

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS**

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

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

RONALD GIOVANNI POCASANGRE GARCÍA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Lic. CARLOS ESTUARDO GALVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Ávila
VOCAL CUARTO	Br. Douglas Antonio Castillo Álvarez
VOCAL QUINTO	P. Agr. José Mauricio Franco Rosales
SECRETARIO	Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes

Guatemala, octubre de 2006

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Distinguidos Miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a consideración de ustedes, el trabajo de tesis titulado:

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

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para la aprobación, me suscribo de ustedes,

Atentamente,

RONALD POCASANGRE GARCÍA

ACTO QUE DEDIDO

A:

DIOS: Quien me ha guiado y acompañado durante toda mi vida, y que me permite alcanzar las metas que tengo trazadas, siendo este acto de graduación una de ellas. Por su amor.

MIS PADRES: Marcelino Pocasangre Álvarez
Ofelia García de Pocasangre
Por su apoyo incondicional, su ejemplo de lucha, empeño, pasión y amor, han hecho realidad este logro.

MIS HERMANOS: Claudia Jeannette Pocasangre García
Erick Marcelino Maximino Pocasangre García
Porque siempre han estado en los momentos que los necesito y por creer y confiar en mi.

MI ESPOSA: Evelyn Janeth Recinos de Pocasangre
Por su paciencia, comprensión y fortaleza. Por su aliento y compañía en la lucha y amor incondicional.

MIS HIJAS: Lizbeth Jeannette Pocasangre Recinos
Fátima María Pocasangre Recinos
Porque son una bendición, me inyectan las fuerzas para vivir y disfrutar la vida, la razón de seguir siempre adelante.

MIS PADRINOS: Por sus consejos, sinceridad, cariño y todo el apoyo que me han dado en mis años de vida, y especialmente en los momentos difíciles.

MIS ABUELOS, TIOS Y PRIMOS: Con quienes siempre hemos compartido y apoyado sin esperar nada a cambio.

Índice general.

Contenido	Página
Índice general	i
Índice de figuras	ii
Índice de cuadros	iii
Resumen	iv
1. Introducción.	01
2. Planteamiento del problema	03
3. Marco teórico	04
3.1 Marco conceptual.	04
3.1.1 Maduración	04
3.1.1.1 Factores que afectan a la maduración	04
3.1.2 Azúcares simples ó azúcares reductores	08
3.1.3 Sacarosa	08
3.1.3.1 Almacenamiento de la sacarosa	09
3.1.3.2 Deterioro de la caña e inversión de los azúcares	10
3.1.4 Almidón y Fenol.	11
3.1.5 Dinámica del almacenamiento de la sacarosa, azúcares reductores, fenoles y almidones.	12
3.1.6 La fibra en la caña de azúcar y su relación con el Contenido de Sacarosa	12
3.2 Marco referencial	14
3.2.1 Ubicación del área	14
3.2.2 Características climatológicas del área	14
3.2.3 Características del relieve y del suelo	14
3.2.4 Variedades a evaluar y sus características	15
4. Objetivos	16
3.1 Objetivos generales	16
3.2 Objetivos específicos	16
5. Hipótesis	16
6. Metodología	16
6.1 Establecimiento de parcelas en el campo	17
6.2 Toma de muestras	17
6.3 Análisis de laboratorio	17
7.3.1 Metodología para el análisis de azúcares reductores	18

6.3.2 Metodología para el análisis de sacarosa (pol).	18
6.3.3 Metodología para el análisis de pH	19
6.3.4 Metodología para el análisis de humedad del tallo.	19
6.3.5 Metodología para el análisis del porcentaje de fibra	19
6.3.6 Metodología para el análisis de almidón.	20
6.3.7 Metodología para el análisis de fenoles	20
6.3.8 Metodología para la determinación de elementos mayores: Fósforo, calcio, magnesio, potasio y elementos menores: Cobre, cinc, hierro y manganeso.	22
7. Resultados y discusión	28
8. Conclusiones	43
9. Recomendaciones	44
10. Bibliografía	45
11. Anexos	a

Índice de figuras y gráficas.

Figura	Página
Figura 1. Resumen de la formación de las hexosas	09
Figura 2. Resumen del ciclo de acumulación de sacarosa	10
Grafica 3. Comportamiento de la sacarosa	30
Grafica 4. Comportamiento de los azúcares reductores	31
Grafica 5. Comportamiento de la humedad del tallo	32
Grafica 6. Comportamiento del fósforo	33
Grafica 7. Comportamiento del almidón	34
Grafica 8. Comportamiento del pH	35
Grafica 9. Comportamiento de los fenoles	36
Grafica 10. Comportamiento de la fibra	37
Grafica 11. Comportamiento del calcio	38
Grafica 12. Comportamiento del magnesio	39
Grafica 13. Comportamiento del potasio	39
Grafica 14. Comportamiento del cobre	40
Grafica 15. Comportamiento del cinc	41
Grafica 16. Comportamiento del manganeso	41
Grafica 17. Comportamiento del hierro	42

Índice de cuadros.

Cuadro	Página
Cuadro 1. Estándares para la calibración de fenoles	21
Cuadro 2. Curva de calibración para la determinación de calcio	24
Cuadro 3. Curva de calibración para la determinación de Magnesio	24
Cuadro 4. Curva de calibración para la determinación de Potasio.	25
Cuadro 5. Curva de calibración para la determinación de Cobre y Cinc	26
Cuadro 6. Curva de calibración para la determinación de Hierro y Manganeso	27
Cuadro 7. Coeficiente de Determinación	29
Cuadro 1 de anexos. Datos de Pol	a
Cuadro 2 de anexos. Datos de azúcares reductores	a
Cuadro 3 de anexos. Datos de pH	a
Cuadro 4 de anexos. Datos de fenoles	b
Cuadro 5 de anexos. Datos de almidón	b
Cuadro 6 de anexos. Datos de humedad del tallo	b
Cuadro 7 de anexos. Datos de fibra.	c
Cuadro 8 de anexos. Datos de fósforo	c
Cuadro 9 de anexos. Datos de potasio	c
Cuadro 10 de anexos. Datos de calcio	d
Cuadro 11 de anexos. Datos de magnesio	d
Cuadro 12 de anexos. Datos de cobre	d
Cuadro 13 de anexos. Datos de cinc	e
Cuadro 14 de anexos. Datos de hierro	e
Cuadro 15 de anexos. Datos de manganeso	e
Cuadro 16 de anexos. Datos de precipitación	f
Cuadro 17 de anexos. Datos de temperatura	f

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

Determination of the relationship between the sucrose concentration and the chemicals compost concentrations, in the sugar cane juice, in 5 varieties

Dentro de la agroindustria guatemalteca, la de la caña de azúcar es una de las más importantes. Actualmente en Guatemala se cultiva más de 190,000 hectáreas con caña de azúcar, con tendencia a seguir incrementándose. La tecnología en el cultivo de la caña se ha desarrollado mucho en nuestro país, obteniendo cada vez plantas de caña con capacidad de producir más azúcar (sacarosa), también se han tenido grandes innovaciones en la parte industrial, al desarrollar técnicas que hagan más eficiente la extracción dicha azúcar. Estos avances, se han llevado a cabo gracias a la investigación, la cual ha permitido conocer cada vez más la naturaleza de la caña de azúcar a nivel de campo, así como a la mejora de las técnicas de extracción de azúcar en las fábricas.

La presente investigación tiene por objetivo determinar que elementos presentes dentro de la caña de azúcar tienen relación con la acumulación de sacarosa (azúcar) y cuales no lo tienen, y dentro de los que tienen relación cuales presentan relación positiva y cuales relación inversa. Los compuestos que se estudiaron fueron: azúcares reductores, almidones, fenoles, pH, fibra, fósforo, calcio, magnesio, potasio, cobre, cinc, manganeso, hierro y humedad del tallo. El estudio se realizó durante 18 meses, iniciando desde los 6 meses de edad del cultivo.

Como resultados de investigaciones anteriores, se sabe que todos estos compuestos son esenciales en el crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar. Pero al hablar de la relación de estos elementos con la sacarosa podemos concluir según los resultados de la presente investigación que la variación de las concentraciones de calcio, magnesio, hierro, cobre, cinc, potasio, manganeso y los fenoles no influyen en la concentración de sacarosa, al contrario de el fósforo, cobre, azúcares reductores y humedad del tallo que su comportamiento es inversamente proporcional a la sacarosa. La razón es que la sacarosa necesita de estos compuestos para su formación, por lo que al momento en que esta se está incrementando, utiliza mucho de estos compuestos, a tal grado que baja las concentraciones de los mismos. Si la planta no tuviera los niveles adecuados de estos elementos su acumulación no sería máxima.

Los resultados obtenidos de esta información pueden integrarse a los resultados obtenidos de otras investigaciones y abrir camino a futuras investigaciones que ayuden a complementar el conocimiento, ya que el mismo por ser tan vasto no es posible concentrarlo en un solo estudio. Es por ello que se recomienda seguir con este tipo de investigaciones y seleccionar los elementos que mostraron tener relación con la sacarosa y relacionarlos junto con otros elementos como, fertilización, tipo de suelo, factores ambientales, etc, con el fin de poder formar un criterio para la selección de variedades o hasta un modelo para la predicción de producciones de manera certera.

1. Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una planta que tiene la particularidad de poder almacenar en su tallo una gran cantidad de sacarosa (azúcar), la cual puede ser extraída mediante procesos industriales, para ser convertida en azúcar para consumo humano; convirtiéndose así el tallo y el azúcar que se acumula en el tallo, en la razón de ser del cultivo, productivamente y económicamente, para la agroindustria azucarera.

Para las plantas, la sacarosa es una fuente de energía que utilizan para crecer y desarrollarse. La acumulación de la sacarosa, en las plantas, se da como parte de su metabolismo, para almacenar energía que será utilizada en la fase reproductiva de la planta. También la acumulación de sacarosa ó almacenamiento de energía, se da como una respuesta de la planta ante factores adversos a su desarrollo y (factores que producen estrés). Ante estos factores, la planta puede detener en gran medida su crecimiento y utilizar la mínima cantidad de energía para subsistir, almacenando en su tejido energía que estará disponible para cuando las condiciones sean favorables, y así seguir su crecimiento y desarrollo.

La acumulación de sacarosa en la caña de azúcar, ha sido estudiada durante muchos años, así como la forma de incrementar la producción de dicho azúcar, ya que incrementando y mejorando la producción de sacarosa se puede hacer mucho más rentable todo el proceso productivo. Es importante mencionar que la producción de azúcar en la planta, se ve afectada por el manejo agronómico del cultivo (fertilización, control de plagas y enfermedades, riego, entre otros) y por factores no controlables como la temperatura, precipitación, etc.

La presente investigación estuvo enfocada a determinar la relación de la sacarosa con respecto a otros compuestos y elementos presentes en la planta, durante el crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar (de los seis meses a los dieciocho meses de edad). Así mismo se monitoreó el momento de la máxima acumulación de sacarosa. Estos otros compuestos y elementos fueron: glucosa, fructosa, almidón, fenol, fósforo, cobre, cinc, hierro, manganeso, calcio, potasio, porcentaje de fibra, humedad del tallo.

El objetivo general fue determinar si existió relación directa entre la acumulación de sacarosa y la acumulación del resto de compuestos y elementos químicos ya descritos a diferentes edades fenológicas y en diferentes variedades, para conocer un poco más la naturaleza productiva de la caña de azúcar (productiva desde el punto de vista de acumulación de sacarosa). La investigación se llevo

a cabo en un período comprendido desde los siete meses de edad de la caña hasta los dieciocho meses de edad, en cinco diferentes variedades.

El lugar de desarrollo de la investigación fue, en la finca Camantulul del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de Azúcar (CENGICAÑA), en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

El conocimiento del comportamiento de la sacarosa en la caña de azúcar es de vital importancia, ya que de ella depende la producción de azúcar. Altas concentraciones de sacarosa nos dan altas producciones de azúcar y viceversa. Algunas veces la caña de azúcar no logra tener una concentración de sacarosa adecuada, por lo que la producción de azúcar se ve afectada. Es aquí donde se hace importante determinar los factores que hacen que la concentración de sacarosa disminuya o que simplemente no se acumule sacarosa, así mismo determinar los factores que favorecen la acumulación de sacarosa. El estudio de estos factores es un gran proceso, ya que debe evaluarse factores externos (condiciones ambientales, plagas y enfermedades, aplicación de agroquímicos, riego), así como internos (comportamiento de elementos y compuestos químicos en la planta) y definir si estos tienen relación o no con la sacarosa. El presente documento es parte de este proceso y tiene como objetivo determinar la relación de la sacarosa con otros compuestos químicos presentes en la caña de azúcar.

2. Planteamiento del problema

Actualmente es difícil predecir la concentración de sacarosa que tendrá la caña en el momento de la cosecha ya que no se tienen bien establecidos los factores que afectan la concentración de sacarosa y mucho menos la forma en que esta lo afecta. Actualmente se realizan muestreos precosecha para poder determinar el momento del corte de la caña. Al poder determinar los factores que afectan la concentración de la sacarosa y la forma en que estos afectan, podrá predecirse con un alto grado de precisión la concentración de sacarosa y la producción de azúcar, ayudando esto al control de estos factores que inciden en la producción de sacarosa en la caña de azúcar y a la toma de decisiones.

El conocimiento del comportamiento de la sacarosa en la caña de azúcar es de vital importancia, ya que de ella depende la producción de azúcar. Altas concentraciones de sacarosa nos dan altas producciones de azúcar y viceversa. Algunas veces la caña de azúcar no logra tener una concentración de sacarosa adecuada, por lo que la producción de azúcar se ve afectada. Es aquí donde se hace importante determinar los factores que hacen que la concentración de sacarosa disminuya o que simplemente no se acumule sacarosa, así mismo determinar los factores que favorecen la acumulación de sacarosa. El estudio de estos factores es un gran proceso, ya que debe evaluarse factores externos (condiciones ambientales, plagas y enfermedades, aplicación de agroquímicos, riego), así como internos (comportamiento de elementos y compuestos químicos en la planta) y definir si estos tienen relación o no con la sacarosa. El presente documento es parte de este proceso y tiene como objetivo determinar la relación de la sacarosa con otros compuestos químicos presentes en la caña de azúcar.

3. Marco teórico

3.1 Marco conceptual

3.1.1 Maduración

El término maduración involucra diferentes acepciones, entre las que se destacan las siguientes:

- a. Maduración botánica** Implica un grado de desarrollo del cultivo que le permita generar descendencia, ya sea mediante la producción de semillas viables o por la formación de yemas en condiciones de brotar.(19)
- b. Maduración fisiológica** Involucra la progresiva acumulación de sacarosa en los tejidos específicos de los tallos, proceso que se completa cuando la caña alcanza el máximo almacenamiento posible de sacarosa.(19)
- c. Maduración tecnológica** Este concepto implica el logro de la aptitud industrial de los tallos y exige un límite máximo de sustancias extrañas que permitan una recuperación notable del azúcar.(19)

En base a lo anterior expuesto se puede decir que un cañaveral puede lograr su madurez tecnológica, mientras el almacenamiento de sacarosa continúa y termina cuando la concentración de sacarosa inicia a descender.

3.1.2 Factores que afectan a la maduración

a. Influencia de los factores ambientales

1. Temperatura La temperatura afecta la absorción de agua y nutrientes de la planta limitando así su crecimiento y desarrollo (3). Este es el factor de mayor importancia en la regulación del almacenamiento de azúcar, al afectar la elongación de los tallos y disminuir el consumo de asimilados en mayor proporción que su producción. Este factor no se puede manejar pero si adaptarse y conducirse el cultivo para lograr el mejor aprovechamiento de las características térmicas típicas del área cañera.

Existe una asociación negativa entre la temperatura y el almacenamiento de azúcar, disminuyendo los niveles de sacarosa a medida que la temperatura aumenta en el período crítico de precosecha.

La caña requiere temperaturas bajas durante la noche y altas durante el día para poder madurar y tener buenas producciones de sacarosa. Así mismo se ha comprobado que los efectos de las temperaturas nocturnas elevadas son similares a los de las lluvias en época de maduración.(6) En el mes en que converjan el decrecimiento de las temperaturas mínimas, el aumento de la amplitud térmica y la reducción de las lluvias, favorecen un notable incremento del contenido de sacarosa.(6)

2. Disponibilidad hídrica El contenido de humedad en el suelo es un factor muy importante para la maduración de la caña de azúcar(3), así mismo la humedad interna en la planta de caña es el factor dominante para la síntesis, translocación y la promoción del almacenamiento de azúcar en áreas de secano.(12). Sin embargo tanto el exceso puede ser tan perjudicial como la falta de la misma. La mayor acumulación de sacarosa observada por efecto de estrés hídrico moderados derivan de una influencia relativamente mayor en el consumo de azúcares. Cuando la caña está siendo castigada por la sequía, aún llegando casi al punto de marchites, el proceso de la fotosíntesis continúa pero la cantidad de sacarosa producida es muy inferior, a cuando existe una buena humedad(9).

En la cosecha es importante observar una disminución de la humedad de los tallos, ya que permite mejorar la calidad tecnológica de los jugos. Teóricamente la humedad ideal en caña, durante la cosecha, es aquella que todavía permite la conversión de glucosa en sacarosa, y donde la utilización de la energía solar va dirigida hacia la síntesis de sacarosa y no de fibra.(9)

La supresión moderada del agua, durante el periodo de cosecha, produce una disminución en el contenido de azúcares reductores, forzando a los tallos a concentrar sacarosa.(3, 4) Al recuperarse la humedad del suelo por las lluvias o por el riego, se puede reiniciar el desarrollo vegetativo del cultivo y con ello se da una inversión en la sacarosa, disminuyendo la calidad de los jugos.(3) Si el contenido de humedad de los suelos es bajo, el contenido hídrico de los entrenudos más jóvenes disminuye y la elongación cae gradualmente y la sacarosa se almacena en mayor proporción. Lluvias durante la cosecha disminuyen el contenido de sacarosa en los tallos.(3, 6)

3. Radiación solar Este factor aporta la energía necesaria para la producción de asimilados (fotosíntesis). La caña de azúcar es uno de los cultivos que mejor la aprovecha, pero además influye en el desarrollo y en el crecimiento del cultivo. la disminución en la intensidad de la luz trae como resultado una reducción en la elaboración y el almacenamiento de azúcares, y una acumulación de almidones en las hojas. Los efectos positivos de este factor en el almacenamiento se expresan a través de su duración y de su intensidad. Las características lumínicas en los meses previos a la cosecha, influyen positivamente en la maduración incrementando la pureza del jugo y los rendimientos fabriles crecen significativamente en el período prezafra.(3, 11)

4. Características edáficas La textura del suelo, puede interferir en el nivel de elongación de la caña. Las texturas arcillosas tienen mayor capacidad de retención de agua que las arenosas. Suelos con altos contenidos de materia orgánica mantienen un índice de crecimiento continuo, lo mismo que suelos donde se realizan aplicaciones de materiales orgánicos.(6)

5. Nivel freático Cuando el nivel es elevado, la planta encuentra una situación semejante al efecto ocasionado por la lluvia (6).

b. Influencia de algunos factores de manejo

1. Nutrición mineral La disponibilidad de nutrientes afecta el crecimiento, el desarrollo y la maduración de la caña de azúcar. Entre los nutrientes que afectan la maduración de la caña se pueden citar:

a. Fósforo Según Buenaventura (3), el fósforo es clave para la buena calidad de los jugos. Se estima que para obtener una buena clarificación en los procesos de obtención de azúcares y en la elaboración de panela, se requiere una concentración mínima en el jugo de 300 mg/lit de P₂O₅. (12) El fósforo tiene gran influencia en los procesos de la fotosíntesis y asimilación de nitrógeno así como en la respiración de las plantas.(3, 9)

b. Potasio Este elemento es esencial en la translocación de azúcares y el normal desarrollo del sistema radicular, pero el exceso ayuda a la formación de almidones.(9) El potasio y su relación con el contenido de nitrógeno afectan el desarrollo del cultivo y su rendimiento. Cuando el contenido de nitrógeno de los tejidos es alto y el de potasio es crítico, la humedad y los azúcares reductores en la planta son altos, la sacarosa y la pureza son bajos y el rendimiento por lo tanto, es menor. A medida que aumenta el contenido de potasio, la humedad y los azúcares reductores bajan y se incrementan la sacarosa y la pureza (1), mejorando la calidad del jugo.

c. Calcio Su principal influencia sobre el proceso de madurez en la caña de azúcar, es la neutralización de los ácidos orgánicos producidos en el metabolismo de la planta, así como su marcado efecto en la asimilación del fósforo. (9)

d. Magnesio Este actúa en el proceso fisiológico de la caña de azúcar como una especie de vehículo de los fosfatos, conduciéndolos a aquellos lugares donde van a ser utilizados por la planta. El potasio puede ser un antagonista del Magnesio al estar el primero en altas cantidades, en suelos arenosos y ácidos.(9)

e. Azufre Es un componente importante de ciertos aminoácidos, que son la base de las proteínas, y en ocasiones se le resta importancia en la nutrición de las plantas.(9)

f. Hierro Según Fors (9) el hierro es posiblemente el elemento menor que la caña de azúcar utilice en mayores proporciones. En suelos ligeramente ácidos no existe problema alguno, pero en las tierras alcalinas y mal drenadas, suelen ocurrir clorosis inducidas. El mismo autor reporta que un análisis de jugos extraídos de cañas muy afectadas por esta clorosis inducida no se obtuvo resultados que indicaran un efecto, de la falta de hierro, sobre la sacarosa o el proceso normal de madurez.

g. Manganeso La disponibilidad de este elemento esta principalmente gobernada por el pH y el contenido de materia orgánica en el suelo.(9)

h. Zinc Este elemento está muy relacionado con el desarrollo de enzimas y reguladores de crecimiento. Al haber deficiencia de este elemento en las plantas tendrían dificultades en la producción de auxinas. Esta deficiencia resultaría en un brote prematuro de las yemas axilares en los

tallos en pie de la caña de azúcar, y tendría cierta influencia en el contenido de sacarosa y en el proceso normal de madurez en la caña de azúcar.(9)

i. Cobre Existen muchas enzimas en la planta que contiene cobre. Estas enzimas oxidan los compuestos orgánicos por la acción del oxígeno molecular; pero no se sabe el efecto que esto pudiese tener en el contenido de sacarosa o el proceso de madurez en la caña de azúcar.(9)

2. Riego Es necesario que en regiones donde se tiene este recurso mantener un buen potencial hídrico a las plantas especialmente en época seca. Así mismo con esta práctica de podrá asociar la de no utilizar excesivas tareas de mecanización que provoquen pérdidas de humedad.(6)

3. Variedad, genotipo y edad de la caña El período de madurez y la cantidad de sacarosa que puede almacenar la caña en sus tallos, son también características varietales. Las variedades de caña reaccionan de distintas maneras a los factores climáticos y agronómicos del lugar.

El contenido máximo de sacarosa puede suceder al inicio de la cosecha, a mediados de la misma, o a fines de zafra, por esta razón algunas variedades tienen la propiedad de mantener sus riquezas durante un largo periodo de tiempo durante la cosecha. Otras, sin embargo, se deterioran rápidamente convirtiendo parte de su sacarosa en azúcares reductores. Estos cultivares son conocidos como: tempranas, intermedias y tardías.

Una correcta distribución de las variedades en función de su modalidad madurativa y considerando las condiciones agroecológicas específicas y un ordenamiento adecuado de la cosecha, resultará de gran incidencia en la producción de azúcar. La edad de la caña también incide en la precocidad de acumulación de sacarosa, observándose en general mayores niveles de azúcar y una maduración más temprana de las socas. Este comportamiento estará condicionado, entre otros factores, por la época de plantación y/o corte, por el manejo y por las condiciones del ciclo. (6)

Durante el periodo de desarrollo de la caña de azúcar, es lógico pensar que la asimilación es mucho más efectiva en los entrenudos más viejos, debido a la inactividad de sus hojas y al menor contenido de humedad. (6)

4. Floración La floración es un proceso natural que ocurre cuando las plantas completan su ciclo vegetativo e inician el período reproductivo. (3) No todas las variedades de caña florecen a la misma edad ya que este periodo de la planta está influenciada por factores genéticos y factores ambientales. Algunas plantas de caña de azúcar pueden llegar a florecer aún cuando no tengan una madurez fisiológica adecuada (no se ha alcanzado la máxima acumulación de sacarosa). Estudios han demostrado que la floración reduce los tonelajes de caña y de azúcar, sobre todo, cuando la cosecha demora varios meses después de la floración. Así mismo la pérdida que se da depende de las variedades. (2) Cuando ocurre la floración, la planta suspende la formación de nuevos entrenudos y promueve la formación de yemas laterales, se inicia, entonces la formación de una médula corchosa en la parte superior del tallo que se extiende hacia abajo, dependiendo principalmente de las condiciones de humedad. En condiciones de sequía, esta médula de corcho ocupa gran parte del

tallo y contiene poco jugo; en consecuencia, cuando los tallos se procesan hay una mayor producción de fibra y bajo rendimiento de azúcar. (2, 6)

Después de ocurrida la floración las planta pueden tener ganancia en peso; debido a que cuando el tallo cambia a un desarrollo reproductivo, los entrenudos inmediatamente debajo del proceso floral todavía se encuentran en un estado tierno y aún desarrollándose la flor, estos se expanden, alargándose y acumulando sacarosa, consecuentemente el tallo se alarga algo más y aumenta la densidad de la caña. (9)

El período de tiempo entre la floración y la cosecha debe ser corto para evitar la formación de médula corchosa y la inversión de la sacarosa. En algunas variedades la inversión de la sacarosa se da antes de la floración y en otras después de la floración. Se ha determinado que el porcentaje de fibra en plantas de caña después de la floración es de 29.8% en los entrenudos superiores. Comparando el porcentaje de fibra en plantas que florecen contra plantas que no florecen se observó un 14% más en los entrenudos superiores de las plantas con flor; lo cual es una cantidad suficiente para reducir la extracción de jugo de la caña en un 17% aproximadamente. (2)

3.1.2 Azúcares simples ó azúcares reductores

Los azúcares son carbohidratos y, como su nombre lo indica, están compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno. Entre los azúcares reductores más importantes en la caña de azúcar están la glucosa y la fructosa que son los componentes esenciales de la sacarosa.

La glucosa (dextrosa) es la más importante en el metabolismo de las plantas y animales. Su fórmula empírica es $C_6H_{12}O_6$. Esta es soluble en etanol e insoluble en éter. Las moléculas de la glucosa se condensan de diferentes maneras para formar almidón, dextrana y celulosa. Es abundante en la caña cuando no está madura. (11, 16, 17)

La fructosa (levulosa) es llamada azúcar de fruta, su fórmula empírica es $C_6H_{12}O_6$. Esta es más dulce que la sacarosa y la glucosa y es la menos abundante en la caña de azúcar, prolifera en las partes de crecimiento de la planta, no así en la parte interior del tallo y las raíces; disminuye en la maduración (9, 16, 17)

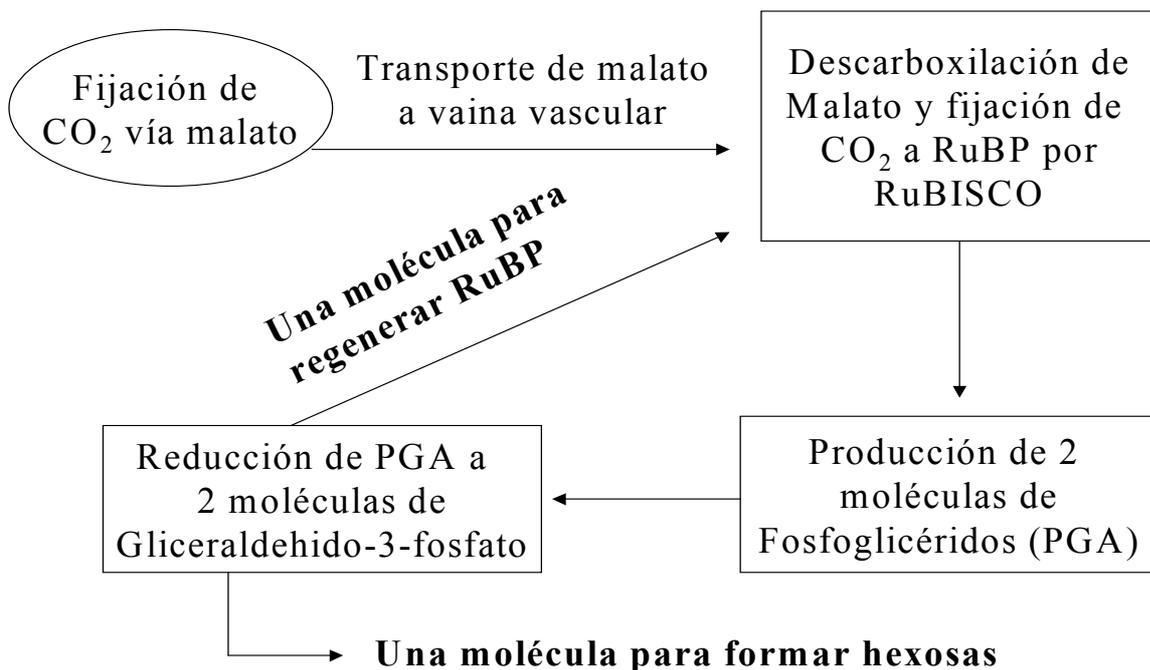
3.1.3 Sacarosa

La sacarosa es un disacárido pues está compuesto por glucosa y fructosa. Al porcentaje de sacarosa en la caña de azúcar se le denomina pol; y el brix es el porcentaje en peso de sólidos disueltos en una solución (incluye tanto a la sacarosa como a los azúcares reductores y otros compuestos). Su formula empírica es $C_{12}H_{22}O_{11}$ Cuando es atacada por ácido o enzimas se hidroliza en sus monosacáridos correspondientes. La sacarosa es el azúcar de uso doméstico e industrial y es el azúcar más común del reino vegetal. La sacarosa se encuentra en todas las partes de la caña de azúcar pero abunda más en los tallos donde se encuentra en las vacuolas de almacenamiento de la

célula (parénquima). La sacarosa es menos abundante en las regiones que se encuentran en crecimiento activo.(9, 17). La producción de sacarosa a partir del jugo de caña se basa en la capacidad que tiene la sacarosa de cristalizarse a partir de un jarabe espeso.

3.1.3.1 Almacenamiento de la sacarosa

La sacarosa constituye normalmente entre el 40- 55% de la materia seca de los tallos maduros. La acumulación del azúcar en los tallos es un proceso derivado del balance durante todo el ciclo entre la capacidad del cultivo para producir azúcares a través de la actividad fotosintética y su consumo para la obtención, mediante la actividad respiratoria, de energía química y estructuras carbonadas. El saldo entre lo producido y lo consumido por el cultivo en cada etapa del ciclo se reflejará en el nivel de sacarosa almacenada, especialmente, en los tallos. El crecimiento y almacenamiento de sacarosa, definirán el potencial azucarero del cultivo dependiendo ambos de la actividad fotosintética. El ritmo de crecimiento de los tallos definirá el volumen total de tejidos disponibles para el almacenamiento, y la tasa de acumulación de sacarosa (maduración) definirá la magnitud del llenado de los mismos. (14) La formación de azúcares reductores los cuales son los precursores de la sacarosa se da mediante la fotosíntesis en las hojas; Figura 1.



Seis ciclos forman una hexosa.

Figura 1. Resumen de la formación de hexosas.

La síntesis de sacarosa es efectuada en las hojas, por la acción de enzimas que actúan sobre los sustratos de hexosas entre estas la UDP-glucosa pirofosforilasa que cataliza la formación de UDP glucosa y la sacarosa-P sintetaza que cataliza la sacarosa-P. La sacarosa es transportada a los tallos y distribuida lateralmente por difusión a través de la pared celular a las células de parénquima de almacenamiento. El almacenamiento se da hasta que la sacarosa se instala en las vacuolas. La inversión de la sacarosa se da por la invertasa ácida si son tejidos en crecimiento o inmaduros y por la invertasa neutra si es en tejidos ya formados y listos para almacenar sacarosa, Figura 2.

Célula de Parénquima

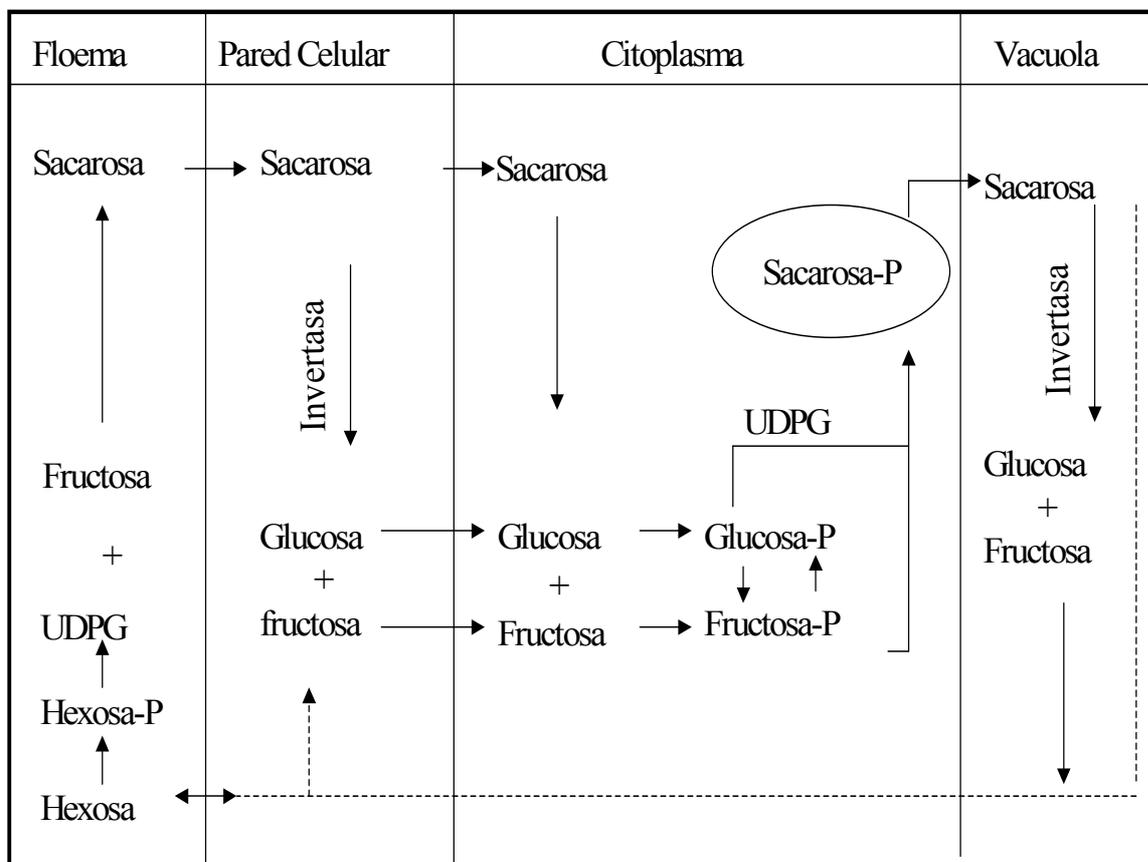


Figura 2. Resumen del ciclo de acumulación de sacarosa.

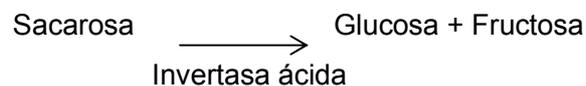
31.3.2 Deterioro de la caña e inversión de los azúcares

La calidad de la caña en el campo tiende a mejorar con la edad, llega a un máximo y luego declina. Cualquiera que sea la calidad en el momento del corte se inicia un rápido deterioro. La caña deteriorada, constituye un hecho reprobable para toda la industria azucarera; ya que los agricultores pierden tonelaje y los procesadores azúcar. (20)

El deterioro antes de la recolección puede deberse a daños causados por las enfermedades, plagas, clima e inversión de la sacarosa. En general el deterioro tiene lugar mediante procesos enzimáticos, químicos y microbianos. La enzima invertasa, que se encuentra naturalmente en la caña, convierte a la sacarosa en azúcares reductores (glucosa y fructosa) disminuyendo así la pureza. La tasa de inversión, que constituye una característica genética que se puede disminuir mediante la selección de variedades, varía a su vez con la temperatura y la humedad, y es más rápida en los períodos cálidos y secos. (14, 17)

El deterioro químico incluye la inversión causada tanto por las condiciones ácidas, las cuales aumentan a medida que se deteriora la caña, como por un efecto secundario de algún tipo de crecimiento microbiano. Los productos microbianos cambian aún más con el tiempo para formar ácidos y compuestos coloreados. (14, 16)

La ecuación del deterioro enzimático es la siguiente: (4)



Las invertasas que intervienen en el proceso de inversión de la sacarosa se mencionaron en la parte de acumulación de la sacarosa. La invertasa ácida la que está en mayores proporciones cuando la planta está en etapa de crecimiento y desarrollo y disminuye su concentración al entrar la planta a la etapa de acumulación de sacarosa o al ir culminando su crecimiento. En este momento entra la invertasa neutra. Los dos tipos de invertasas se encuentran distribuidos en toda la planta inclusive en la vacuola y la concentración varía con la etapa fisiológica en que se encuentre la planta.

3.1.4 Almidón y fenol

El almidón es la sustancia de reserva más grande del reino vegetal. Según investigaciones realizadas, el almidón, afecta la pureza de los jugos y el contenido de sacarosa. (10) Algunas investigaciones han demostrado que el contenido de almidón es una característica varietal con diferencias significativas entre variedades. El almidón provoca dificultad en el proceso industrial de la caña de azúcar, específicamente en la filtración, clarificación y cristalización por lo que la concentración máxima de almidón aceptada en las diferentes variedades de caña es de 60 ppm. (21)

La síntesis y la degradación del almidón están sometidas a la regulación de un cierto número de enzimas, algunas de las cuales pueden desempeñar tanto una función de síntesis como de degradación. Estudios realizados han demostrado que la sacarosa puede funcionar como donante de glucosa en la síntesis de almidón, por lo que algunas variedades pueden continuar la acumulación de almidón a causa de la transferencia de la glucosa que pertenece a la sacarosa (degradación de la sacarosa). Así mismo se ha comprobado que las variedades con un alto porcentaje de sacarosa,

presentan una elevada acumulación de almidón, por lo que la acumulación del almidón en la caña depende de la edad ya que a mayor edad, mayor es el porcentaje de sacarosa y más almidón se acumula.

Los fenoles son compuestos que producen coloración en el azúcar. Estos compuestos se acumulan en la caña de azúcar generalmente en la punta de la misma. No se sabe que efecto tiene en la maduración pero si que son compuestos que en altas concentraciones disminuyen la calidad del azúcar ya que a mayor cantidad de fenoles en la caña, mayor coloración del azúcar y menor es su calidad.

3.1.5 Dinámica del almacenamiento de la sacarosa, azúcares reductores, fenoles y almidones

En las etapas iniciales del ciclo no se almacena sacarosa, iniciándose su acumulación con la diferenciación y el cese de la elongación de los entrenudos basales, continuando dicha concentración hasta que los tallos alcanzan su completo desarrollo. Cuando el crecimiento vegetativo disminuye, el contenido de azúcar en los tallos alcanzará su máximo. El almacenamiento es un fenómeno progresivo y continuo. (7, 10)

El aumento de la concentración de los azúcares reductores es el proceso inverso a la acumulación de sacarosa, iniciándose desde las primeras etapas del ciclo de vida de la planta y disminuyendo conforme la sacarosa se va acumulando, ya que estos son precursores de la sacarosa. Luego de que la sacarosa alcanza su máxima acumulación empieza a declinar (degradarse) transformándose nuevamente en sus precursores iniciales los azúcares reductores los cuales comienzan a incrementarse.

Los fenoles se encuentran en las partes en crecimiento de la caña y la cantidad de fenoles presentes en la caña depende de la variedad que se trate. Los almidones por ser sustancias de reserva se acumulan generalmente en épocas críticas, aumentando su concentración conforme aumenta la concentración de sacarosa.

3.1.6 La fibra en la caña de azúcar y su relación con el contenido de sacarosa

El contenido de fibra, al igual que el de sacarosa, muestra un aumento desde el ápice a la base y varía inversamente con el contenido de humedad de los tallos. La acumulación de fibra decrece más rápidamente que los sólidos solubles (azúcares y otros compuestos), con el efecto de factores que hacen lento el crecimiento. La dinámica de almacenamiento de la sacarosa se puede representar en cuatro fases:

a. Fase 0 Se caracteriza por presentar ritmos crecientes de elongación, una baja tasa de producción de fibra y el almacenamiento de sacarosa aún no comienza. (19)

b. Fase I Incluye la etapa de gran crecimiento del cultivo, se manifiestan las máximas tasas de elongación y la producción de fibra aumenta marcadamente hasta alcanzar su máximo ritmo. En

cambio la producción de sacarosa recién comienza, con tasas bajas y crecientes. El ritmo de producción de fibra supera marcadamente al de sacarosa. Existe un gran contenido de nitrógeno, agua, azúcares reductores. La respiración es muy activa y la sacarosa rápidamente sintetizada, no así almacenada. Conforme se va completando el crecimiento y desarrollo de la planta se va acumulando la sacarosa. Esta fase termina con la culminación de la elongación de los entrenudos.(19)

c. Fase II Se observa una disminución del ritmo de crecimiento en altura de los tallos y coincidentemente una disminución de la producción de fibra, lo que permite que el almacenamiento de azúcar alcance su máximo ritmo. Esta fase está gobernada por factores genéticos y ecológicos, además está controlada por enzimas invertasas, comprobándose que durante este período aumenta notablemente la actividad de las invertasas neutras (favorecen el almacenamiento) y decae la actividad de las invertasas ácidas (desdoblan la sacarosa), comportamiento asociado con la disminución de la temperatura y de la humedad de los tejidos. (19)

d. Fase III Aquí cae progresivamente la acumulación de azúcar mientras cesa la elongación de los tallos, observándose que la producción de fibra supera el almacenamiento de sacarosa. Aquí se observa un notable decrecimiento del contenido de agua de los tallos, lo que favorece la concentración de la sacarosa y un aumento de la calidad tecnológica. (19)

Quando se procesa una caña con alto contenido de fibra, la extracción será menor para el mismo proceso de molienda. Para un porcentaje de fibra del 10%, la extracción será del 95% y una reducción de alrededor del 0.6% sucede por cada incremento adicional de fibra del 1%.(7)

3.2 Marco referencial

3.2.1 Ubicación del área La finca Camantulul se encuentra en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla; a una latitud de 14°19' y a una longitud oeste de 91°03', la altura es de 280 msnm. (10)

La investigación se realizó dentro de la finca Camantulul, en el laboratorio de química. Las parcelas experimentales se localizaron en el lote número cuatro de dicha finca.

3.2.2 Características climatológicas del área

En la Estación Climatológica de CENGICAÑA (1) que se encuentra ubicada en la finca Camantulul, se han registrado los datos de clima siguientes:

a. Temperatura

La temperatura máxima media es de 32.24°C y la temperatura mínima media es de 19.5°C. (Estación climatológica de CENGICAÑA) (1)

b. Precipitación

La precipitación del lugar tiene una media de 3,614 mm al año. (Est. climatológica de CENGICAÑA) (1)

c. Humedad relativa

La humedad relativa media tiene un máximo del 92% y la mínima media de 50.8%. (Est. climatológica de CENGICAÑA) (1)

d. Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial del área tiene una media de 4.3 mm por mes. (Est. climatológica de CENGICAÑA) (1)

e. Velocidad del viento

La velocidad del viento es de 3.3 Km/hr en promedio. (Est. climatológica de CENGICAÑA) (1)

3.2.3 Características del relieve y del suelo

El terreno tiene una pendiente del 5%. El suelo en el estrato de 0-30 cms tiene un pH de 10.5 un porcentaje de materia orgánica de 5.07 y una CIC de 33.3%. En el estrato de 30-60 cm posee un pH de 10.6, un porcentaje de materia orgánica 4.23% y una CIC de 31.9%. (10)

Los suelos pertenecen a la serie Camantulul (C1) (según la clasificación de Simmons) (22), son originados de cenizas volcánicas cementadas de color oscuro, drenaje interno moderado con un color café oscuro a café muy oscuro, textura franco arcillosa, consistencia friable y un espesor aproximado de 25 cms.

Según el estudio semidetallado de los suelos de la zona cañera del sur de Guatemala elaborado por el departamento de investigación de suelos de CENGICAÑA, los suelos de la finca pertenecen al subgrupo Typic Hapludans, los cuales son poco evolucionados de perfil ABC y AC, de colores oscuros humíferos de baja densidad aparente, de consistencia friable suelta, desarrollados esencialmente sobre materiales amorfos con alta retención de fósforo. (10)

La clasificación de los suelos es la siguiente: medual sobre arcillosa, conjunto tapexcos, número de perfil modal p-44 y su simbología en el mapa de clasificación es TGb2. (10)

3.2.4 Variedades a evaluar y sus características

a. CP-722086 Es una variedad intermedia, con hábito de crecimiento erecto, con un 75% de floración y muy utilizada en la zona cañera por su crecimiento y producción. Tiene una capacidad de amacoyamiento intermedia, tipo de nudo obconoidal y yema redonda con poro germinativo central. Su entrenudo mide 3 cms de diámetro y 16 cms de largo aproximadamente. (18)

b. MEX-68p23 Esta variedad tiene hábito de crecimiento inclinado, es una variedad tardía, con una capacidad de amacoyamiento pobre y por lo regular no llega a la floración. El nudo es de tipo cilíndrico al igual que la forma del entrenudo. El entrenudo mide 3 cms de diámetro y 12 cms de largo aproximadamente. La yema es ovalada con alas ensanchadas hacia el ápice. (18)

c. CP-721210 Es una variedad temprana por lo cual tiene un 90% de floración, hábito de crecimiento inclinado y un amancebamiento intermedio. El tipo de nudo que presenta es de cono en el lado opuesto, el entrenudo es cilíndrico en forma de zigzag ligeramente, tiene 2 cms de diámetro y 20 cms de longitud aproximadamente. La yema es con punta pentagonal. (18)

d. CP-721312 Es una variedad temprana, con hábito de crecimiento inclinado, amacoyamiento intermedio, la floración es del 90%. El nudo es de cono en el lado opuesto y con una protuberancia intermedia. El entrenudo es cilíndrico en forma de zigzag, con un diámetro de 2 cms y una longitud de 15 cms aproximadamente. La yema es ovalada con alas ensanchada hacia el ápice. (18)

e. CP-731547 Es una variedad temprana, con una capacidad de amacoyamiento intermedia pero con escaso follaje, su floración es del 75% aproximadamente. El nudo es cilíndrico y medianamente protuberante, su entrenudo es constreñido en forma de zigzag, con 3 cms de diámetro y 15 cms de largo. La yema es medianamente redonda en su ápice. (18)

4. Objetivos

4.1 General

Conocer más 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 (Saccharum spp.), en caña plantilla, en las variedades CP-722086, CP-721312, CP-721210, CP-731547, MEX-68p23 entre los siete y dieciocho meses de edad.

4.2 Específicos

1. De los compuestos investigados determinar cuales tienen relación con la acumulación de la sacarosa.
2. De los compuestos investigados determinar cuales tienen relación con la inversión de la sacarosa.
3. De los compuestos investigados determinar cuales no tienen relación con la producción e inversión de la sacarosa.
4. Determinar la etapa fenológica del cultivo en que se da la máxima acumulación de sacarosa.

5. Hipótesis

1. Todos los compuestos investigados influyen directamente sobre la acumulación de la sacarosa en caña de azúcar
2. La máxima acumulación de los compuestos químicos investigados ocurre durante la misma etapa fenológica, en las cinco variedades de caña evaluadas.

6. Metodología

6.1 Establecimiento de parcelas en el campo

1. Se establecieron 5 parcelas, cada una de las parcelas poseía una sola variedad. Las parcelas se distribuyeron al azar, quedando la ubicación de las variedades de la manera siguiente: Parcela 1 CP-722086, parcela No. 2 MEX-68p23, parcela No.3 CP-721210, parcela No. 4 CP-721210, parcela No. 5 CP-731547.
2. Las parcelas tenían las mismas dimensiones, las cuales son: 10 m de largo por 7.5 m de ancho, lo que hace una parcela de 75 metros cuadrados. Cada parcela tenía 6 surcos con un distanciamiento de 1.5 m entre surco. La separación existente en cada parcela fue de 3 metros. Cada parcela estuvo compuesta de 3 repeticiones, de la misma variedad, habiendo un total de 15 repeticiones por todas las parcelas. Las repeticiones estuvieron constituidas de 6 surcos cada una, es decir que el surco de cada repetición tiene 3.33 m de largo.

6.2 Toma de muestras

1. Los muestreos se realizaron cada 30 días, a partir de los seis meses de edad hasta los 18 meses.
2. La forma en que se realizaron los muestreos fue la siguiente: Los surcos de las orillas se tomaron como bordes (se descartaron), quedando únicamente 4 surcos para realizar la toma de muestras. De cada parcela se tomó una muestra por repetición, lo que hacía un total de 3 muestras por parcela.
3. En cada muestreo se tomó 0.5 m lineales en cada repetición como muestra, cortando toda la caña que ocupaba ese espacio, la cual fue utilizada para realizar los análisis pertinentes.
4. Únicamente se tomó la caña, y se desecho hojas y puntas.
5. Estas muestras se identificaron colocando etiquetas que indicarán el número de parcela, variedad y repetición por parcela.
6. Las muestras fueron llevadas a la picadora de caña donde se molieron repetición por repetición.
7. De la caña picada se tomo 100 gr para determinar la humedad del tallo y otros 100 gr para determinar calorías.
8. De cada muestra picada o molida se extrajo el jugo, obteniéndose al final una muestra de jugo por muestra de caña picada, mas una muestras de jugo adicional (duplicado) por si se necesitara.
9. El bagazo sin jugo de cada muestra (torta) se utilizó para determinar el porcentaje de fibra.

10. El jugo se utilizó para determinar: brix, pol, fenoles, almidones, pH, fósforo(P), potasio(K), calcio(Ca), magnesio (Mg), cobre (Cu), zinc(Zn), sodio (Na), manganeso (Mn), hierro, y azúcares reductores.

6.3 Análisis de laboratorio

6.3.1 Metodología para el análisis de azúcares reductores (8)

1. Se tomó 50 gr de jugo de caña en un balón de 200 ml, luego se aforo con agua destilada. Luego se agregó 1 gr de subacetato de plomo para clarificar el jugo. Si el jugo no se clarificaba se agregaba un gramo extra de subacetato de plomo para clarificarlo, luego se agitaba y se filtraba. Al tener la muestra ya clarificada, se pondrá en una bureta de 50 ml. Luego en un erlen meyer de 250 ml se colocó 5 ml de solución Felling "A" y 5 ml de Felling "B" y 50 ml de agua destilada, a esto se le dejó caer de 5 ml de jugo ya clarificado.
2. Se colocó toda la mezcla en una plancha caliente, y se dejó ebullición por aproximadamente 3 a 5 minutos. Después se le colocó 3 gotas de azul de metileno, y se tituló con el resto del jugo hasta obtener un color rojo ladrillo.
3. Para analizar el porcentaje de los azúcares reductores se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Az. Red.} = 200 * \text{Factor de Felling} / \text{ml gastados} * 2.$$

6.3.2 Metodología para el análisis de sacarosa (Pol) (8)

1. Después de extraer el jugo de las muestras se tomó un volumen de 200 ml de ese jugo.
2. Los 200 ml se depositaron en un recipiente de 300 ml el cual contenía 2 gr de subacetato de plomo.
3. Se homogeneizó el subacetato con el jugo y luego se filtró la mezcla.
4. Se tomó el filtrado, el cual se utilizó para determinar el porcentaje de sacarosa presente en la muestra.
5. El porcentaje de sacarosa o pol se determinó mediante el polarímetro.
6. Para determinar la pol únicamente se tomó la lectura que aparece en el polarímetro en cada muestra, sabiendo que una lectura de 100 en el polarímetro representa aproximadamente 26% de sacarosa.
7. Antes de tomar las lecturas, el polarímetro se calibró con un cristal de cuarzo y se tomó la temperatura a la que se encuentra para así poder determinar el porcentaje real de sacarosa.
8. La fórmula para determinar el porcentaje de sacarosa a través de la lectura de pol es la siguiente:

$$\% \text{ de sacarosa} = ((\text{pol del polarímetro} * 0.2354) + 504) * 0.8581$$

6.3.3 Metodología para análisis de (pH) (8)

1. Se tomó un poco de jugo de cada muestra en recipientes de 100 ml.
2. Se calibró el potenciómetro con solución de pH neutro.
3. Se lavó el electrodo con agua destilada y se introdujo en cada una de las muestras de jugo, teniendo el cuidado de ir lavando el electrodo con agua destilada después de haberlo introducido en cada uno de las muestras de jugo.
4. Se tomó la lectura del pH que indicó el potenciómetro.

6.3.4 Metodología para el análisis de humedad del tallo (5)

1. Se tomó 100 gr de fibra de caña de azúcar sin extraerle el jugo.
2. Se colocó en sartenes de aluminio y se introdujo al horno a 105°C durante 24 horas.
3. Al estar completamente secas las muestras, se sacaron del horno y se tomó el peso seco en la balanza analítica.
4. Se utilizó la siguiente fórmula para la determinación del porcentaje de humedad:

$$\% \text{ de Humedad } h = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} * 100$$

6.3.5 Metodología para el análisis del porcentaje de fibra (método de Tanimoto)

1. Se le extrajo el jugo a 500 gramos de fibra. A la torta que quedó sin el jugo se le tomó el peso.
2. La torta se colocó en un horno a 65°C hasta que se eliminó todo el contenido de humedad.
3. Al haberse eliminado todo el contenido de humedad de la torta se sacó del horno y se tomó nuevamente el peso.
4. El porcentaje de fibra se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Fibra} = \frac{(100 * \text{Peso de la torta seca}) - (\text{Peso de torta húmeda} * \text{Brix})}{5 (100 - \text{Brix})}$$

6.3.6 Metodología para el análisis de almidón (15)

1. Se tomó en un tubo de ensayo de una solución de almidón de papa 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 ml y se completó con agua destilada hasta 1 ml.
2. A cada tubo de ensayo se le adicionó 1.25 ml de ácido acético glacial 2N, 0.25 ml de yoduro de potasio al 10% y 2.5 ml de yodato de potasio 0.0017N, para desarrollo de color. Estas muestras fueron la curva estándar para poder analizar las muestras de jugos.
3. Así mismo se obtuvo un blanco el cual no tenía nada de almidón de papa, únicamente los reactivos indicados anteriormente en las cantidades ya dichas.
4. Estas muestras se leyeron en el espectrofotómetro de luz visible, determinando la absorbancia y las partes por millón.
5. Luego de haber determinado la curva se procedió a leer las muestras de jugo para determinar las partes por millón.
6. Para poder leer las muestras de jugo de caña, se tuvieron que hervir durante 5 minutos, después de lo cual se filtraron y se diluyeron.
7. Se tomaron alícuotas de 1 ml de jugo y se agregaron los mismos reactivos que se le agregaron al almidón de papa en las mismas concentraciones y se procedió a leer en el espectrofotómetro de luz visible.

6.3.7 Metodología para el análisis de fenoles (método CENICAÑA-Colombia) (15)

1. Se pesaron 0.1 gr de ácido cafeico en 100 ml de agua destilada; y se calentó un poco para diluir mejor. La concentración de esta solución fue 1000 ppm.
2. Se tomó 10 ml de la solución de 1000 ppm y se aforo en un balón volumétrico a 100 ml y se obtuvo una solución final de 100 ppm.
3. Se diluyó y se prepararon los estándares de acuerdo al cuadro siguiente:

Cuadro 1. Estándares para calibración de fenoles:

Vol. de sol. Patrón	Vol. Final*	Concentración
		Fenol (pum) en sol.
0	100	0
1	100	1
2	100	2
3	100	3
4	100	4
5	100	5
6	100	6
7	100	7
8	100	8
9	100	9
10	100	10
11	100	11
12	100	12

*Se completó el volumen con agua destilada.

4. Una vez preparada las soluciones anteriores, se transfirieron 4 ml de cada uno de ellos a tubos de ensayo.
5. Se adicionó 0.4 ml de reactivo folin y 0.8 ml de NaOH 2N (8 gr de NaOH en 100 ml de agua).
6. Se agitó durante 5 minutos hasta desarrollar color.
7. Se leyó la absorbancia de cada patrón, contra las concentraciones a 650 nm, y se utilizó un blanco (0 ppm) como referencia.
8. Las muestras de jugo se prepararon de la siguiente manera:
9. Se tomó jugo de caña y se diluyó hasta 50 ml con agua destilada.
10. Se tomó 4 ml de la solución diluida y finalmente se adicionaron los reactivos y se continuó con el procedimiento descrito para los estándares.
11. Los niveles de fenol se obtuvieron del gráfico de calibración, teniendo en cuenta el factor de dilución. (El factor de dilución para jugos es 50).

6.3.8 Metodología para la determinación de elementos mayores: calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), y elementos menores, cobre (Cu), cinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn). (Método de incineración en seco) (5, 15)

6.3.8.1 Procedimiento para la obtención de la solución de cenizas

1. Se agregó 5 ml de jugo de caña dentro de un crisol previamente tarado y se colocó en un horno a 105°C, durante 3 horas aproximadamente.
2. Luego se colocó los crisoles en la mufla a una temperatura de 550-600 °C por toda la noche; inmediatamente se procedió a retirar los crisoles de la mufla y se introdujeron en la desecadora, se enfriaron, se pesaron de nuevo y se anotó el peso de las cenizas.
3. Después de pesar las cenizas, se agregó 5 ml de la solución de HCl (1:1) a cada crisol y se calentó hasta sequedad en una estufa de disco plancha de calentamiento a baja temperatura, por aproximadamente 2 horas.
4. Se agregarán otros 5 ml de HCl (1:1) y se calentó suavemente, aproximadamente por 5 minutos. Se filtró la solución ácida de cenizas a través de papel filtro. El filtrado cayó a un balón aforado de 100 ml.
5. Luego se procedió a lavar la ceniza insoluble del papel filtro con agua desmineralizada utilizando para ello una pizeta. Se lavó bien el crisol con agua destilada y se agregó el lavado del papel filtro en el embudo, por último se llevó a volumen de 100 ml con agua desmineralizada. Esta solución es la que se utilizó para la determinación de calcio, magnesio, potasio, fósforo, cobre, cinc, hierro y manganeso.
6. Se preparó una muestra blanco, la cual contuvo únicamente ácido clorhídrico. (Para preparar esta muestra, se colocó 5 ml de HCl en un crisol y se calentó hasta sequedad, luego se agregó otros 5 ml y se calentó suavemente por 5 minutos; luego se colocó el ácido en un balón de 100 ml, lavando bien el crisol con agua destilada, dejando caer el lavado en balón y luego se aforo.

6.3.8.2 Método para el análisis de fósforo (BRAY Y KURTZ No. 2)

1. Para el análisis de fósforo se prepararon las siguientes soluciones de trabajo.
2. Primero, se preparó la solución patrón A. Para preparar la solución A se pesaron 60 g de molibdato de amonio en 200 ml de agua doblemente destilada. Se agregó 1.455 gr de tartrato de antimonio y potasio y se disolvió; luego se agregó lentamente y con agitación suave 700 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado. Se enfrió la solución y se diluyó con agua doblemente destilada a volumen de 1 lt.
3. De segundo se preparó la solución patrón B. Se pesó 132 gr de ácido ascórbico, y se disolvió en agua destilada, y se completó a 1 lt.

4. La tercera solución fue la solución de trabajo: (Se debe preparar el mismo día en que se harán los análisis). Se preparó con base en las soluciones patrón A y B; de la forma siguiente: se tomaron 25 ml de la solución A y se transfirieron a un balón de 1 lt, se agregaron 800 ml de agua destilada, y se mezclaron; luego se agregaron 10 ml de la solución B y se completó el volumen a un litro con agua destilada.
5. La cuarta solución, la solución estándar de fósforo. Se pesaron 0.2195 gr. de fosfato deshidrogenado de potasio cristalizado, previamente secado durante una hora a 105 °C. Se diluyó la sal en un matraz volumétrico de 1 lt. y se completó a volumen. La concentración de esta solución fue 50 ppm de P.
6. De la solución anterior, se tomaron alícuotas de 2.5, 5.0, 10.0, 20.0, 30.0, 40.0, y 50.0 ml y se diluyeron cada una de ellas a un volumen de 250 ml con agua destilada. Así se obtuvo soluciones cuyas concentraciones respectivas fueron de 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 y 10.0 ppm, con las cuales se determinó la curva patrón para fósforo.
7. De la solución de cenizas preparada (ver inciso 8.3.11.1) se tomó 1 ml de cada una de las muestras, incluyendo el blanco preparado, se agregaron a un tubo de ensayo, y se les agregó 9 ml de la solución de trabajo. De la misma forma, en otros tubos de ensayo, se tomó 1 ml de cada uno de los puntos de la curva de fósforo, y se les agregó 9 ml de la solución de trabajo.
8. A dichas soluciones se les leyó la absorbancia en un espectrofotómetro, usando una longitud de onda de 660 nm. Con estas lecturas se elaboró un gráfico, en el cual la ordenada representó las lecturas de absorbancia de las distintas muestras, y la abscisa representó la concentración de fósforo en ppm. Con este gráfico se pasó directamente la lectura del espectrofotómetro, a partes por millón de fósforo (PPM de P) en la solución, durante el análisis de la muestra.
9. El porcentaje de fósforo disponible en las muestras se calcula así:

$$\% P \text{ muestra} = (\text{ppm } P \text{ muestra} * 100 \text{ ml} * 0.0001) / \text{peso muestra}$$

6.3.8.3 Preparación de la curva de calibración de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K)

A partir de una solución de 100 ppm de calcio, otra de 100 ppm de magnesio y otra de 100 ppm de potasio se preparó los puntos de la curva de calibración, y se agregó a cada punto de la curva 10 ml de la solución de HCl (1:9), y luego se diluyó a 100 ml con la solución de lantano. La curva de calibración para calcio magnesio y potasio, quedó como se indica en los cuadro 2, 3 y 4.

Cuadro 2. Curva de calibración para la determinación de calcio (Ca)

Volumen de solución <u>100 ppm (mg/l) Ca</u>	Vol. final con <u>lantano</u>	Concentración de calcio	
		<u>En solución</u>	<u>En muestra</u>
ml	ml	ppm Ca (mg/l)	%Ca
0.0	100	0.0	0.0
0.5	100	0.5	0.1
1.0	100	1.0	0.2
2.0	100	2.0	0.4
4.0	100	4.0	0.8
8.0	100	8.0	1.6
10.0	100	10.0	2.0

Cuadro 3. Curva de calibración para la determinación de Magnesio

Volumen de solución <u>100 ppm (mg/l) Ca</u>	Vol. final con <u>lantano</u>	Concentración de magnesio	
		<u>En solución</u>	<u>En muestra</u>
ml	ml	ppm Mg (mg/l)	%Mg
0.00	100	0.00	0.00
0.25	100	0.25	0.05
0.50	100	0.50	0.10
1.00	100	1.00	0.20
2.00	100	2.00	0.40
4.00	100	4.00	0.80
8.00	100	8.00	1.60

Cuadro 4. Curva de calibración para la determinación de Potasio

Volumen de solución <u>100 ppm (mg/l) Ca</u>	Vol. final con <u>lantano</u>	Concentración de potasio	
		<u>En solución</u>	<u>En muestra</u>
ml	ml	ppm K (mg/l)	% K
0.00	100	0.00	0.00
0.25	100	0.25	0.05
0.50	100	0.50	0.10
1.00	100	1.00	0.20
5.00	100	5.00	1.00
10.00	100	10.00	2.00
20.00	100	20.00	4.00

Determinación de calcio, magnesio y potasio

1. Para determinar calcio, magnesio y potasio, se diluyó la solución obtenida de las cenizas con la solución de lantano en una proporción de 1 ml de de solución de cenizas y 9 ml de solución de lantano y se leyó en el equipo de absorción atómica.
2. Las condiciones de trabajo para la lectura de calcio y magnesio en espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, modelo 3100, fueron: Longitud de onda 423.3nm, apertura de la rejilla (slit) 0.7 nm, tipo de llama aire-acetileno (oxidante), quemador aire-acetileno.
3. Para determinar el potasio, en la solución de cenizas y en las curvas patrón, se trabajó por emisión y no por absorción atómica.
4. Como no se utilizó lámpara para la lectura de potasio, entonces se procedió a llevar el equipo a su máxima energía con el punto más alto de la curva de calibración, en este caso correspondió al de 20 ppm.
5. Las condiciones en las cuales se trabajó para leer el Potasio por emisión en el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, modelo 3100, fueron las siguientes: Longitud de onda 767.2 nm, apertura de la rejilla (silo) 0.7 nm, tipo de llama aire-acetileno (oxidante), quemador aire-acetileno.
6. La expresión de los resultados de la concentración de calcio en la muestra de jugos expresada en porcentaje (%) fue así:

$$\% \text{ Ca, Mg y K} = (\text{ppm sol. Muestra} - \text{ppm sol blanco}) * \frac{0.001 \text{ g}}{1 \text{ mg}}$$

$$\frac{100 \text{ ml}}{\text{peso } 0.5 \text{ ml muestra}} * \frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ ml}} * 100 * 10 \text{ dilución}$$

$$\% \text{ Ca, Mg y K} = \frac{(\text{ppm sol. Muestra} - \text{ppm sol. Blanco}) * 0.10}{\text{peso de la muestra}}$$

6.3.8.6 Determinación de hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y cinc (Zn)

1. Se preparó soluciones con una concentración de 100 ppm (mg/l) de Fe, Cu, Mn y Zn, y se tomaron 10 ml, llevándose a volumen de 100 con HCl (1:9), quedando una solución de 10 ppm, a partir de la cual se prepara la curva patrón.
2. El volumen final de cada punto de la curva patrón se completó a 100 ml con la solución de HCl (1:9).
3. Las soluciones de cenizas a analizar se leerán directamente, de haber necesidad de hacer dilución, se utilizará como diluyente la solución de HCl (1:9).
4. Las curvas de calibración para estos elementos, quedaron como sigue:

Cuadro 5. Curva de calibración para la determinación de Cu y Zn

Volumen solución 100 ppm de Cu y Zn	Vol. final con Sol. HCl (1:9)	Concentración de Cu y Zn	
		En la Solución	En muestra
ml	ml	ppm (mg/lit.)	ppm (mg/Kg)
0.00	100	0.00	0.00
0.50	100	0.05	10.00
1.00	100	0.10	20.00
2.00	100	0.20	40.00
4.00	100	0.40	80.00
8.00	100	0.80	160.00
10.00	100	1.00	200.00
20.00	100	2.00	400.00

Curva 6. Curva de calibración para la determinación de Fe y Mn

Volumen solución 10 ppm de Fe y Mn	Vol. final con Sol. HCl (1:9)	Concentración de Fe y Mn.	
		En la Solución	En muestra
ml	ml	ppm (mg/lit)	ppm (mg/Kg)
0.00	100	0.00	0.00
0.50	100	0.05	10.00
1.00	100	0.10	20.00
5.00	100	0.50	100.00
10.00	100	1.00	200.00
20.00	100	2.00	400.00
40.00	100	4.00	800.00
60.00	100	6.00	1200.00

- Las condiciones de trabajo para la lectura de Cobre, Zinc, Hierro y Manganese en el espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer, Modelo 3100, fueron las siguientes:

	Cu	Zn	Fe	Mn
Longitud de onda (nm)	325.2	214.3	249.1	280.2
Apertura rejilla (slit)-(nm)	0.7	0.7	0.2	0.2
Tipo de llama:	Aire – Acetileno. (oxidante)			
Quemador:	Aire - Acetileno.			

- Los cálculos y expresión de resultados de la concentración de cada uno de los elementos menores, Cu, Zn, Fe, y Mn se expresaron en ppm (mg/Kg) y se calculó de la siguiente forma:

$$\text{ppm de Cu, Zn, Fe ó Mn} = (\text{ppm sol. muestra} - \text{ppm sol. blanco}) * \frac{1 \text{ mg}}{1000 \text{ ml}} *$$

$$\frac{100 \text{ ml sol. cenizas}}{0.50 \text{ g muestra}} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}}$$

$$\text{ppm de Cu, Zn, Fe ó Mn} = \frac{\text{ppm muestra} - \text{ppm blanco} * 100}{\text{peso de la muestra}}$$

7. Resultados y discusión

Todos los resultados obtenidos a través de los análisis de laboratorio, según la metodología ya expuesta, fue analizada por medio del coeficiente de determinación, ya que lo que se buscó en esta investigación fue determinar la relación (ya sea positiva, inversa o nula) que los compuestos y elementos analizados tienen con la variación de la concentración de sacarosa y no se pretendió hacer una predicción de dicha concentración con base a los compuestos y elementos analizados. Es por ello que no se realizó ningún tipo de regresión en el análisis. En cada una de las gráficas, se muestra el coeficiente de determinación de cada elemento analizado, así como la gráfica de tendencia de la sacarosa que representa la media del resultado de todas las variedades, esto con el fin de comparar más fácilmente el comportamiento de la sacarosa con respecto al resto de elementos.

Así mismo, los meses 14 y 15 de edad de la planta, hubo dificultad con la realización de los análisis de las muestras, por lo que no se tienen resultados de esos meses, pero como se dijo anteriormente, el objetivo de este estudio no es la predicción, es determinar la relación entre los compuestos y elementos. De tal forma, esta discontinuidad no afecta los objetivos del estudio.

Como se indica en la metodología, cada variedad contaba con tres repeticiones dentro de una misma parcela. Cada repetición de cada variedad fue sometida a los diferentes análisis de laboratorio y los datos obtenidos de las tres repeticiones de cada variedad se promediaron para obtener un dato único por variedad (estos resultados promedio de cada variedad, se pueden observar en la parte de anexos en los cuadros del 1 al 17).

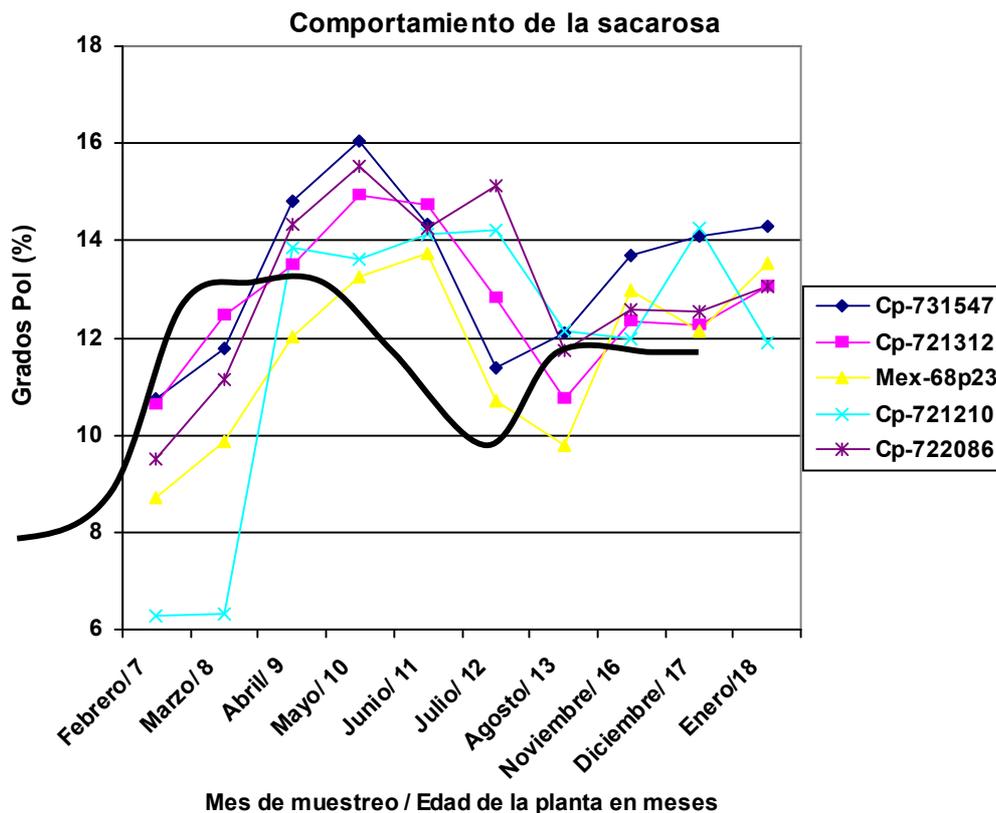
A continuación, se podrá observar los valores del coeficiente de determinación, de cada variedad en el cuadro 7, el cual es la base de discusión de los resultados. Este cuadro se discutirá y se interpretará a la vez que se vayan presentando las gráficas de cada variable. -El cuadro se muestra en la siguiente página.-

Cuadro 7. Coeficiente de Determinación (r)

Variables	Variedad				
	Cp-731547	CP-721312	MEX 68p23	CP-721210	CP-722086
Pol	Pol	Pol	Pol	Pol	Pol
Pol	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Azúcares Reductores	-0.30	-0.55	-0.61	-0.76	-0.64
pH	-0.50	-0.25	-0.37	-0.04	-0.86
Fenoles	0.09	0.40	0.48	0.03	-0.19
Almidones	-0.35	-0.10	-0.10	0.40	0.24
Humedad del tallo	-0.63	-0.87	-0.68	-0.33	-0.79
Fibra	0.77	0.65	0.65	0.03	0.66
Fósforo	-0.12	-0.28	-0.54	0.20	-0.38
Potasio	0.02	0.30	0.14	0.18	-0.55
Calcio	-0.33	-0.31	-0.08	0.11	-0.10
Magnesio	-0.20	0.00	-0.32	0.02	-0.19
Cobre	-0.09	-0.25	-0.48	-0.71	-0.74
Zinc	-0.11	0.07	-0.55	0.04	-0.01
Hierro	-0.24	-0.32	-0.07	0.29	0.12
Manganeso	-0.04	-0.24	-0.51	-0.34	-0.04

Este coeficiente de determinación nos indica el grado de relación que existe entre el Pol que es la cantidad de sacarosa en la caña y los demás compuestos y elementos estudiados, los datos positivos serán mencionados como una relación positiva y los datos negativos como una relación inversa. En el coeficiente de determinación, mientras los valores estén más cerca de uno ("1") la relación es más fuerte.

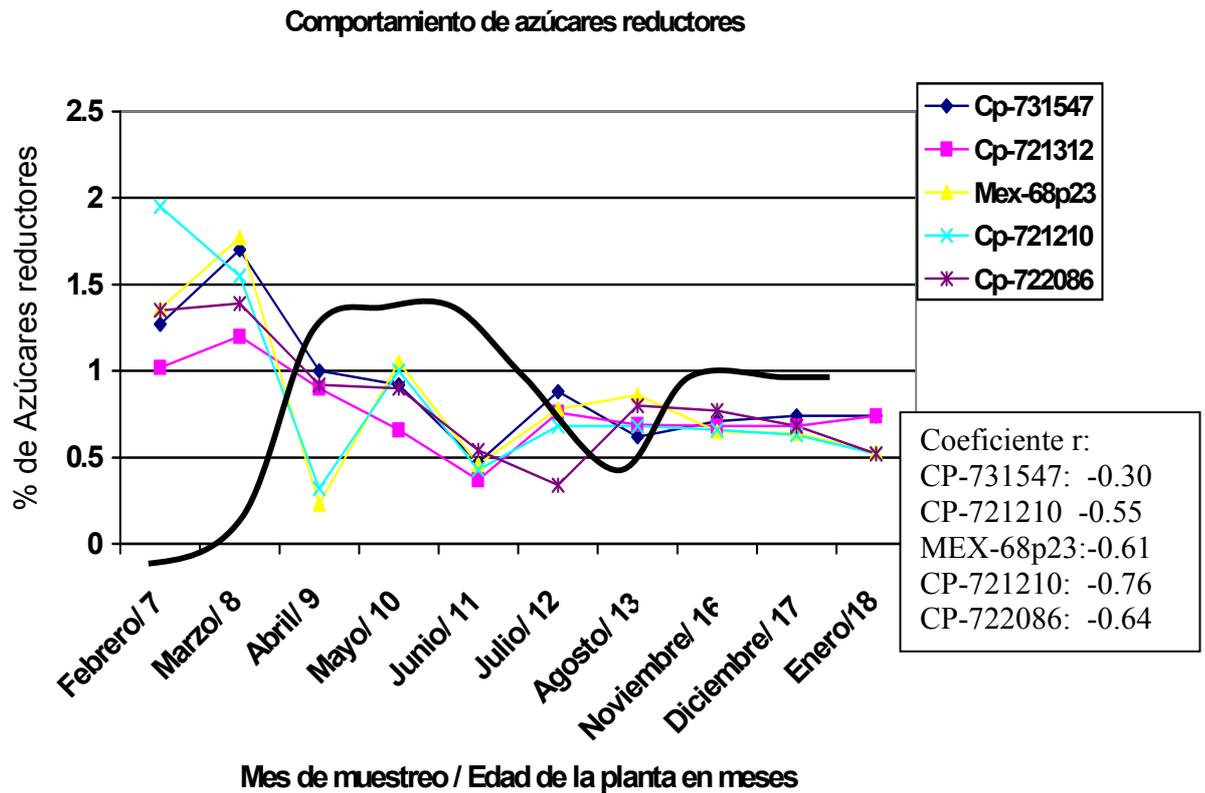
Siendo los azúcares reductores los precursores de la sacarosa, se discutirá primeramente esta relación. La relación existente, entre la sacarosa y los azúcares reductores es inversa en todas las variedades, según nos muestra el coeficiente de determinación, ya que a medida que aumenta la concentración de sacarosa, disminuye la concentración de azúcares reductores y viceversa. La variedad CP-731547, es la que presenta un mayor valor de "r" y la CP-721210 presenta un menor valor según se puede apreciar en el cuadro 7, lo cual indica que en la variedad CP-721210 pueda tener una mayor demanda de compuestos producidos en la fotosíntesis que en este caso son la glucosa y fructosa o azúcares reductores. Cuando la planta está en pleno crecimiento o desarrollo la demanda de azúcares es grande, por lo que la acumulación de sacarosa es escasa. Para tener una mejor percepción de este último cuadro, se presenta en la grafica 3, las concentraciones de sacarosa de las diferentes variedades y en el transcurso del tiempo. Esto indica que a medida que la planta va dejando de crecer se hace más grande la concentración de sacarosa (7).



Grafica 3. Comportamiento de la sacarosa (grados pol)

El en onceavo mes (grafica 3), la sacarosa disminuye y aunque se incrementa en el 16 no llega a la concentración obtenida en el décimo mes de edad. Esta disminución en el contenido de sacarosa se puede explicar como una demanda de energía por parte de la planta, por lo cual tubo que desdoblarse la sacarosa en azúcares reductores, teniendo en este momento (para comprobar la relación inversa entre sacarosa y azúcares reductores) que incrementarse la relación de azúcares reductores (grafica 4).

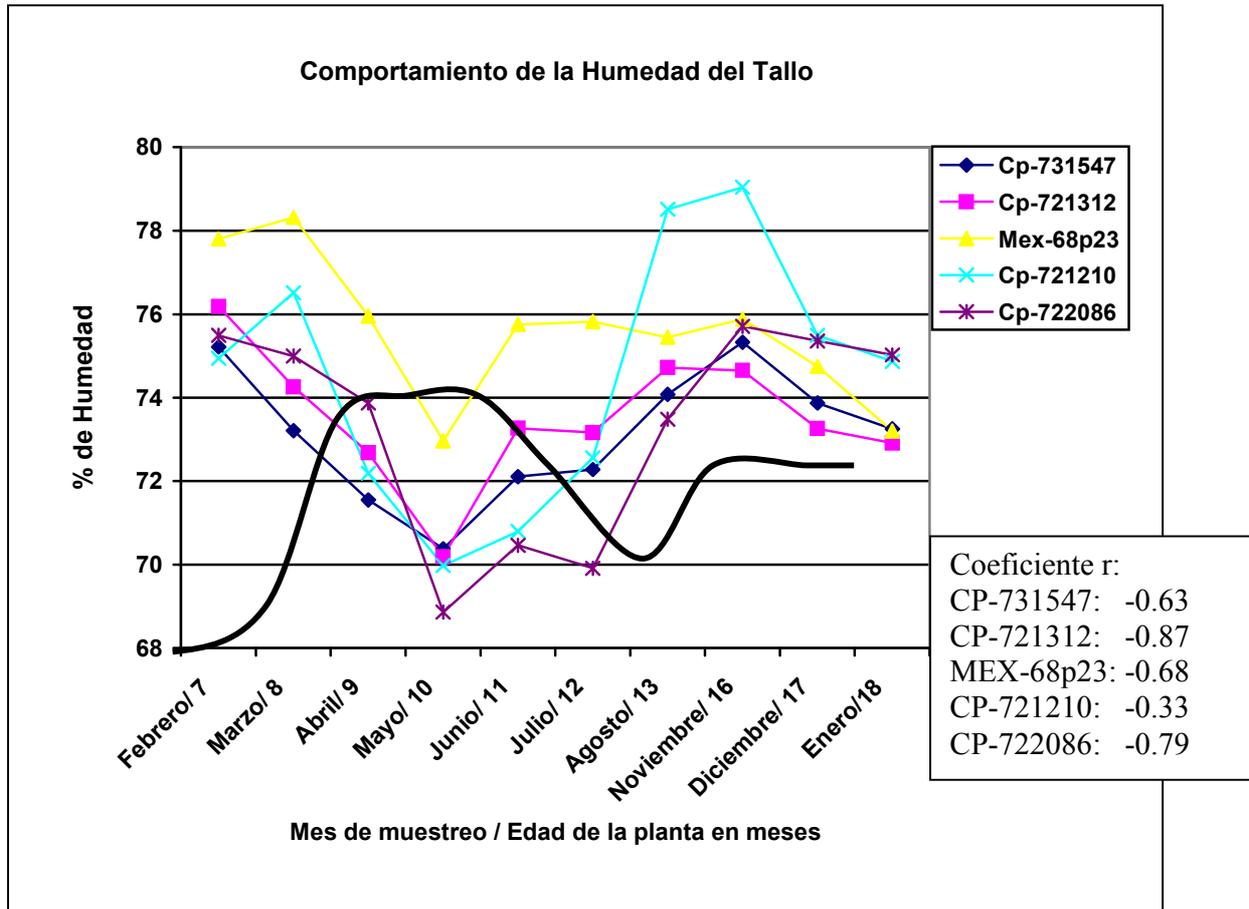
Es decir, el caso contrario a la concentración de sacarosa es el de los azúcares reductores, pues estos disminuyen en la medida que la planta está cesando su crecimiento y disminuyendo sus procesos metabólicos. Se puede comprobar claramente que los azúcares reductores forman la sacarosa (11) que es una reserva energética de la planta, que ella guarda para luego transformarla nuevamente en azúcares reductores en el momento en que necesite utilizar dicha energía. A continuación se observa grafica 4, que presenta la concentración de los azúcares reductores.



Grafica 4. Comportamiento de los azúcares reductores.

Siguiendo con la grafica 4, se observó un incremento en el mes 12 para permanecer luego casi constante, lo cual coincide con la baja de la concentración de sacarosa. Este comportamiento se observa en todas las variedades, aunque algunas hayan alcanzado mayores concentraciones de sacarosa que otras tal es el caso de la CP-721547 y la CP-722086, que tienen las mayores concentraciones de sacarosa seguidas por la Mex-68p23 y por la CP-721312 y CP721210. (Para más detalle a cerca del valor de la concentración de sacarosa ver cuadro 1 en anexos.)

Es interesante observar como la humedad del tallo que puede ser el reflejo de una alta humedad del suelo producto de precipitación o riego, tiene cambios bien definidos en a los 10 meses de edad de la plana (humedad más baja) y a los 11 meses de edad (inicio del incremento de la humedad). En la grafica 5 se puede observar claramente este suceso.

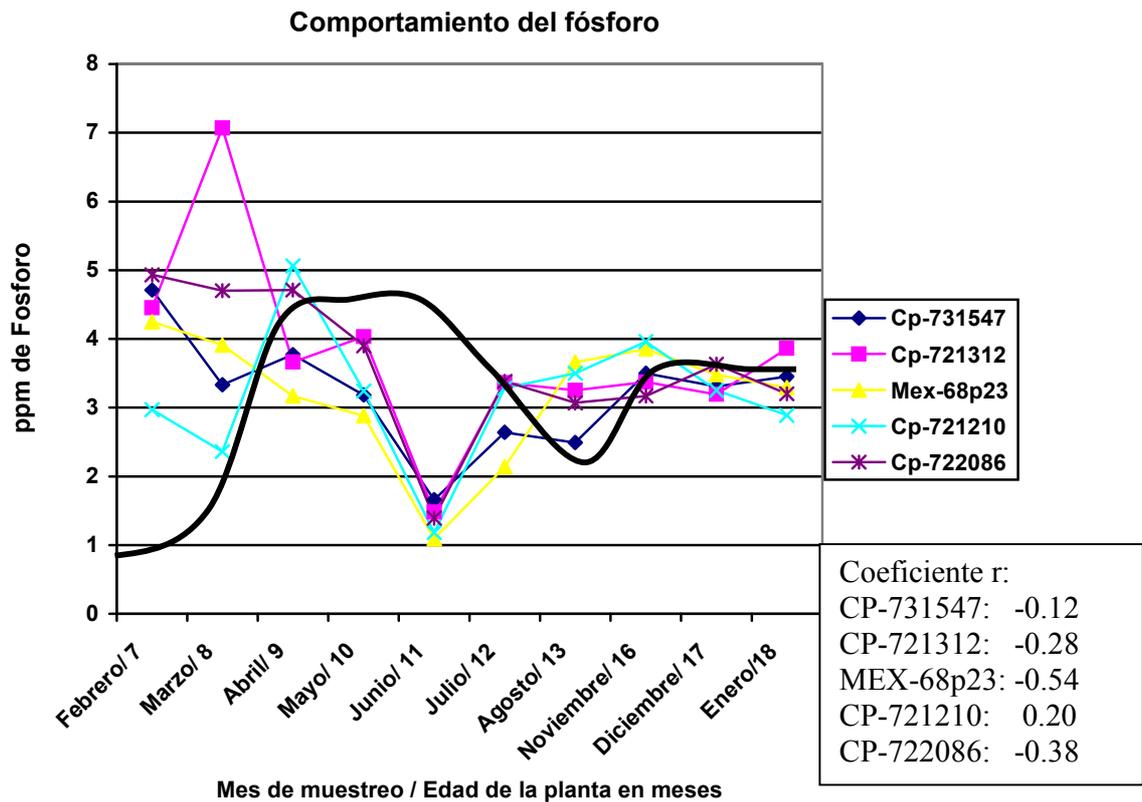


Grafica 5. Comportamiento de la humedad del tallo.

Se observa que la humedad del tallo tiene una relación inversa con respecto a la sacarosa según el coeficiente de determinación del cuadro 7. Gráficamente también se puede observar esta relación inversa, al comparar la grafica 3 con la 5. Aun que la relación entre azúcares reductores y la humedad del tallo no es objeto de estudio, se puede observar una relación directa al compara las graficas 4 y 5.

Al haber disponibilidad de agua, la planta inicia su crecimiento y desarrollo, incrementándose la demanda de azúcares reductores y disminuyendo las reservas energéticas (sacarosa). Los datos de precipitación indican que del séptimo al décimo mes hubo un período relativamente seco (para más detalle ver cuadro 16 en anexos), lo que hizo que la planta entrara en estrés y bajara su actividad metabólica, destinando los azúcares reductores e la formación de sacarosa, incrementándose la concentración de sacarosa. Es por ello que la concentración de sacarosa presenta una relación inversa con la humedad del tallo.

La relación existente entre el fósforo y la sacarosa también es inversa según el coeficiente de determinación. Es probable que la acumulación de sacarosa necesite energía la cual es dada por el fósforo, por lo que al aumentar la concentración de sacarosa, disminuye la concentración de fósforo (Ver grafica 6).

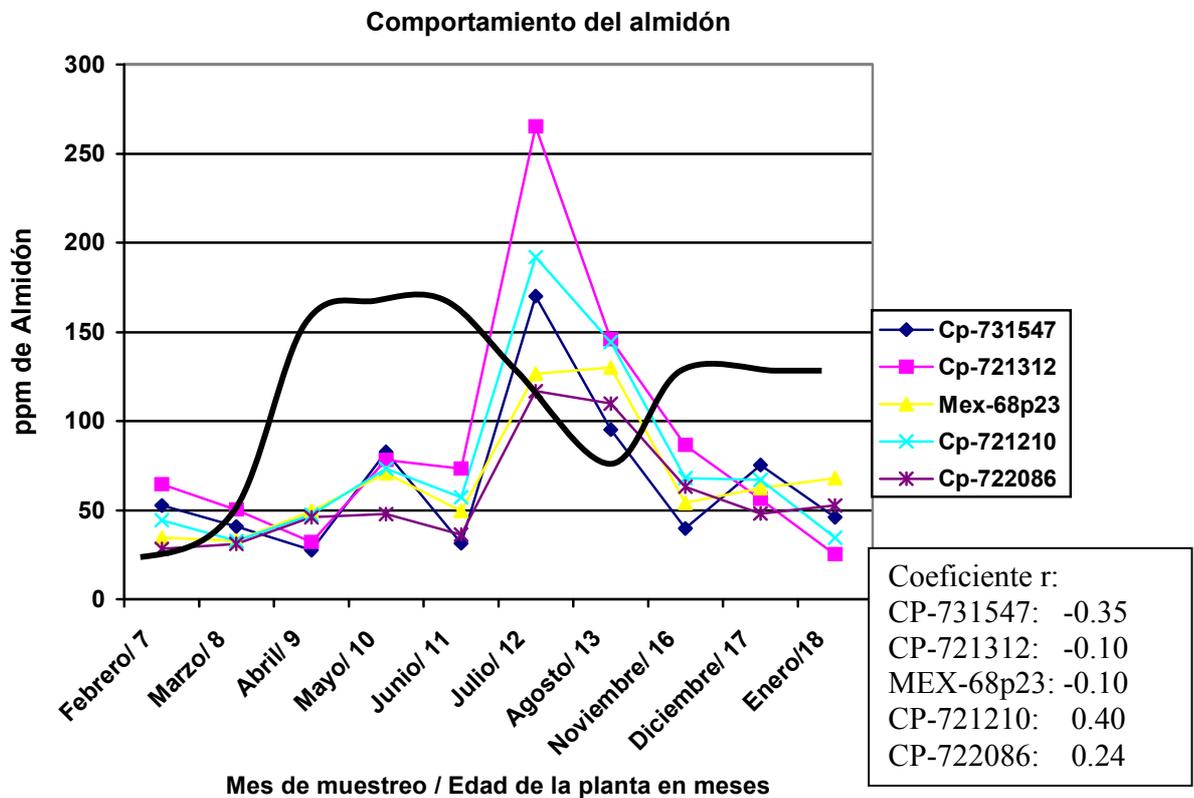


Grafica 6. Comportamiento del fósforo (P)

El fósforo es parte de la molécula energética por excelencia de las plantas que es el adenosindifosfato (ADP) y el adenosintrifosfato (ATP). La teoría indica que para que se forme la sacarosa, el ATP tiene que donar una molécula de fósforo (P), la cual recupera nuevamente en el proceso fotosintético. Esto hace que cuando se esté acumulando sacarosa en la planta, ya sea por efecto de la maduración misma o por estrés, la concentración de fósforo sea baja, ya que este se encuentra formando parte del ADP, ATP ó de la sacarosa-P.

El almidón es un compuesto que necesita de hexosas para su formación, este compuesto está formado a base de maltosa, la cual es una combinación de compuestos, en la cual participa la glucosa. El almidón según el coeficiente de determinación tiene una relación indirecta con la

formación de sacarosa, en las variedades CP-731547, CP-721312 y CP-68p23, pero es positivo en las variedades CP-721210 y CP-722086. Es por esto que el índice de determinación aparece con valor negativo y con valor positivo para diferentes variedades. En la grafica 7 se observa en forma grafica las concentraciones de almidón.

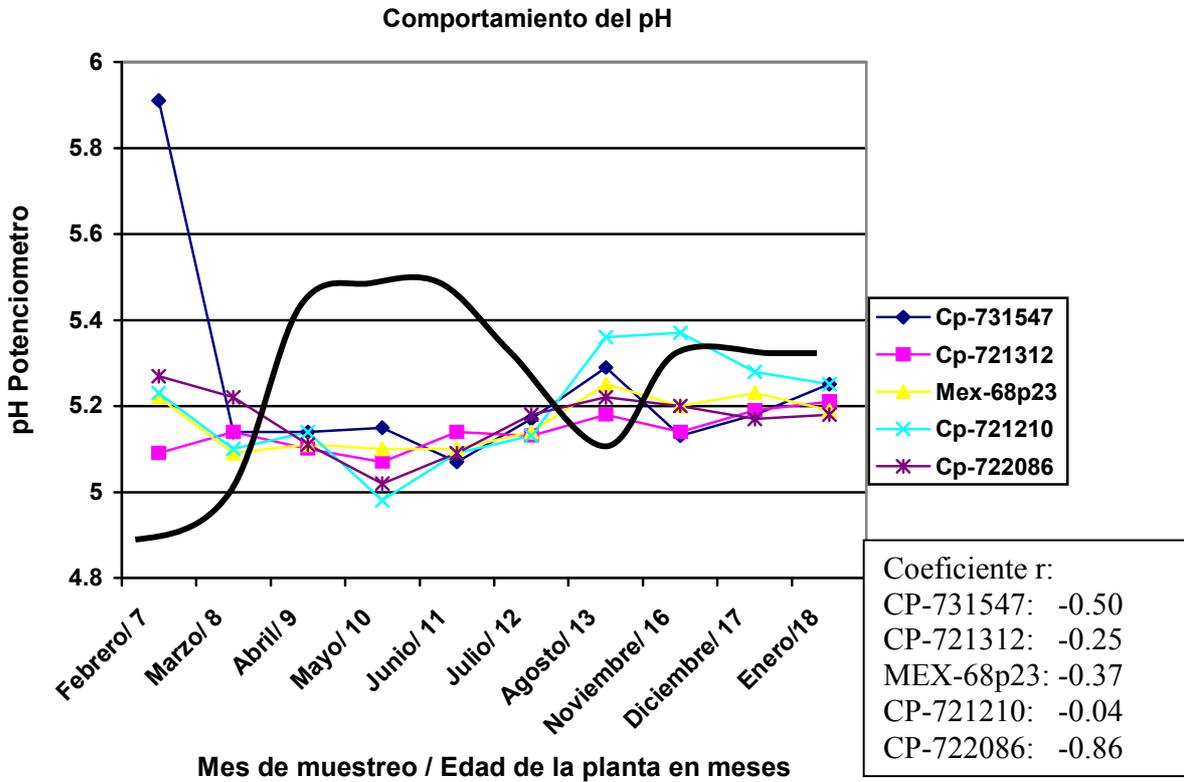


Grafica 7. Comportamiento del almidón.

Recalcando, al comparar las graficas 3 y 7, se observa claramente el efecto dado por el coeficiente de determinación. Al parecer la acumulación de almidón es una característica propia de cada variedad estudiada.

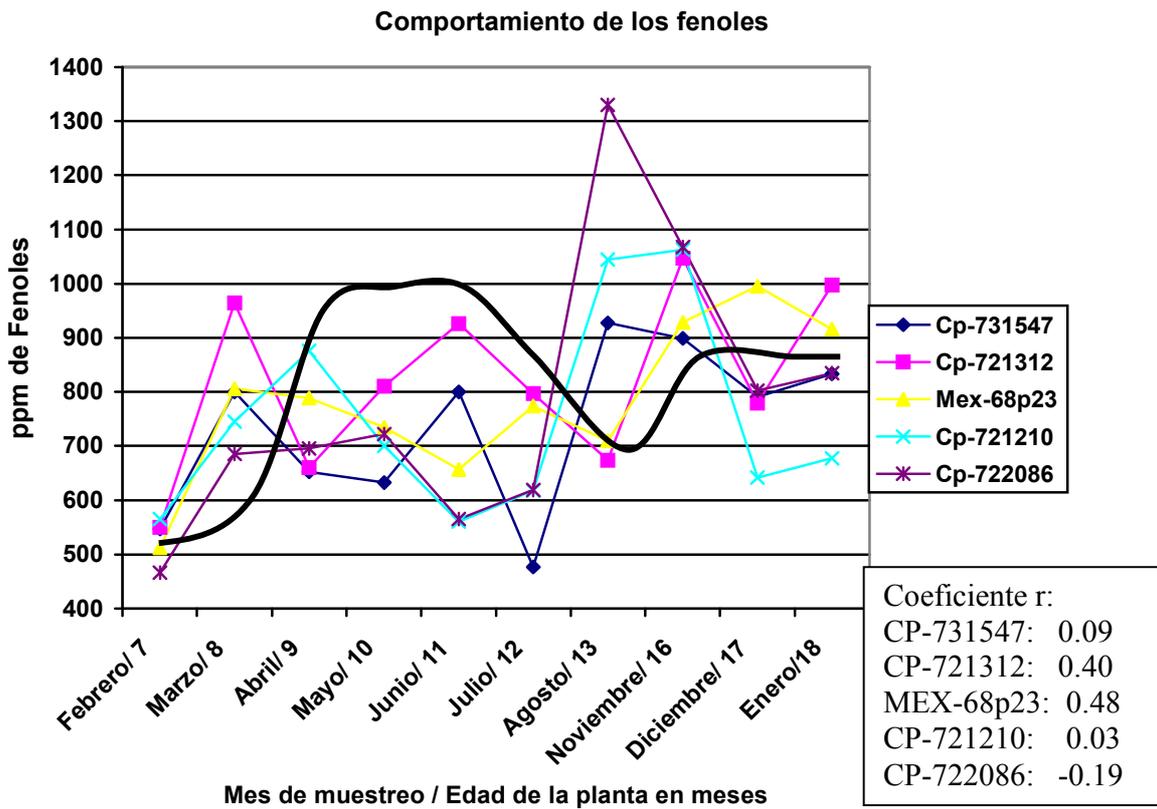
El pH del jugo de caña, tienen una relación inversa con el contenido de sacarosa según el coeficiente de determinación. En anexos en el cuadro 3 se puede observar que el pH del jugo oscila entre 4.98 y 5.37 aproximadamente. El pH entonces se comporta similar a los azúcares reductores con la diferencia que los cambios en el pH no son tan marcados como los de la sacarosa. Al comparar la figura 3 con la figura 8 que es la de la sacarosa se puede observar claramente la relación inversa. Esta relación inversa puede ser por la invertasa neutra (4), que es la enzima que cumple con el papel de inversión de sacarosa cuando la planta está en proceso de almacenamiento de azúcares y que necesita pH no elevados. Al bajar la concentración de sacarosa puede decirse que la cantidad

de invertasas neutras disminuye y se incrementan las invertasas ácidas, las cuales necesitan pH mayores que las invertasas neutras (Ver graficas 6).



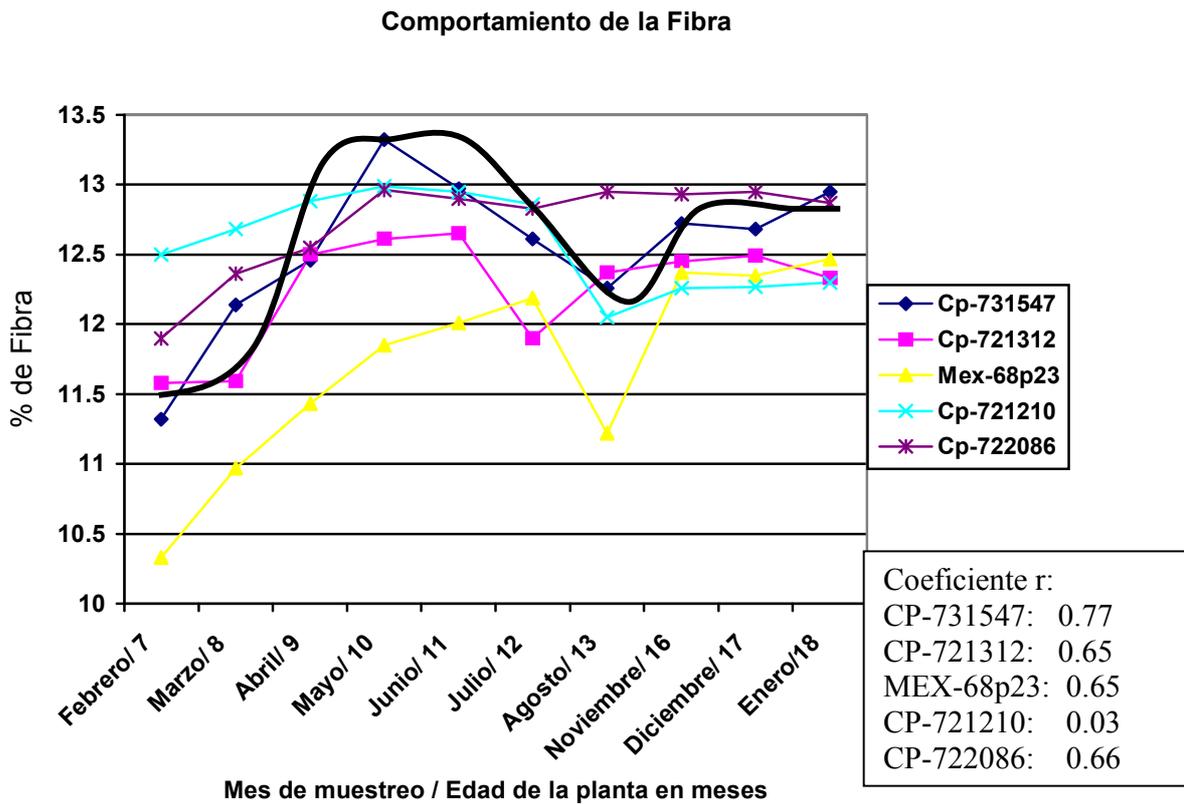
Grafica 8. Comportamiento del pH.

En cuanto a la relación de fenoles con la sacarosa, no se determina con unanimidad según el coeficiente de determinación, ya que las variedades CP-721312 y la MEX-68p23 expresan una relación positiva, la variedad CP-722086 expresa una relación negativa muy baja y las variedades CP-731547 y la CP-721210 muestran una relación casi nula. Es muy probable que la concentración de los fenoles sea una característica de cada variedad, al igual que el almidón, pero si se observa una relación directa entre los fenoles y la edad de la planta (se menciona esta relación aunque no esté dentro de los objetivos de este estudio), ya que a medida que pasa el tiempo aumentan los fenoles independientemente de que la concentración de sacarosa aumente o disminuya; este fenómeno se observa en la grafica 9. La cantidad de fenoles producida por cada variedad varía, siendo la CP-722086, la que alcanza las más altas concentraciones conforme aumenta la edad de la planta. Para mayor detalle a cerca del valor de las concentraciones, ver el cuadro 4 en anexos.



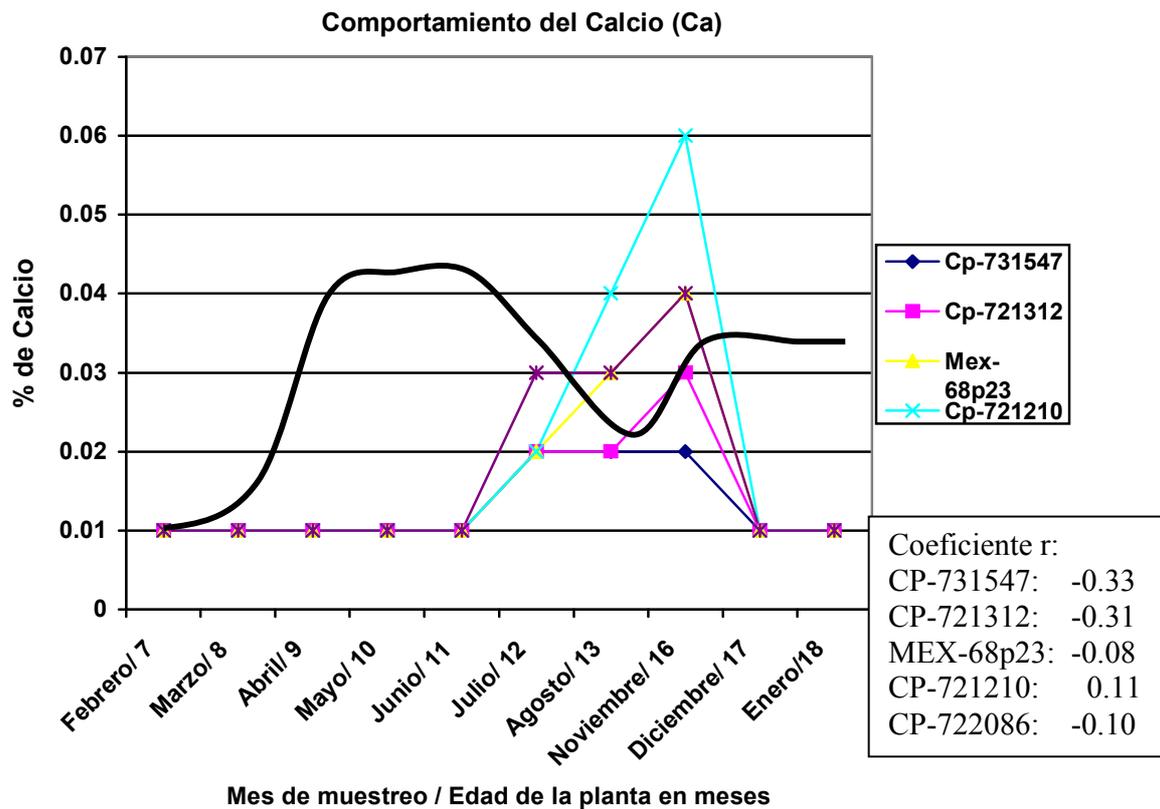
Grafica 9. Comportamiento de los Fenoles.

La relación entre la fibra y la sacarosa es positiva según el coeficiente de determinación. Esto parece lógico, en el sentido que a más tejido de almacenamiento mayor almacenamiento de compuestos. En la grafica 10 se observa como se comportó el porcentaje de fibra en cada muestreo (comportamiento en forma grafica). Se aclara que debido a que dentro de un mismo cañaveral, se pueden encontrar plantas más desarrolladas que otras debido al tipo de suelo, población entre otro gran número de factores, se observa que la fibra aumenta y disminuye en cada muestreo, para una misma variedad, por lo que se debe concentrar la atención a la tendencia del comportamiento. El valor de cada muestreo es una referencia de la cantidad de fibra que podemos esperar para esa variedad.



Grafica 10. Comportamiento de la fibra.

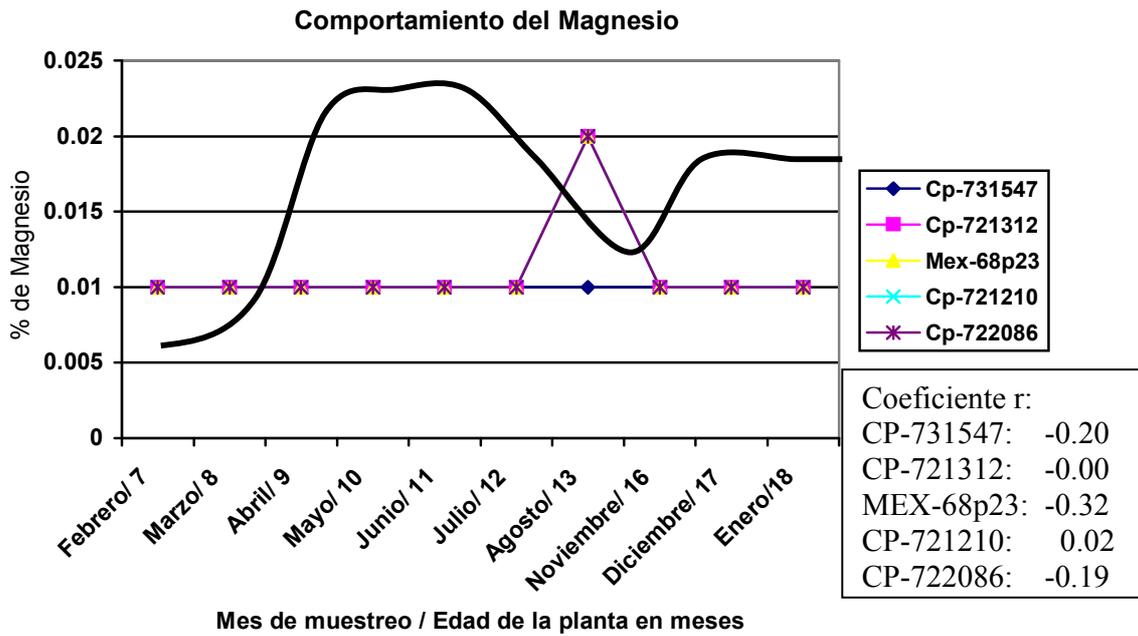
Para el calcio, el coeficiente de determinación muestra relaciones inversas, bajas con respecto a la sacarosa, a excepción de la variedad CP-721210, que muestra una relación positiva pero siempre baja. En la grafica 11, se observa el gráfico de las concentraciones de calcio, lo cual indica que durante la etapa de acumulación de sacaros las concentraciones de calcio se mantuvieron constantes (ver grafica 3 en donde se encuentra graficado los valores de concentración de sacaros).



Grafica 11. Comportamiento del calcio (Ca).

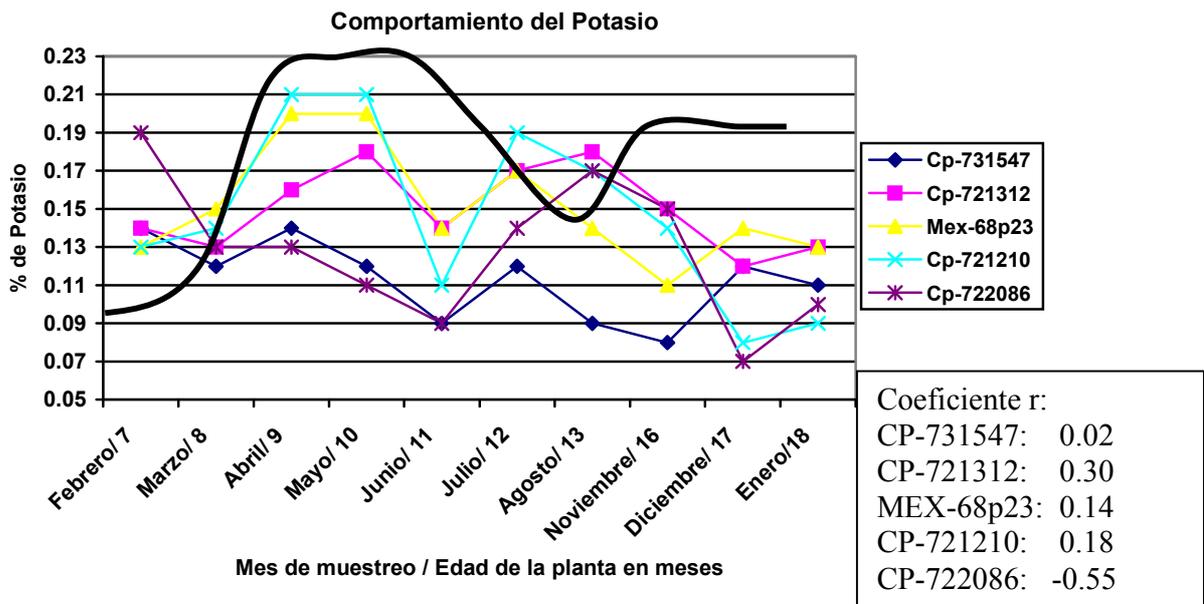
Al seguir comparando las concentraciones de calcio con la de sacarosa (graficas 3 y 11), se observa que al iniciar a disminuir la concentración de sacarosa en todas las variedades, se incrementa la concentración de calcio aunque en mínimas cantidades, y luego vuelve a su estado constante. Esto indica claramente que el calcio participa en la etapa de inversión de sacarosa, aunque su relación puede no ser directa, sino que puede ser parte de alguna enzima o algún otro compuesto que se forma en la etapa de inversión de la sacarosa.

La relación del magnesio es muy parecida a la del calcio, teniendo un incremento únicamente en un muestreo que coincide con la fase de inversión de sacarosa. Este compuesto al igual que el calcio, forma parte de los llamados elementos menores, los cuales forman parte de enzimas, ó de la estructura de algunas moléculas, las cuales pueden permanecer en concentraciones constantes o variar en algún momento, variando así los elementos que la forman, por puede ser el caso del calcio y el magnesio. En la grafica 12 se observa gráficamente este comportamiento.



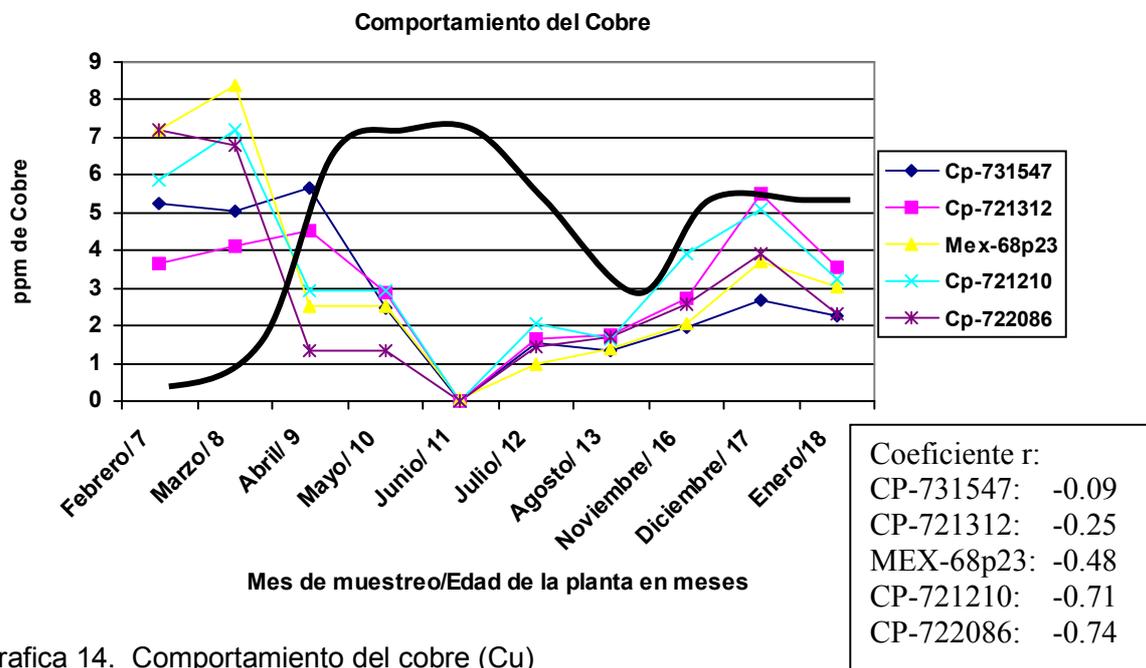
Grafica 12. Comportamiento del magnesio (Mg)

El potasio, muestra un comportamiento positivo según el coeficiente de determinación, a excepción de la variedad CP-722086 que es negativa, y la variedad CP-731547 es casi nula. El comportamiento del potasio que se muestra en la grafica 13, puede observarse una tendencia general de todas las variedades, y es que este disminuye al incrementarse la edad del cultivo.



Grafica 13. Comportamiento del potasio (K).

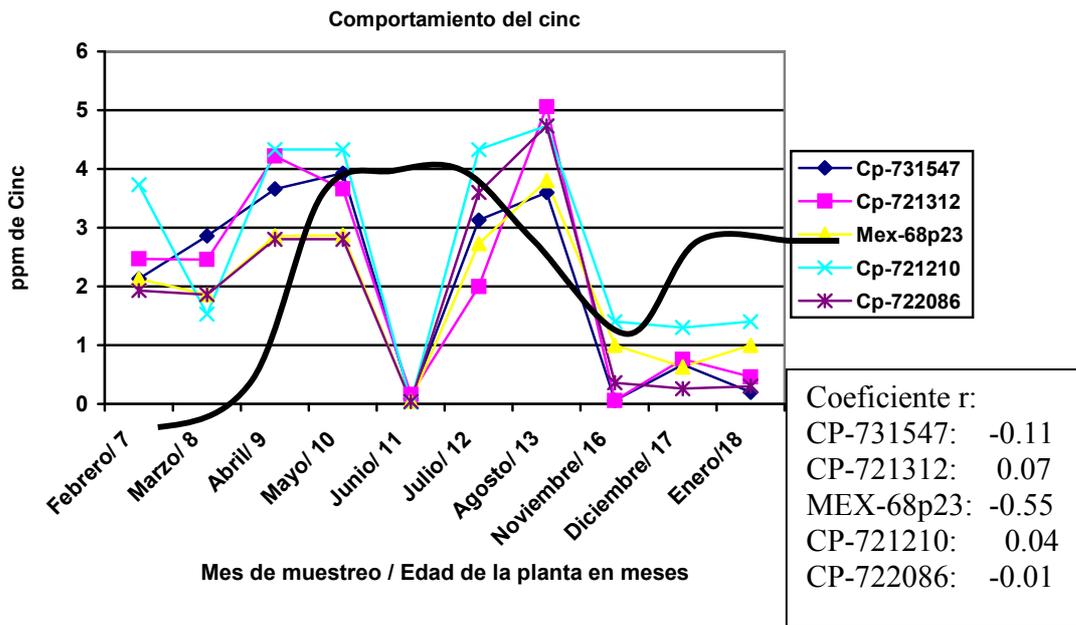
El cobre es totalmente inverso a la concentración de sacarosa, por lo que esta relación es inversa y se puede demostrar con el coeficiente de determinación del cuadro 7. Como hasta el momento se ha hecho, se puede comparar las graficas 3 y 14 para observar gráficamente esta relación. Las razones son muy similares a las del calcio, magnesio e incluso potasio, y es que estos elementos forman parte importante de algún ciclo o compuesto que interviene directamente con la acumulación de sacarosa o su inversión, pero no la relación de estos mismos elementos no es forzosamente directa.



Grafica 14. Comportamiento del cobre (Cu)

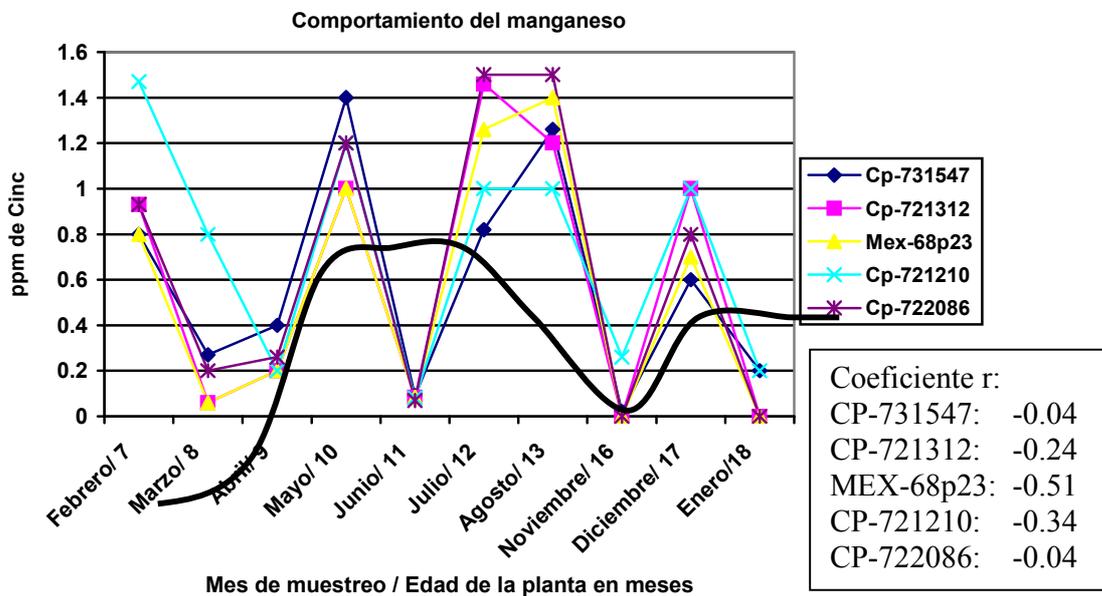
En la grafica 14, el comportamiento del cobre da la pauta de haber un alto consumo del mismo por la planta del séptimo al onceavo mes de edad de la planta, que coincide con los meses en que se incrementa el contenido de sacarosa. Este aparente consumo de cobre termina al inicial la disminución del contenido de sacarosa.

El coeficiente de determinación que indica la relación entre el cinc y la sacarosa, se muestra diferente para cada variedad (ver el cuadro 7). Esto indica que la relación de este con la sacarosa no es directa y probablemente el proceso en el que participa, tampoco está ligado directamente con la sacarosa. El comportamiento se puede observar en la grafica 15.



Grafica 15. Comportamiento del cinc (Zn).

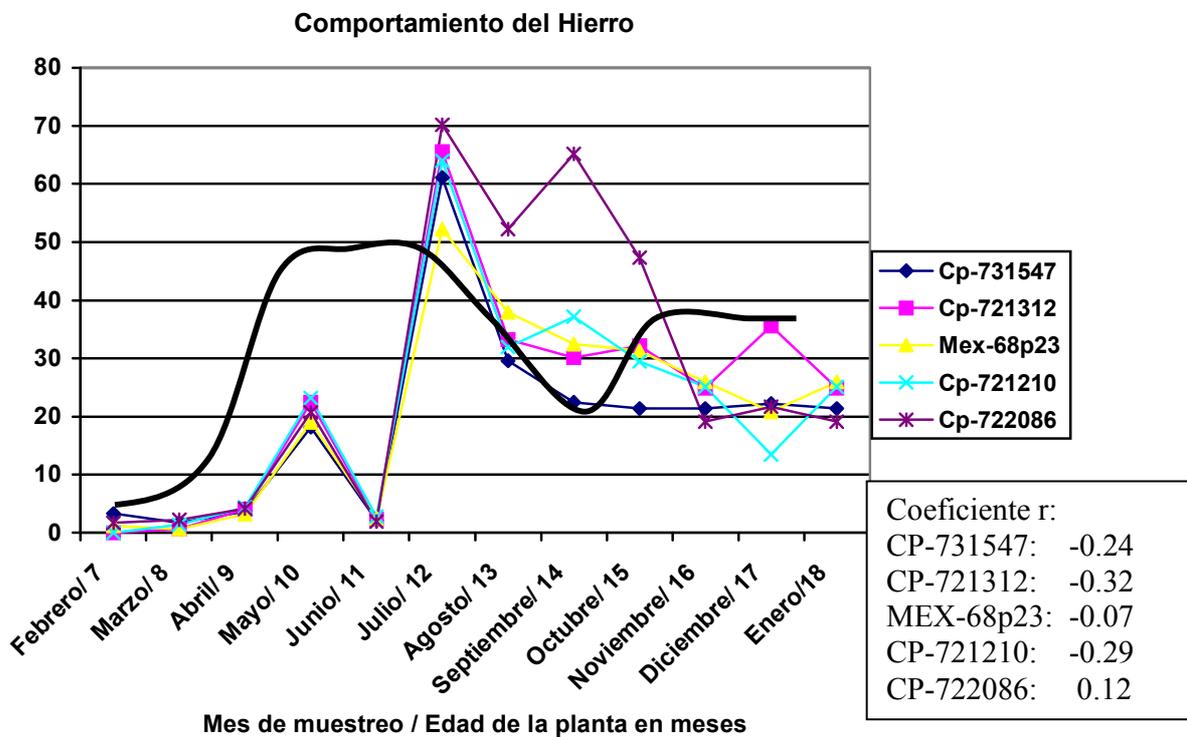
La grafica muestra a grandes rasgos que la concentración de cinc disminuye al aumentar la edad de la planta. El manganeso muestra una relación inversa con la sacarosa y puede ser a que en los primeros muestreos el manganeso bajaba su concentración mientras la sacarosa la subía, aunque gráficamente no se denota relación alguna al comparar las graficas 3 y 16.



Grafica 16. Comportamiento del manganeso (Mn).

El hierro en la grafica 16, incrementa su concentración después que la planta alcanza su pico de acumulación de sacarosa. El coeficiente de determinación para el hierro no muestra una relación con la concentración de sacarosa.

El hierro está ligado al crecimiento de la planta, como muestra se presenta la grafica 17, en la cual, se muestra que cuando la sacarosa estaba en incremento el hierro permaneció a bajas concentraciones, casi constante y cuando la sacarosa mostró bajas concentraciones el hierro elevo su concentración, permaneciendo nuevamente casi constante.



Grafica 17. Comportamiento del hierro (Fe).

8. Conclusiones.

- 1) La concentración de sacarosa es inversamente proporcional a los azúcares reductores, humedad del tallo, fósforo, pH y cobre.
- 2) No existe relación directa ente la concentración de sacarosa, con el calcio, magnesio, hierro, cobre, cinc, potasio, manganeso.
- 3) El comportamiento de la temperatura no tuvo mayor variación, por lo que no se pudo determinar la relación entre la concentración y variación de temperatura.
- 4) La máxima acumulación de sacarosa se obtuvo a los 10 meses de edad de la planta, en todas las variedades (misma edad fenológica), siendo la variedad CP-731547 la que alcanzó el mayor grado de concentración con 16.03 grados pol, siguiéndola en orden descendente la variedad CP-722086, con 15.53, la CP-721312 con 14.93, la CP-721210 con 14.15 y por último la Mex-68p23 con 13.73 grados pol.
- 5) La fibra se incrementa con el tiempo y tiene relación con la capacidad de almacenamiento de azúcares, según lo muestra los coeficientes de variación positivos, además la variedad que tuvo el mayor grado de sacarosa también tuvo el mayor tamaño en diámetro y el mayor porcentaje de fibra (13.32%) y la variedad con la menor concentración de sacarosa tubo el menor porcentaje de fibra (11.85%).
- 6) Los fenoles no presentaron relación con el contenido de sacarosa, pero sí con el crecimiento de la planta en edad. Debido a la variabilidad de los datos no se puede determinar con certeza que variedad produce más fenoles.
- 7) El almidón se acumula en más bajas cantidades que la sacarosa, tendiendo a incrementarse conforme se incrementa la sacarosa. En el décimo mes de edad, la acumulación de almidones tiende a ser similar a las sacarosa, siendo la variedad CP-721547 la que acumuló más almidón.
- 8) La humedad del tallo que depende de la humedad del suelo, es el factor que normaliza la actividad metabólica de la caña, pues al haber buenas condiciones de humedad, se da la actividad metabólica ideal, fomentando el crecimiento y desarrollo de la planta y disminuyendo la acumulación de sacarosa. La acumulación de sacarosa y la inversión de la misma están regidas por la humedad del tallo, y la etapa fenológica de la planta. Si la planta aún honesta

preparada para el almacenamiento y llega a ser afectada por estrés hídrico, entonces se da la acumulación de sacarosa.

- 9) El fósforo es importante para el almacenamiento de sacarosa, ya que a altas concentraciones de fósforo existen bajas concentraciones de sacarosa y viceversa, debido a que la sacarosa para almacenar debe tener unido a ella un fósforo, a pesar que es una relación inversa es de beneficio.
- 10) El pH varía, dependiendo si se está acumulando sacarosa –baja el pH- o si se está invirtiendo la misma –sube el pH-.

9. Recomendaciones.

- 1) Durante la cosecha de caña, realizar muestreos para determinar tanto la concentración de sacarosa y la de los compuestos químicos que tienen influencia en su acumulación, para obtener un historial de las ganancias y pérdidas de cantidad de sacarosa y la razón de estas mismas altas y bajas, ya que solo obteniendo estos resultados se podrá determinar los factores que se deben controlar.
- 2) Hacer investigaciones que integren los factores en este documento expuestos, junto con elementos agrícolas (fertilización, plagas, madurantes, riego), aspectos climáticos (temperatura, precipitación, evapotranspiración entre otros), así como agronómicos (altura de la planta, diámetro del tallo, índice de área foliar, floración de la planta, entre otros) para poder llegar a obtener el peso de cada uno en la acumulación y concentración de sacarosa, lo cuál ayudará a enfocar las medidas de control para obtener producciones más rentables.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Amaya, A; Cassalet, C. 1987. Efecto de floración en las características agroindustriales de 5 variedades de caña de azúcar en el valle de Cauca. *In* Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (2., 1987, Cali, CO). Memorias. Colombia, TECNICAÑA. p. 133-144.
2. Buenaventura, OCE. 1995. Maduración de la caña de azúcar. Colombia, CENICAÑA. 18 p.
3. Calero, A; Perea, H; Cortéz, H. 1987. Hidrólisis en inversión enzimática de sacarosa. *In* Congreso de la sociedad colombiana de técnicos de la caña de azúcar (2., 1987, Cali, CO). Memorias. Colombia, TECNICAÑA. p. 749-758.
4. Calero, LS. 1992. Manual de métodos analíticos para el análisis de suelo y tejidos foliares en caña de azúcar. Colombia, CENICAÑA. 45 p.
5. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar, GT). 1996. Archivo de los datos climatológicos de la estación meteorológica de CENGICAÑA. Santa Lucía, Escuintla, Guatemala. s.p.
6. CENICAÑA (Centro de Investigaciones en Caña de Azúcar, CO). 1998. Manual de métodos analíticos para el análisis de suelo y tejidos foliares en caña de azúcar. Colombia, CENICAÑA. 114 p.
7. Chávez Solera, MA. 1993. La maduración, su control y la cosecha de la caña de azúcar. s.n.t. p. 28-40.
8. Chen, JCP. 1991. Manual del azúcar de caña; para fabricantes del azúcar de caña y químicos especializados. México, Limusa. 1200 p.
9. Díaz, R; Hunter, A. 1982. Metodología de muestreo de suelos, análisis químicos de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernaderos. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 49 p.
10. Fors, AL. 1985. La madurez de la caña de azúcar: los factores que influyen, métodos de determinación y control. *In* Congreso de tecnología azucarera de Centro América y Panamá y simposio nacional de la caña de azúcar (1985, Guatemala). Memorias. Guatemala, ATAGUA / ATACA. p. 201-234.
11. González Ramírez, BH. 1996. Clasificación de los suelos de fines de capacidad-fertilidad de la finca Camantulul. Investigación EPSA. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 25 p.
12. González, R; Edson, B. 1996. Análisis de jugo de la variedad mexicana de azúcar MEX-68. Tesis, Ing. Agr. Guatemala, USAC. 23 p.
13. Larrahondo, SE. 1987. Control de maduración y características de calidad de caña de variedades promisorias. *In* Congreso de la sociedad colombiana de técnicos de la caña de azúcar (2., 1987, Cali, CO). Memorias. Colombia, TECNICAÑA. p. 165-174.
14. Leonardo, HAR. 1995. Evaluación de 4 productos químicos como madurantes en la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en el ingenio Tululá, Cuyotenango, Suchitepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad Rafael Landivar, Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. 67 p.

15. Lingle, SE; Irvine, JE. 1994. Sucrose synthase and natural ripening in sugar cane. *Crop Science* 34(5):1279-1283.
16. Mejía Rodas, F. 1996. Contenido de sacarosa y de azúcares reductores en variedades de caña apta para elaborar panela. Tesis Ing. Agroind. Guatemala, USAC, CUNOROC. 28 p.
17. Nájera, FBG. 1995. Evaluación del deterioro *in-vitro* de jugos de caña. Tesis Ing. Agroind. Guatemala, USAC, CUNOROC. 65 p.
18. Orozco, H; Soto, G. 1996. Morfología de las variedades de azúcar (*Saccharum* spp.) importantes de Guatemala y de variedades en evaluación regional grupo CGVA. Guatemala, Cengicaña. 43 p. (Documento Técnico no. 7).
19. Rodrigues Martines, E. 1990. Efecto de la edad y el tipo de suelo en el contenido de almidón en variedades de caña de azúcar. *ATAC* 51(2):46-56.
20. Romero, E. 1997. La maduración en caña de azúcar. *Avance Agroindustrial* no. 10:3-8.
21. Romero, ER; Olea, IL; Scandaliaris, J. 1995. Sugar loss estimation under subtropical harvesting conditions. Colombia, Agriculture Program. p. 160-171.
22. Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Guatemala, José Pineda Ibarra. 1000 p.

11. ANEXOS.

Cuadro 1. Datos de Pol (%) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación.

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	10.76	11.8	14.83	16.03	14.32	11.4	12.1	13.7	14.1	14.3
Cp-721312	10.62	12.46	13.49	14.93	14.72	12.8	10.73	12.33	12.27	13.06
Mex-68p23	8.70	9.88	12.02	13.27	13.73	10.7	9.8	12.96	12.13	13.53
Cp-721210	6.27	6.3	13.84	13.6	14.15	14.23	12.13	12.00	14.27	11.90
Cp-722086	9.52	11.14	14.34	15.53	14.25	15.13	11.73	12.56	12.53	13.05

Cuadro 2. Datos de azúcares reductores (%) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación.

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	1.27	1.7	1	0.92	0.47	0.88	0.62	0.71	0.74	0.74
Cp-721312	1.02	1.2	0.9	0.66	0.37	0.76	0.69	0.68	0.68	0.74
Mex-68p23	1.36	1.77	0.23	1.05	0.46	0.78	0.86	0.65	0.64	0.53
Cp-721210	1.95	1.55	0.32	1	0.43	0.68	0.68	0.66	0.63	0.52
Cp-722086	1.35	1.39	0.92	0.9	0.54	0.34	0.8	0.77	0.68	0.52

Cuadro 3. Datos de pH obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación.

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	5.91	5.14	5.14	5.15	5.07	5.17	5.29	5.13	5.18	5.25
Cp-721312	5.09	5.14	5.1	5.07	5.14	5.13	5.18	5.14	5.19	5.21
Mex-68p23	5.21	5.09	5.11	5.1	5.1	5.14	5.25	5.2	5.23	5.19
Cp-721210	5.23	5.1	5.14	4.98	5.09	5.13	5.36	5.37	5.28	5.25
Cp-722086	5.27	5.22	5.11	5.02	5.09	5.18	5.22	5.2	5.17	5.18

Cuadro 4. Datos de fenoles (ppm) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación.

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	546.22	800.04	652.6	632.55	999.88	476.94	926.95	899.41	790.54	883.27
Cp-721312	550.78	940.42	660.19	810.32	926.87	796.92	674.27	1046.91	779.71	998.03
Mex-68p23	512.08	806.10	708.32	735.2	657.31	774.27	709.53	928.12	994.95	915.81
Cp-721210	564.74	744.94	876.06	700.60	560.69	618.01	1044.27	1062.45	642.05	677.94
Cp-722086	467.06	685.78	696.11	722.77	585.48	618.94	1329.52	1066.94	802.75	835.2

Cuadro 5. Datos de almidón (ppm) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación.

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	52.52	40.64	27.68	82.60	31.35	169.98	95.05	39.81	75.20	44.01
Cp-721312	64.58	50.15	31.93	78.09	32.40	265.24	145.59	86.26	56.06	25.22
Mex-68p23	34.49	32.74	49.35	70.57	49.40	126.50	104.46	54.03	62.20	68.07
Cp-721210	44.14	32.74	47.53	73.02	57.29	192.10	144.21	68.04	67.00	34.46
Cp-722086	28.12	31.12	46.11	47.77	36.30	116.75	90.31	62.94	48.00	52.69

Cuadro 6. Datos de humedad del tallo (%) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación.

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	75.22	76.21	71.55	70.38	72.11	72.28	74.08	75.33	73.87	73.25
Cp-721312	76.18	74.16	72.68	70.19	73.27	73.16	74.76	74.65	73.26	72.91
Mex-68p23	77.8	78.32	75.95	72.96	75.75	75.82	75.45	75.88	74.75	73.2
Cp-721210	74.94	76.51	72.19	69.98	70.8	72.56	78.51	79.04	75.49	74.87
Cp-722086	75.49	74.99	73.87	68.86	70.46	69.91	73.48	75.71	75.36	75.02

Cuadro 7. Datos de fibra (%) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación.

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	11.32	12.14	12.46	13.32	12.97	12.61	12.26	12.72	12.68	12.95
Cp-721312	11.58	11.59	12.5	12.61	12.65	11.9	12.37	12.45	12.49	12.33
Mex-68p23	10.33	10.97	11.43	11.85	12.01	12.19	11.22	12.37	12.35	12.47
Cp-721210	12.5	12.68	12.88	12.99	12.95	12.81	12.05	12.26	12.27	12.3
CP-722086	11.9	12.36	12.55	12.96	12.9	12.83	12.95	12.93	12.95	12.87

Cuadro8. Datos de fósforo (%) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación.

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	4.71	3.33	3.77	3.18	1.66	2.64	2.49	3.5	3.31	3.45
Cp-721312	4.45	7.07	3.66	4.03	1.48	3.36	3.25	3.37	3.19	3.86
Mex-68p23	4.25	3.91	3.17	2.88	1.09	2.14	3.66	3.85	3.48	3.19
Cp-721210	2.97	2.36	5.06	3.24	1.08	3.28	3.5	3.96	3.25	2.89
Cp-722086	4.93	4.7	4.71	3.9	1.39	3.38	3.07	3.17	3.63	3.2

Cuadro 9. Datos de potásio (%) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación.

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	0.14	0.12	0.14	0.12	0.09	0.12	0.09	0.08	0.12	0.11
Cp-721312	0.14	0.13	0.16	0.18	0.18	0.17	0.18	0.15	0.12	0.13
Mex-68p23	0.13	0.15	0.2	0.2	0.14	0.17	0.14	0.11	0.14	0.13
Cp-721210	0.13	0.14	0.21	0.21	0.11	0.19	0.17	0.14	0.08	0.09
Cp-722086	0.19	0.13	0.13	0.11	0.09	0.14	0.17	0.15	0.07	0.1

Cuadro 10. Datos de calcio (%) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación.

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.017	0.01	0.02	0.01	0.01
Cp-721312	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.024	0.03	0.01	0.01
Mex-68p23	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01
Cp-721210	0.01	0.01	0.01	0.01	0.013	0.023	0.041	0.06	0.01	0.013
Cp-722086	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.025	0.03	0.04	0.01	0.01

Cuadro 11. Datos de magnesio (%) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.013	0.01	0.01	0.01
Cp-721312	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
Mex-68p23	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.016	0.01	0.01	0.01
Cp-721210	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
Cp-722086	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01

Cuadro 12. Datos de cobre (ppm) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	5.26	5.06	5.66	2.46	0	1.53	1.33	1.97	2.67	2.25
Cp-721312	3.66	4.13	4.53	2.86	0.02	1.67	1.73	2.75	5.47	3.55
Mex-68p23	7.2	8.4	2.53	2.53	0.04	1	1.4	2.07	3.67	3.02
Cp-721210	5.87	7.2	2.93	2.93	0	2.06	1.67	3.89	5.13	3.25
Cp-722086	7.2	6.8	1.33	1.33	0	1.46	1.7	2.56	3.93	2.3

Cuadro 13. Datos de cinc (ppm) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	2.13	2.86	3.66	3.93	0.09	3.13	3.6	0.05	0.67	0.2
Cp-721312	2.47	2.46	4.22	3.66	0.16	5	5.06	0.05	0.76	0.46
Mex-68p23	2.13	1.86	2.86	2.87	0.05	2.73	3.8	1	0.63	1
Cp-721210	3.73	1.53	4.33	4.33	0.03	4.33	4.73	1.4	1.3	1.4
Cp-722086	1.93	1.86	2.8	2.8	0.04	3.6	4.73	0.36	0.26	0.03

Cuadro 14. Datos de hierro (ppm) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	3.33	1.67	3.67	18.13	2.15	61.06	29.6	21.33	22.26	21.33
Cp-721312	ND	0.6	4.06	22.46	2.32	65.06	33.2	24.93	35.6	24.93
Mex-68p23	1.2	0.6	3.23	19.06	2.5	52.2	37.87	26	20.81	26
Cp-721210	ND	1.4	4.33	23.2	2.83	63.93	31.93	25.06	13.46	25.06
Cp-722086	1.66	2.2	4.13	20.73	1.91	70.13	52.2	19.13	21.66	19.13

Cuadro 15. Datos de manganeso (ppm) obtenidos de los análisis de las muestras de jugo durante la investigación

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	0.8	0.27	0.4	1.4	0.09	0.82	1.26	0.02	0.6	2
Cp-721312	0.93	0.06	0.2	1	0.083	1.46	1.2	0	1	0
Mex-68p23	0.8	0.06	0.2	1	0.083	1.26	1.4	0	0.7	0
Cp-721210	1.47	0.8	0.2	1.2	0.08	1	1	0.26	1	0.2
Cp-722086	0.93	0.2	0.26	1.2	0.07	1.5	1.5	0	0.8	0

Cuadro 16. Datos de precipitación (mm) del área en la cual se establecieron las parcelas para la investigación.

(Solo referencia)

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	0.00	0.00	29.80	130.80	450.60	550.90	101.30	488.20	51.50	0.40
Cp-721312	0.00	0.00	29.80	130.80	450.60	550.90	101.30	488.20	51.50	0.40
Mex-68p23	0.00	0.00	29.80	130.80	450.60	550.90	101.30	488.20	51.50	0.40
Cp-721210	0.00	0.00	29.80	130.80	450.60	550.90	101.30	488.20	51.50	0.40
Cp-722086	0.00	0.00	29.80	130.80	450.60	550.90	101.30	488.20	51.50	0.40

Cuadro 17. Datos de temperatura (°C) del área en la cual se establecieron las parcelas para la investigación.

(Solo referencia)

Variedad	Edad de la caña en meses									
	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18
Cp-731547	25.00	26.60	27.20	27.20	26.00	24.90	24.40	19.10	18.90	24.90
Cp-721312	25.00	26.60	27.20	27.20	26.00	24.90	24.40	19.10	18.90	24.90
Mex-68p23	25.00	26.60	27.20	27.20	26.00	24.90	24.40	19.10	18.90	24.90
Cp-721210	25.00	26.60	27.20	27.20	26.00	24.90	24.40	19.10	18.90	24.90
Cp-722086	25.00	26.60	27.20	27.20	26.00	24.90	24.40	19.10	18.90	24.90