisis estadístico.....	25
3.8.1.	Número de repeticiones .....	25
3.8.2.	Media de una muestra.....	26
3.8.3.	Desviación estándar .....	27
3.8.4.	Comparación de dos medias mediante <i>t de student</i> .....	27
4.	RESULTADOS.....	31
4.1.	Concentración de fosfato en diferentes estratos altitudinales por variedad de caña.....	31
4.2.	Concentración de fosfato por variedad de caña .....	32

4.3.	Concentración de fosfato entre cada variedad de caña por estrato altitudinal .....	33
4.4.	Concentración de fosfato entre cada variedad de caña por principales tipos de suelo .....	34
4.5.	Concentración de fosfato entre cada variedad de caña por pH del jugo de caña.....	36
4.6.	Análisis estadístico .....	38
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	41
6.	LOGROS OBTENIDOS.....	45
	CONCLUSIONES .....	47
	RECOMENDACIONES .....	49
	BIBLIOGRAFÍA.....	51
	APÉNDICES .....	53
	ANEXOS.....	59



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación geográfica de la zona cañera en Guatemala.....	9
2.	Ubicación geográfica de la zona cañera en la costa sur de Guatemala.....	10
3.	Estrato altitudinal de la zona cañera .....	11
4.	Porcentaje de área cultivada comercialmente en Guatemala de 1980 a 2012.. .....	13
5.	Triángulo de clasificación de los suelos del Departamento de Agricultura de EUA (USDA) .....	14
6.	Absorbancia <i>versus</i> concentración y longitud de onda .....	16
7.	Concentración de fosfato en jugo de caña en función de la variedad de caña .....	32
8.	Concentración de fosfato en jugo de caña en función del estrato altitudinal por variedad de caña .....	33
9.	Concentración de fosfato en jugo de caña en función del estrato altitudinal.....	34
10.	Concentración de fosfato en jugo de caña en función del tipo de suelo por variedad de caña.....	35
11.	Concentración de fosfato en jugo de caña en función del tipo de suelo.....	35
12.	Concentración de fosfato en jugo de caña en función del pH por variedad de caña.....	37
13.	Concentración de fosfato en jugo de caña en función del pH por variedad de caña.....	37

## TABLAS

I.	Composición típica de la caña (en kg/100 kg de caña) entregada a fábricas de azúcar de diferentes lugares .....	4
II.	Concentración de los constituyentes inorgánicos en los jugos de caña .....	8
III.	Lista de variables.....	19
IV.	Lista de variables a manipular.....	20
V.	Datos de concentración final de fosfato teórica y concentración obtenida mediante el método .....	24
VI.	Nota de peso, concentración de fosfato en jugo diluido y concentración de fosfato real del jugo de las 15 muestras diarias....	25
VII.	Valores críticos de la distribución t .....	29
VIII.	Concentración de fosfato en diferentes estratos altitudinales para la variedad CP88-1165.....	31
IX.	Concentración de fosfato en diferentes estratos altitudinales para la variedad CP73-1547 .....	31
X.	Concentración de fosfato en diferentes estratos altitudinales para la variedad CP72-2086 .....	32
XI.	Tipos de suelo .....	36
XII.	Contraste de significación (t de <i>student</i> ) entre las tres variedades...	38
XIII.	Contraste de significación (ANOVA) entre el estrato altitudinal, tipo de suelo y pH .....	39

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Absorbancia
<b>Cp</b>	Canal point
<b>P</b>	Fósforo
<b>Brix</b>	Grados Brix (°Brix)
<b>Ha</b>	Hipótesis alternativa
<b>Ho</b>	Hipótesis nula
<b>PO<sub>4</sub></b>	Ión fosfato
<b>HPO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	Ión fosfato secundario
<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	Ión ortofosfato primario
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>T</b>	Transmitancia



## GLOSARIO

<b>Absorbancia</b>	Cantidad de intensidad de luz que absorbe una solución.
<b>Ácido fosfórico</b>	Ácido inorgánico, relativamente débil utilizado para la clarificación de jugo de caña en la producción de azúcar.
<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>Clarificación</b>	Separación por sedimentación de los sólidos suspendidos en soluciones de azúcar turbias.
<b>Cogollo</b>	Parte superior de la caña, flores, tallos y hojas que nacen de un mismo pie.
<b>Encalamiento</b>	Adición de la lechada de cal en la clarificación de jugo de caña.
<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>Floculación</b>	Formación de floculo en la clarificación.
<b>Floculante</b>	Polielectrolito en solución añadido al jugo para promover la clarificación.
<b>Floculo</b>	Grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión.
<b>Fosfato</b>	Ion poliatómico de fórmula empírica $\text{PO}_4^{-3}$ .
<b>Fosforilación</b>	Transporte de energía.
<b>Fotosíntesis</b>	Conversión de materia inorgánica en orgánica mediante la luz.
<b>Longitud de onda</b>	Distancia que hay entre dos crestas (los puntos más altos) consecutivas en una onda.
<b>Luz monocromática</b>	Luz compuesta por componentes de un mismo color.
<b>Micorrizas</b>	Son asociaciones entre ciertos hongos beneficiosos del suelo y la inmensa mayoría de las plantas.
<b>Nudos</b>	Zonas del tallo desde donde nacen las hojas.
<b>Pelos radiculares</b>	Proyecciones de las células epidérmicas de la raíz que juegan un papel crítico en la toma de agua y nutrientes.

<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>Sacarosa</b>	El compuesto químico puro $C_{12}H_{22}O_{11}$ que es conocido como azúcar blanco, generalmente medido mediante polarización en caso de soluciones puras y con GC o HPLC en caso de soluciones de baja pureza. El nombre químico es P-n-Fructofuranosila-D-glucopiranosido.
<b>Talpetate</b>	Terreno sólido, compacto y arcilloso, estratificado en capas como petates.
<b>Transmitancia</b>	La fracción de la radiación incidente transmitida por la solución.
<b>Zafra</b>	Temporada en la que se recolecta la caña de azúcar y se produce azúcar.



## RESUMEN

En el presente estudio se realizó la determinación de la concentración de fosfato por un método colorimétrico en el jugo de caña de azúcar de las variedades CP88-1165, CP73-1547 y CP72-2086 utilizadas en el Ingenio Trinidad. Para el estudio se realizó un promedio de datos de concentración de fosfato por variedad y variables que influyen en los resultados, tales como el estrato altitudinal, tipo de suelo y potencial de hidrógeno del jugo de caña.

Se obtuvieron distintas concentraciones de fosfato por variedad de caña, sin embargo, solamente la CP88-1165 sobresale teniendo una diferencia de promedio de concentración de fosfato estadísticamente significativa respecto a las otras dos variedades en estudio.

Se evaluó la concentración de fosfato por variedad de caña por estrato altitudinal, obteniendo un mayor valor de concentración en el estrato litoral en las tres variedades de caña. Se obtuvo la relación entre los tipos de suelo y la concentración de fosfato por variedad de caña. En los tipos de suelo donde se encuentra la CP88-1165 tiene un mayor valor de concentración que la variedad CP73-1547 y la CP72-2086. No se obtuvo relación entre el potencial de hidrógeno del jugo de caña y la concentración de fosfato, para ninguna variedad de caña, sin embargo, se conserva el comportamiento de mayor concentración de fosfato en la variedad CP88-1165 en cada rango de potencial de hidrógeno.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar las concentraciones de fosfato por un método colorimétrico en el jugo de caña de azúcar de las variedades CP88-1165, CP73-1547 y CP72-2086 utilizadas en el Ingenio Trinidad.

### **Específicos**

1. Determinar la concentración de fosfato en diferentes estratos altitudinales para las variedades de caña siguientes: CP88-1165, CP73-1547, CP72-2086.
2. Realizar un análisis comparativo de las diferentes concentraciones de fosfato por variedad de caña.
3. Analizar gráficamente las diferentes concentraciones de fosfato entre cada variedad de caña por estrato altitudinal.
4. Realizar un análisis comparativo de las diferentes concentraciones de fosfato entre cada variedad de caña por principales tipos de suelo.
5. Comparar mediante un análisis gráfico las concentraciones de fosfato entre cada variedad de caña por potencial de hidrógeno del jugo de caña en los siguientes rangos: menor a 5,3, entre 5,3 y 5,5 y mayor a 5,5.

## **Hipótesis**

Las tres variedades de caña de azúcar de más uso en el ingenio Trinidad poseen diferentes concentraciones de fosfato dependiendo de la variedad, el estrato altitudinal y el tipo de suelo.

### **Hipótesis nula:**

Existe diferencia significativa en los niveles de concentración de fosfato entre las tres principales variedades de caña del Ingenio Trinidad.

### **Hipótesis alternativa:**

No existe diferencia significativa en los niveles de concentración de fosfato entre al menos dos de las tres principales variedades de caña del Ingenio Trinidad.

## INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es la materia prima para la producción de azúcar en los ingenios azucareros de Guatemala. Existen caracterizaciones de las variedades de caña de azúcar utilizadas en el país; sin embargo, estas cañas se desarrollan en condiciones controladas en cuanto a riego, fertilización, control de plaga y enfermedades.

El fósforo es un compuesto químico que no posee naturalmente la caña, es absorbido del suelo por medio de las raíces. Sin embargo, el fósforo es el que se extrae en menor cantidad en el cultivo caña de azúcar, y sus insuficiencias están relacionadas con los bajos contenidos asimilables y a que es un elemento que no trasloca en el suelo.

El fosfato es esencial para la mejora de la clarificación del jugo extraído de la caña, es por ello que es necesario determinar la cantidad de fosfato presente en las diferentes variedades de caña utilizadas en Guatemala, y su dependencia de distintos factores tales como estrato altitudinal y tipo de suelo, las cuales son dos variables importantes como fuentes de fosfato. El proceso de clarificación es beneficiado al aumentar la cantidad de fósforo en el suelo, ya que este ayuda a la remoción de material sólido insoluble del jugo de caña. Ya que no se poseen datos de la cantidad de fosfato presente en el jugo de caña, antes de llevarse a cabo el proceso de clarificación, es agregado ácido fosfórico en iguales proporciones para el jugo de todos los tipos de caña.



## 1. ANTECEDENTES

En Guatemala actualmente existen 12 ingenios azucareros, los cuales utilizan mayormente 3 variedades de caña: CP88-1165, CP73-1547 Y CP72-2086. Existen también investigaciones acerca de la caracterización de la caña de países cuya agroindustria azucarera está desarrollada.

En 2006 Ronaldo Pocasangre realizó una investigación titulada *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*. Esta investigación trata de la naturaleza metabólica de la caña de azúcar, a través de la determinación de la relación que existe entre la concentración de azúcares reductores, almidones, fenoles, porcentaje fibra, humedad del tallo, fósforo, cobre, cinc, hierro, manganeso, calcio, magnesio, potasio, pH del jugo con respecto a la concentración de sacarosa en la caña de azúcar. En esta investigación se concluyó que la concentración de sacarosa es inversamente proporcional a los azúcares reductores, humedad del tallo, fósforo, pH y cobre.

En 1984, Omar Rodríguez y Ventura González, del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela, realizaron la investigación titulada *Caracterización de la caña de azúcar, en la cual se caracterizó la caña utilizada en la producción de azúcar en Venezuela*. En esta investigación se utiliza un método que considera los aspectos morfológicos generales de cada variedad en particular, y la descripción detallada de las características morfológicas más importantes de los tallos y hojas. Se buscaba caracterizar e inventariar todo el material vegetal con el cual cuenta la Colección de Variedades de Caña de

Azúcar del CENIAP. Se presenta la descripción de ocho variedades como ejemplo de aplicación de la metodología.

En 2000, Federico Pérez Zamora, Jorge Scandaliaris, Rafael Villegas y Guillermo Fadda realizaron la investigación titulada *Efecto de la fertilización fosfórica sobre los niveles productivos de caña de azúcar en Tucuman, Argentina*. Se evaluaron 10 cosechas de experimentos que se conducen en 5 localidades del área cañera de Tucumán, en los que se estudió el efecto de 3 dosis de fósforo aplicadas a dos variedades de caña. Con la investigación se verificó incrementos significativos de los rendimientos culturales de caña de azúcar con la fertilización fosfórica cuando los contenidos asimilables en el suelo, son inferiores a 13 partes por millón de fósforo. En cosechas que se desarrollan con bajos contenidos de fósforo, existen limitaciones para la obtención de altas producciones.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Caña de azúcar**

La caña de azúcar es una planta herbácea de gran tamaño que se cultiva en países tropicales y subtropicales. La caña se propaga vegetativamente sembrando trozos de sus tallos. La producción de caña varía de un área a otra, dependiendo de la variedad, utilizando factores climáticos, disponibilidad del agua, prácticas de cultivo y la duración del período de crecimiento.

#### **2.1.1. Fisiología de la caña de azúcar**

La caña de azúcar es una planta perenne correspondiente a la familia de las gramíneas, género *saccharum*, y asignada a la especie *Sacharum officinarum*; se presenta en forma de una caña de altura que varía de 1,5 a 5 metros, de coloraciones diversas (verde, amarillo, violáceo, rojizo).

Las raíces muy ramificadas son numerosas y finas y se extienden alrededor de la planta a una profundidad de 1 a 2 metros y distancia de 0,5 a 1 metros.

El tallo procede de una yema activa, desarrollada al nivel de un nudo, y nunca es hueco (salvo cañas anormales). El tallo es cilíndrico con un diámetro variable de 3 a 7 centímetros, y está dividido por los nudos en trozos de una longitud de 4 a 15 centímetros de hojas. El contenido de fibra en tallos limpios varía entre 10 y 18 gramos por 100 gramos de caña. El contenido de sacarosa

en cañas procesables puede variar entre 8 y 17 gramos por 100 gramos de caña. En una caña de buena calidad, limpia y fresca la pureza de 90.

Las hojas, situadas alternadamente, de derecha a izquierda del tallo, son delgadas, de 4 a 8 centímetros de ancho y 60 a 80 centímetros de longitud.

### **2.1.2. Composición de la caña de azúcar**

La composición de la caña recibida por fábrica depende no solo de la composición del tallo, sino también de otros factores como la variedad de caña, la cantidad de hojas, cogollo, demás materia extraña, el momento de la zafra, grado de quema, altura de corte, la madurez de la caña, la tardanza entre la quema, corte y entrega a la fábrica.

Tabla I. **Composición típica de la caña (en kg/100 kg de caña) entregada a fábricas de azúcar de diferentes lugares**

	Brasil	Australia	Sudáfrica	Colombia	Filipinas	Luisiana
Pol	14	14,6	12,8	13,2	10	14
Brix	16,2	16,4	15	15	12,5	16
Pureza (%)	86	89	85	88	80	85
Humedad	70,5	69,3	70	70	72,5	71
Fibra	13,3	14,3	15	15	15	13

Fuente: RAIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. p. 20.

### **2.1.3. No sacarosa en caña**

La no sacarosa en caña se refiere a cualquier componente que no contenga sacarosa, entre los cuales están monosacáridos, cenizas o compuestos orgánicos, polisacáridos y almidón:

- **Monosacáridos:** los componentes más abundantes de los no-sacarosa en caña son los monosacáridos glucosa y fructosa, también conocidos como azúcares reductores; se encuentran en pequeñas cantidades para caña madura y hasta en 10 por ciento de la sacarosa para caña inmadura. Son más abundantes en la parte superior del tallo de la caña por estar asociados con el crecimiento de la planta.
- **Cenizas o compuestos inorgánicos:** la sílice representa una proporción significativa del material inorgánico. Sin embargo, el potasio es el catión de mayor abundancia, seguido de calcio, magnesio y sodio; el cloruro es el principal anión, seguido por el sulfato y fosfato. La relativa abundancia de estos componentes cambia de acuerdo con la variedad y las condiciones del suelo.
- **Polisacáridos:** son carbohidratos de alto peso molecular presentes en la caña. Se incluyen entre estos el almidón, la celulosa, las gomas, polisacáridos de paredes celulares y dextranas. La concentración de polisacáridos varía entre 1 500 y 3 000 miligramo por kilogramo sólidos disueltos, dependiendo de la variedad de la caña
- **Almidón:** esta presente en forma de pequeños gránulos insolubles al agua y constituye una reserva de carbohidratos alimenticios.

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

El fosfato es un compuesto muy importante, tanto para el desarrollo de la caña de azúcar, como para la producción de azúcar a partir de esta; es por ello que debe estudiarse ambos aspectos.

### 2.2.1. Fosfato en plantas y suelo

El fósforo también es importante para la fotosíntesis y crecimiento de la planta. Promueve el crecimiento de raíces sanas y estimula a las plantas con flores a florecer. La deficiencia de fósforo lleva a un crecimiento atrofiado, hojas opacas o moribundas y la formación de un pigmento rojo en la base de la hoja.

Cuando se descubren los síntomas de una deficiencia de fósforo, por lo general es demasiado tarde para salvar la planta. Las plantas jóvenes privadas de fósforo durante el desarrollo, nunca se recuperan.

El fósforo penetra en la planta a través de las capas externas de las células de los pelos radiculares y de la punta de la raíz (el fósforo no es móvil en el suelo). La absorción también se produce a través de las micorrizas, las cuales son hongos que crecen en asociación con las raíces de muchos cultivos. El fósforo es absorbido por la planta principalmente como ion ortofosfato primario ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), pero también se absorbe como ion fosfato secundario ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ), la absorción de esta última forma se incrementa a medida que se sube el potencial de hidrógeno.

Las principales funciones de este elemento en la planta son:

- Acelera la maduración.
- Es indispensable en la formación de semillas y la transmisión de factores hereditarios.
- Es responsable de la utilización del azúcar y el almidón.
- Participa en reacciones de fosforilación (transporte de energía), fotosíntesis, respiración y en la síntesis de carbohidratos.
- Interviene en la asimilación del nitrógeno.

### **2.2.2. Fosfato en la caña y su importancia en la producción de azúcar**

El fósforo es un constituyente inorgánico de la caña. La presencia de fosfatos en los jugos es deseable para el proceso de clarificación, para una buena floculación después del enclaramiento y de la adición de floculantes. Se ha demostrado que 300 miligramos por litro de fosfato en los jugos diluidos son el nivel más apropiado para garantizar una buena clarificación; contenidos de fosfato inferiores a este no garantizan una buena clarificación y/o remoción de impurezas en el proceso de fabricación. Las concentraciones deben encontrarse entre 200 y 600 miligramo por litro de fosfato. El fósforo, en forma de fosfatos solubles, además de ser un elemento clave para el crecimiento y el desarrollo del cultivo, es también de gran utilidad en el procesamiento y recuperación de azúcar de buena calidad.

A falta de este elemento en cantidad suficiente, es necesario adicionar ácido fosfórico en la clarificación para obtener jugo clarificado para el proceso. Sin embargo, una aplicación de ácido fosfórico muy alta es perjudicial, ya que en concentraciones de 600-800 partes por millón, la tendencia será la formación de flóculos ligeros que sedimentan muy lentamente.

Tabla II. **Concentración de los constituyentes inorgánicos en los jugos de caña**

Especies	Concentración (% brix)
Potasio	0,4-1,4
Sodio (Na <sub>2</sub> O)	0,03-0,1
Sulfato	0,1-0,5
Cloruro	0,1-0,3
Calcio (CaO)	0,2-0,3
Magnesio (MgO)	0,2-0,3
Silica (SiO <sub>2</sub> )	0,1-0,7
Fosfatos	0,1-0,4
Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,1-0,14

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

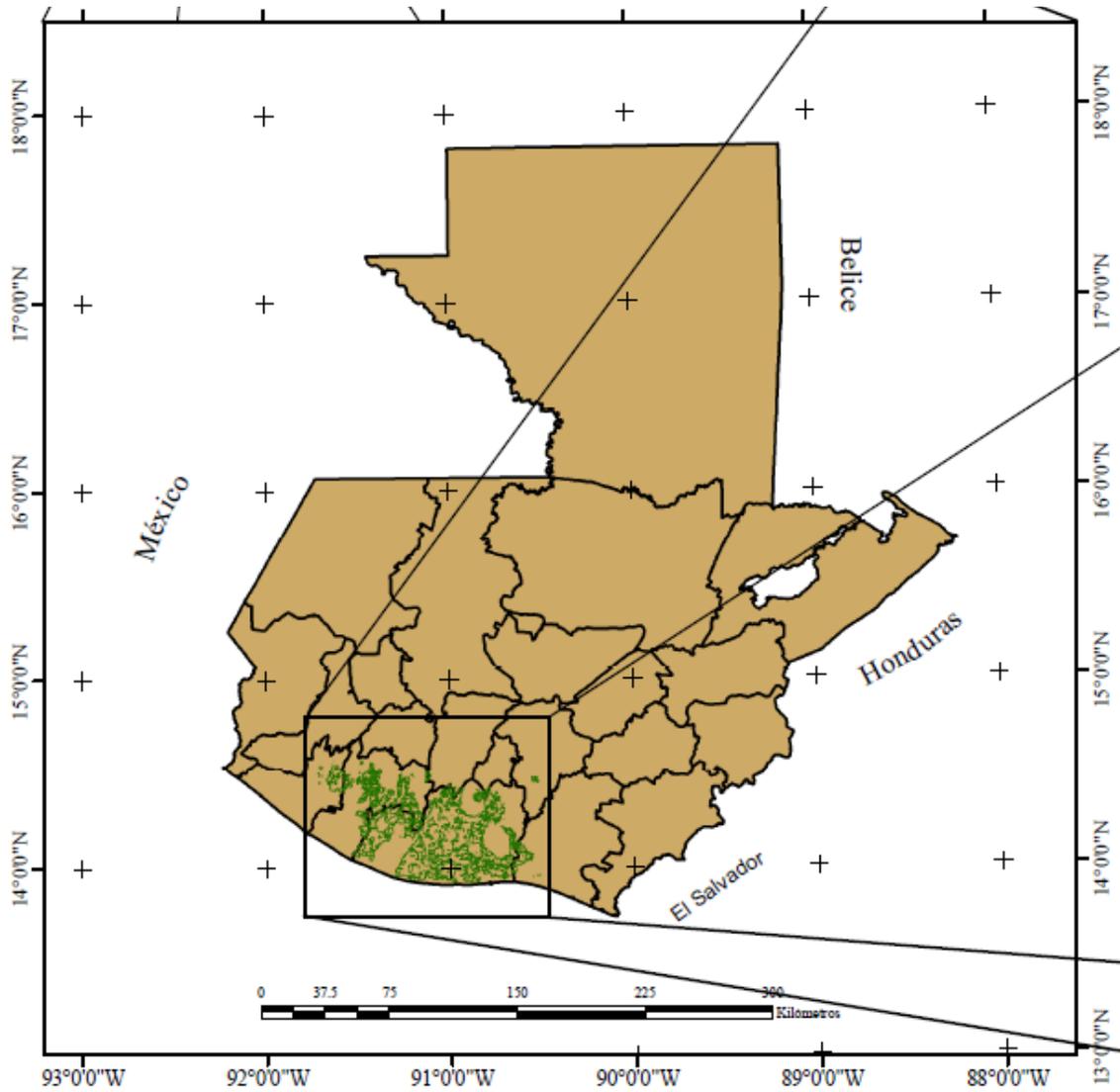
### **2.3. Caña de azúcar en Guatemala**

La producción de azúcar es una de las principales agroindustrias en Guatemala, es por ello que hoy en día existen 12 ingenios azucareros que se dedican a la venta de azúcar local y a la exportación de esta.

#### **2.3.1. Ubicación geográfica de la zona cañera**

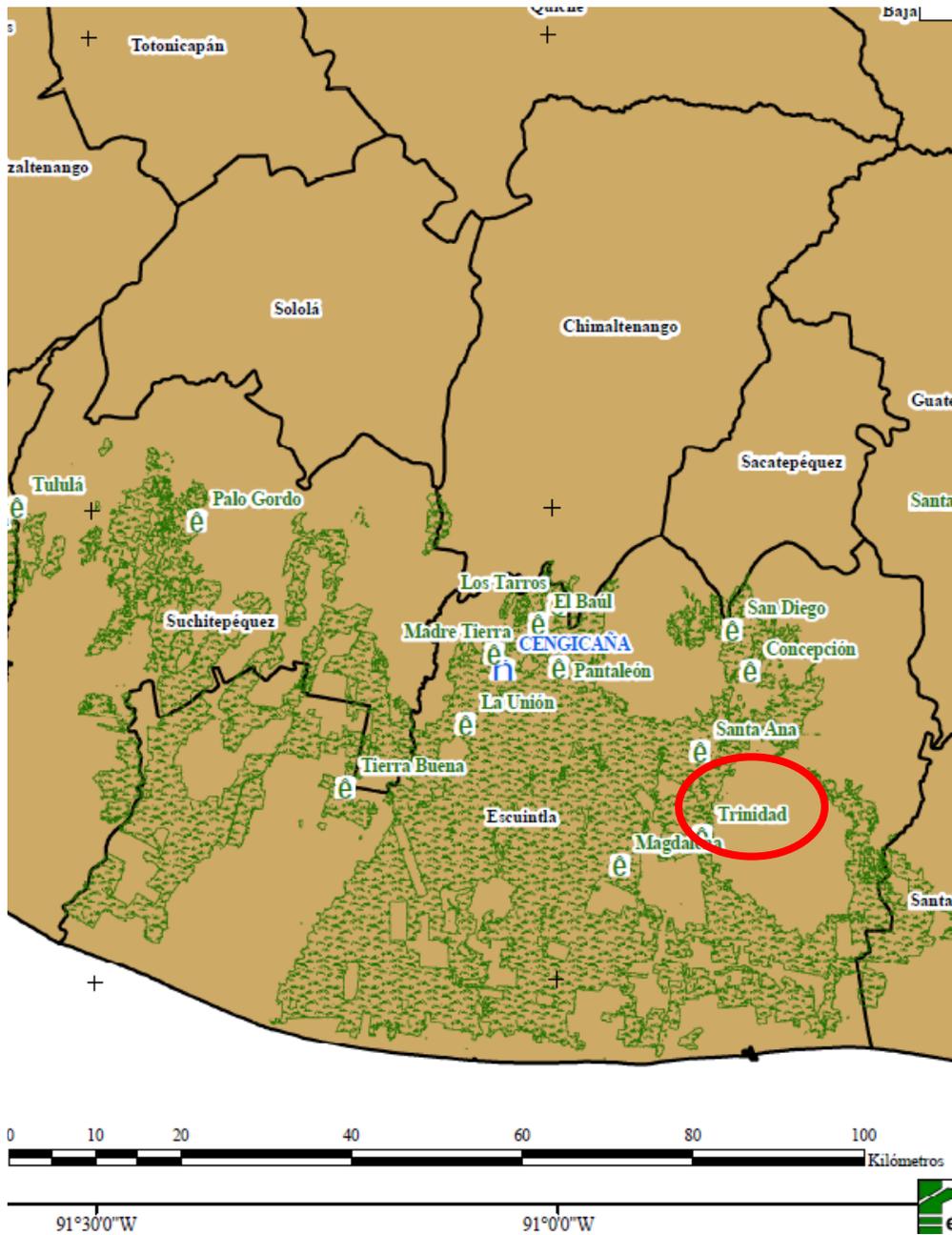
Los ingenios y fincas cañeras de Guatemala se encuentran en la costa sur del país, los departamentos más comunes son Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu es como se observa en la figura 1.

Figura 1. **Ubicación geográfica de la zona cañera en Guatemala**



Fuente: CENGICAÑA. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. [en línea].  
<http://www.cengicaña.org>. [Consulta: agosto de 2013].

Figura 2. **Ubicación geográfica de la zona cañera en la costa sur de Guatemala**



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].

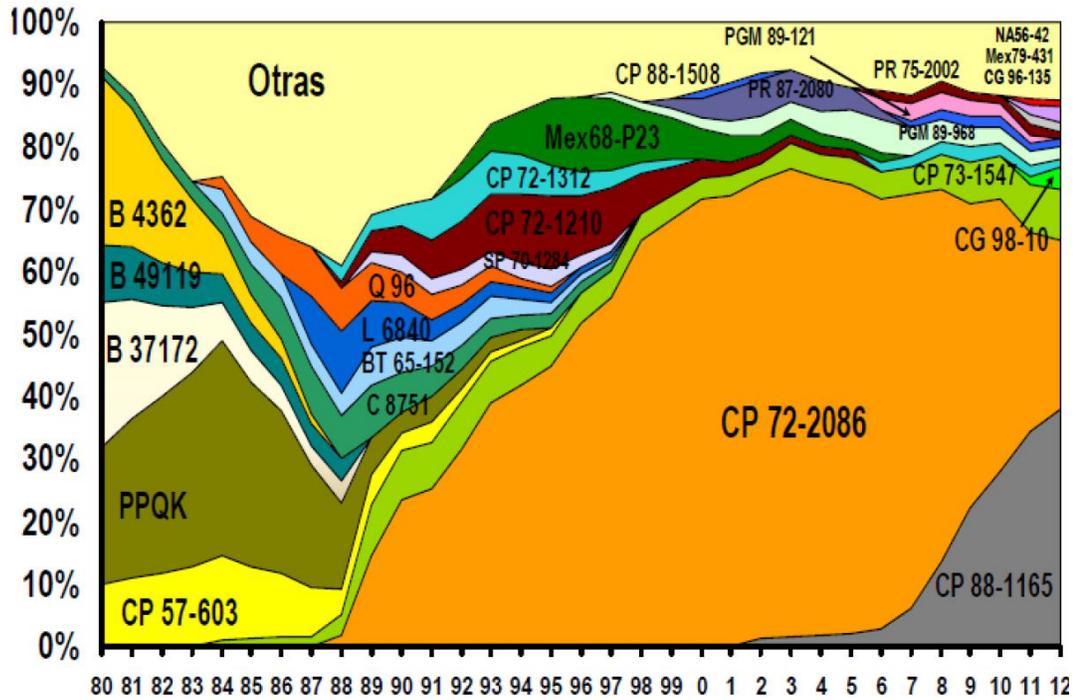


### **2.3.2. Variedades de caña de azúcar utilizadas en Guatemala**

Durante el período de 1990/2010 en la composición varietal de la agroindustria azucarera guatemalteca, se observó un predominio de las variedades CP provenientes de la Estación Experimental de Canal Point, Florida. Destaca la variedad CP72-2086 que en la zafra 2002/2003, ocupó el 75 por ciento del área sembrada en Guatemala.

En la zafra 2011-12, 11 variedades de caña de azúcar se cultivaron. Las 11 variedades y sus porcentajes de área sembrada son las siguientes: CP88-1165, 37,9 por ciento; CP72-2086, 27,1 por ciento; CP73-1547, 8,3 por ciento; CG98-10, 3,5 por ciento; Mex79-431, 2,7 por ciento, PGM89-968, 2,2 por ciento; CG96-135, 1,4 por ciento; R75-2002, 1,2 por ciento; CP72-1312, 1,2 por ciento; CP88-1508, 1,1 por ciento y por último NA56-42 con 1,0 por ciento del área censada. El resto del área con 12,7 por ciento estuvo cultivada con otras variedades. A nivel de agroindustria azucarera guatemalteca la variedad CP88-1165 es actualmente la variedad más cultivada, en 2012 con 37,9 por ciento (3,8 por ciento más que lo reportado en la zafra anterior).

Figura 4. **Porcentaje de área cultiva comercialmente en Guatemala de 1980 a 2012**



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

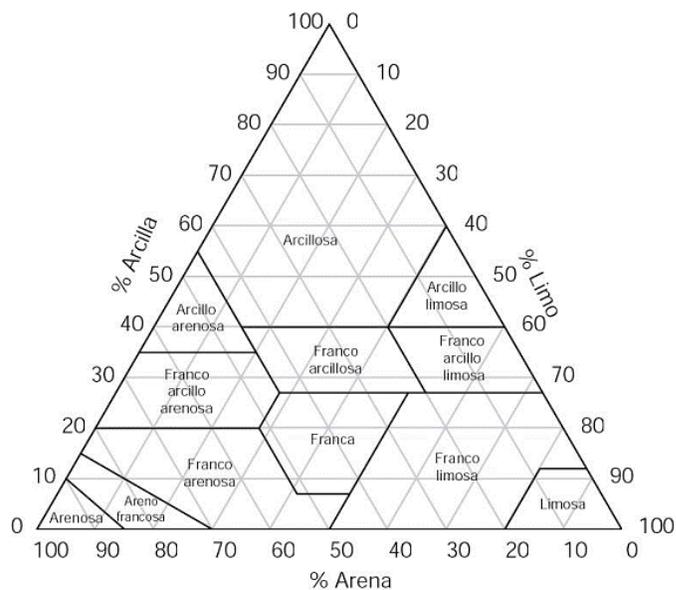
#### 2.4. Tipos de suelo

El suelo es una mezcla de material rocoso fresco y erosionado, de minerales y de restos de cosas en otro tiempo vivas.

El tipo de suelo, su composición química y la naturaleza de su origen orgánico son importantes para la agricultura. Existen muchos tipos de suelos, dependiendo de la textura que posean. Se define textura como el porcentaje de arena, limo y arcilla que contiene el suelo y ésta determina el tipo de suelo que será.

- Arenoso: el suelo arenoso es ligero y filtra el agua rápidamente. Tiene baja materia orgánica por lo que no es muy fértil.
- Arcilloso: el suelo arcilloso es un terreno pesado que no filtra casi el agua. Es pegajoso en estado húmedo y posee muchos nutrientes.
- Limoso: el suelo limoso es estéril, pedregoso y filtra el agua con rapidez. La materia orgánica que contiene se descompone muy rápido.
- Franco: en un suelo con franco abunda el limo. Es algo intermedio al arenoso y arcilloso. Ni es arcilloso, ni es arenoso. Son suelos francos típicos los de las vegas de los ríos.

Figura 5. **Triángulo de clasificación de los suelos del Departamento de Agricultura de EUA (USDA)**



Fuente: BOUL, S.V. *Génesis y clasificación de suelos*. p. 43.

## **2.5. 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.

### **2.5.1. Transmitancia, absorbancia y concentración**

La figura muestra un haz de radiación paralela antes y después de que ha pasado a través de una capa de solución que tiene un espesor de  $b$  centímetros y una concentración  $c$  de una especie absorbente.

Como consecuencia de interacciones entre los fotones y las partículas absorbentes, la potencia del haz es atenuada. La transmitancia T de la solución es entonces la fracción de la radiación incidente transmitida por la solución:

$$T = \frac{I}{I_0}, \quad \%T = \frac{I}{I_0} \times 100$$

[Ecuación 1]

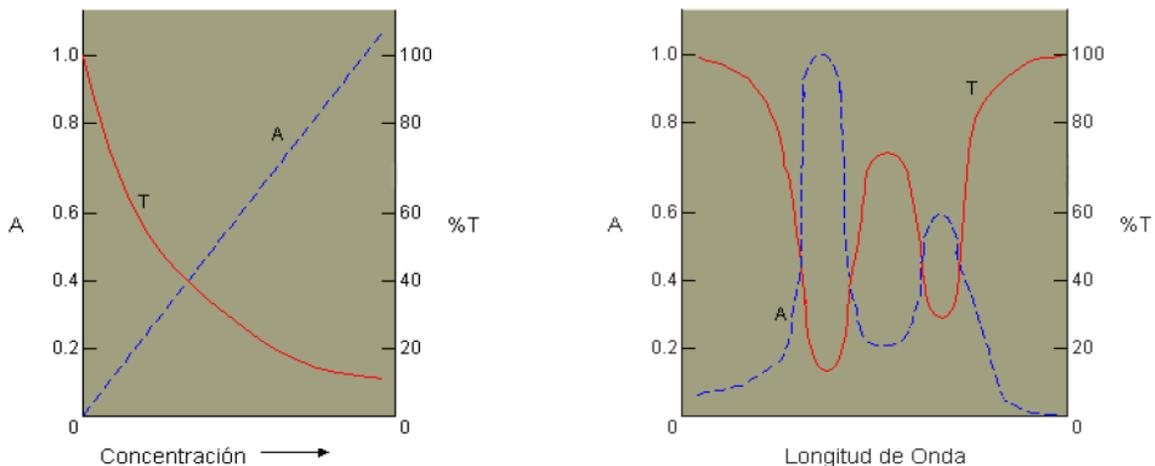
La absorbancia A de una solución se define mediante la ecuación:

$$A = -\log T = \log \frac{I_0}{I}$$

[Ecuación 2]

La mayor parte de los trabajos analíticos se realizan con soluciones, por lo que se desarrolla la relación que existe entre la concentración de la solución y su capacidad de absorber radiación.

Figura 6. **Absorbancia versus concentración y longitud de onda**



Fuente: BRUNATTI, Carlos, MARTÍN, Ana. *Introducción A La Espectroscopia De Absorción Molecular Ultravioleta, Visible E Infrarrojo Cercano*. [en línea]. <http://materias.fi.uba.ar>. [Consulta: agosto de 2013].

### 2.5.2. Colorímetro

El colorímetro, al igual que un espectrofotómetro, es un instrumento que permite medir la absorbancia de una solución en una específica frecuencia de luz a ser determinada. Es por eso, que hacen posible descubrir la concentración de un soluto conocido que sea proporcional a la absorbancia.

Su diferencia con el espectrofotómetro es su menor tamaño y la identificación de compuestos específicos.

El colorímetro utilizado para la medición de fósforo es el DR 890 HAC-48470-00. Este colorímetro es el más completo y capaz de toda la Serie DR/800, realiza pruebas para más de 90 parámetros, desde aluminio hasta cinc. Puede ser utilizado para pruebas en aguas naturales, en aguas industriales y en cualquiera de sus variantes intermedias.

Características:

- Gama (s) de longitudes de onda: 420, 520, 560, 610 nm
- Precisión de longitud de onda:  $\pm 1$  nm
- Selección de longitud de onda: automática
- Altura de los caracteres: 1,5 cm
- Modo de Lectura de datos: % de transmitancia, absorbancia, concentración.



### 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
Período de muestreo		X		X
Cantidad de jugo en la muestra	X		X	
Nota de peso		X		X
Factor de dilución del jugo	X		X	
Variedad de la caña	X			X
Estrato altitudinal	X			X
Tipo de suelo	X			X
pH		X		X
Concentración de fósforo		X		X

Fuente: elaboración propia.

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

Variable	Independiente	Dependiente	Constante	No constante
Concentración de fosfato en validación	X			X
Factor de dilución del jugo para validación		X		X

Fuente: elaboración propia.

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

El estudio se realizó en la empresa San Diego S. A., Unidad Industrial Ingenio Trinidad, ubicado en Masagua, Escuintla. Se realizó la toma de datos en los primero 4 meses de zafra. Se midió la concentración de fosfato, a escala laboratorio, de las principales variedades de caña utilizadas en el Ingenio Trinidad realizando un promedio de 15 muestras diarias.

### 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: Angélica María Alejandra Peláez Noriega

Asesor: Ing. Qco. Estuardo Edmundo Monroy Benitez

Encargado en la empresa: Ing. Qco. Félix René Morales Magarín

Colaborador: Luis Enrique Cifuentes Ruiz

Colaborador: Byron Obregón

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

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

- Colorímetro DR 890, HAC-48470-00
- Balanza

#### **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 proporcionado por el Ingenio Trinidad.

- Pipetas serológicas (10 y 5 mL)
- Balones aforados (200 mL)
- Beakers (250 y 50 mL)
- Probetas (100 y 50 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 CP88-1165, CP73-1547 y CP72-2086
- Fosfato reactivo
- PhosVer3 phosphate powder pillow (reactivo de fosfato HACH)

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

La metodología utilizada incluye la medición de parámetros cuantitativos y cualitativos:

- Medición de concentración de fosfato en jugo de caña
- Medición de fosfato en solución de fosfato para la validación del método
- Factor de dilución del jugo según el intervalo de concentración de fosfato del colorímetro
- Tipo de caña
- Tipo de suelo de cosecha de caña
- Estrato altitudinal de cosecha de caña
- pH del jugo de caña

También se realizó una técnica estadística para la comparación entre variedad, tipo de suelo y estrato altitudinal.

### **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.

- 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.
- Se utilizó el procedimiento de preparación de caña de Concecana-SP que aplica una desfibradora de caña y prensa hidráulica (anexos 1 y 2).
- Se utilizó el método de ensayo colorimétrico USEPA PhosVer 3 (método del ácido ascórbico), método 8048, de HACH con el colorímetro DR 890 Hac-48470-00; para determinar la concentración de fosfato en jugo de caña. (Método en apéndice 3).
- Se realizó una técnica estadística de comparación de medias y correlación de resultados.

### **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. Validación del método

Se realizó una validación del método, ya que este fue realizado para el análisis en agua. Para ello se realizaron 6 corridas variando la concentración de fosfato y luego 10 repeticiones para cada concentración.

Tabla V. **Datos de concentración final de fosfato teórica y concentración obtenida mediante el método**

	Corridas					
	1	2	3	4	5	6
Concentración de fosfato en jugo	1	1	1	1	1	1
Concentración de solución de fosfato	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Concentración teórica de fosfato total	0,75	1	1,25	1.5	1,75	2
Repetición 1						
Repetición 2						
Repetición...						
Repetición 10						
Media						
Desviación estándar						
Error relativo (porcentaje)						

Fuente: elaboración propia.

### 3.7.2. Toma de datos de concentración de fosfato

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 potencial de hidrógeno, estrato altitudinal y el tipo de suelo de la finca de donde se obtuvo la muestra.

Tabla VI. **Nota de peso, concentración de fosfato en jugo diluido y concentración de fosfato real del jugo de las 15 muestras diarias**

Numero de muestra	Nota de peso de la caña	Concentración fosfato (ppm)	Concentración fosfato real (ppm)
1			
2			
3			
4			
...			
15			

Fuente: elaboración propia.

### 3.8. Análisis estadístico

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

#### 3.8.1. Número de repeticiones

El número de repeticiones para la validación del método se calculará con base a los criterios de confiabilidad del 95 por ciento, y aceptando un máximo error de 13,5 por ciento.

$$N = \frac{Z_{\alpha/2}^2 PQ}{E^2}$$

[Ecuación 3]

Donde:

$N$ : número de repeticiones

$Z_{\alpha/2}$ : confiabilidad.

$P$  : probabilidad de éxito.

$Q$  : probabilidad de fracaso.

$E$  : error

Con el propósito de obtener resultados con un mínimo de error en el análisis se utiliza un valor de  $Z_{\alpha/2} = 1,96$ ,  $P = 0,95$ ,  $Q = 0,05$ ,  $E = 0,135$ .

$$N = \frac{1,96^2(0,95)(0,05)}{0,135^2} = 10,01$$

Se realizarán 10 repeticiones para obtener un nivel de confianza del 95 por ciento y aceptando un error máximo del 13,5 por ciento.

### **3.8.2. Media de una muestra**

Al clasificar por variedad, por estrato y por tipo de suelo, se deberá realizar una media de jugos de caña con la misma variedad, mismo estrato o mismo tipo de suelo, según sea el caso, para realizar la media se utilizará la siguiente ecuación:

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

[Ecuación 4]

### 3.8.3. Desviación estándar

Se determinará la desviación estándar de la concentración de fosfato de jugos de caña con la misma variedad, mismo estrato o mismo tipo de suelo, según sea el caso, para realizar la media se utilizará la siguiente ecuación:

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

[Ecuación 5]

### 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 fosfato por variedad de caña para aceptar o rechazar la hipótesis.

Esta prueba estadística es utilizada para distinguir si la diferencia entre las cantidades medidas se puede atribuir a errores aleatorios o si la diferencia es significativa. En este caso se tendrá dos medias muestrales  $\bar{x}_1$  y  $\bar{x}_2$ . Se tiene una hipótesis nula que indica que las tres variedades de caña poseen diferente concentración de fosfato, por lo que el análisis se realizó para la comparación entre cada variedad de caña: entre CP88-1165 y CP73-1547, entre CP88-1165 y CP72-2086 y entre CP73-1547 y CP72-2086.

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:

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

[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 fosfato en diferentes estratos altitudinales por variedad de caña

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

Tabla VIII. **Concentración de fosfato en diferentes estratos altitudinales para la variedad CP88-1165**

<b>Estrato altitudinal</b>	<b>Concentración promedio de fosfato (ppm)</b>
Bajo	606,43
Litoral	667,35

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Concentración de fosfato en diferentes estratos altitudinales para la variedad CP73-1547**

<b>Estrato altitudinal</b>	<b>Concentración promedio de fosfato (ppm)</b>
Medio	270,00
Bajo	498,83
Litoral	616,83

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Concentración de fosfato en diferentes estratos altitudinales para la variedad CP72-2086**

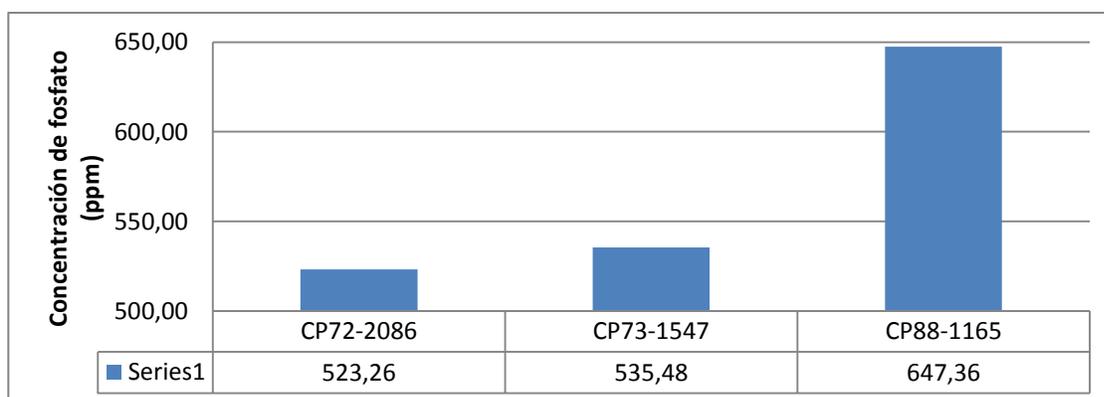
Estrato altitudinal	Concentración promedio de fosfato (ppm)
Medio	384,77
Bajo	250,00
Litoral	553,17

Fuente: elaboración propia.

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

A continuación se muestra la relación entre la concentración de fosfato 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 fosfato en jugo de caña en función de la variedad de caña**

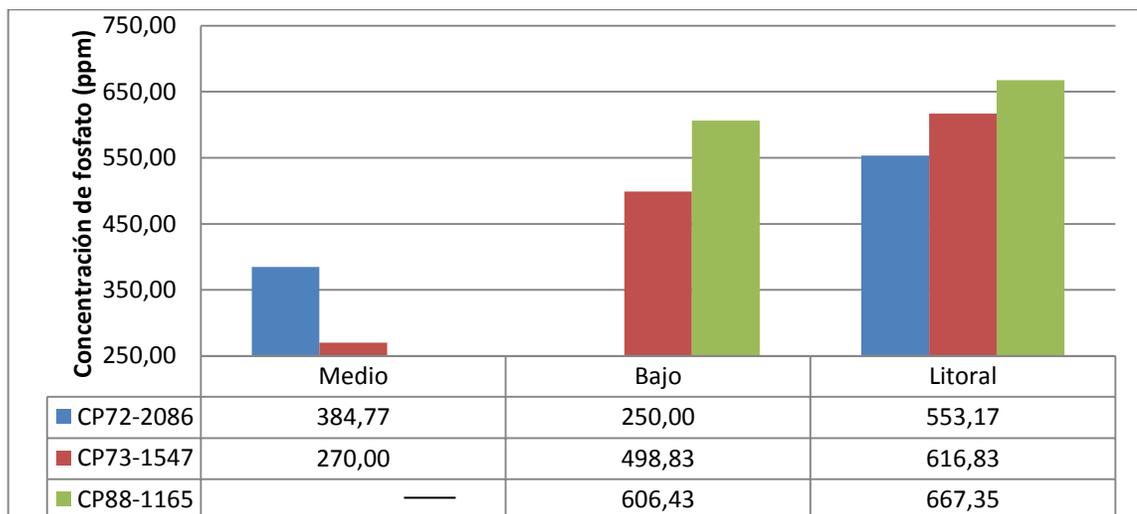


Fuente: elaboración propia.

#### 4.3. Concentración de fosfato entre cada variedad de caña por estrato altitudinal

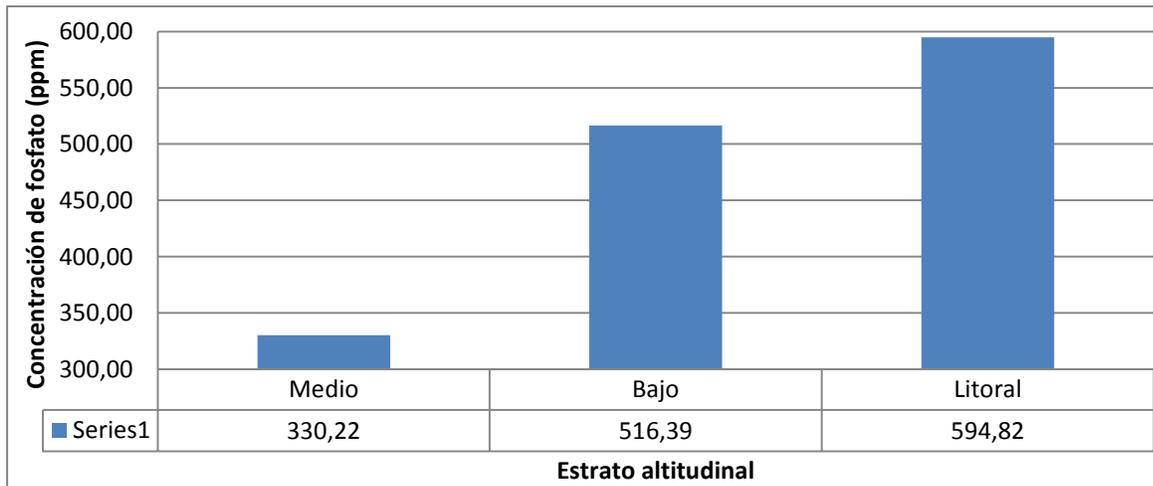
A continuación se muestra el resultado de la medición de concentración de fosfato por cada una de las 3 variedades en los 3 distintos estratos altitudinales: medio bajo y litoral.

Figura 8. **Concentración de fosfato en jugo de caña en función del estrato altitudinal por variedad de caña**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Concentración de fosfato en jugo de caña en función del estrato altitudinal**

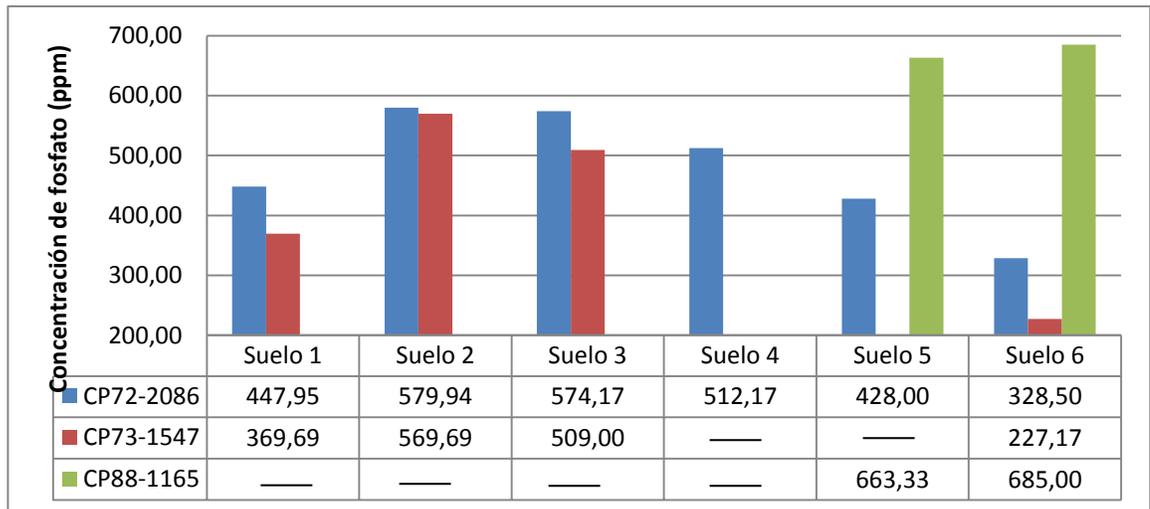


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. **Concentración de fosfato entre cada variedad de caña por principales tipos de suelo**

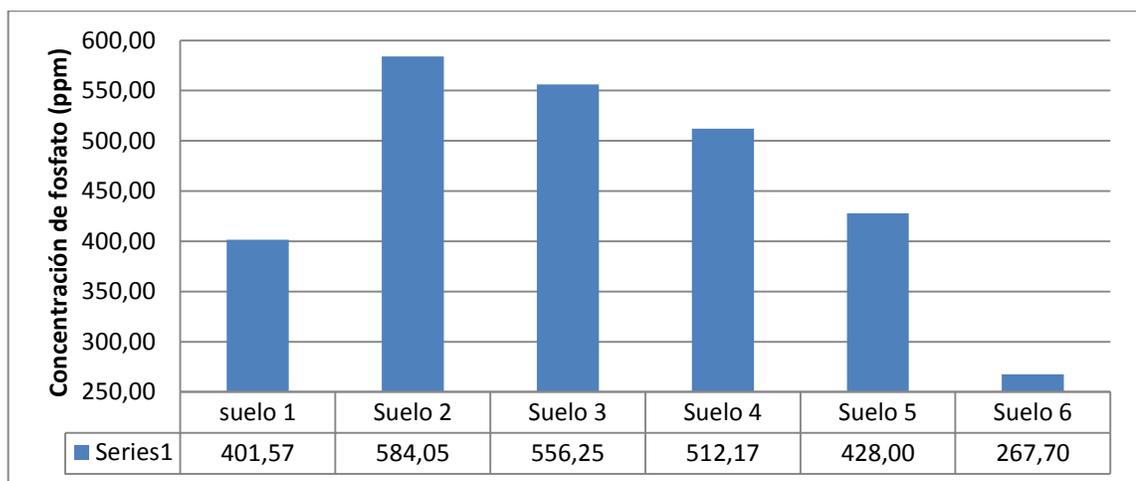
A continuación se muestra el resultado de la medición de concentración de fosfato por cada una de las 3 variedades en los 6 distintos tipos de suelo. Posteriormente se presenta una tabla con la descripción de los suelos.

Figura 10. **Concentración de fosfato en jugo de caña en función del tipo de suelo por variedad de caña**



Fuente: elaboración propia

Figura 11. **Concentración de fosfato en jugo de caña en función del tipo de suelo**



Fuente: elaboración propia

Tabla XI. **Tipos de suelo**

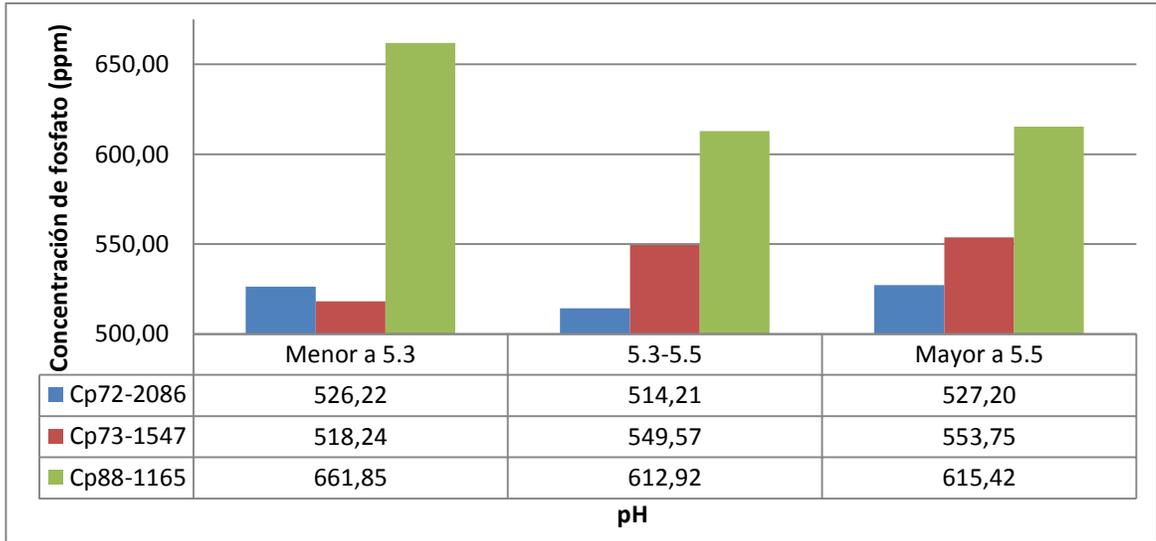
<b>Suelo 1</b>	Suelos Andisoles profundos, bien drenados que presentan erosión ligera.
<b>Suelo 2</b>	Suelos de textura gruesa, moderadamente profundos y muy permeables (Mollisoles secos).
<b>Suelo 3</b>	Suelos Entisoles con muy baja retención de agua, limitados por la presencia de capas de arena en el perfil.
<b>Suelo 4</b>	Suelos Inceptisoles moderadamente profundos de textura arcillosa de lenta permeabilidad.
<b>Suelo 5</b>	Suelos Mollisoles profundos de alta fertilidad.
<b>Suelo 6</b>	Suelos superficiales limitados por la presencia de talpetate (Andisoles superficiales).

Fuente: elaboración propia.

#### **4.5. Concentración de fosfato entre cada variedad de caña por pH del jugo de caña**

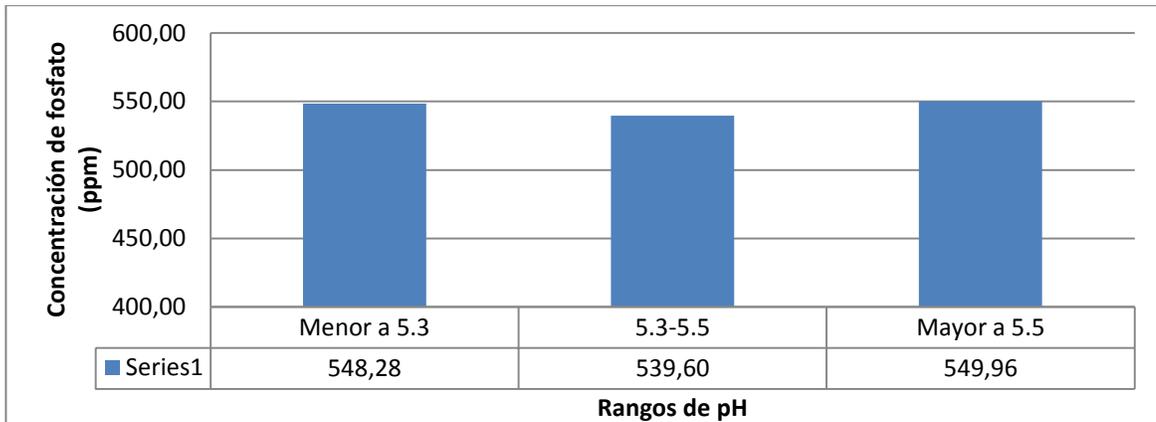
A continuación se muestra el resultado de la medición de concentración de fosfato por cada una de las 3 variedades en los 3 distintos rangos de potencial de hidrógeno: menor a 5,3, entre 5,3 y 5,5 y mayor a 5,5; rangos seleccionados por el valor de potencial de hidrógeno promedio del jugo de caña de azúcar

Figura 12. **Concentración de fosfato en jugo de caña en función del pH por variedad de caña**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Concentración de fosfato en jugo de caña en función del pH por variedad de caña**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.6. Análisis estadístico

A continuación se muestra el análisis estadístico. Se utilizan 2 distintos contrastes de significación: *t de student* para las variedades y ANOVA para el estrato altitudinal, tipo de suelo y potencial de hidrógeno.

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

	<b>T crítica</b>	<b>T calculada</b>	<b>Resumen</b>	<b>Conclusión</b>
CP72-2086 y CP73- 1547	1,96	0,51	T calc<T crit <b>(Ho es rechazada)</b>	No hay diferencia estadísticamente representativa entre las dos variedades
CP72-2086 y CP88- 1165	1,96	3,52	T calc>T crit <b>(Ho es aceptada)</b>	Si hay diferencia estadísticamente representativa entre las dos variedades
CP73-1547 y CP88- 1165	1,96	4,66	T calc>T crit <b>(Ho es aceptada)</b>	Si hay diferencia estadísticamente representativa entre las dos variedades

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Contraste de significación (anova) entre el estrato altitudinal, tipo de suelo y pH**

	<b>Estrato altitudinal</b>	<b>Tipo de suelo</b>	<b>pH</b>
<b>Valor crítico de F</b>	3,02	2,25	3,014
<b>Valor de F</b>	32,61	11,50	0,112
<b>Resumen</b>	F crít<F calc	F crít<F calc	F crít>F calc
<b>Conclusión</b>	Si hay diferencia estadísticamente representativa entre los estratos altitudinales	Si hay diferencia estadísticamente representativa entre los tipos de suelo	No hay diferencia estadísticamente representativa entre los rangos de pH

Fuente: elaboración propia.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizó la determinación de concentración de fosfato en el jugo de caña de las principales variedades del Ingenio Trinidad: CP88-1165, CP73-1547 y CP72-2086, mediante un método colorimétrico.

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 fosfato se realizó mediante un método colorimétrico de HACH, utilizado para análisis de agua, previamente validado para jugo de caña. Para la aplicación del método se requiere el reactivo de HACH para análisis de fosfato y 5 mililitros de jugo de caña. Los resultados se obtuvieron mediante la comparación de medias y correlación de resultados.

Se observa en la figura 7 que el promedio de la concentración de fosfato varía conforme la variedad. Se obtuvo la concentración más alta de fosfato en la variedad CP88-1165, seguida de CP73-1547 y por último la CP72-2086. En el análisis estadístico, tabla XII, se observa que la diferencia entre la CP73-1547 y la CP72-2086 no es significativa, mientras que la CP88-1165 y las otras dos variedades sí existe diferencia significativa. Esto se debe a que la CP88-1165 es una variedad con mejor sistema radicular, por lo que las raíces de la caña de

azúcar llegan hasta donde se encuentra el fosfato en el suelo, ya que el fósforo no es móvil en el suelo.

Cabe resaltar que en la fabricación de azúcar es deseable una concentración de fosfato entre 300 y 600 partes por millón. Cuando el valor se encuentra por debajo de 300 o por encima de 600 partes por millón no se realizará una buena clarificación, por ello se debe ser cuidadoso cuando ingresa al ingenio la variedad CP88-1165, ya que su promedio es de 647 partes por millón y la clarificación será deficiente si no se modifica otra variable en el proceso.

En la figura 8 y 9, y tablas VIII a X se observa que existe una gran diferencia en el promedio de la concentración de fosfato en los diferentes estratos altitudinales para las tres variedades, siendo el valor más alto en el estrato litoral y el más bajo en el estrato medio. Esto se debe a que el estrato litoral es a la altura del mar, en la costa sur.

Los suelos derivados de sedimentos arrastrados por los ríos, lo que es común en la costa sur, en los sedimentos se encuentra el fosfato arrastrado de las partes altas y esa es la razón del porque en un porcentaje alto de los suelos de la costa el fosfato no sea limitante. Por lo tanto mientras aumenta la altura sobre el nivel del mar la concentración de fosfato disminuye, tal como se muestra en los resultados. En la tabla XIII se observa que si existe diferencia estadísticamente representativa entre los tres estratos altitudinales.

En la figura 8 se observa que la tendencia de concentración de las variedades se conserva en la mayoría de estratos, en todos los estratos el valor de concentración de fosfato más alto es el de la variedad CP88-1165, seguido de la CP73-1547, excepto en el estrato medio, de donde se obtuvo menor

cantidad de datos que en los demás estratos. Sin embargo, se observa que sin importar el estrato donde se encuentre, la variedad CP88-1165 contiene mayor concentración de fósforo, respecto a las otras dos variedades.

En la figura 10 se observa la concentración de fósforo respecto al tipo de suelo, por variedad de caña. Se observa el tipo de suelo con mayor concentración de fósforo es el 2, mollisoles secos, según la figura 11. Este suelo es muy permeable por lo que la raíz de la caña de azúcar penetra en el suelo y llega hasta donde se encuentra el fósforo. La concentración más baja se encuentra en el suelo 6, andisoles superficiales, ya que en este se encuentra presente el talpetate el cual es una capa de tierra caliza y arenosa, dura y difícil para la raíz de la planta de penetrar. Sin embargo, la concentración de CP88-1165 es alta en este suelo, según la figura 11, lo cual concuerda con la figura 7 y demuestra que en cualquier condición las raíces de esta variedad penetran el suelo y llega hasta el fósforo.

En la figura 12 se observa el comportamiento de la concentración de fósforo respecto al potencial de hidrógeno del jugo de caña de azúcar por variedad de caña. El potencial de hidrógeno del jugo de caña es un indicativo de deterioro de la caña, al aumentar las horas quema de la caña el potencial de hidrógeno disminuye y se deteriora la caña, sin embargo el fósforo absorbido por las raíces de la caña ya lo contiene la caña desde el campo, aunque ésta se deteriore al aumentar las horas quema la concentración de fósforo no varía, es por ello que no se observa un comportamiento entre estas dos variables. El comportamiento pudiera observarse entre el potencial de hidrógeno del suelo y la concentración de fósforo, sin embargo, en el Ingenio Trinidad no se tiene implementado el análisis de suelo y por ello no se cuenta con la información de suelos para poder relacionar estas variables.

En la figura 13 se observa que no existe relación entre el promedio de concentración de fosfato por rango de potencial de hidrógeno, lo cual es confirmado en la tabla XIII pues según el análisis estadístico no existe diferencia estadísticamente significativa en los tres rangos de potencial de hidrógeno.

La hipótesis planteada indica que existe diferencia significativa entre la concentración de fosfato de las variedades CP72-2086, CP73-1547 y CP88-1165. El análisis estadístico, tabla XI, muestra que la diferencia de la concentración de fosfato entre las variedades CP72-2086 y la CP73-1547 no es estadísticamente representativa. Aunque entre la CP88-1165 y las otras dos variedades no existe diferencia significativa, la hipótesis nula es rechazada y es aceptada 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 fosfato de las variedades de caña que constituyen el 87 por ciento de la materia prima del Ingenio Trinidad, según variedad de caña, estrato altitudinal, tipo de suelo y potencial de hidrógeno.
- Se aportó datos que, en un futuro, servirán de base para establecer parámetros de adición de ácido fosfórico en el proceso de clarificación, según la variedad de caña.
- Se optimizó recursos al eliminar la adición de ácido y de esta manera se evitó causar daños al jugo de caña y al proceso de clarificación.
- Se aportó datos útiles para la mejora del proceso de clarificación del jugo de caña, y así se toman decisiones al obtener una alta cantidad de fosfato presente en la caña.



## CONCLUSIONES

1. No existe diferencia estadísticamente representativa entre la concentración de fosfato de la variedad de caña CP72-2086 y la CP73-1547.
2. La concentración de fosfato aumenta mientras disminuye la altura respecto al nivel del mar.
3. La concentración de fosfato varía respecto al tipo de suelo en el que se siembra la caña de azúcar, siendo el suelo con presencia de talpetate el que posee la menor cantidad de fosfato y los mollisoles secos los que poseen la mayor cantidad.
4. No existe dependencia entre el potencial de hidrógeno del jugo de caña y la concentración de fosfato en el mismo.
5. La variedad CP88-1165 posee la mayor concentración de fosfato, respecto a las demás variedades, aunque el tipo de suelo y estrato altitudinal varíen.



## RECOMENDACIONES

1. Utilizar un floculante de mayor peso molecular al ingresar la variedad CP88-1165, ya que esta posee más de 600 partes por millón de fosfato y por lo tanto los flóculos formados en la clarificación no sedimentarán por ser muy livianos.
2. Realizar un programa del porcentaje de cada variedad que será molida cada día, para decidir que floculante usar y que la concentración de fosfato no afecte en el proceso de clarificación del jugo de caña de azúcar.
3. Utilizar ácido fosfórico en la clarificación al obtener una concentración de fosfato en jugo menor a 300 partes por millón.
4. Al realizar una nueva plantación de caña utilizar variedades de concentración óptima de fosfato, tales como la CP72-2086 y CP73-1547.



## BIBLIOGRAFÍA

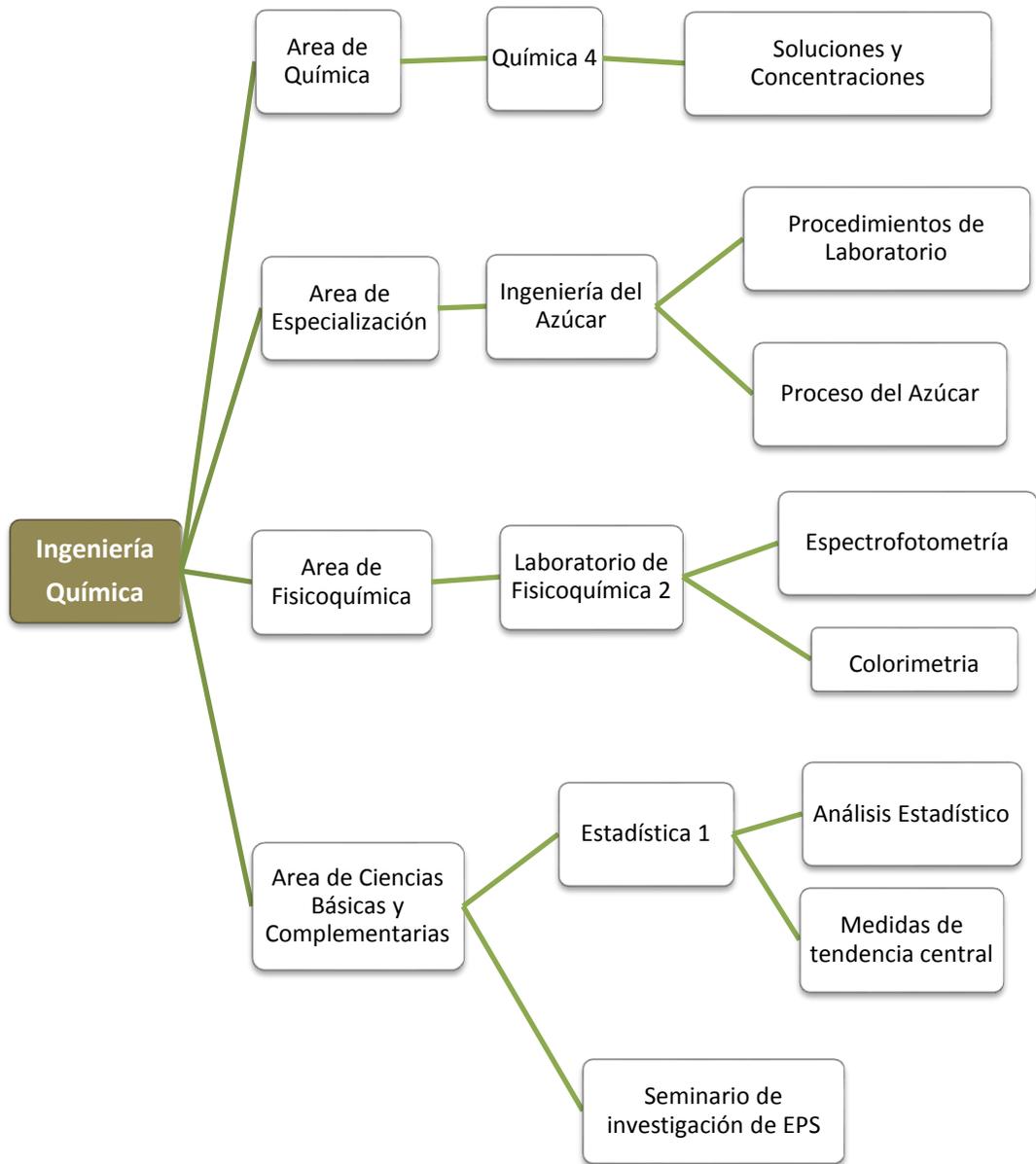
1. BOUL, S.V. et al. *Génesis y clasificación de suelos*. USA: The IOWA State University Press. Amex, 1980. 406 p.
2. BRUNATTI, Carlos; MARTÍN, Ana María. *Introducción a la espectroscopia de absorción molecular ultravioleta, visible e infrarrojo cercano*. [en línea] [ref. 28 de agosto de 2013] Disponible en Web: <http://materias.fi.uba.ar/>
3. BUENAVENTURA, C. N. et al. *Manual de laboratorio para la industria azucarera*. Colombia: Tecnicaña, 1989. 227 p.
4. CENGICAÑA. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Guatemala: Artemis Edinter, 2012. 512 p.
5. \_\_\_\_\_. *Censo variedades Guatemala*. [en línea] [ref. 28 de agosto de 2013] Disponible en Web: <http://www.cengicaña.org>
6. Consejo editorial QUIMICAWEB. *Fósforo*. [en línea] [ref. 29 de agosto de 2013] Disponible en Web: <http://www.quimicaweb.net/>
7. DILAB. *Colorímetro DR 890 HAC-48470-00*. Guatemala: Distribuidora de Laboratorio y Equipo Institucional, S.A., 2013. 5 p.
8. FERNANDES, Antonio. *Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar*. 3a ed. Brasil: STAB, 2011. 416 p.

9. LARRAHONDO, Jesús Eliécer. *Composición y características químicas de la caña de azúcar*. Colombia: Universidad del Valle, 2012. 110 p.
10. MILLER, James; MILLER, Jane. *Estadística y quimiometría para química analítica*. 4a ed. España: Prentice Hall, 2002. 278 p.
11. PORTA, Antonio. *Fabricación del azúcar*. España: Salvat, 1955. 809 p.
12. REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. Alemania: Bartens, 2012. 880 p.
13. SPENCER, Guilfor; MEADE, George. *Manual del azúcar de caña*. 9a ed. España: Montaner y Simón, 1967. 940 p.
14. VAN DER POEL, P. W.; SCHIWECK, H; SCHWARTZ, T. *Sugar technology, beet and cane sugar manufacture*. Alemania: Bartens, 1998. 1119 p.

## **APÉNDICES**

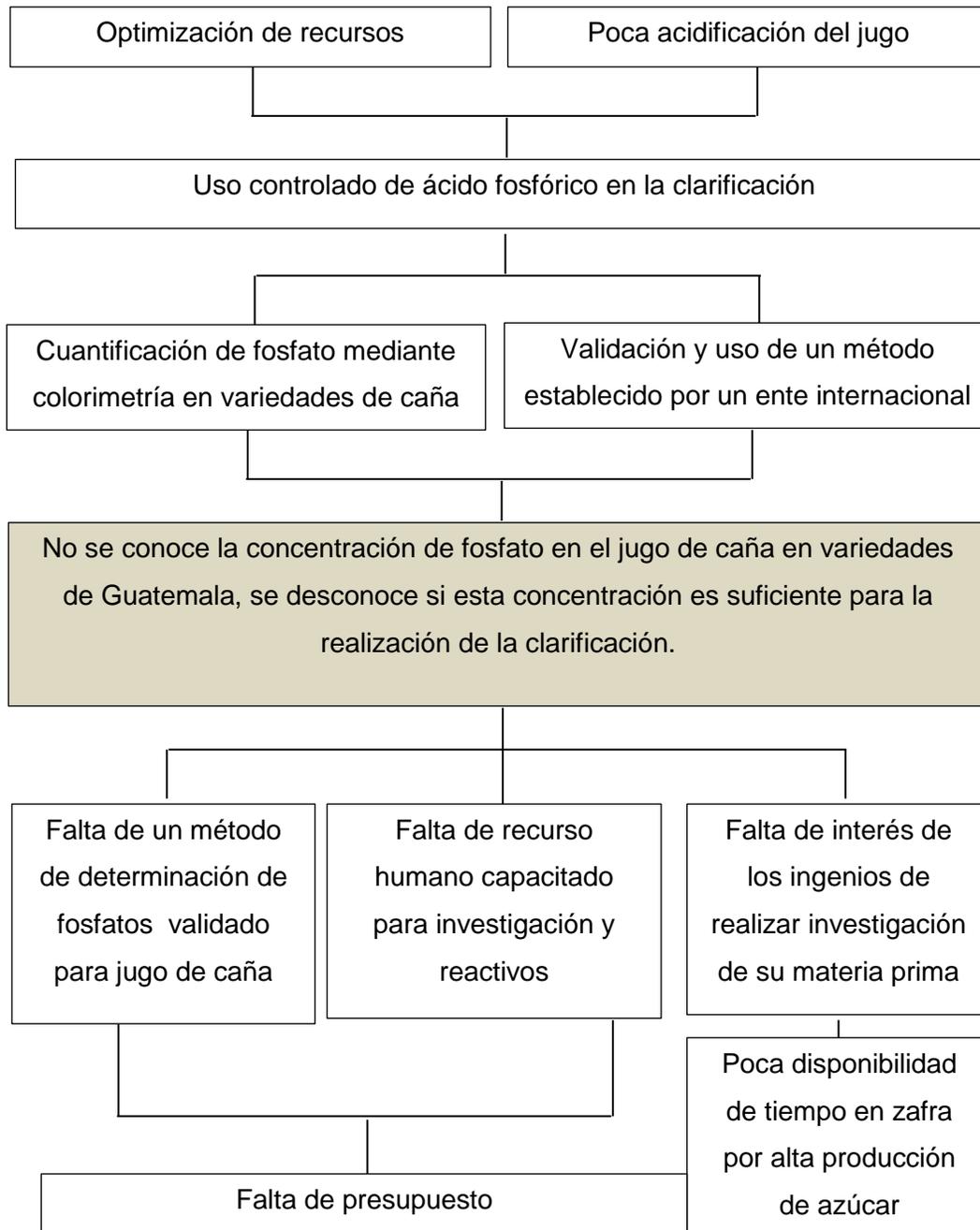


Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. **Árbol de problema**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Procedimiento de validación del método PhosVer 3 en jugo de caña para el Ingenio Trinidad, utilizando un colorímetro HACH:**

- Tomar una muestra de 400 mililitros de jugo de caña de azúcar.
- Diluir la muestra según el procedimiento de determinación de fosfato PhosVer 3 con un colorímetro HACH, descrito en la sección de anexos, 8.1.2, y utilizar dicho método para el análisis de fosfato en el jugo de precosecha.
- Si la concentración de fosfato obtenida en el jugo, ya diluido en el paso anterior, excede 1 parte por millón, realizar otra dilución hasta obtener esta concentración, si es menor a 1 parte por millón, tomar otra muestra de jugo y diluir menos.
- Realizar cinco soluciones de fosfato de 0,5 partes por millón y tomar 5 mililitros.
- Agregar a un Becker de 50 mililitros los 5 mililitros de la solución de sulfato y 5 mililitros del jugo de 1 parte por millón de fosfato y agitar. Agregar los 10 mililitros de solución a la celda del colorímetro y realizar el análisis de fosfato.
- El resultado obtenido debe corresponder a la suma del contenido de fosfato en el jugo y el contenido de fosfato en la solución de fosfato, en los 10 mililitros utilizados; según el apéndice 4.

- Realizar este procedimiento 10 veces con diferentes muestras del mismo jugo, siempre a 1 parte por millón, y con la misma concentración de la solución de fosfato.
- Realizar el mismo procedimiento con una solución de fosfato de 1 parte por millón, 1,5 partes por millón, 2 partes por millón, 2,5 partes por millón y 3 partes por millón.

Apéndice 4. **Concentración que corresponde según concentración de fosfato utilizada**

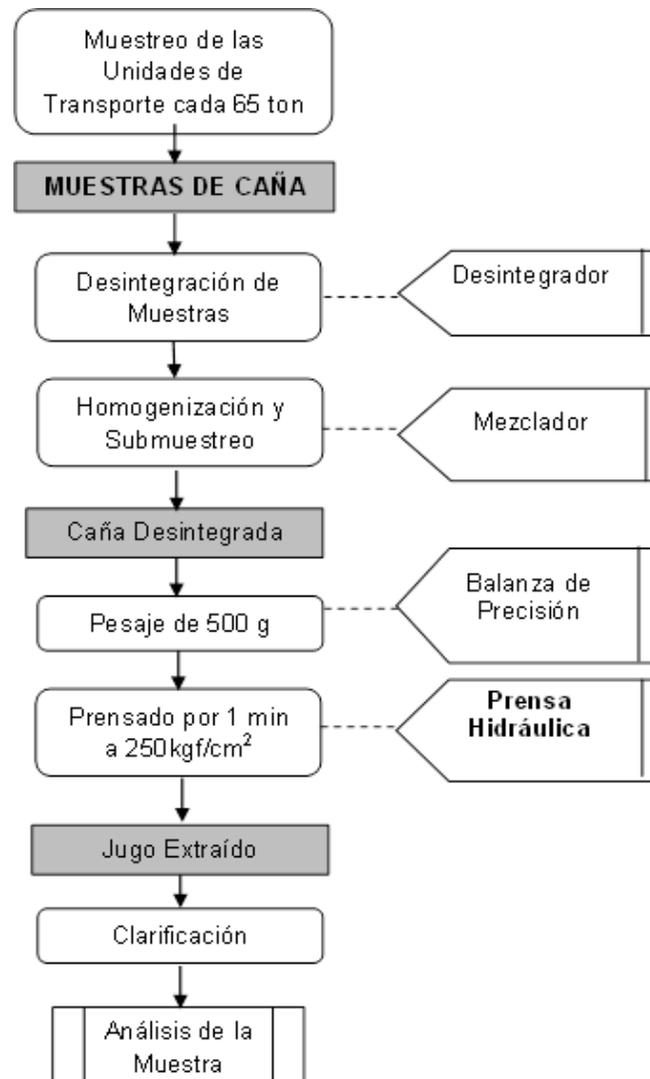
Concentración de fosfato en el jugo Tomando 5 mililitros del jugo ya diluido	Concentración de la solución de fosfato Tomando 5 mililitros de solución	Concentración de fosfato final, que debe indicar el colorímetro En los 10 mililitros totales (jugo+solución de fosfato)
1 ppm	0,5 ppm	0,75 ppm
1 ppm	1 ppm	1 ppm
1 ppm	1,5 ppm	1,25 ppm
1 ppm	2 ppm	1,5 ppm
1 ppm	2,5 ppm	1,75 ppm
1 ppm	3 ppm	2 ppm

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)**



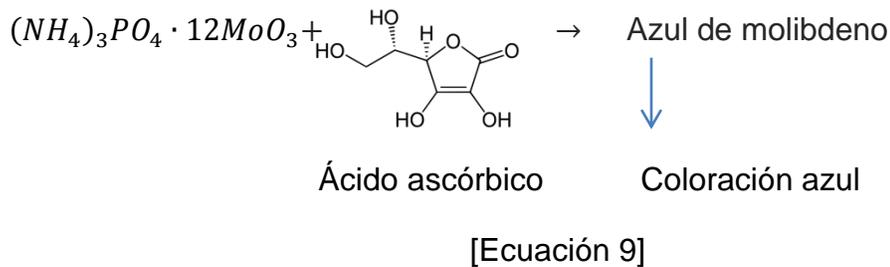
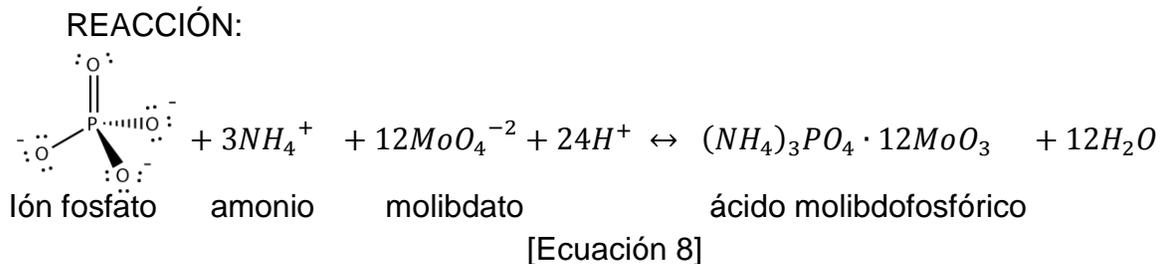
Fuente: FERNANDES, Antonio. *Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar*. p. 110.

## Anexo 2. Análisis

Se utilizó el método PhosVer 3 de ácido ascórbico. Este método se aplica a la determinación de fósforo inorgánico u ortofosfatos.

En las soluciones ácidas, el molibdato y amonio reaccionan con el ortofosfato para formar ácido molibdofosfórico. A partir de este ácido, mediante ácido ascórbico, se forma un complejo.

El complejo es conocido como “azul de molibdato”, de color azul intenso, cuya estructura se desconoce; la fórmula más cercana que se ha obtenido es:  $(\text{MoO}_2-4\text{MoO}_3)_2\text{H}_3\text{PO}_4$ .



- Equipo
  - Colorímetro
  - Celdas
  - Pipeta de 5 y 10 mL
  - Beaker de 250 mL y de 100 mL

- Papel Whatman No. 91
- Balón de 200 mL
- Reactivos
  - Agua destilada
  - PhosVer 3 *Phosphate Powder Pillow*
- Metodología
  - Filtrar la muestra de jugo con papel filtro Whatman núm. 91, rechazar los primeros mililitros del filtrado y recolectar 10 mililitros de jugo.
  - Trasladar 0,4 mililitros de muestra filtrada a un balón de 200 mililitros, aforar con agua destilada y agitar vigorosamente.
  - Introducir el número de programa almacenado para el método ácido ascórbico fósforo reactivo, presionar el ícono prgm.
  - Presionar *79 enter*, el dispositivo mostrará miligramos por litro de PO<sub>4</sub>, presionar el ícono *zero*.
  - Llenar la celda con 10 mililitros de la muestra de jugo ya diluido.
  - Añadir el contenido de una PhosVer 3 *Phosphate Powder Pillow* para 10 mililitros de muestra a la celda (la muestra preparada) y agitar por 15 segundos.
  - Presionar el ícono *timer* y luego *enter*. Una reacción de 2 minutos empezará, realizar los siguientes dos pasos en este período.

- Llenar otra celda con 10 mililitros de la muestra preparada (el blanco).
- Colocar el blanco en el soporte de la celda. Cubrir la celda del blanco con la tapa del instrumento.
- Presionar el ícono *zero*.
- El cursor se moverá para la derecha, luego el dispositivo mostrará: 0,00 miligramos por litro de  $\text{PO}_4$ .
- Después de que el temporizador suene, colocar la muestra preparada en el soporte de la celda. Cubrir la celda de muestra con la tapa del instrumento.
- Presionar el ícono *read*. El cursor se moverá hacia la derecha, luego el resultado en miligramos por litro de  $\text{PO}_4$  se mostrará.
- El factor de dilución es 500, el resultado debe ser multiplicado por este valor para obtener la concentración de fosfato real que posee el jugo.

## 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 fueltes 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 de vãos. Os casos que não atendam a esta norma serão julgados 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;

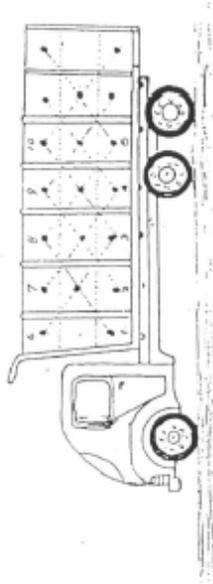


Fig.2 - Veículo com 7 vãos

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

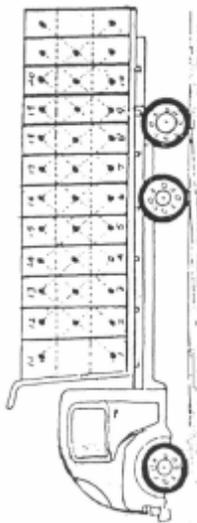


Fig.3 - Veículo com 12 vãos

- N-025. Em se tratando de sonda amostradora horizontal, a amostra será composta por 3 (três) sub-amostras, coletadas em vãos consecutivos e à 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 fonecedor e cana própria), obedecerá ao seguinte critério:

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, exceder a 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 descarregando 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.

#### • 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-faca do desintegrador deverá estar regulada a uma distância de 240,5 mm (dois milímetros, mais ou menos, meio milímetro).
- N-038. As facas e a contra-faca deverão estar sempre afiadas, não devendo apresentar bordas onduladas e arredondadas.
- N-039. Os martelos e contra-martelos 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 90% (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).

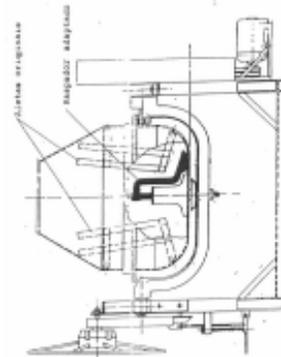


Fig.4 - Homogeneizador, tipo betoneira, detalhando o raspador

- 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 (quinhentos 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 formecedor 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.

- 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-090.
- 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 anomalia.
  - 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

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