

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**ÁREA INTEGRADA**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN:**  
**MANEJO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DEL INGENIO LA UNIÓN,**  
**SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

**HUGO CARLOS CASTELLANOS SANDOVAL**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE 2012**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN REALIZADO EN INGENIO LA UNIÓN,  
SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

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

**POR  
HUGO CARLOS CASTELLANOS SANDOVAL**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRÓNOMO  
EN  
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIADO**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE 2012**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RECTOR**

**LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS**

**JUNTA DIRECTIVA DEL A FACULTAD DE AGRONOMÍA**

<b>DECANO</b>	Dr. Lauriano Figueroa Quiñonez
<b>VOCAL I</b>	Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
<b>VOCAL II</b>	Ing. Agr. Marino Barrientos García
<b>VOCAL III</b>	Ing. Agr. Oscar René Leiva Ruano
<b>VOCAL IV</b>	Br. Ana Isabel Fion Ruiz
<b>VOCAL V</b>	Br. Luis Roberto Orellana López
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Agr. Carlos Roberto Echeverría Escobedo

**GUATEMALA, NOVIEMBRE 2012**

**Guatemala, Noviembre de 2012**

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

**Honorables miembros:**

De conformidad con las normas establecida por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación realizado en:

**INGENIO LA UNIÓN, SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA**

como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

---

Hugo Carlos Castellanos Sandoval

## ACTO QUE DEDICO

**A:**

**DIOS:** Gracias por acompañarme y protegerme en mi camino.

**MIS PADRES:** Víctor H. Castellanos S. (Q.E.P.D.) y Julia E. Sandoval I. Como muestra de agradecimiento, que este triunfo sea la recompensa a tus esfuerzos y sacrificios madre linda.

**MI ESPOSA:** Patricia. Por tu apoyo, comprensión, por los sacrificios personales, por darme ánimo siempre. Con todo mi amor.

**MI HIJA:** Maité. Tú eres la bendición de Dios para mí vida, gracias por ser la inspiración de mi lucha. Que mi triunfo sea un ejemplo para tu vida.

**MIS TÍOS:** Jorge y Vero. Gracias por su apoyo incondicional y gran cariño para con mi familia.

**HERMANOS:** Julio y Jorge. Gracias por el apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera, con especial cariño para ustedes y sus familias.

**MIS AMIGOS:** Oscar Oliva, Ludwig Ermitaño, Jorge Rossil, Mario Grijalva, Carlos Mairena, Carlos Franco, Elmer Álvarez, Julio Apxuac, por ser parte importante en mi proceso de formación, por las experiencias, los logros y recuerdos en todo el trayecto de mi formación, Dios los proteja.

Gracias por su amistad y apoyo.

## TESIS QUE DEDICO

**A:**

DIOS,

MI BELLA GUATEMALA,

MIS PADRES,

MI FAMILIA,

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,

FACULTAD DE AGRONOMÍA,

INGENIO LA UNIÓN, S.A.,

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mis agradecimientos a las personas que colaboraron de alguna u otra forma en el desarrollo de la presente investigación.

### **MI SUPERVISOR Y ASESORES**

Ing. Agr. MARCO VINICIO FERNÁNDEZ MONTOYA,

Ing. Agr. VÍCTOR MANUEL AZAÑÓN ESTACUY,

Ing. Agr. ANÍBAL SACBAJA,

Por su asesoría y consejos profesionales para la culminación de mi investigación.

### **PERSONAL INGENIO LA UNIÓN, S.A.**

Lic. BYRON ROBERTO AQUINO CAMPOS

Ing. Agr. CRISTIAN ENMANUEL GARCÍA AROCHE

Ing. Agr. ERICK LEONEL MOTTA FRANCO

Ing. Agr. JORGE EDUARDO SANDOVAL ILLESCAS

PERSONAL FINCAS TEHUANTEPEC Y MONTE ALEGRE

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Por su apoyo brindado durante la realización de la presente investigación y del ejercicio profesional supervisado de agronomía.



## INDICIE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
CAPITULO I .....	1
1.1 Presentación.....	2
1.2 Definición del problema .....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 General.....	3
1.3.2 Específicos .....	3
1.4 Metodología.....	4
1.4.1 Delimitación del área de estudio.....	4
1.4.2 Entrevistas.....	4
1.4.3 Revisión de literatura .....	4
1.4.4 Recopilación de la información.....	4
1.5 Resultados y discusión .....	5
1.5.1 Ubicación.....	5
1.5.2 Estratos altitudinales.....	5
1.5.3 Aspectos climáticos .....	6
1.5.4 Suelo .....	6
1.5.5 Extensión.....	6
1.5.6 Departamentos de servicio existentes en la empresa .....	7
1.5.7 División del departamento de Ingeniería Agrícola .....	7
1.5.8 Análisis FODA .....	8
1.5.9 Jerarquización de problemas.....	10
1.5.10 Situación actual del sistema hidráulico de motobombas. ....	10
1.5.11 Capacidad limitada en interpretación de datos de campo en la toma de decisiones.....	13
1.5.12 Material cartográfico .....	13
1.6 Conclusiones .....	15
1.7 Bibliografía.....	16
CAPITULO II .....	17
2.1 Presentación.....	18

CONTENIDO	PAGINA
2.2 Definición del problema .....	19
2.3 Marco conceptual .....	20
2.3.1 Cachaza .....	20
2.3.2 Métodos de aplicación de la cachaza .....	21
2.3.3 Composición química de la cachaza .....	21
2.3.4 Factores que influyen en la composición de la cachaza.....	22
2.3.5 Uso de la cachaza .....	23
2.3.6 Influencia de la cachaza en el suelo .....	23
2.3.7 Ceniza .....	24
2.3.8 Composición química de la ceniza .....	25
2.3.9 Uso de la ceniza .....	26
2.3.10 Residuos vegetales .....	26
2.4 Marco referencial .....	28
2.4.1 Localización del área experimental.....	28
2.4.2 Historia .....	29
2.4.3 Precipitación pluvial.....	30
2.4.4 Temperatura .....	31
2.4.5 Estratos altitudinales.....	31
2.4.6 Zona de vida.....	31
2.4.7 Condiciones edáficas.....	31
2.5 Objetivos.....	33
2.5.1 Objetivo general.....	33
2.5.2 Objetivos específicos.....	33
2.6 Hipótesis.....	33
2.7 Metodología .....	34
2.7.1 Diseño experimental .....	34
2.7.2 Descripción de los tratamientos.....	34
2.7.3 Distribución .....	35
2.7.4 Tamaño de la unidad experimental.....	35
2.7.5 Variables de respuesta .....	36

CONTENIDO	PAGINA
2.7.6 Manejo del experimento .....	37
2.7.7 Surcado .....	38
2.7.8 Siembra .....	38
2.7.9 Fertilización .....	38
2.7.10 Riego y drenaje.....	39
2.7.11 Control de malezas.....	39
2.7.12 Cosecha .....	39
2.7.13 Muestreo de suelo .....	39
2.8 Resultados y discusión .....	40
2.8.1 Producción de caña de azúcar (t/ha) .....	40
2.8.2 Influencia de los residuos agroindustriales en las propiedades químicas del suelo (MO, pH, CE, P y K) en los primeros 20 cm del suelo .....	42
2.9 Conclusiones .....	54
2.10 Recomendaciones.....	55
2.11 Bibliografía.....	56
2.12 Anexos.....	58
CAPITULO III .....	61
3.1 Presentación.....	62
3.2 Área de Influencia.....	63
3.3 Objetivo general.....	63
3.4 Servicios prestados .....	63
3.4.1 Evaluación hidráulica de motobombas .....	63
3.4.2 Elaboración y organización de la cartografía digital.....	68
3.4.3 Bibliografía.....	77



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Croquis de ubicación geográfica de ingenio La Unión. ....	5
Figura 2. Organigrama del Depto. de Ingeniería Agrícola. ....	7
Figura 3. Fuga de agua en un sistema de riego por aspersión. ....	12
Figura 4. Mantenimiento realizado al sistema hidráulico. ....	12
Figura 5. Trampas de humedad apagadas en chimeneas. ....	24
Figura 6. Trampas de humedad encendidas en chimeneas. ....	25
Figura 7. Eje giratorio en el proceso de lavado en seco. ....	26
Figura 8. Obtención de residuos vegetales en el proceso de lavado en seco. ....	27
Figura 9. Mapa de cuencas hidrográficas, República de Guatemala. ....	28
Figura 10. Mapa de ubicación de finca Tehuantepec. ....	29
Figura 11. Croquis de distribución de los residuos agroindustriales. ....	35
Figura 12. Promedio de t/ha por tratamiento. ....	42
Figura 13. Comportamiento del %M.O. en el suelo al aplicar residuos agroindustriales. ....	44
Figura 14. Comportamiento del potencial hidrogénico del suelo aplicando residuos agroindustriales. ....	46
Figura 15. Comportamiento de la conductividad eléctrica aplicando residuos agroindustriales. ....	47
Figura 16. Comportamiento del fósforo aplicando residuos agroindustriales. ....	49
Figura 17. Comportamiento del potasio en suelo aplicando residuos agroindustriales. ....	51
Figura 18. Fugas en el sistema de distribución de agua para riego. ....	67
Figura 19. Eficiencias de bombas, en finca monte alegre. ....	68
Figura 20. Organización de la Base de Datos Cartográfico. ....	72



## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Estratos altitudinales donde Dpto. de Ingeniería Agrícola presta servicios. ....	6
Cuadro 2. Análisis FODA del Depto. de Ingeniería Agrícola. ....	9
Cuadro 3. Cuadro matriz de priorización de problemas según importancia. ....	10
Cuadro 4. Método de riego según disponibilidad de motobombas. ....	11
Cuadro 5. Resumen de métodos de riego, zafra 2008-2009. ....	13
Cuadro 6. Mapas temáticos generados en el Depto. de Ingeniería Agrícola. ....	14
Cuadro 7. Análisis químico del residuo cachaza. ....	21
Cuadro 8. Análisis químico del residuo ceniza. ....	25
Cuadro 9. Análisis químico del residuo vegetal. ....	27
Cuadro 10. Estratos altitudinales de la zona cañera en la costa sur de la Republica de Guatemala. ....	31
Cuadro 11. Características de suelos Tiquisate franco-arenoso. ....	32
Cuadro 12. Descripción de tratamientos empleados. ....	34
Cuadro 13. Rangos utilizados en la Interpretación de análisis de suelos. ....	36
Cuadro 14. Distribución de toneladas por residuo agroindustrial. ....	37
Cuadro 15. Producciones obtenidas en t/ha por unidad experimental. ....	40
Cuadro 16. Análisis de la varianza para la variable producción (t/ha) de caña. ....	40
Cuadro 17. Comparación de medias de la variable producción de caña utilizando el estadístico de Tukey. ....	41
Cuadro 18. Valores obtenidos de materia orgánica por unidad experimental. ....	42
Cuadro 19. Análisis de varianza para variable porcentaje de materia orgánica. ....	43
Cuadro 20. Comparación de medias de la variable materia orgánica utilizando el estadístico de Tukey. ....	43
Cuadro 21. Valores obtenidos de pH por unidad experimental. ....	44
Cuadro 22. Análisis de varianza para la variable potencial hidrogénico. ....	45
Cuadro 23. Comparación de medias de la variable potencial hidrogénico utilizando el estadístico de Tukey. ....	45
Cuadro 24. Valores obtenidos de conductividad eléctrica (ds/m-1) por unidad experimental. ....	47

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 25. Análisis de varianza para la variable conductividad eléctrica (ds/m-1).....	48
Cuadro 26. Valores obtenidos de fosforo (ppm) por unidad experimental. ....	48
Cuadro 27. Análisis de varianza para la variable fósforo (ppm). ....	49
Cuadro 28. Valores obtenidos de potasio (meq/100 g) por unidad experimental. ....	50
Cuadro 30. Resumen de Análisis de varianza para variable Potasio (meq/100 g).....	51
Cuadro 30. Resumen de resultados en las variables evaluadas.....	52
Cuadro 31. Aporte potencial de los nutrientes en kg/ha de nitrógeno, fósforo y potasio al suelo.....	53
Cuadro 32. Resultados de Análisis Químico y Físico de Suelo, con fecha 23 de marzo de 2010. ....	58
Cuadro 33. Resultados de Análisis Químico y Físico de Suelo, con fecha 6 de octubre de 2011. ....	59
Cuadro 34. Especificaciones técnicas de motobombas evaluadas.....	66
Cuadro 35. Comparativo de eficiencias de diseño y eficiencia real de operación.....	66
Cuadro 36. Presentación de escalas por finca.....	71
Cuadro 37. Mapas temáticos generados por finca.....	73



## RESUMEN GENERAL

El capítulo I está integrado por el diagnóstico del departamento de ingeniería agrícola, del ingenio La Unión, S.A. que es un departamento de servicios, por ello se le hace necesario la determinación de problemas que afecten el desempeño en el establecimiento de soluciones a sus usuarios.

El FODA realizado al departamento reveló sus fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades, de las cuales los jefes de cada área que conforman dicho departamento jerarquizaron los múltiples problemas.

El principal problema detectado y al cual se le dio alta prioridad, es la situación actual del sistema hidráulico de las motobombas en cada una de las fincas, y la limitada capacidad que se tiene en la interpretación de datos provenientes de campo para la toma de decisiones.

El capítulo II se basó en la utilización de subproductos (residuos vegetales, ceniza y cachaza) en la obtención de azúcar de caña, en el incremento de la producción en toneladas de caña por hectárea. Estos subproductos fueron aplicados como abono orgánico y mejoramiento de propiedades químicas del suelo en los primeros 20 cm, proporciones de 1:2.5:3.5, proporción que está ligada a la generación diaria de dichos residuos provenientes de fábrica.

La investigación se realizó en finca Tehuantepec a 69 msnm, en un suelo Molisol franco arenoso, con 5.9% M.O. y un potencial hidrogénico de 6.4. El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar, con tres repeticiones y cuatro tratamientos, de los cuales tres se les añadió 121 TM/ha de residuos con tres niveles de fertilización de 0, 30 y 60 kg N/ha y un tratamiento (testigo) que consistió en la dosis convencional de 60 kg N/ha. El área de cada unidad experimental fue de 0.92 hectárea.

Se determinó que la utilización de los residuos agroindustriales utilizados como abono orgánico incrementa la producción de toneladas métricas de caña por hectárea en un 29% comparado con la fertilización convencional de 60 kg N/ha utilizado por el ingenio La Unión, además de determinó que la incorporación de los residuos en los primeros 20 cm del suelo, incrementan el contenido de %M.O. y eleva los niveles de pH.

El capítulo III está enfocado en la realización de los dos servicios prestados al departamento de ingeniería agrícola: a) evaluación hidráulica de motobombas y b) elaboración y organización de la cartografía digital, utilizada por el departamento de ingeniería agrícola.

La evaluación hidráulica de motobombas determinó el estado actual del sistema de riego por aspersión, señalando varias causas del deterioro del mismo, entre las que se encuentra la mala operación y el deterioro de los equipos.

El área de sistemas de información geográfica, tiene como proyecto principal la georeferenciación y la creación de toda la base de datos, la cual permite planificar y mejorar la toma de decisiones, optimizando así el uso de los recursos en la producción de caña de azúcar. Además, permite orientar de mejor manera la investigación y desarrollo tecnológico de las prácticas agronómicas que se aplican al cultivo.



## 1.1 Presentación

Actualmente en Guatemala la producción de caña para la producción de azúcar, es uno de los procesos más actualizados y tecnificados que existen, siendo también reconocidos a nivel mundial, razón que la sitúa en el quinto lugar a nivel mundial en exportación de azúcar.

La producción de caña de azúcar en Guatemala es tan importante debido a todos los logros que han alcanzado los ingenios, entre estos se encuentran los niveles altos de productividad, con estos niveles tan altos el concepto de divisas por la caña de azúcar se ha incrementado en los últimos años generando al mismo tiempo mayor cantidad de empleos, obteniendo así una mejora en la economía regional.

La producción de la caña de azúcar depende de varios factores, tales como: el suelo, el clima, la fertilización, el manejo, y dentro de estos el riego, el cual es importante para poder alcanzar un buen desarrollo del cultivo como también de la economía regional.

El presente documento contiene el diagnóstico que se realizó a las áreas del departamento de Ingeniería Agrícola del ingenio La Unión, para determinar sus problemas y sus fortalezas, con la intención de mejorar la operación de los mismos. Entre los temas principales la evaluación hidráulica de motobombas, el monitoreo de pozos de observación y la ordenación de la cartografía digital.

## **1.2 Definición del problema**

El departamento de ingeniería agrícola es un ente que presta servicios y que se le exige calidad en su trabajo, debido a esto se hace necesario la determinación de problemas en la operación del departamento y con esto llegar a determinar cuáles son las causas y establecer soluciones.

Se puede exponer que una mala aplicación de riego, puede ser el resultado de un mal sistema hidráulico, y no de la forma de su aplicación. El desempeño del equipo de medición topográfica puede estar influenciado por la capacidad de los usuarios y no así por el tipo de aparato.

La capacidad para interpretar gráficamente la información proveniente del campo es importante, una poca capacidad para su interpretación puede ser debido a una deficiente organización cartográfica, y con ello a una mala interpretación de datos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 General**

Diagnosticar el departamento de Ingeniería Agrícola, de la empresa ingenio la Unión, S.A. e Identificar y priorizar los principales problemas que afectan al departamento.

### **1.3.2 Específicos**

- Determinar los problemas del departamento de Ingeniería Agrícola.
- Conocer la Información Cartográfica existente.
- Jerarquizar la problemática encontrada.

## **1.4 Metodología**

### **1.4.1 Delimitación del área de estudio**

Se delimitó el área de trabajo al departamento de Ingeniería Agrícola que presta sus servicios en sus diferentes áreas de trabajo a las cuatro zonas de producción de caña de azúcar, que están bajo la administración del ingenio La Unión.

### **1.4.2 Entrevistas**

Se llevaron a cabo visitas de campo con cada uno de los jefes de las áreas del departamento para obtener información de sus experiencias y objetivos en cuanto a sus labores agrícolas a cargo.

### **1.4.3 Revisión de literatura**

Se realizaron revisiones de literatura de folletos, libros, diapositivas, tesis, toda la información se obtuvo del ingenio La Unión, CENGICANA, y de la biblioteca de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

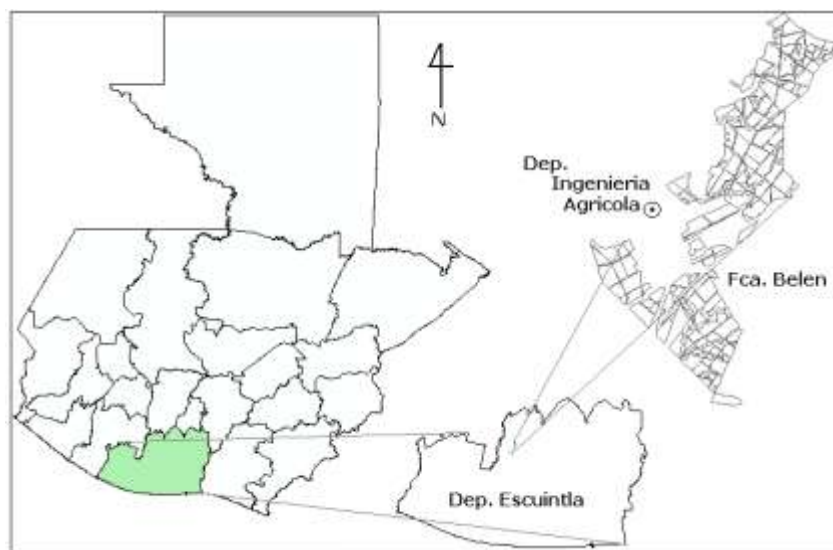
### **1.4.4 Recopilación de la información**

Se recopiló la información obtenida y se realizó un FODA para conocer la situación real en la que se encuentra el departamento de Ingeniería Agrícola, así como sus riesgos y oportunidades.

## 1.5 Resultados y discusión

### 1.5.1 Ubicación

El ingenio La unión se ubica en las coordenadas  $14^{\circ}16'18.17''$  latitud Norte y  $91^{\circ}05'50.17''$  longitud Oeste, a una altura de 150 msnm localizado en Finca Belén, kilómetro 112 de la ruta que conduce a la aldea Cerro Colorado al Sur-oeste de la ciudad capital, en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, del departamento de Escuintla (Aquino, 2010).



**Figura 1. Croquis de ubicación geográfica de ingenio La Unión.**

Fuente: Departamento de Ingeniera Agrícola, ingenio La Unión S. A., 2010.

### 1.5.2 Estratos altitudinales

Según Aquino, (2010) la finca Belén, donde se encuentra ubicado el departamento de Ingeniería Agrícola está localizada en el estrato altitudinal medio, en donde la altitud es de 150 msnm. El departamento realiza sus actividades en sus diferentes áreas de servicio, las cuales las aplica en las cuatro zonas de producción ubicadas en los tres estratos altitudinales, los cuales están distribuidos de la siguiente manera:

**Cuadro 1. Estratos altitudinales donde Dpto. de Ingeniería Agrícola presta servicios.**

Estratos	Área(ha)	Altitud (msnm)	PP (mm/año)
Zona alta	1,265	Mayor a 300	5,020
Zona media	4,751	101 – 300	2,213
Zona baja	2,375	40 – 100	1,466
Zona litoral	8,111	Menor a 40	1,230

Fuente: Departamento de Ingeniería Agrícola, ingenio La Unión S.A. 2010.

### 1.5.3 Aspectos climáticos

El clima de la finca Belén es cálido, la temperatura promedio se encuentra alrededor de los 27 °C, la precipitación promedio anual es de 2,213 mm entre los meses de mayo a octubre (Motta, 2010).

### 1.5.4 Suelo

Los suelos de la finca Belén se encuentran en la posición fisiográfica cuerpo de abanico, desarrollados a partir de materiales volcánicos, limitados por una capa muy compacta de aglomerado volcánico (talpetate), ubicados en la parte inferior del declive del Pacífico. Estos presentan pendientes onduladas de 3 – 5%, con un drenaje interno moderado, el suelo superficial presenta una textura franco arcilloso. El régimen de humedad al cual permanece este tipo de suelo es udico y el epipedón es umbrico (García et al. 1996.)

### 1.5.5 Extensión

El ingenio La Unión cuenta con un área total de 20,075 hectáreas, sembradas con caña de azúcar, la cual es comprendida en el periodo de la zafra de Noviembre 2009 a Octubre 2010.



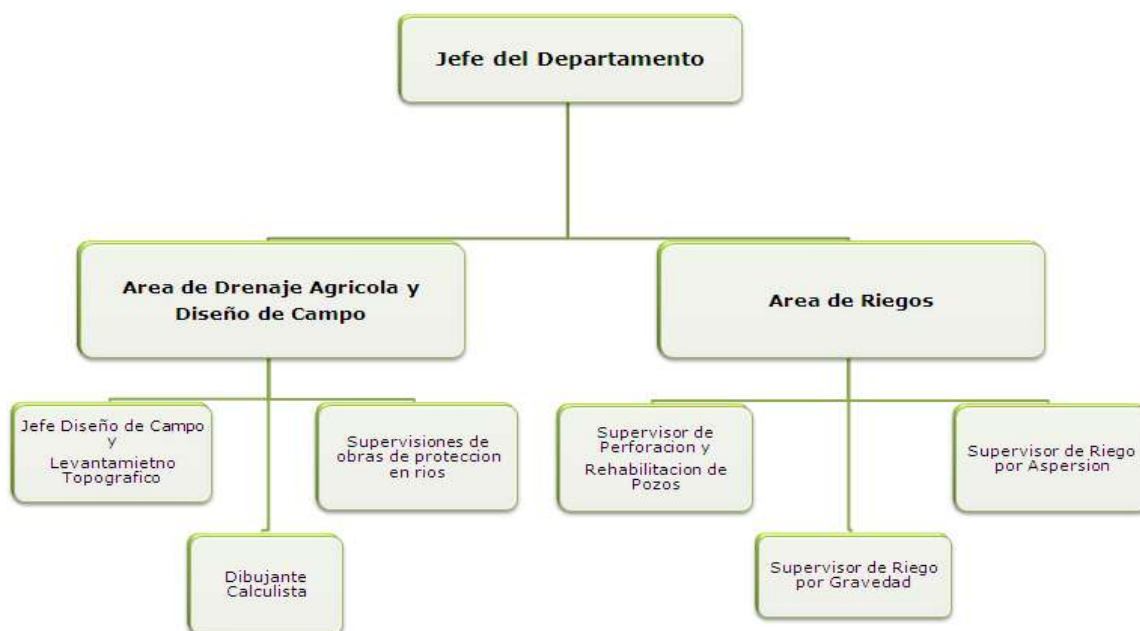
### 1.5.6 Departamentos de servicio existentes en la empresa

Los Departamentos existentes en la división de campo son los siguientes:

- A. Departamento de Agronomía
  - Área de Control de Plagas y Enfermedades
  - Área de Control de Malezas
  - Área de Fertilización
- B. Departamento de Investigación
- C. Departamento de Ingeniería Agrícola
  - Área de Drenaje Agrícola
  - Área de Diseño de Campo
  - Área de Control de Inundaciones
  - Área de Riegos

### 1.5.7 División del departamento de Ingeniería Agrícola

Para ver de una mejor forma las divisiones se presenta a continuación un organigrama del departamento.



**Figura 2. Organigrama del Depto. de Ingeniería Agrícola.**

### **1.5.7.1 Diseño de campo, drenaje agrícola, obras de protección en ríos y estudios especiales**

El departamento de diseño de campo coordinar los estudios y programas de levantamiento topográfico y además diseño de campo; para adecuarlos al campo con el fin de reducir costos de manejo y cultivo, incrementar rendimiento de labores y reducción de daños. Además, ejecución de estudios, planes y obras de drenaje agrícola y protección en ríos con la finalidad de reducir los riesgos de desbordes e inundaciones sobre área de interés de la empresa, tanto con recursos propios como de terceros.

### **1.5.7.2 Riego y perforación de pozos**

El departamento de riegos coordina conjuntamente con la superintendencia de campo y jefaturas de zona la formulación futura, implementación y puesta en marcha de proyectos nuevos así como la operación de los existentes. Coordinar la perforación de pozos para el área agrícola de la empresa, tanto en proyectos actuales como futuros, con la finalidad de dotar de agua a los cultivos (hule y caña de azúcar) de la empresa.

### **1.5.8 Análisis FODA**

Se realizó un análisis FODA basado en las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas presentes en el Departamento de Ingeniería Agrícola. Este análisis se realizó observando y describiendo las características de las labores del departamento y al área en el cual opera. El análisis FODA permitió detectar las Fortalezas del departamento, las Oportunidades, las Debilidades y las Amenazas.

Una de las actividades de gran importancia para el departamento y para la empresa es el riego y en especial el riego por aspersión. Este sistema de riego fue al que el personal del departamento le dió mucha importancia ya que la actividad requiere de mucha inversión económica y de la cual se esperan resultados en el crecimiento de la producción.

Según importancia se puede mencionar en segundo lugar al sistema de análisis de la información proveniente de fuentes externas. El departamento cuenta con una gran fuente de información cartográfica de la que un 80% se encuentra mal ordenada y/o mal realizada, pudiéndose aprovechar este tipo de herramienta para la toma de decisiones en las labores de campo. Además muchos de las empresas ya cuentan con un sistema de información geográfica que hace al departamento de Ingeniería Agrícola estar desactualizado en el uso de su información.

El cuadro 2 muestra, el análisis FODA realizado, utilizando para ello la información recabada en las entrevistas de campo y tomado de las observaciones que se realizaron.

**Cuadro 2. Análisis FODA del Depto. de Ingeniería Agrícola.**

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Información detallada de procesos realizados en labores de campo	Implementación de un Sistema de Información Geográfica, para la interpretación de datos	Software desactualizado para realizar el análisis de las labores asignadas	Competencia por parte de otros Departamentos en la implementación de nuevas tecnologías.
Personal altamente competente, en las distintas áreas.	Capacitaciones en las diferentes áreas del departamento	Sistemas Hidráulicos de Motobombas en mal estado	Falta de apoyo en la implementación de equipo nuevo
Destreza en el manejo de software geográfico	Utilización de sistemas de riego más eficientes en el uso del recurso hídrico.	Mapas cartográficos no Georeferenciados para realizar análisis espacial	Utilización errónea de la Información para su análisis
Información Histórica recabada de todas las labores de campo a disposición del Departamento	Implementación de un sistema que audite el estado de los accesorios de riego	Una mala jerarquización de las bases de datos.	Bajos rendimientos debido al mal sistema de riego por mal estado de sus accesorios
Relieve topográfico apto para sistema de riego por aspersión		Operadores de riego mal capacitados en el manejo del sistema de riego y accesorios.	

### 1.5.9 Jerarquización de problemas

La matriz de priorización de problemas se utilizó como herramienta para obtener un consenso sobre el diagnóstico realizado en el departamento de Ingeniería Agrícola. Esta matriz de priorización sirvió para clasificar los problemas en base a un criterio en particular que es de gran ayuda para ver con mayor claridad cuáles son los problemas más importantes sobre los que se deben de trabajar para encontrar la mejor solución posible.

Con la información primaria y secundaria obtenida se elaboró una matriz de priorización con los problemas detectados en las diferentes labores realizadas en el Departamento de Ingeniería Agrícola de la empresa.

**Cuadro 3. Cuadro matriz de priorización de problemas según importancia.**

No.	Problema	Jefe Dpto.	Jefe Área 1	Jefe Área 2	Asistente Dpto.	Total
1	Limitada capacidad de interpretación de datos provenientes de campo para la toma de decisiones.	8	7	7	6	28
2	Situación actual del sistema hidráulico de Motobombas	5	10	10	9	34

### 1.5.10 Situación actual del sistema hidráulico de motobombas.

Actualmente el sistema hidráulico de las motobombas se encuentra afectado por dos factores: Mala administración del sistema de riego y al mal estado de los accesorios. Estos pueden llevar a cabo una mala aplicación del riego y por consiguiente una reducción en la producción del cultivo.

Uno de los principales motivos que afectan al sistema hidráulico de las motobombas, son los empaques que se utilizan, ya que en algunos casos, no son los empaques correctos de acuerdo al tipo de la tubería.

Todos los problemas que va sumando a lo largo de la tubería, hacen que las motobombas cambien las características requeridas de trabajo.

Actualmente el Área de Riegos, cuenta con 160 motobombas para realizar la aplicación de riego, utilizando sistemas como: bombeo-gravedad, aspersión y autopropulsados (Aquino, 2010).

El cuadro 4 muestra la cantidad de equipo disponible actualmente en el Área de Riegos.

**Cuadro 4. Método de riego según disponibilidad de motobombas.**

Método de riego	Total Motobombas	Área de riego (ha)	Equipos en mal estado a fecha 22/03/10
Aspersión	88	7,075	13
Bombeo gravedad	20	2,093	1
Gravedad	4	940	
Bombas abastecedoras	33		3
Pivotes fijos	5	410	
Pivotes móviles	3	320	
Avance frontal	4	1,137	
Avance lateral	3	405	
Total	160	12,380	17

Fuente: Departamento de Ingeniería Agrícola, ingenio La Unión. 2010.

El método de riego por aspersión es el que comprende la mayor cantidad de superficie, y el que lo abastece la mayoría de las motobombas. Es por eso la importancia de realizar una evaluación del sistema hidráulico de las motobombas, para este método de riego.

En la figura 3, podemos observar una fuga de agua, ocasionada por la utilización de accesorios en mal estado colocados a la tubería. Estas fugas, causan perdidas de presión a todo lo largo de la tubería. Las fugas provocan además de pérdida del recurso hídrico,

también focos para propagación de hongos y de plagas, debido a alta cantidad de humedad.



**Figura 3. Fuga de agua en un sistema de riego por aspersión.**

Actualmente el mantenimiento que se le da al sistema hidráulico afecta el rendimiento del equipo. En la figura 4, se puede observar un mantenimiento por parte de los operadores de los equipos, este mantenimiento no es recomendable ya que persisten las fugas en el sistema hidráulico.



**Figura 4. Mantenimiento realizado al sistema hidráulico.**

En cuanto al área cubierta por cada método de riego, se muestra en el cuadro 5, las hectáreas por método de riego.

**Cuadro 5. Resumen de métodos de riego, zafra 2008-2009.**

Método de Riego	Hectáreas	% Área Total
Aspersión	6,442	32%
Bombeo Gravedad	1,737	9%
Gravedad	752	4%
Mecanizados	2,076	10%

Fuente: Departamento de Ingeniería Agrícola, ingenio La Unión. 2010.

#### **1.5.11 Capacidad limitada en interpretación de datos de campo en la toma de decisiones**

Actualmente el Departamento de Ingeniería Agrícola cuenta con un total de 17 mapas. Seis de ellos se encuentran en físico. Y el resto en formato digital. La totalidad de los mapas no poseen Georeferenciación, lo que hace que el análisis y la toma de decisiones, a partir de un material cartográfico digital. Para tener una mayor capacidad de interpretación de los datos tomados en campo y tomar decisiones de acuerdo a ello, se hace necesario la creación de una cartografía digital que permita un mejor análisis y visualización de datos de interés para el departamento.

#### **1.5.12 Material cartográfico**

El departamento de Ingeniería Agrícola cuenta con una extensa base de datos de las actividades que a diario se realizan. A la fecha el departamento maneja un total de 17 mapas temáticos, de los cuales 6 se encuentran únicamente en copia física. El resto de mapas se encuentra en una buena parte digitalizado.

También es importante que estos tengan asignado un sistema de coordenadas estándar. En este caso el sistema de coordenadas Universal Transversal of Mercator –UTM-, ya que la mayor parte de información que se comparte con otras empresas posee este sistema de

coordenadas. Actualmente todos los mapas no cuentan aún con un sistema definido de coordenadas. La Georeferenciación de los mapas es necesaria ya que sin ello el análisis espacial no se podrá llevar a cabo.

En el cuadro 6 se puede observar los mapas con los que cuenta el Departamento de Ingeniería Agrícola y la disposición del formato digital.

**Cuadro 6. Mapas temáticos generados en el Depto. de Ingeniería Agrícola.**

	Mapa Temático	% Digitalizado	Disposición	Formato Digital
1	Grupo de Similar Manejo	0	Físico	
2	Fertilidad de Suelo	0	Físico	
3	Textura de Suelo	0	Físico	
4	Pozos de Observación	1	Físico	
5	Curvas de Nivel	70	Digital	AutoCAD
6	Canales de Riego	75	Digital	AutoCAD
7	Fincas	100	Digital	AutoCAD
8	Áreas de Diseño por Finca	100	Físico	
9	Métodos de Riegos	100	Digital	AutoCAD
10	Drenaje	100	Digital	AutoCAD
11	Bordas	100	Digital	AutoCAD
12	Rutas Cañeras(Primarias y Secundarias)	70	Físico	
13	Ríos	100	Digital	AutoCAD
14	Áreas Calculada	100	Digital	AutoCAD
15	Áreas Manejada	100	Digital	AutoCAD
16	Lotes	100	Digital	AutoCAD
17	Zonas	100	Digital	AutoCAD

Fuente: Departamento de Ingeniería Agrícola, ingenio La Unión. 2010.



## 1.6 Conclusiones

Entre las principales actividades que realiza el Departamento de Ingeniería Agrícola, podemos mencionar los distintos métodos de riego; gravedad, bombeo-gravedad, aspersión y autopropulsados. También cuenta con otras actividades como la de diseño de campo y drenaje.

Dentro de los principales problemas que se encuentran dentro del Departamento de Ingeniería Agrícola resalta el mal estado del sistema hidráulico de las motobombas, debido a la mala operación y el mal funcionamiento que han reportado algunas de las motobombas por mantenimientos incorrectos, es por ello que se necesita realizar una evaluación del sistema hidráulico.

Otro de los problemas es la limitada interpretación de datos provenientes de campo, para tomar decisiones, por ejemplo; la creación de mapas de Isobatas que tiene por objetivo ubicar áreas donde el nivel freático es alto y donde es necesario drenar para evitar la aparición de enfermedades y decrementos en el rendimiento de azúcar, esto hace necesario la creación de una cartografía digital que permita facilitar los análisis y la toma de decisiones para no incurrir en altos costos de operación.

De los dos problemas que se establecieron en el departamento, se determinó que el más importante de ellos es el mal estado del sistema hidráulico de las motobombas, ya que este se refleja a corto plazo en el aumento de la producción de caña de azúcar. En cuanto a la problemática de la limitada capacidad de interpretación de datos provenientes en campo para la toma de decisiones, es menos importante, debido al continuo y complejo desarrollo que esto requiere.

## 1.7 Bibliografía

1. Aquino, BR. 2010. Ubicación geográfica de fincas del Ingenio La Unión, (entrevista). Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, Ingenio La Unión, Dep. de Ingeniería Agrícola.
2. García, A; Martínez, F; Ruiz, E; Rodríguez, I; Varela, J. 1996. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. 2 ed. Guatemala, CENGICANA. 216 p.
3. Sandoval, Illescas, JE. 2007. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Editorial Universitaria. 345 p.



## CAPITULO II

**USO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO ABONO ORGÁNICO Y  
SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR  
(*Saccharum Spp.*) EN UN SUELO MOLLISOL, EN LA FASE I.**

## 2.1 Presentación

En la zona cañera de la costa sur de Guatemala, la fertilidad del suelo es la base fundamental para alcanzar la sostenibilidad en la agricultura y el incremento requerido en la producción de la caña de azúcar unido a una disminución en las labores agrícolas a practicar.

Mucho se habla de los beneficios de la reutilización de materiales de desecho agroindustrial en la agricultura y sus efectos en las propiedades químicas del suelo y su aumento en la producción agrícola. Los ingenios, han usado la cachaza (residuo de consistencia lodosa, que se elimina en el proceso de clarificación del jugo de caña) para la fertilización orgánica de áreas de renovación, localizadas en zonas cercanas a los ingenios. En ingenio la Unión han recurrido a la utilización de la ceniza y residuos vegetales para mejorar las propiedades químicas del suelo y aumentar la producción de caña de azúcar.

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de evaluar la influencia de la adición de cachaza, ceniza y residuos vegetales en las propiedades químicas del suelo, y su efecto en la producción de caña de azúcar, en su primera fase. Esta investigación se dividió en 5 fases, de un año de duración cada una, a lo que corresponde un ciclo de cosecha por fase. Al final de cada fase se generarán y evaluarán los resultados que orientarán acerca de los beneficios de la aplicación de los residuos agroindustriales por cada ciclo del cultivo. La segunda, tercera y cuarta fase de la investigación estarán a cargo del ingenio la Unión para evaluar los efectos a largo plazo que tendrá los residuos agroindustriales.

Con los resultados que se obtuvieron en esta investigación se espera incrementar 28 t/ha de caña de azúcar en las áreas de renovación, cercanas al ingenio.

## 2.2 Definición del problema

En 1997, el ingenio La Unión, S.A., realizó una investigación con el fin de medir el efecto de la cachaza en la producción de caña de azúcar en fincas cercanas al ingenio, evaluando 22.8 y 45.5 t/ha en base seca de cachaza añadiendo 0, 50 y 100% de la fertilización convencional con urea, equivalente a 30 y 60 kg de N/ha. Los estudios estadísticos demostraron que hubo efecto significativo en las siguientes socas, pero no así entre ambos tratamientos.

A partir del 2007 se mezcló la cachaza, residuos vegetales y ceniza (residuos agroindustriales) que no los generaba el ingenio anteriormente, para aplicarlos en cantidades de 121 t/ha en base seca, con el 100% de fertilización convencional.

Aún no se ha evaluado el incremento en la productividad con la utilización de residuos agroindustriales (121 t/ha) comparándose con la fertilización convencional. Se estima que con la utilización de los residuos, la productividad debería de incrementar 25 toneladas métricas de cana por hectárea y si no hubiese incremento la dosis de dichos residuos debería de redefinir a los 45.5 t/ha empleados anteriormente.

## 2.3 Marco conceptual

### 2.3.1 Cachaza

La caña de azúcar (*Saccharum Spp.*) es la planta que más perfeccionado tiene los mecanismos para la producción de sacarosa y su eficiencia de asimilación de fotosíntesis y capacidad de producir masa verde compuesta por azúcares, almidones, proteína y elementos lignocelulósicos, todos ellos materias primas según el Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar (GEPLACEA, 1990).

GEPLACEA, (1990) subraya que la cachaza es el residuo en forma de torta, marrón oscuro, constituido por una mezcla de fibra de caña, sacarosa, coloides, ceras etc., que se elimina en el proceso de clarificación del jugo de caña, durante la fabricación del azúcar crudo, en general se puede observar que contiene gran cantidad de nitrógeno, debido a la asimilación de nutrientes que posee la caña de azúcar en comparación con otras leguminosas (frijol común, soya, habas y especies arbóreas como *Leucaena Spp*) y también valores altos de fósforo, por la aplicación de ácido fosfórico en la clarificación de los jugos durante su obtención en el área de fábrica.

Estudios realizados por Cairo et al. (1996) demuestran la influencia de la cachaza como abono orgánico en los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar, especialmente en los primeros 20 centímetros del suelo, igualmente resaltan que la cachaza favorece las propiedades químicas, físicas y físico-químicas del suelo, y resalta sobre el buen aprovechamiento que realiza la planta del fósforo.

La molienda diaria del ingenio La Union en la zafra 2009-10 es de 14,996 toneladas métricas de caña, de lo cual la cachaza representa el 3.5% de los residuos generados por el ingenio, equivalente a 524.9 t/día.

## 2.3.2 Métodos de aplicación de la cachaza

### 2.3.2.1 Localizado

La incorporación de la cachaza por medio del método localizado se lleva a cabo cuando el suelo se encuentra surcado y se han colocado en los surcos los trozos de semilla de caña; el tape se realiza con cachaza y el retape se puede realizar con suelo, (Pina et al, 1996).

### 2.3.2.2 Incorporado

Consiste en esparcir homogéneamente la cachaza sobre la superficie del terreno e incorporarla, con posterioridad con alguna labor durante la preparación del suelo, (Pina et al, 1996).

## 2.3.3 Composición química de la cachaza

El cuadro 7, detalla los resultados del análisis químico realizado a una muestra de cachaza, tomada durante la descarga de los vehículos de la misma en campo.

**Cuadro 7. Análisis químico del residuo cachaza.**

Residuo Agroindustrial	N	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Fe	Mn	pH	% Humedad
	%					mg kg <sup>-1</sup>					
Cachaza	1.25	1.75	0.21	0.20	2.51	66.89	132.79	3,030.15	225.64	7.10	74.87

Fuente: Resultados de análisis químico del residuo cachaza realizado en el laboratorio agronómico de CENGICAÑA. 2010.

Los análisis generados por el laboratorio del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA), presenta un bajo contenido de potasio, contrario al contenido de fósforo que presenta un valor elevado.

## **2.3.4 Factores que influyen en la composición de la cachaza**

### **2.3.4.1 Influencia de la composición de la cachaza**

La composición de la cachaza varía de acuerdo al manejo que se le da a la caña de azúcar en los campos y en el área de fábrica. Entre los factores agroindustriales se detallan los siguientes:

#### **2.3.4.2 Variedad de la caña de azúcar**

El contenido de nitrógeno, fósforo y otros elementos depende de la variedad de caña, así como de la cantidad de materia cerosa, la cual varía de una especie a otra (GEPLACEA, 1990).

#### **2.3.4.3 Tipo de cosecha**

El empleo del corte mecanizado aumenta la materia extraña que entra en fábrica de 3.8 a 6%, y por lo tanto, incrementa el contenido de cenizas, materia orgánica y otros sedimentos que hacen variar la composición de la cachaza (GEPLACEA, 1990), en comparación con el corte manual que mantiene un 3% de materia extraña.

#### **2.3.4.4 Procesos utilizados en fábrica**

Los procesos utilizados en fábrica, como la adición de ácido fosfórico, modifican enormemente la cantidad de nutrientes como en este caso el fósforo contenido en la cachaza, igualmente estos procesos pueden modificar la humedad contenida en la cachaza.



### **2.3.5 Uso de la cachaza**

La utilización más difundida es como fertilizante orgánico, por la gran cantidad de nutrientes que posee, entre estos se encuentra; el nitrógeno, fósforo y calcio que se aportan al suelo (GEPLACEA, 1990). También es utilizada por sus ceras que se extraen con solventes orgánicos, para sustituir ceras naturales y las derivadas del petróleo.

Según Zerega, (1993) la utilización de la cachaza como abono orgánico puede aportar cantidades importantes de macro y/o micronutrientes al suelo, aunque esto varía con su composición, el clima, suelo y manejo, como se mencionó anteriormente.

Otro uso muy amplio que cita GEPLACEA, (1990) para el uso de la cachaza es en la alimentación de ganado vacuno pudiendo obtener buenos resultados.

### **2.3.6 Influencia de la cachaza en el suelo**

En ensayos realizados por el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA) se encontró que la cachaza influyó algunas propiedades químicas de los suelos, entre las que se destaca un aumento de los contenidos de materia orgánica, de pH, calcio y de potasio intercambiable, pero el efecto más importante ocurrió con el fósforo disponible, ya que un mes después de la aplicación los contenidos de este nutrimento en algunos suelos, que inicialmente eran bajos, alcanzaron valores muy altos, los cuales fue posible mantener después de tres cortes consecutivos con aplicaciones de 167 t/ha de cachaza en base húmeda.

Según Donelan, AF (1994) con la aplicación de la cachaza hay mejoras físicas del suelo, tales como:

- a) al mezclar cachaza con suelos de cualquier textura, se mejora la capacidad de retención de agua.
- b) se reduce la compactación.

- c) la cachaza proporciona una mayor resistencia a la formación de una capa sobre la superficie del suelo, la cual es a menudo causada por el impacto de las gotas de lluvia o de los aspersores del sistema de riego, dicha costra reduce la entrada de aire y agua por la superficie de suelo.

### 2.3.7 Ceniza

La empresa obtiene el material particulado (ceniza) en la quema del bagazo de la caña de azúcar en la cogeneración de energía eléctrica, las partículas se originan en la combustión del bagazo dentro de la caldera, ascendiendo por las chimeneas y luego capturadas en las trampas de humedad, que consisten en condensar el material particulado. El total de ceniza obtenida de las chimeneas es de 224.9 t/día, equivalente al 1.5% de la molienda de caña diaria (14,996 t/día).



**Figura 5. Trampas de humedad apagadas en chimeneas.**



**Figura 6. Trampas de humedad encendidas en chimeneas.**

### 2.3.8 Composición química de la ceniza

A continuación en el cuadro 8, se detallan los resultados del análisis químico realizado a una muestra de ceniza, tomada al momento de salir de fábrica.

**Cuadro 8. Análisis químico del residuo ceniza.**

Residuo Agroindustrial	N	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Fe	Mn	pH	% Humedad
	%					mg kg <sup>-1</sup>					
Cachaza	0.15	0.18	0.15	0.65	0.30	35.50	24.00	1,595.00	82.50	9.19	85.14

Fuente: Resultados de análisis químico de la ceniza realizado en el laboratorio agronómico de CENGICAÑA. 2010.

Los análisis de laboratorio del residuo ceniza (cuadro 8) muestran que los valores de pH en la ceniza son altos relacionados con la cachaza y los residuos vegetales, igualmente el contenido de humedad posee valores por encima de la cachaza y los residuos vegetales, pero esto puede estar influenciado por el proceso utilizado en la obtención de la ceniza en las trampas de humedad colocadas en las chimeneas.

### 2.3.9 Uso de la ceniza

La ceniza recogida en los equipos que remueven el material particulado de los gases de chimenea, se utiliza mezclada con cachaza para la adecuación de suelos, obteniendo un producto denominado cenichaza. Cuando la ceniza y la cachaza se mezclan en una proporción 1:1 (peso húmedo) y se dejan descomponer, se obtiene un abono con relación C:N adecuada, pero con menor contenido de M.O., nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, y mayor contenido de potasio que la cachaza descompuesta, (Pérez, 1996).

En órdenes de suelos como Inceptisoles y Entisoles, la aplicación de cenichaza en el fondo del surco con 75% de la dosis de nitrógeno, fósforo y potasio que normalmente se aplica en plantía y del nitrógeno que se aplica en las socas, es posible obtener producciones relativamente altas de caña y de azúcar, (Pérez, 1996).

### 2.3.10 Residuos vegetales

#### 2.3.10.1 Descripción general

Los residuos vegetales de la caña de azúcar, se obtienen del proceso del lavado en seco. Este es un proceso que consiste desde la colocación de la caña de azúcar en la mesa, pasando por debajo de un eje giratorio como se observa en la figura 7, hasta llegar a un tamiz móvil que desprende la basura de la caña.



Figura 7. Eje giratorio en el proceso de lavado en seco.



**Figura 8. Obtención de residuos vegetales en el proceso de lavado en seco.**

Al final del proceso se extraen los residuos vegetales en bandas (figura 8) para su deposición en los camiones que luego se descargan al campo.

Anterior a 2007 la caña se lavaba usando para su efecto un volumen de 12,000 gl. de agua por minuto, cuando la cifra de la molienda alcanzaba las 10,886 t/día. Hoy la molienda de caña es de 14,996 t/día, que son lavadas en seco y de donde son generados los 150.0 t/día de residuos vegetales, equivalente al 1%.

### 2.3.10.2 Composición química de los residuos vegetales

Los análisis de laboratorio dan a conocer los parámetros químicos de los residuos vegetales que se detallan en el cuadro 9.

**Cuadro 9. Análisis químico del residuo vegetal.**

Residuo Agroindustrial	N	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Fe	Mn	pH	% Humedad
	%					mg kg <sup>-1</sup>					
Cachaza	0.44	0.10	0.15	0.82	0.10	7.38	9.84	1,124.34	108.20	6.10	36.47

Fuente: Resultados de análisis químico de los residuos vegetales realizado en el laboratorio agronómico de CENGICAÑA. 2010.

## 2.4 Marco referencial

### 2.4.1 Localización del área experimental

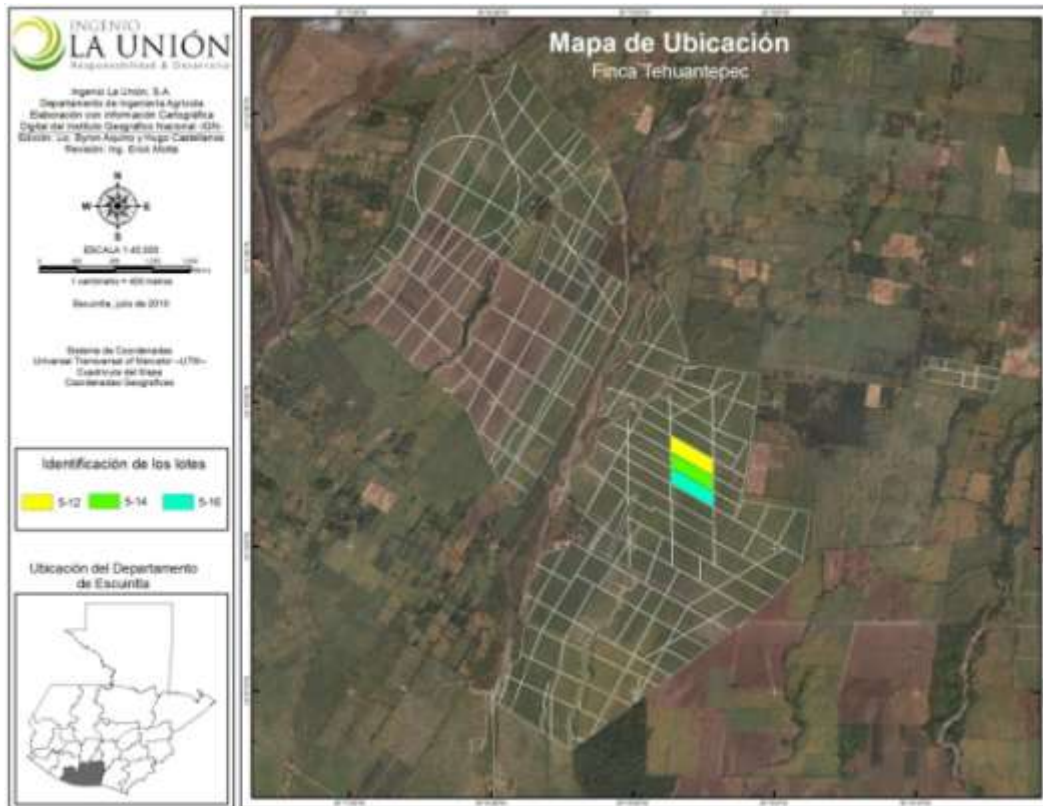
La finca Tehuantepec se encuentra localizada en la división fisiográfica del pacifico, con un relieve semiplano y que limita al sur con el Océano Pacifico, y ubicada en la cuenca del río Acomé, como puede observarse en la figura 9 del mapa de cuencas hidrograficas.



**Figura 9. Mapa de cuencas hidrográficas, República de Guatemala.**

La finca Tehuantepec se localiza en el kilómetro 106 de la carretera que conduce a Cerro Colorado, en el Municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla a una distancia de 17.8 kilómetros del ingenio La Unión y con una extensión de 1,473 ha. Ubicada en las

coordenadas 14° 16'00" latitud Norte y 91° 10' 50" longitud oeste, la altitud es de 69 metros sobre el nivel del mar.



**Figura 10. Mapa de ubicación de finca Tehuantepec.**

En la figura 10 se muestra el mapa de ubicación de finca Tehuantepec y los lotes donde se adicione cachaza, ceniza y residuos vegetales, los cuales son 5-12, 5-14 y 5-16 del sector cinco de la finca Tehuantepec.

#### **2.4.2 Historia**

Con el fin de medir el efecto de la cachaza (sin ceniza y residuos vegetales) en la producción de caña de azúcar en plantilla y su efecto residual en las siguientes cuatro socas, se realizó un experimento con la variedad de caña de azúcar CP73-1547, en la

finca Tehuantepec. Este ensayo se estableció en 1997 con el diseño de bloques al azar (DBA), con cuatro repeticiones y la unidad experimental consistió en 0.5 ha.

Los niveles de cachaza (base húmeda) evaluados fueron 84 y 167 t/ha. Estos se aplicaron bajo tres niveles de fertilización química: 0, 50 y 100% de la fertilización convencional (45-90 kg N/ha y 60 kg/ha  $P_2O_5$ ) combinados en un factorial  $2 \times 3$  y se adiciono el testigo (testigo químico convencional sin cachaza). La cachaza se aplicó homogéneamente sobre la superficie total del terreno y la fertilización se hizo en la forma convencional aplicando todo el fósforo a la siembra y 45 días después se aplicó todo el nitrógeno. En 1998, 1999 y 2000 no se aplicó fertilización química, ni cachaza. En 2001 se aplicó el 100% de la fertilización convencional en todas las parcelas (Azañon. et al. 2002).

En 2002 los resultados indicaron efectos estadísticamente significativos de los niveles de cachaza con relación a cuando no se aplicó, sin embargo, no se detectaron diferencias evidentes entre 84 y 167 t/ha de este material. Se determinaron efectos residuales estadísticamente significativos de la cachaza sobre la producción en los cuatro años siguientes.

El incremento total acumulado en la producción de los cinco años de estudio fue de 43 y 53 toneladas de caña más por hectárea al aplicar 84 y 167 t/ha de cachaza respectivamente, en comparación a la fertilización convencional sin cachaza.

### **2.4.3 Precipitación pluvial**

Según datos obtenidos de la estación meteorológica de CENGICAÑA en la finca Tehuantepec, la precipitación pluvial ocurre generalmente desde el mes de mayo a octubre y anualmente se acumula en promedio 2,444 mm de lluvia.



#### 2.4.4 Temperatura

La temperatura media anual osciló entre 26°C y 28°C, con una mínima de 21°C y una máxima de 37°C (CENGICAÑA).

#### 2.4.5 Estratos altitudinales

La finca Tehuantepec se ubica geográficamente a lo largo del estrato altitudinal bajo, con 69 msnm. Estos estratos que conformo CENGICAÑA se basaron principalmente en la altura sobre el nivel del mar, los cuales se detallan en el cuadro 4.

**Cuadro 10. Estratos altitudinales de la zona cañera en la costa sur de la Republica de Guatemala.**

Estrato	Altitud (msnm)
Alto	Mayor a 300
Medio	101 a 300
Bajo	40 a 100
Litoral	Menor a 40

Fuente: CENGICAÑA. 2004.

#### 2.4.6 Zona de vida

Según el sistema de clasificación de Holdrige el área se encuentra en la zona de vida, Bosque muy Húmedo Subtropical Cálido “bmh-S(c)”, que corresponde a la zona más rica en composición florística de Guatemala (MAGA, 2000).

#### 2.4.7 Condiciones edáficas

##### 2.4.7.1 Serie de suelos

En la finca Tehuantepec se hallan tres tipos de serie de suelos, entre ellas están; Tiquisate franco-arenosa “Ti”, Bucul “Bu” Paxinamá vPx”.

La serie que abarca la mayor extensión de la finca y en donde se localiza el experimento, es la serie Tiquisate franco-arenosa (Simmons et al. 1959). La cual posee las características siguientes: textura franco-arenosa, suelos bien drenados, extensos y que comprenden el 44.5% del área del departamento de Escuintla, además son adaptables a una gran variedad de cultivos y con suficiente regadío y con buen manejo pueden mantenerse en un alto nivel de producción.

**Cuadro 11. Características de suelos Tiquisate franco-arenoso.**

Característica	Descripción
Símbolo	Ti
Serie de Suelos	Tiquisate franco-arenoso
Material Original	Depósitos Marinos Aluviales
Relieve	Casi Plano
Drenaje	Buen Drenaje
Color Superior	Café Oscuro a Café muy Oscuro
Color Sub-superficial	Café Claro
Textura Superior	Franco-Arenosa Fina
Textura Sub-superficial	Franco-Arenosa-Fina
Profundidad efectiva	100
Riesgo de Erosión	Regular a bajo
pH	7

Fuente: Simmons et al. 1959.

#### **2.4.7.2 Orden de suelos según el estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala**

Según el estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala, realizado por CENGICAÑA, 1996, describe que son suelos con estado de desarrollo: incipiente, joven o maduro. Con un horizonte superficial (epipedón mólico) de color oscuro, rico en humus bien estructurado, suave en seco y un subsuelo de acumulación de arcilla iluvial (un endopedón cámbico); profundos, desarrollados de depósitos aluviales arenosos y pedregosos de origen volcánico, régimen de humedad udico isohipertérmico. Taxonomía del perfil, subgrupo Typic *Hapludolls* (García et al. 1996.).

## **2.5 Objetivos**

### **2.5.1 Objetivo general**

Evaluar la influencia de la aplicación de los residuos agroindustriales en la producción de caña de azúcar en el primer año de cosecha (Fase I).

### **2.5.2 Objetivos específicos**

Evaluar el efecto de la aplicación de 121 t/ha de residuos agroindustriales (cachaza, ceniza y residuos vegetales) en base seca con 30 y 60 kg N/ha, en la producción de caña de azúcar (t/ha).

Evaluar la influencia de la aplicación de 121 t/ha de residuos agroindustriales (cachaza, ceniza y residuos vegetales) en base seca con 30 y 60 kg N/ha, en las propiedades químicas del suelo. (pH, MO, CE, P, K)

## **2.6 Hipótesis**

Los Residuos Agroindustriales del ingenio la Unión (cachaza, ceniza y residuos vegetales) con 121 t/ha, incrementan la producción de caña de azúcar (t/ha) en el primer año de cosecha (Fase I).

## 2.7 Metodología

La presente investigación fue establecida en un suelo Mollisol (Typic Hapludolls Franca gruesa), profundo, bien drenado, con un nivel de materia orgánica de 5.9%, con una precipitación promedio anual de 2,444 mm. Área con riego, ubicado a 69 msnm, en la finca Tehuantepec, ingenio La Unión. Los lotes utilizados para la investigación no poseen histórico de aplicación de algún componente de residuos agroindustriales.

### 2.7.1 Diseño experimental

Para la realización del experimento se utilizó un diseño de bloques al azar, con 4 tratamientos y 3 repeticiones (12 unidades experimentales).

### 2.7.2 Descripción de los tratamientos

Los factores de estudio son 121 t/ha de residuos agroindustriales, con una relación de peso de 1:1.3:2.4 correspondiente a ceniza:residuos vegetales:cachaza respectivamente de lo cual el 25% del peso es representado por la ceniza, el 16.67% por residuos vegetales y 58.33% de cachaza, además combinado con fertilizante nitrogenado (30 kg N/ha y 60 kg N/ha, 45 días después de la siembra) para todos los tratamientos.

**Cuadro 12. Descripción de tratamientos empleados.**

Tratamiento	Dosis de Residuos Agroindustriales (t/ha)	Dosis de kg N/ha
I	121	
II	121	30
III	121	60
Testigo		60

Fuente: Elaborado por el autor, 2011.

El tratamiento I como se muestra en el cuadro 12, consistió en 121 t/ha de residuos agroindustriales, el tratamiento II además de los 121 t/ha de residuos agroindustriales se le agregó 30 kg N/ha. Al tratamiento III se le complementó la dosis normal de nitrógeno utilizada para caña plantía de 60 kg N/ha, y por último se empleó el testigo con la dosis convencional de nitrógeno de 60 kg N/ha.

### 2.7.3 Distribución

La distribución de las repeticiones y los tratamientos se estableció según la figura 11, y además muestra que entre cada tratamiento existe un borde para evitar interferencia entre las unidades experimentales. La orientación de los surcos se estableció de este a oeste.

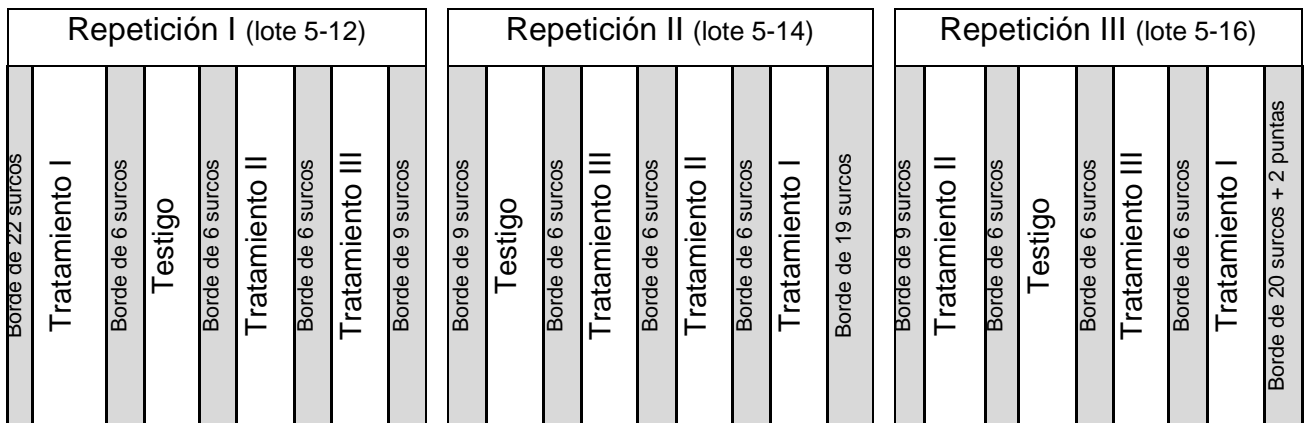


Figura 11. Croquis de distribución de los residuos agroindustriales.

### 2.7.4 Tamaño de la unidad experimental

El tamaño de la unidad experimental fue de 12 surcos por parcela (18 metros de ancho), con un largo de 516 metros. El área utilizada por cada unidad experimental es de 9,288 metros cuadrados, para hacer un total de 111,456 metros cuadrados entre las 12 unidades experimentales, equivalente a 11.12 ha.

## 2.7.5 Variables de respuesta

### 2.7.5.1 Rendimiento de las toneladas de caña por hectárea

Para evaluar el efecto en la producción con la aplicación de residuos agroindustriales con los distintos niveles de nitrógeno, se usaron los datos de producción, obtenidos en el departamento de corte, alce y transporte “CAT”, utilizando el diseño de bloques al azar para su análisis.

### 2.7.5.2 Propiedades químicas del suelo

Para la evaluación de las propiedades químicas del suelo se realizaron 2 muestreos de suelo. El primero se realizó antes de la distribución de los residuos y el segundo se llevó a cabo en el mes de septiembre. Los muestreos se realizaron a una profundidad entre 0.0 y 0.20 cm. Los análisis fueron realizados por el laboratorio del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, “CENGICAÑA”.

- Materia Orgánica (%)
- Conductividad Eléctrica (ds/m-1)
- pH
- Fósforo “P” (ppm)
- Potasio “K” (Meq/100 g Intercambiables)

**Cuadro 13. Rangos utilizados en la Interpretación de análisis de suelos.**

Parámetro	Bajo	Adecuado o Normal	Alto
pH		5.5 – 7.2	
CE (ds/m-1)		< 2.0	
MO (%)	< 3.0	3.0 – 5.0	> 5.0
P (ppm)	<10.0	10.0 – 30.0	> 30.0
K (meq/100g)	< 0.25	<0.25 – 0.38	> 0.38
Fe (ppm)		5.0 - 25	
Mn (ppm)		2.0 - 20	

Fuente: CENGICAÑA. 2011.

El cuadro 13 es un resumen de los parámetros de macronutrientes y micronutrientes generado por el departamento de Agronomía de CENGICAÑA.

## 2.7.6 Manejo del experimento

### 2.7.6.1 Preparación del terreno

#### a) Distribución de los residuos agroindustriales

La distribución de los residuos agroindustriales dentro de las unidades experimentales se realizó situando banderas (homogéneamente dentro del terreno) de colores que identificaron la ubicación de cada residuo agroindustrial dentro de la unidad experimental para homogenizar de una mejor manera la distribución de los camiones de volteo. Los camiones que transportaban cachaza se dirigían a las banderías de color azul, para los de ceniza hacia las banderas de color amarillo y residuos vegetales las banderas de color verde.

En el cuadro 14 se muestra el número de viajes que realizó cada vehículo, por unidad experimental. En total se realizaron 420 viajes con 1,171.8 toneladas de residuos agroindustriales para las 12 UE.

**Cuadro 14. Distribución de toneladas por residuo agroindustrial.**

Residuo Agroindustrial	No. de Viajes	t/viaje	Toneladas totales
Cachaza	17	3.38	57.42
Ceniza	4	4.02	16.11
Residuos Vegetales	14	1.72	24.12
Total	35	---	97.65

Nota: Los cálculos se basaron en el área de las unidades experimentales de 0.92ha, por lo cual estos datos representan únicamente una unidad experimental. Las toneladas por viaje y las toneladas totales hacen referencia a toneladas cortas.

## b) Homogenización de los residuos

La cachaza se colocó en el terreno dos semanas antes de la siembra. Inmediatamente después de salir de la fábrica se distribuyó con un tractor con cuchilla (D5) y se incorporó con un rastro arado de cuatro discos.

### **2.7.7 Surcado**

El surcado se realizó a una distancia entre surco de 1.5 metros.

### **2.7.8 Siembra**

Se sembró en época seca y el material vegetal utilizado fue la variedad CP72-2086. Se realizó con esquejes de 60 centímetros de largo, amarrados en paquetes de 30 esquejes. Cada paquete se utilizó para ocho metros lineales. En promedio se colocaron 15 yemas en promedio por metro lineal. En una hectárea se colocaron 833 paquetes de caña con peso de 25 lb/paquete, en total se utilizaron 9.46 toneladas métricas de esquejes por hectáreas que se utilizaron en dicho experimento. La distancia de siembra entre surcos fue de 1.50 metros, debido al tipo de corte manual.

### **2.7.9 Fertilización**

Para la fertilización nitrogenada, se empleó como fuente de nitrógeno la Urea 46% y se aplicó de forma mecánica a los 45 días posteriores a la siembra. La dosis para el tratamiento dos fue de 30 kg N/ha, para los tratamientos tres y cuatro, fueron de 60 kg N/ha. En total se utilizaron 10 quintales de urea 46% (45.36 kg/saco) para las 11.04 ha que abarcan las 12 unidades experimentales.



### **2.7.10 Riego y drenaje**

El riego fue con el sistema de pivote móvil y se aplicaron 5 mm/día durante la época seca.

El inicio del riego se realizó inmediatamente después de la siembra y en el periodo de noviembre a diciembre se realizó el riego pre-cosecha hasta la aplicación de madurante.

### **2.7.11 Control de malezas**

La maleza predominante en los lotes evaluados fue el coyolillo "*Cyperus rotundus*". El tipo de control realizado fue químico, con una aplicación de herbicida después de la siembra, con Trifloxi sulfuron (krismat) 2 kg/ha y 1lt de 2 4-d.

### **2.7.12 Cosecha**

La cosecha se realizó a los 11.7 meses de edad y fue realizado con el sistema de corte manual y alce mecánico, transportando la caña en vagones y posteriormente a su llegada en bascula se registraron los pesos de cada parcela.

### **2.7.13 Muestreo de suelo**

Se realizaron dos muestreos de suelo durante la primera fase de la investigación. El primer muestreo se llevo a cabo antes de la aplicación de los residuos agroindustriales y el segundo a los 6 meses de edad del cultivo.

## 2.8 Resultados y discusión

### 2.8.1 Producción de caña de azúcar (t/ha)

A continuación se presenta los resultados de las producciones obtenidas por unidad experimental en la fase uno de la investigación.

**Cuadro 15. Producciones obtenidas en t/ha por unidad experimental.**

	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Promedio
Tratamiento I	101.86	100.43	103.37	101.89
Tratamiento II	92.31	83.34	97.91	91.19
Tratamiento III	94.95	82.82	101.81	93.19
Tratamiento IV	79.32	59.41	63.35	67.36

El cuadro 15 muestra las producciones por tratamiento y repetición, demostrando que los tratamientos I, II y III poseen las producciones más altas que el tratamiento testigo con 67.4 t/ha.

**Cuadro 16. Análisis de la varianza para la variable producción (t/ha) de caña.**

Fuente de Variación	S.C.	GL	C.M.	F	p-valor
Modelo	1965.94	3	655.31	10.09	0.0043
Tratamientos	1965.94	3	655.31	10.09	0.0043
Error	519.62	8	64.95		
Total	2485.56	11			

Nota: Análisis estadístico realizado con el software Infostat, 2011.

CV: 9.12%

Según el análisis de varianza (ANDEVA) que se muestra en el cuadro 16, se acepta la hipótesis alternativa, en la que la aplicación de los residuos agroindustriales (cachaza, residuos vegetales y ceniza) incrementan la producción en toneladas métricas de caña por hectárea; y debido a que hubo diferencia significativa se realizó la prueba de comparación

múltiple de medias con el criterio de Tukey, para identificar el tratamiento que produjo mejores producciones (t/ha).

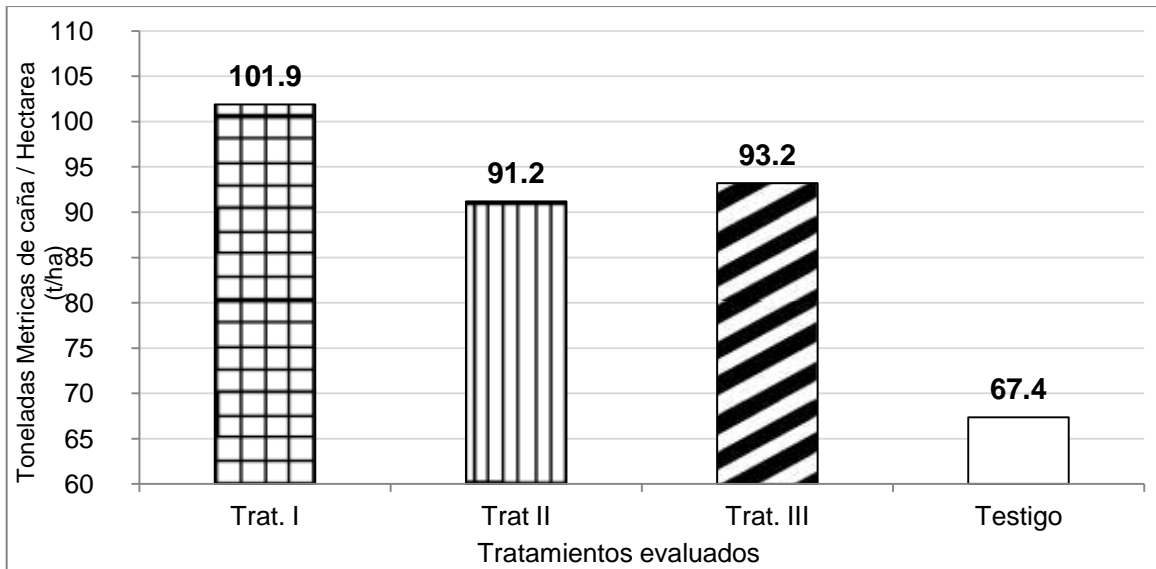
**Cuadro 17. Comparación de medias de la variable producción de caña utilizando el estadístico de Tukey.**

Tratamiento	Descripción del Tratamiento	Media	Literal
I	121 t/ha Residuos A.	101.89	a*
III	121 t/ha Residuos A. + 60 kg N/ha	93.19	a*
II	121 t/ha Residuos A. + 30 kg N/ha	91.19	a*
Testigo	Testigo (60 kg N/ha)	67.36	b*

Nota: Análisis estadístico realizado con el software Infostat, 2011. \*Letras distintas indican diferencia significativa al 5%, según la prueba de comparación múltiple de medias, con el criterio de Tukey.

El análisis de medias según el criterio de Tukey (cuadro 17) muestra diferencias entre aplicar (tratamiento I, II y III) y no aplicar (testigo) residuos agroindustriales, obteniéndose un incremento del 29% (28.06 t/ha),

El cuadro 17 muestra que estadísticamente los tratamientos I, II y III no presentan diferencias entre sí. Por los costos de la labor en la aplicación más el costo del insumo, se puede considerar que el mejor tratamiento es el I (figura 12), porque no hay necesidad de recurrir a los gastos de adquirir insumo, mano de obra y combustible en la aplicación del fertilizante.



**Figura 12. Promedio de t/ha por tratamiento.**

La fertilización química podría ser sustituida por la aplicación de 121 t/ha de residuos agroindustriales en las condiciones evaluadas para este ensayo, incrementado en un 29.4% (28.06 t/ha) la producción de caña durante el primer año del cultivo, con respecto al testigo.

## 2.8.2 Influencia de los residuos agroindustriales en las propiedades químicas del suelo (MO, pH, CE, P y K) en los primeros 20 cm del suelo

### 2.8.2.1 Materia orgánica (%M.O.)

A continuación se detallan los promedios de materia orgánica obtenidos por tratamiento y repetición:

**Cuadro 18. Valores obtenidos de materia orgánica por unidad experimental.**

	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Promedio
Tratamiento I	7.95	7.13	6.52	7.20
Tratamiento II	6.72	7.44	7.08	7.08
Tratamiento III	7.13	6.72	6.72	6.86
Tratamiento IV	5.91	5.52	5.91	5.78

Los suelos del sitio poseen valores por encima del 5.5% M.O., por lo cual se considera como un contenido alto, comparado con el rango normal de materia orgánica (cuadro 13), establecidos por el Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA)

**Cuadro 19. Análisis de varianza para variable porcentaje de materia orgánica.**

Fuente de Variación	S.C.	GL	C.M.	F	p-valor
Modelo	3.79	3	1.26	6.72	0.0141
Tratamientos	3.79	3	1.26	6.72	0.0141
Error	1.5	8	0.19		
Total	5.29	11			

Nota: Análisis estadístico realizado con el software Infostat, 2011.

CV: 6.44%

El análisis de varianza sobre %M.O. (cuadro 19) muestra que la aplicación de los residuos agroindustriales (cachaza, ceniza y residuos vegetales) incrementan el % M.O., por lo que se realizó la prueba de comparación múltiple de medias con el criterio de Tukey, para identificar el comportamiento de los tratamientos.

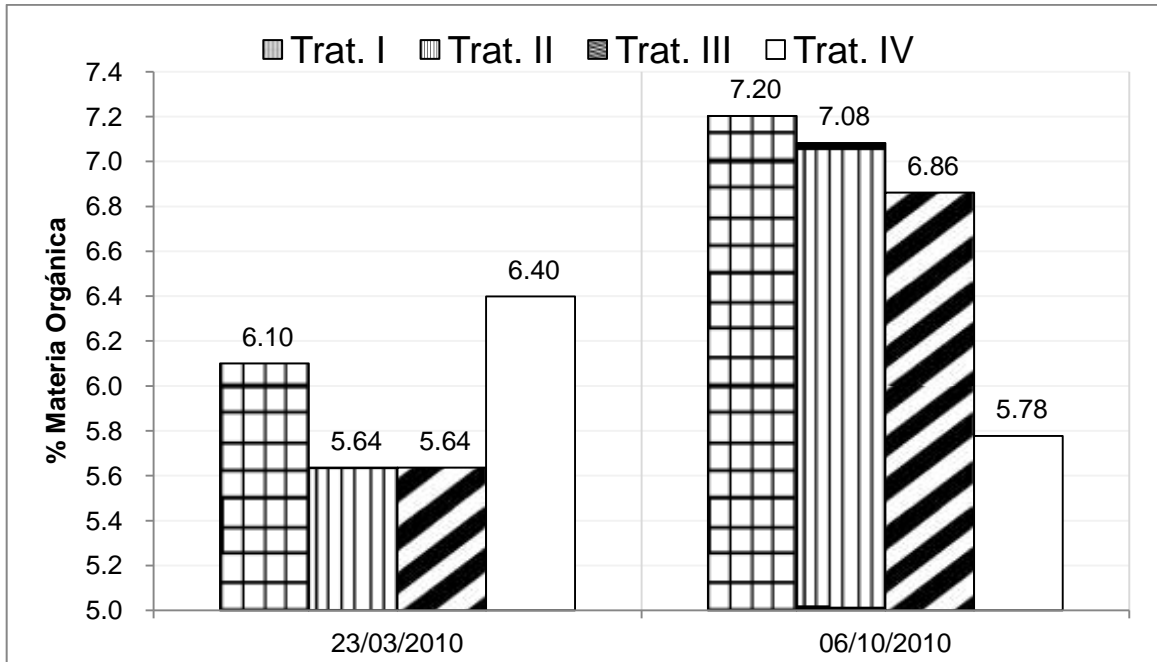
**Cuadro 20. Comparación de medias de la variable materia orgánica utilizando el estadístico de Tukey.**

Tratamiento	Descripción del Tratamiento	Media	Literal
I	121 t/ha Residuos A.	7.20	a*
II	121 t/ha Residuos A. + 30 kg N/ha	7.08	a*
III	121 t/ha Residuos A. + 60 kg N/ha	6.86	a b*
Testigo	Testigo (60 kg N/ha)	5.78	b*

Nota: Análisis estadístico realizado con el software Infostat, 2011. \*Letras distintas indican

diferencia significativa al 5%, según la prueba de comparación múltiple de medias, con el criterio de Tukey.

Según el criterio de Tukey (cuadro 20) se presentaron diferencias significativas en los tratamientos con residuos agroindustriales, con un incremento de 1.27 % M.O. en los primeros 20 centímetros del suelo, comparado sin la aplicación de residuos (testigo).



**Figura 13. Comportamiento del %M.O. en el suelo al aplicar residuos agroindustriales.**

### 2.8.2.2 Comportamiento del potencial hidrogénico (pH)

El cuadro 21 muestra los promedios del potencial hidrogénico obtenidos por tratamiento y repetición:

**Cuadro 21. Valores obtenidos de pH por unidad experimental.**

	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Promedio
Tratamiento I	6.68	6.73	6.77	6.73
Tratamiento II	6.67	6.88	6.70	6.75
Tratamiento III	6.68	6.77	6.59	6.68
Tratamiento IV	6.53	6.5	6.45	6.49

Los valores máximos y mínimos obtenidos de pH están situados entre los rangos de 6.59 a 6.88 (cuadro 21), lo que indica que el pH promedio de 6.72 en la mezcla de residuos agroindustriales (cachaza, ceniza y residuos vegetales) no influenció el incremento del mismo en el suelo según los rangos normales o adecuados que menciona CENGICAÑA entre 5.5 - 7.2 (cuadro 13).

**Cuadro 22. Análisis de varianza para la variable potencial hidrogénico.**

Fuente de Variación	S.C.	GL	C.M.	F	p-valor
Modelo	0.12	3	0.04	6.6	0.0148
Tratamientos	0.12	3	0.04	6.6	0.0148
Error	0.05	8	0.01		
Total	0.17	11			

Nota: Análisis estadístico realizado con el software Infostat, 2011. CV: 1.18%

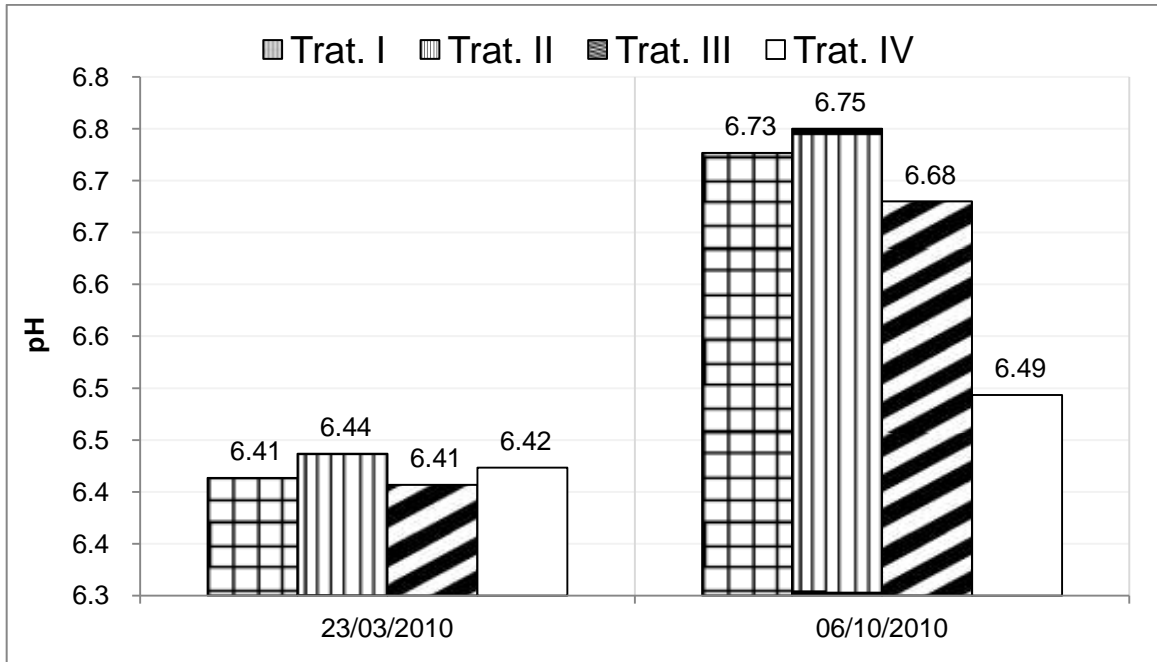
Por su parte el análisis de varianza que se detalla en el cuadro 22 muestra que la aplicación de los residuos agroindustriales (cachaza, residuos vegetales y ceniza) incrementan el pH, por lo que se realizó la prueba de comparación múltiple de medias con el criterio de Tukey, para observar el comportamiento de los tratamientos.

**Cuadro 23. Comparación de medias de la variable potencial hidrogénico utilizando el estadístico de Tukey.**

Tratamiento	Descripción del Tratamiento	Media	Literal
II	121 t/ha Residuos A. + 30 kg N/ha	6.75	a*
I	121 t/ha Residuos A.	6.73	a*
III	121 t/ha Residuos A. + 60 kg N/ha	6.68	a b*
Testigo	Testigo (60 kg N/ha)	6.49	b*

Se presentaron diferencias significativas según el criterio de Tukey en el incremento del pH del 0.23 en los primeros 20 cm del suelo en los tratamientos con residuos

agroindustriales comparado con el testigo (cuadro 23). Este incremento de pH puede influir d una forma en la disponibilidad de algunos nutrientes para que sean más fácilmente asimilables por la planta, (Jacob, A; H. Van Uexkull, 1964) (figura 14).



**Figura 14. Comportamiento del potencial hidrogénico del suelo aplicando residuos agroindustriales.**

Según la figura 14, el tratamiento que obtuvo el mayor incremento de pH fue el II (121 t/ha de residuos agroindustriales + 30 kg N/ha), incrementando 0.26 el pH del suelo en los primeros 20 centímetros durante la primera fase de la investigación comparándose con el tratamiento que no se le adicióno los residuos agroindustriales (testigo).

### 2.8.2.3 Conductividad eléctrica (CE)

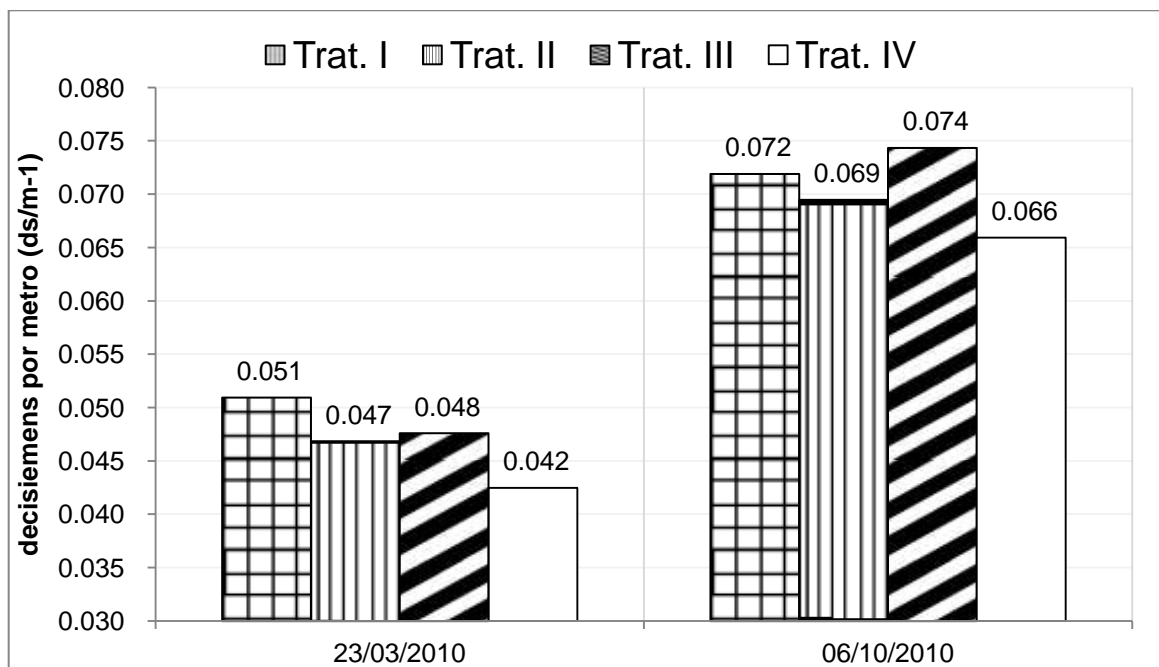
El valor máximo para la CE es de 2 ds/m-1, los valores menores de 2 ds/m-1 se toman como normales o adecuados, según recomendaciones de CENGICAÑA (cuadro 13).



**Cuadro 24. Valores obtenidos de conductividad eléctrica (ds/m-1) por unidad experimental.**

	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Promedio
Tratamiento I	0.0796	0.0675	0.0686	0.0719
Tratamiento II	0.0703	0.0366	0.1015	0.0695
Tratamiento III	0.1035	0.0576	0.0619	0.0743
Tratamiento IV	0.0651	0.0676	0.0651	0.0659

Los datos obtenidos muestran datos menores a 0.037 ds/m-1, empero se observó un ligero aumento en promedio de la conductividad eléctrica en los tratamientos con residuos agroindustriales de 0.006 ds/m-1, en comparación al testigo que no se le añadió los residuos agroindustriales (figura 15).



**Figura 15. Comportamiento de la conductividad eléctrica aplicando residuos agroindustriales.**

El análisis de varianza realizado no mostro una significancia en el incremento de la conductividad eléctrica (ds/m-1) con la aplicación de los residuos agroindustriales como se muestra en el cuadro 25.

**Cuadro 25. Análisis de varianza para la variable conductividad eléctrica (ds/m-1).**

Fuente de Variación	S.C.	GL	C.M.	F	p-valor
Modelo	0.00012	3	0.000039	0.09	0.9633
Tratamientos	0.00012	3	0.000039	0.09	0.9633
Error	0.0034	8	0.00043		
Total	0.0036	11			

Nota: Análisis estadístico realizado con el software Infostat, 2011.

CV: 29.41%

#### 2.8.2.4 Comportamiento del fósforo (P)

El fosforo registro mayor incremento en los tratamientos que contenían residuos agroindustriales, estos valores se muestran en el cuadro 26.

**Cuadro 26. Valores obtenidos de fosforo (ppm) por unidad experimental.**

	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Promedio
Tratamiento I	80.48	55.60	9.07	48.38
Tratamiento II	65.90	65.17	8.80	46.62
Tratamiento III	9.43	34.13	14.82	19.46
Tratamiento IV	15.32	1.44	1.89	6.22

Los rangos adecuados del fósforo oscilan entre 10.0 a 30.0 ppm (cuadro 13). El rango promedio obtenido por los tratamientos I, II y III con residuos agroindustriales es de 38.16 ppm de fósforo en los primeros 20 cm del suelo. Si se compara sin la aplicación de residuos agroindustriales (testigo) hay un incremento de 31.94 ppm de fósforo.

El incremento del fósforo se debe al aporte de 1,412 kg/ha de este elemento en la mezcla de los residuos agroindustriales, cálculos que se observan en el cuadro 23.

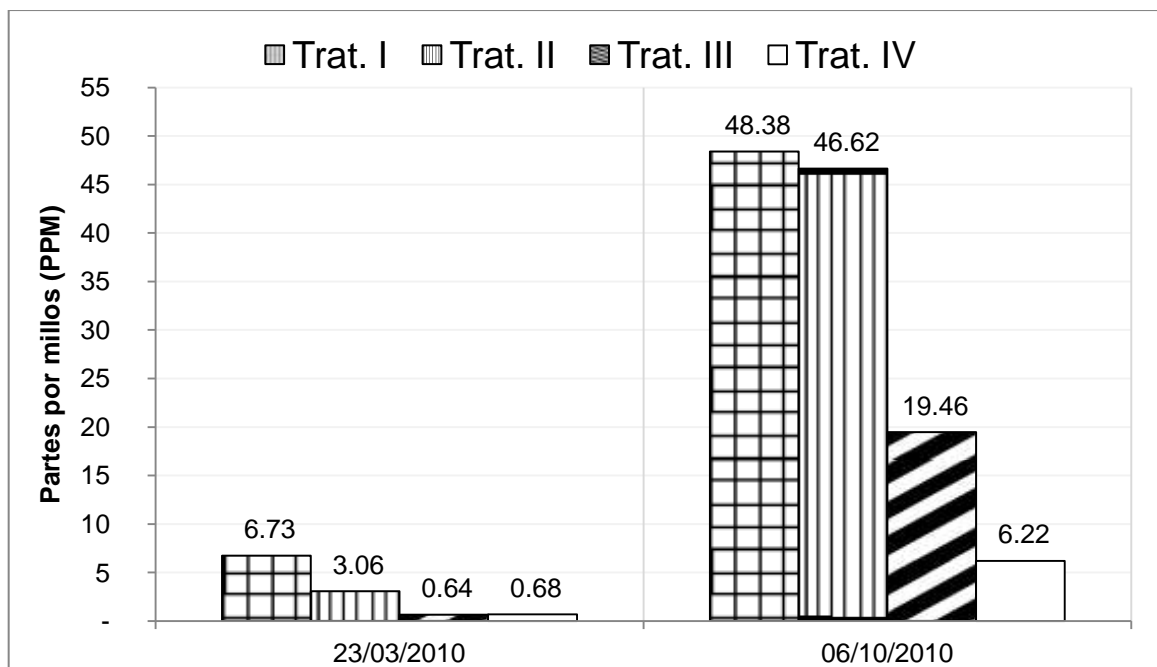
**Cuadro 27. Análisis de varianza para la variable fósforo (ppm).**

Fuente de Variación	S.C.	GL	C.M.	F	p-valor
Modelo	3872.71	3	1290.9	1.97	0.1968
Tratamientos	3872.71	3	1290.9	1.97	0.1968
Error	5235.73	8	654.47		
Total	9108.45	11			

Nota: Análisis estadístico realizado con el software Infostat, 2011.

CV: 84.79%

Para el caso del fósforo el análisis de varianza no mostro una significancia en el incremento de ppm en los primeros 20 centímetros del suelo en la aplicación de los residuos agroindustriales y el testigo, ver cuadro 28.



**Figura 16. Comportamiento del fósforo aplicando residuos agroindustriales.**

En la figura 16 se muestra un incremento del fósforo en los tratamientos con residuos agroindustriales a pesar de que no se haya encontrado una significancia estadística, debido a la variabilidad de los datos.

### 2.8.2.5 Comportamiento del potasio (K)

El presente cuadro detalla promedios de meq/100g. de potasio por tratamiento y repetición:

**Cuadro 28. Valores obtenidos de potasio (meq/100 g) por unidad experimental.**

	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Promedio
Tratamiento I	0.3529	0.8870	1.2734	0.8378
Tratamiento II	0.8154	0.8154	0.6802	0.7703
Tratamiento III	0.3017	0.2506	0.8847	0.4790
Tratamiento IV	0.1483	0.3017	0.3222	0.2574

El rango promedio obtenido de potasio fue de 0.696 meq/100g comparándose con el testigo (sin residuos), posee un incremento de 0.436 meq/100g. El incremento del potasio se debió al aporte mineral de 508 kg/ha de este nutriente en la mezcla de los residuos agroindustriales (cuadro 31). CENGICAÑA reporta que para el potasio los rangos normales oscilan entre 0.25 – 0.38 meq/100g (cuadro 13) y es requerido en cantidades mayores a cualquier otro nutrimento, pudiendo promover la formación de tejidos en la resistencia de enfermedades.

En el análisis de varianza se obtuvieron los siguientes resultados:

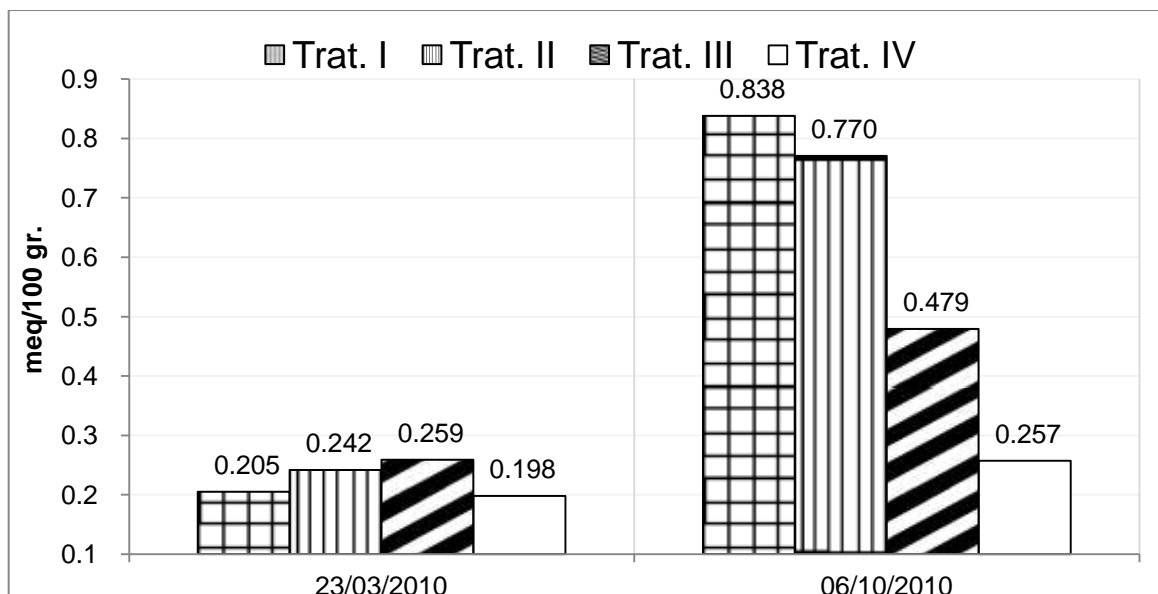
**Cuadro 29. Resumen de Análisis de varianza para variable Potasio (meq/100 g).**

Fuente de Variación	S.C.	GL	C.M.	F	p-valor
Modelo	0.66	3	0.22	2.48	0.135
Tratamientos	0.66	3	0.22	2.48	0.135
Error	0.7	8	0.09		
Total	1.36	11			

Nota: Análisis estadístico realizado con el software Infostat, 2011. CV: 50.60%

Al igual que el fósforo, el potasio en el análisis de varianza no mostró una significancia estadística en el incremento de este nutriente en meq/100g, en los primeros 20 cm. del suelo con la aplicación de los residuos agroindustriales (cuadro 30).

La figura siguiente muestra el comportamiento en promedio por tratamiento del potasio en meq/100g.



**Figura 17. Comportamiento del potasio en suelo aplicando residuos agroindustriales.**

En la grafica 17 se observa que la tendencia del potasio es a incrementarse en el rango de 0 – 20 cm del suelo, empero a la variabilidad no se demostró una diferencia estadística entre tratamientos.

En general los incrementos se dieron en todas la variables evaluadas (%M.O., CE, pH, P y K) pero solamente el porcentaje de materia orgánica y el potencial hidrogénico obtuvieron diferencia estadística significativa en los análisis estadísticos, el cuadro 26 muestra el resumen de los datos presentados anteriormente comparando los tratamientos que se les aplico residuos agroindustriales (tratamientos I, II y III) con el testigo.

**Cuadro 30. Resumen de resultados en las variables evaluadas.**

Variable	Con residuos	Sin Residuos	Incremento	Dif. Estadística
% M.O.	7.05	5.80	1.25	S
p.H.	6.72	6.49	0.23	S
C.E. (ds/m-1)	0.072	0.066	0.006	N
Fósforo (ppm)	38.16	6.22	31.94	N
Potasio (meq/100g)	0.696	0.26	0.436	N

Nota: Los valores que posee la variable Con residuos son promedios de los tratamientos I, II y III, y la variable Sin residuos son los valores del testigo.

El aporte potencial que brinda cada residuo al suelo en los primeros 20 centímetros del suelo, se detalla en el cuadro 31. En resumen se enfatiza que la cachaza es el residuo que mas nutrientes aporta al suelo comparado con la ceniza y los residuos vegetales. Solo la cachaza aporta el 276% más de fosforo comparado con los residuos vegetales.

**Cuadro 31. Aporte potencial de los nutrientes en kg/ha de nitrógeno, fósforo y potasio al suelo.**

Residuos	Nitrógeno kg/ha	Potasio kg/ha	Fósforo kg/ha	pH
Ceniza*	20	87	40	9.2
Cachaza*	664	105	1,334	7.1
R. vegetales*	170	316	39	6.1
TOTAL	855	508	1,412	7.47

\*Datos obtenidos de los cuadros 7,8 y 9 citados en este documento.

## 2.9 Conclusiones

- La aplicación en conjunto de los residuos provenientes de fabrica, obtenidos a partir del ingreso de caña para molienda (ceniza, cachaza y residuos vegetales) en dosis de 121 toneladas métricas por hectárea en base seca, incrementan la producción de caña de azúcar en un 29%, correspondiente a 28.1 toneladas métricas mas de caña por hectárea para molienda, comparado con la fertilización convencional recomendada por CENGICANÑA para caña plantía de 60 kg N/ha (testigo).
- La evaluación de los residuos agroindustriales (cachaza, ceniza y residuos vegetales) al suelo como abono orgánico con una dosis de 121 toneladas métricas por hectárea en base seca en los primeros 20 cm del suelo, obtuvo un efecto significativo en las variables de M.O. y pH a diferencia de la adición al suelo a los 45 días después de la siembra de 60 kg N/ha (testigo). Empero no se demostró estadísticamente diferencias de las variables conductividad eléctrica, fósforo y potasio, con respecto sí solo aplicase la fertilizante con la dosis de 60 kg N/ha. La materia orgánica en promedio incremento 1.25% y el potencial hidrogénico incremento 0.23.



## 2.10 Recomendaciones

- Aplicar a las aéreas a renovar la dosis utilizada de 121 t/ha de residuos agroindustriales en las proporciones de 58.3% de cachaza, 25% de ceniza y 16.7% de residuos vegetales, para incrementar la producción (t/ha) en 28.1 toneladas métricas por hectárea en base seca. Además se debe de Cuantificar el efecto residual de la fase I en las siguientes fases (4 cortes) de la investigación a cargo de la empresa ingenio La Unión, para obtener información histórica del comportamiento de la aplicación de los residuos agroindustriales y sus efectos por cada año transcurrido.
- Realizar en las siguientes fases (4 cortes) muestreos de suelo en los primeros 20 cm del suelo, para tener un registro del comportamiento de los nutrientes en el suelo durante cada fase evaluada. También se debe de tomar en cuenta la necesidad de realizar análisis foliares durante el ciclo del cultivo por cada fase, para sustentar con estos análisis los resultados logrados.

## 2.11 Bibliografía

1. Azañon, V; Sandoval, J; Pérez, O. 2002. Evaluación de dos niveles de cachaza bajo dos niveles de fertilización química convencional en siembra y su efecto residual en 4 socas de caña de azúcar, ingenio La Unión, S.A. Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, ATACA, Memoria Técnica. p. 156-160.
2. Cairo, P; Lamas, N; Goya, S; García, S; Agular, J. 1996. Influencia de la cachaza sobre las propiedades estructurales de un suelo oscuro plástico. *International Sugar Journal* 98:274-276.
3. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). s.f. Sistemas de información meteorológica de la zona cañera de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 16 mar 2010. Disponible en <http://www.cengicana.org/Portal/Home.aspx?tabid=30>
4. Donelan, AF. 1994. Utilización de la cachaza en mezclas de suelo en la estación experimental de Caroni, Trinidad. *Periódico Internacional del Azúcar*, Cali, Colombia, abril 15:593-596.
5. García, A; Martínez, F; Ruiz, E; Rodríguez, I; Varela, J. 1996. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. 2 ed. Guatemala, CENGICAÑA. 216 p.
6. GEPLACEA (Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar, MX). 1990. Cachaza. *In* GEPLACEA (Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar, MX). Manual de la caña de azúcar. US. p. 69-73.
7. Gómez P, JF. 2011. Bioabono de la cachaza (en línea). US. Consultado 16 abr 2012. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/65252547/Bioabono-de-La-Cachaza>
8. Jacob, A; Van Uexkull, H. 1964. Fertilización, nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. Trad. L. López Martínez de Alba. Wageningen, Vesmans and Zonen. p. 394-399.
9. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Mapa de zonas de vida, república de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 12 mar 2010. Disponible en [http://portal.maga.gob.gt/portal/page/portal/uee\\_infoagro/info\\_mapas](http://portal.maga.gob.gt/portal/page/portal/uee_infoagro/info_mapas)
10. \_\_\_\_\_. 2009. Mapa de cuencas hidrográficas, república de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 17 mar 2010. Disponible en [http://200.12.49.237/SIG\\_MAGA/mcuencia.html](http://200.12.49.237/SIG_MAGA/mcuencia.html)

11. Pérez, F; Scandaliaris, J; Dantur, N. 1996. Aprovechamiento agrícola de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar. *EEAOC, Avance Agroindustrial* 2:37-41.
12. Pina, DN; Blanco, C; Martin, J. 1996. Mayores ganancias mediante el empleo de cachaza en los cañaverales. *Cuba & Caña* 1(1):20-23.
13. Quintero, R; Jen, S; Castilla, C. 1984. Efectos de la cachaza en la producción de la caña de azúcar en el valle del Cauca. *In Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar* (1, 1984, Colombia). Colombia, Tecnicaña. p. 255-265.
14. Simmons, C; Tárano T, JM; Pinto Zúñiga, JH, 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Instituto Agropecuario Nacional. 1,000 p.
15. Soto, G. 1995. Prototipo varietal de caña de azúcar para la agroindustria azucarera guatemalteca. Escuintla, Guatemala, CENGICANÁ. 35 p.
16. Zerega, L. 1993. Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. *In FONAIIPA. 1993. Caña de azúcar. Venezuela.* p. 71-95.

## 2.12 Anexos



Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar  
Laboratorio Agronómico

**Cuadro 32. Resultados de Análisis Químico y Físico de Suelo, con fecha 23 de marzo de 2010.**

Fecha	Rep.	Trat	CE (dS m-1)	pH 01:2,5	% M.O.	Ca	Mg	K	Na	P	Cu	Zn	Fe	Mn	% ARC	% LIM	% ARE	15 ATM.	1/3 ATM.	D.AP. g/cc
						Meq/100 g Intercambiables												Ppm		
23/03/2010	1	I	0.064	6.41	6.50	13.73	2.34	0.27	0.10	19.11	-	6.10	0.55	19.20	8.19	26.42	65.39	17.34	44.26	1.03
23/03/2010	2	I	0.046	6.60	6.80	9.85	1.85	0.17	0.10	0.96	-	3.80	3.70	15.20	8.11	22.30	69.59	14.70	37.65	1.10
23/03/2010	3	I	0.043	6.23	5.01	8.69	1.77	0.18	0.11	0.11	-	3.05	2.30	13.05	10.25	22.30	67.45	16.26	44.24	1.10
23/03/2010	1	II	0.051	6.45	5.90	12.41	2.55	0.33	0.20	7.47	-	4.05	3.25	61.05	7.98	19.84	72.18	15.40	37.14	1.10
23/03/2010	2	II	0.050	6.34	5.80	9.27	2.28	0.18	0.14	1.07	-	3.75	3.15	16.10	8.14	20.16	71.70	14.68	36.53	1.15
23/03/2010	3	II	0.040	6.52	5.20	9.42	1.83	0.22	0.22	0.64	-	3.35	2.25	14.60	8.08	20.08	71.84	15.19	38.28	1.16
23/03/2010	1	III	0.049	6.42	5.60	10.63	2.10	0.18	0.18	0.53	-	3.80	2.80	15.40	8.07	20.04	71.89	13.91	40.39	1.13
23/03/2010	2	III	0.044	6.36	5.30	9.51	1.95	0.32	0.18	0.21	-	3.40	2.85	16.45	8.03	24.06	67.91	15.45	37.95	1.11
23/03/2010	3	III	0.049	6.44	6.00	10.96	2.28	0.28	0.22	1.17	0.10	3.20	4.10	15.75	8.10	28.35	63.55	15.85	42.57	1.03
23/03/2010	1	IV	0.042	6.44	6.80	10.17	2.16	0.21	0.19	1.60	-	3.15	2.70	21.00	12.08	19.88	68.04	15.30	40.81	1.13
23/03/2010	2	IV	0.038	6.52	7.19	11.64	2.43	0.19	0.09	-	-	2.45	1.85	13.40	8.22	22.44	69.34	17.53	45.82	1.01
23/03/2010	3	IV	0.047	6.31	5.20	9.38	1.77	0.20	0.19	0.43	-	3.35	1.85	15.05	10.00	23.86	66.14	16.28	41.06	1.07

Nota: Métodos de Análisis: Conductividad Eléctrica (CE): en agua relación 1:4, pH en Agua relación 1:2.5, Materia Orgánica: Walkey-Black; Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y Bases Intercambiables: extracción con acetato de amonio 1 normal; Micronutrientes y Fósforo: extracción con solución de Carolina del Norte, lectura por absorción atómica y espectrofotometría visible, respectivamente. Textura: método de Bouyoucos; Retención de Humedad: a 1/3 y 15 atmósferas; Densidad Aparente: método de la probeta; Humedad Gravimétrica: consultar metodología en el laboratorio.



Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar  
Laboratorio Agronómico

**Cuadro 33. Resultados de Análisis Químico y Físico de Suelo, con fecha 6 de octubre de 2011.**

Fecha	Rep.	Trat	CE (dS m <sup>-1</sup> )	pH	%	Ca	Mg	K	Na	P	Cu	Zn	Fe	Mn	%	%	%	15 ATM.	1/3 ATM.	D.AP.
				01:2,5	M.O.	Meq/100 g Intercambiables				Ppm				ARC	LIM	ARE	% H		g/cc	
06/10/2010	1	I	0.08	6.68	7.95	10.82	2.19	0.35	0.11	80.48		6.29	2.55	42.53	13.50	32.80	53.70	17.87	41.45	0.90
06/10/2010	2	I	0.07	6.73	7.13	10.09	1.81	0.89	0.38	55.60		6.03	3.52	34.53	11.51	26.29	62.20	15.85	41.86	1.01
06/10/2010	3	I	0.07	6.77	6.52	11.91	1.32	1.27	0.57	9.07		6.74	3.07	45.04	9.19	25.83	64.98	17.41	45.04	0.96
06/10/2010	1	II	0.07	6.67	6.72	7.93	0.82	0.82	0.15	65.90		3.82	1.93	11.98	11.20	24.36	64.44	15.95	39.52	1.06
06/10/2010	2	II	0.04	6.88	7.44	17.94	0.33	0.82	0.17	65.17		9.28	4.76	75.52	13.61	28.62	57.77	18.40	42.89	0.96
06/10/2010	3	II	0.10	6.70	7.08	16.95	2.02	0.68	0.05	8.80		9.91	4.25	82.33	15.60	28.89	55.51	17.17	42.35	0.98
06/10/2010	1	III	0.10	6.68	7.13	12.83	4.82	0.30	0.01	9.43		8.97	4.61	57.95	11.65	25.13	63.22	16.14	37.22	0.99
06/10/2010	2	III	0.06	6.77	6.72	8.86	0.54	0.25	0.28	34.13		4.05	2.26	22.92	11.18	30.00	58.82	15.82	42.90	1.04
06/10/2010	3	III	0.06	6.59	6.72	17.32	2.02	0.88	0.10	14.82		10.87	2.89	66.31	7.18	19.96	72.86	18.14	43.61	1.00
06/10/2010	1	IV	0.07	6.53	5.91	16.92	2.52	0.15	0.12	15.32		11.85	4.61	75.52	9.22	24.04	66.73	16.44	39.55	0.99
06/10/2010	2	IV	0.07	6.50	5.52	14.45	1.86	0.30	0.03	1.44		7.76	2.89	60.42	7.09	21.83	71.08	15.74	41.90	1.02
06/10/2010	3	IV	0.07	6.45	5.91	11.90	0.87	0.32	0.11	1.89		6.99	2.14	23.67	13.18	26.13	60.69	16.89	44.38	0.99

Nota: Métodos de Análisis: Conductividad Eléctrica (CE): en agua relación 1:4, pH en Agua relación 1:2.5, Materia Orgánica: Walkey-Black; Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y Bases Intercambiables: extracción con acetato de amonio 1 normal; Micronutrientes y Fósforo: extracción con solución de Carolina del Norte, lectura por absorción atómica y espectrofotometría visible, respectivamente. Textura: método de Bouyoucos; Retención de Humedad: a 1/3 y 15 atmósferas; Densidad Aparente: método de la probeta; Humedad Gravimétrica: consultar metodología en el laboratorio.





### 3.1 Presentación

El objeto del departamento de Ingeniería Agrícola, del ingenio la Unión, S.A. es desarrollar, adaptar y validar prácticas de manejo del cultivo de caña de azúcar, con respecto a los sistemas de riego, protección de ríos y conservación de suelos, con la finalidad de aumentar la productividad y sostenibilidad del cultivo.

El departamento de ingeniería agrícola está conformado por las áreas de riegos, protección de ríos, conservación de suelos, perforación de pozos y el área de sistemas de información geográfica.

El área de sistemas de información geográfica, tiene como proyecto principal la georeferenciación y la creación de toda la base de datos, la cual permite planificar y mejorar la toma de decisiones, optimizando así el uso de los recursos en la producción de caña de azúcar, además permite orientar de mejor manera la investigación y desarrollo tecnológico de las prácticas agronómicas que se aplican al cultivo.

El proyecto de la georeferenciación y creación de la base de datos de toda el área del ingenio incluye la identificación de zonas homogéneas agrupando atributos edafológicos y climáticos similares, también la ubicación de infraestructura física como lo son; carreteras, pistas de aterrizaje, pozos, estaciones meteorológicas, cascos urbanas, rutas cañeras, etc. También incluye toda la red hidrográfica del área de las fincas baso la administración del ingenio la Unión, S.A.

De esa manera, en el presente documento se presentan dos de los proyectos que se realizaron, los cuales han permitido una mejor toma de decisiones y una mejor planificación, los proyectos realizados son: a) Evaluación hidráulica de motobombas y, b) Elaboración y organización de la cartografía digital, utilizada por el departamento de ingeniería agrícola.



### **3.2 Área de Influencia**

Los dos servicios realizados al departamento de Ingeniería Agrícola se implementaron en distintas ubicaciones. La evaluación hidráulica de motobombas se estableció en la finca Monte Alegre, a 5 kilómetros del municipio de La Gomera, Escuintla. La superficie neta de caña en esta finca es de 1,581 hectáreas, las motobombas evaluadas fueron siete.

En la elaboración y organización de la cartografía digital del departamento de ingeniería agrícola se utilizaron las instalaciones del departamento en la finca Belén. El área de estudio se estableció para las 20,354.21 hectáreas de la empresa, ya que se elaboraron todos los mapas de las fincas.

### **3.3 Objetivo general**

Evaluar el sistema hidráulico de motobombas y la elaboración de la cartografía digital básica utilizada por el Departamento de Ingeniería Agrícola.

### **3.4 Servicios prestados**

#### **3.4.1 Evaluación hidráulica de motobombas**

##### **3.4.1.1 Definición del problema**

El decremento o incremento en la productividad la caña de azúcar (t/ha) es difícil de determinar, ya que depende de muchas labores, principalmente del riego, drenaje y fertilización. El riego es una de las actividades que requiere de mucho personal para su operación a diferencia de las demás labores mencionadas.

La mala operación puede llevar a incurrir en gastos innecesarios, y un mantenimiento adecuado ampliara la operación de los equipos, pero para ello se debe de determinar el estado actual con el cual se está operando los equipos.

### 3.4.1.2 Objetivos específicos

- Realizar una evaluación del sistema hidráulico de motobombas, en el sistema de riego por aspersión, de la finca Monte Alegre, La Gomera, Escuintla.

### 3.4.1.3 Metodología

- Se ubicaron las diferentes unidades de bombeo a través de la observación en campo y la ayuda de planos elaborados por el departamento de ingeniería agrícola.
- En cada unidad de bombeo se midió por medio de un tacómetro las revoluciones por minuto de la bomba (rpm), haciéndola llegar a las rpm con las que trabaja normalmente la bomba en campo (1,800 rpm) con el fin de diagnosticar las condiciones hidráulicas con las que operan. Se determinó la presión de salida a través del uso de un manómetro y los caudales de los aspersores.
- Para la medida de caudales de los aspersores se utilizó una manguera flexible de polietileno y un tonel. Con el volumen conocido del tonel y el tiempo en que se llene por medio de la manguera que conduce el agua de salida del aspersor se determinó el caudal de salida, haciendo la prueba para todos los aspersores que estaban en operación.
- Se enumeraron los tubos que están operando en el sistema con el fin de obtener la distancia total hasta el primer aspersor para el cálculo de carga dinámica total, incluyendo el diámetro de la tubería.
- Obteniendo los datos de campo, se procedió al cálculo de los mismos para generar graficas demostrativas de operación de los equipos de bombeo.

#### 3.4.1.4 Evaluación

Se evaluaron las condiciones hidráulicas de 7 bombas, por lo cual es factible inferir sobre el estado de estos equipos. Al observar el cuadro 34, el cual muestra la eficiencia real con la que trabajan las bombas actualmente, la cual es comparada con la eficiencia óptima estableciendo una relación entre ambas, obteniendo como resultados que la mayoría de bombas utilizan más de la mitad de su eficiencia óptima. En algunos casos se presentan bombas que utilizan 70% de su eficiencia óptima o de diseño. Esto indica que los equipos con el tiempo han perdido potencia para operar, presentando una problemática para futuro ya que la vida útil de los equipos se ha visto reducida. Incluso algunos equipos de riego trabajan con aspersores F100 y F150 en un mismo equipo de riego, esto repercute en la mala uniformidad del riego, ya que el caudal que cada uno de ellos genera es distinto y la presión con la que trabajan.

Las bombas tienen una vida útil hasta de 20 años si se les da su mantenimiento, llegan a operar eficientemente en un período de 5 a 10 años. Actualmente la mayoría de bombas tienen tres años de operación y actualmente es preocupante la situación de sus condiciones hidráulicas, por lo que se tienen que tomar medidas para su reparación y mantenimiento, ya que con esto se estaría elevando su eficiencia, lo cual favorece directamente la reducción de costos en operación. La bomba que presenta las mejores condiciones es la 16165 con una eficiencia real de 68%, representando el 70% en relación a uso con respecto a la eficiencia óptima con la que debe operar.

**Cuadro 34. Especificaciones técnicas de motobombas evaluadas.**

Motobomba	MOTOR					BOMBA	
	Marca	Modelo	Hp	GPM	RPM	Marca	Modelo
16095	John D.	4045TF150	95	800	1700	Cornell	4HC-F1
16092	John D.	4045TF150	95	800	1700	Cornell	4HC-F1
16165	John D.	4045TF150	95	800	1700	Cornell	4HH-F16
16109	John D.	4045TF150	95	800	1800	Cornell	4HC-F1
16191	John D.	4045TF150	95	800	1800	Cornell	4HC-F1
16188	Cummins	6 BT 5.9G	125	800	1500	Cornell	4HC-F1
16186	Cummins	6 BT 5.9G	125	800	1700	Cornell	4HC-F1

En el cuadro 34. Podemos observar que la eficiencia real de las motobombas está en un rango de 64 a 68%, lo que nos indica que la mayor parte de estas, se encuentra en un buen nivel de operación pero las que están dentro del rango de 64 a 85% se le debe de dar atención. Las motobombas 16096 y 16092 trabajan un bajo caudal y esto debido a las pérdidas de presión que encuentran a lo largo de la tubería. Las bajas presiones se deben a las fugas de agua y al mal estado de los implementos como se puede ver en la figura 18.

**Cuadro 35. Comparativo de eficiencias de diseño y eficiencia real de operación.**

Codigo	Modelo	gl/min	CDT (pies)	Eficiencia Real (%)	Eficiencia Optima (%)	RelacionEf real/Ef optima
16186	4HC-F1	620.9	207.0	68	70	97.1
16165	4HH-F16	512.2	154.8	67	74	90.5
16188	4HC-F1	572.0	201.2	67	70	95.7
16191	4HC-F1	550.3	195.5	66	70	94.2
16092	4HC-F1	477.3	151.0	65	70	92.8
16109	4HC-F1	531.6	195.5	65	70	92.8
16095	4HC-F1	457.4	154.8	64	70	91.4



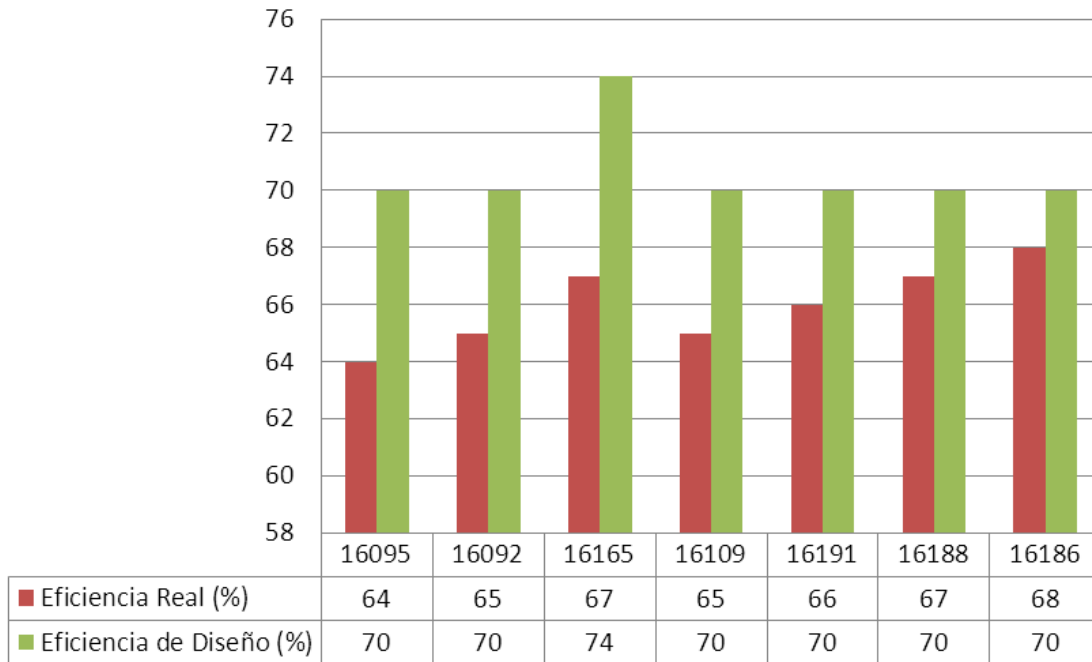
**Figura 18. Fugas en el sistema de distribución de agua para riego.**

Las bombas evaluadas presentan eficiencias de operación entre 64 a 67% de eficiencia real, afectando su vida útil y aumentando los costos de producción. Las bombas 16095, 16092, 16109 y 16191 son las que tienen las condiciones hidráulicas más críticas por lo cual necesitan una inmediata revisión de su diseño y reparación de las carcasas, así como también se debe de tomar en cuenta las condiciones del motor.

La bomba 16186 es la que presenta las mejores condiciones para su uso, por lo cual se le aprueba para que sea utilizada en la próxima temporada sin ningún problema siempre y cuando se le de mantenimiento.

En la figura 19 se puede realizar una toma de decisiones en cuanto las bombas que les quieran dar este servicio.

Hidráulicamente el sistema de riego es bueno, pero el diseño agronómico instalado no es el apropiado, considerando que los aspersores deberían ser el mismo modelo y las mismas boquillas.



**Figura 19. Eficiencias de bombas, en finca monte alegre.**

### 3.4.2 Elaboración y organización de la cartografía digital

#### 3.4.2.1 Definición del problema

En la actualidad se hace cada vez más necesario una cartografía estandarizada para la manipulación en distintos programas de computación. La creación de capas para la realización de mapas con coordenadas usadas a nivel internacional, hacen que se facilite el trabajo al momento de compartir información o de presentar cualquier tipo de información geográfica.

La falta una cartografía digital bien definida por el departamento de Ingeniería Agrícola, hace que muchos análisis con datos provenientes de campo no se puedan visualizar de una manera grafica. De igual forma la falta de mapas que indiquen la localización

de accidentes geográficos, o de alguna infraestructura física hace que la operación se dificulte en algún momento.

#### **3.4.2.2 Objetivos específicos**

- Editar la cartografía digital básica utilizada por el Departamento de Ingeniería Agrícola.
- Organizar la cartografía digital existente del Departamento de Ingeniería Agrícola.
- Elaborar mapas temáticos de interés para el departamento de Ingeniería agrícola.

#### **3.4.2.3 Metodología**

##### **a) Recopilación de información**

- Se realizaron entrevistas en el Departamento de Ingeniería Agrícola, de Investigación, Agronomía, Jefes de Zonas. Estas entrevistas se realizaron con el objetivo de recopilar información de los lotes, entre la información recopilada se puede destacar: área, producción, estimados, históricos, variedad, número de socas, herbicida aplicado, estrato, altitud, textura de suelo, código de identificación, finca.
- Consulta en internet de mapas cartográficos digitales en el sitio de la Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN- y en el sitio de CENGICAÑA. Esta consulta se realizó con el fin de complementar la información obtenida en las entrevistas, y para recopilar más información relevante para la empresa.

**b) Digitalización**

Este proceso se realizó por medio del software ArcGIS 9.1, y se realizó con apoyo de los mapas físicos utilizando también ortofotos. La digitalización de mapas se realizó únicamente para los mapas que no contaban de una versión digital.

**c) Georeferenciación espacial**

Los mapas en formato digital se georeferenciaron espacialmente por el método de los Sistemas de Posicionamiento Global “GPS” y/o por método de ortofotos digitales. En el primer método, se ubicaron puntos en ambos extremos de cada finca y se tomaron las coordenadas. El DATUM utilizado fue wgs84.

**d) Estandarización a una proyección común**

Toda la Cartografía Digital se estandarizó a un solo sistema de Coordenadas, que es el Universal Transversal of Mercator–UTM- y Cuadrícula del Mapa, Guatemalan Transversal of Mercator–GTM-.

**e) Organización de la base de datos**

La base de datos que sirvió para la realización de la Cartografía Digital se organizó de la forma más práctica utilizada por los usuarios: Zona, Finca y Lote.

**f) Edición de mapas base**

Por último se procedió a elaborar mapas base de interés para el departamento de Ingeniería Agrícola o para otros departamentos de la Superintendencia de Campo.



### 3.4.2.4 Evaluación

#### a) Edición de la cartografía digital

Para la edición de los mapas, se procedió a reclasificar las distintas capas, como lo son fincas, lotes, pantes, rutas cañeras, ríos, bordas, puntos de observación, canales de riego y drenajes. La digitalización se llevó a cabo con el apoyo de ortofotos.

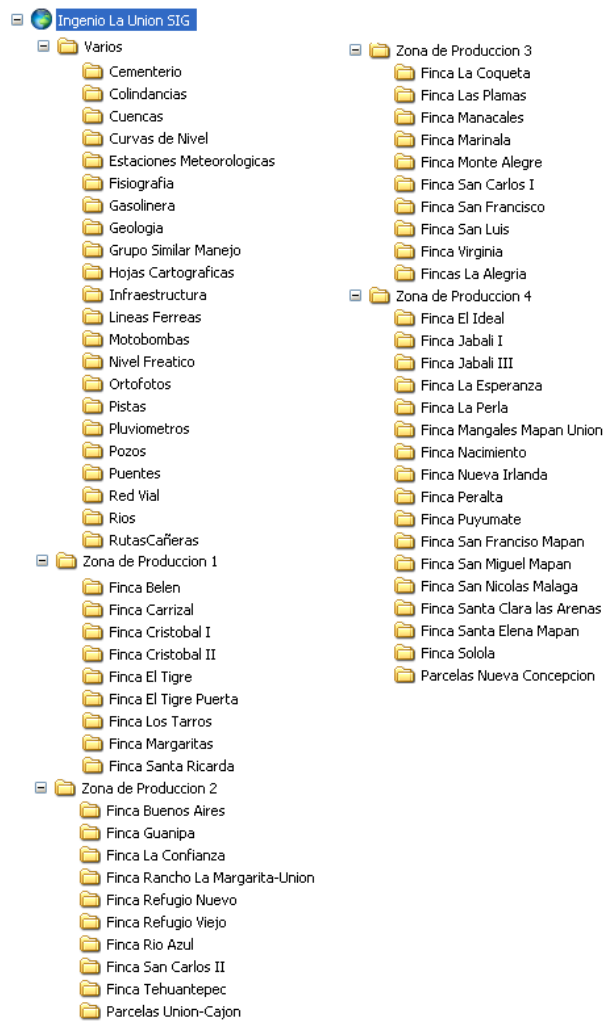
Para la presentación de los mapas se manejaron distintas escalas, ya que las fincas difieren en tamaño unas con otras. El criterio que se utilizó para la escala de cada finca fue el de visualización. Ya que para la empresa es importante que cada lote se pueda distinguir entre otros. Se mostraron en total 13 distintas escalas de presentación, para un total de 45 fincas administradas por la empresa, ver cuadro 29.

**Cuadro 36. Presentación de escalas por finca.**

Descripción de la Finca	Escala	Descripción de la Finca	Escala
Finca El Tigre Puertas Finca Buenos Aires Finca La Perla	1:7,500	Finca San Carlos II Finca La Confianza Finca Peralta	1:18,000
Finca La Coqueta Finca Manacales Finca Jabali I Finca Mángales <del>Mapan</del> Unión Finca Santa Elena <del>Mapan</del>	1:10,000	Finca Virginia Finca San Francisco Finca San Luis Finca El Ideal Finca Nueva Irlanda Finca Jabali III Finca San Miguel <del>Mapan</del>	1:18,500  1:20,000
Finca San Carlos I	1:12,500	Finca Guapoca	1:22,000
Finca El Tigre Finca Santa Ricarda Finca Refugio Viejo Finca Refugio Nuevo Finca Las Palmas Finca Marinata Finca Sololá Finca Santa Clara Las Arenas Finca San Francisco <del>Mapan</del> Finca La Esperanza Finca Nacimiento Finca San Nicolás Málaga	1:15,000	Finca Belén Finca Carrizal Parcelas Unión Cajón Finca Rancho La Margarita Finca <del>Ruyucata</del>	1:25,000
		Finca Los Tarros Finca Margaritas Finca Cristóbal I y II Finca Monte Alegre	1:30,000
		Finca Tehuantepec Finca La Alegría	1:35,000
		Finca Río Azul	1:40,000
		Parcelas Nueva Concepción	1:100,000

## b) Organización de la base de datos cartográfica

La organización de la base de datos se realizó de acuerdo a una forma intuitiva por el usuario (Zona-Finca-Lote). En la figura 20 se puede observar la jerarquización que se realizó. Una carpeta General en la que se encuentran las subcarpetas de Zonas y Varios. Las subcarpetas de cada zona contiene cada uno de los mapas generados por finca y la información detallada por lote, la subcarpeta de Varios contiene los distintos mapas que ayudaron de forma auxiliar a editar los mapas de las fincas.



**Figura 20. Organización de la Base de Datos Cartográfico.**

### c) Mapas temáticos

Cada mapa temático se elaboró de acuerdo a la información proporcionada por los departamentos de investigación, agronomía e ingeniería agrícola. Alguno de los mapas temáticos se presentó en un solo mapa debido a su similitud, como lo es el área calculada y área manejada, también el de zonas de producción, lotes y rutas cañeras, que se utilizaron para crear el maestro de lotes de la empresa.

Se elaboraron un total de 16 mapas temáticos por finca, ver cuadro 37. Los mapas temáticos elaborados se encuentran en formato JPG, PDF, SHP (para su manipulación en ArcGIS y ArcExplorer).

**Cuadro 37. Mapas temáticos generados por finca.**

Literal	Mapa Temático por Finca
A	Grupo de Similar Manejo
B	Variedades de Caña por lote
C	Textura de Suelo
D	Pozos de Observación e Isobatas
E	Curvas de Nivel a 10m
F	Canales de Riego
G	Fincas
H	Métodos de Riegos
I	Drenaje
J	Bordas
K	Rutas Cañeras(Primarias y Secundarias)
L	Ríos
M	Áreas Calculada y Manejada
N	Zonas de Producción

- Mapa Grupo de Similar Manejo: los grupos de similar manejo son una clasificación que ejecutó la empresa para realizarle una determinada actividad agrícola a una región que cuenta con las mismas características (Horizontes, Profundidad, y Textura) y así estandarizar los manejos agrícolas por regiones.
- Mapa de Variedades de Caña por lote: el departamento de investigación genera la base de datos de las variedades de caña utilizadas por lote de toda la empresa y en total son 29 variedades: 107, CG02-021, CG03-098, CG03-292, CG96-78, CG97-97, CG98-10, CG98-32, CG98-47, CG98-78, CG99-048, CG99-125, CP72-2086, CP73-1547, CP81-1384, CP88-1165, CP88-1508, LU-2004, M1397/86, MEX79-431, NA56-42, P.P.Q.K., PGM89-121, PGM89-968, PR75-2002, PR86-2055, PR87-2015, SP79-2233. El mapa de variedades muestra la variedad por finca y el área abarcada por cada una de ellas.
- Textura de Suelo: la superintendencia de campo cuenta con información de las texturas de los lotes para la preparación de suelos de cada finca. Las texturas son: franco arenoso, arena franca, arcilla, talpetate, franco, arcilla + arena, franco arcilloso, arena + piedra. El mapa de textura de suelo muestra por lote el tipo de textura y el área que abarca cada tipo de esta.
- Pozos de Observación: el mapa de pozos de observación generó los mapas de isobatas utilizando para ello el método de interpolación spline que ofrece el paquete ArcGIS versión 9.2 (Spline, IDW, Kriging) este proporcionaba mejores valores de predicción que los otros dos métodos, IDW y Kriging.
- Curvas de Nivel a 10 metros: las curvas de nivel fueron creadas a partir de puntos generados por estaciones totales en los levantamientos topográficos de las fincas de la empresa, y para ello se utilizó el módulo de Spatyal Analyst que ofrece el paquete de ArcGIS versión 2.0. También se utilizaron puntos generados por el Instituto Geográfico Nacional, "IGN".

- Canales de Riego: para la edición del mapa de canales de riego se utilizaron ortofotos proporcionadas por Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, “CENGICAÑA”. El mapa cuenta con los canales de riego digitalizados, proporcionando también el número de canal, su longitud y la pendiente que poseen.
- Fincas, lotes y pantes: el mapa de fincas, lotes y pantes se digitalizó apoyado por las ortofotos y se publicó en todos los mapas como base para los demás mapas temáticos. El mapa de fincas posee la extensión, nombre, ubicación y perímetro de la finca, al igual que el mapa de lotes y pantes, que contiene toda la base de datos utilizada y que es el maestro de los demás mapas: variedades, grupo de similar manejo, áreas, textura, código de lote, nombre, finca, sector, etc.
- Métodos de riegos: el mapa de métodos de riego contiene identificado el tipo de riego por finca, entre los que se destaca: riego por aspersion, riego bombeo-gravedad, riego por autopropulsados, riego por gravedad, riego por micro aspersion, también contiene la extensión de cada método de riego y la finca donde se aplica este tipo de riego.
- Drenajes: el mapa de drenajes al igual que el de canales de riego muestra la longitud de los canales, el número de cada canal, la ubicación y la pendiente de los mismos.
- Bordas: el mapa de bordas de protección de ríos es un mapa único que varía de extensión conforme la extensión de la misma. En este se encuentra ubicadas las bordas a lo largo de los diferentes ríos que circulan por las fincas de la empresa.
- Rutas cañeras (primarias y secundarias): los mapas de rutas cañeras presentan los distintos tipos que se encuentran de estas, como lo son las rutas centrales y auxiliares, y las distancias que posee cada una de ellas hacia el ingenio, y la longitud de cada una de las rutas.

- Ríos: los mapas de ríos de cada finca contienen información del nombre del río y la longitud de cada intersección con otro afluente. Los ríos se digitalizaron en ortofotos y se abarcó toda la zona abarcada por las fincas de la empresa.
- Áreas manejada y calculada: los mapas de aéreas calculadas se generaron a partir del Software de ArcGIS versión 2.0 y las aéreas manejadas se tabularon de acuerdo al área que proporcionan las diferentes fincas.
- Zonas de producción: los mapas de zonas de producción que se generaron son 4. Estas zonas están divididas de acuerdo a una extensión equitativa entre cada una (5,000 ha) para poder así ser manejadas de una manera más eficiente.

### 3.4.3 Bibliografía

1. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola, CR- 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. 560 p.
2. ONU, US. 2000. Manual de sistemas de información geográfica y cartografía digital. Nueva York, US. 352 p.
3. Sandoval, Illescas, JE. 2007. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Editorial Universitaria. 345 p.
4. Simmons, C; Tárano T, JM; Pinto Zúñiga, JH, 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Instituto Agropecuario Nacional. 1,000 p.