

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA

SEGUIMIENTO A LA IMPLEMENTACIÓN DE FERTILIZACIÓN VARIABLE
EN CAÑA DE AZÚCAR; INGENIO PANTALEÓN, SIQUINALÁ, ESCUINTLA
SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

ENRIQUE ESTUARDO SINAÍ PORRES
CARNET 12141-03

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, FEBRERO DE 2016
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA

SEGUIMIENTO A LA IMPLEMENTACIÓN DE FERTILIZACIÓN VARIABLE
EN CAÑA DE AZÚCAR; INGENIO PANTALEÓN, SIQUINALÁ, ESCUINTLA
SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
ENRIQUE ESTUARDO SINAÍ PORRES

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, FEBRERO DE 2016
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA: ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

LIC. HECTOR FABRICIO ALVARADO RUIZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

ING. HARRY FLORENCIO DE MATA MENDIZABAL

ING. LUIS FELIPE CALDERON BRAN

LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

Honorable Consejo de la
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente.

Distinguidos Miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he procedido a revisar el Informe Final de Practica del estudiante Enrique Estuardo Sinaí Porres, que se identifica con carne 12141-03, titulado "**Seguimiento de implementación de Proyecto de Fertilización Variable en Caña de Azúcar (saccharum sp.)**, del Proyecto **Agricultura de precisión en el Ingenio Pantaleón, Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla**", el cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad para ser aprobado, por lo que solicito que sea revisado por la terna que designe el Honorable Consejo de Facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Agr. Fabricio Alvarado
Colegiado No. 4821



Universidad
Rafael Landívar
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06421-2016

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Sistematización de Práctica Profesional del estudiante ENRIQUE ESTUARDO SINAI PORRES, Carnet 12141-03 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA, del Campus Central, que consta en el Acta No. 063-2016 de fecha 26 de enero de 2016, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

SEGUIMIENTO A LA IMPLEMENTACIÓN DE FERTILIZACIÓN VARIABLE
EN CAÑA DE AZÚCAR; INGENIO PANTALEÓN, SIQUINALÁ, ESCUINTLA

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 11 días del mes de febrero del año 2016.

ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de superarme.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por se parte de mi formación.

DEDICATORIA

A:

DIOS: Quien siempre me da su infinito amor, fortaleza para superar las diferentes etapas de la vida y me bendice con las personas que me rodean.

Mis padres: Leonel y Miriam a quienes quiero mucho, por su inmenso amor, por su tiempo, sus consejos oportunos y por el ejemplo a seguir.

Mis tíos: Juan Enrique y María Antonieta, por el apoyo que siempre me brindaron y las buenas enseñanzas que me inculcaron.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	
2.1 REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1.1 Historia del cultivo de caña de azúcar	2
2.1.2 Taxonomía de la caña de azúcar	4
2.1.3 Requerimientos climáticos	4
2.1.4 Requerimientos edáficos	6
2.1.5 Áreas cañeras de Guatemala	6
2.1.6 Agricultura de precisión	8
2.1.7 Agricultura de precisión en la caña de azúcar	8
2.1.8 Sistema de posicionamiento global	11
2.1.9 Monitor y de rendimiento	12
2.1.10 Tecnología de aplicación variable de insumos (equipos)	12
2.1.11 Generalidades de la zona cañera	13
2.1.12 Categorización de la materia orgánica y recomen- daciones de nitrógeno	14
2.1.13 Mapa de materia orgánica de la región	16
2.1.14 Extracción de nutrientes	16
2.1.15 Época óptima para la fertilización nitrogenada	17
2.1.16 Manejo de sitio específico de nutrientes	18
2.1.17 Fertilización nitrogenada líquida	19
2.1.18 Potasio	20
2.1.19 Fósforo	20
2.1.20 Subproductos de la caña como fuente de nutrimentos	21
a. Cachaza	21
b. Vinaza	22

2.1.21 Retenedor de humedad (Hidrokeeper)	23
a. Mecanismo de acción	24
b. Velocidad de absorción con el tiempo	25
2.2 LOCALIZACIÓN DE PRÁCTICAS PROFESIONALES	26
2.3 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE	
COORPORACIÓN PANTALEON	27
2.3.1 Departamento de ingeniería agrícola	27
2.3.2 Descripción de la institución	27
III. OBJETIVOS	
3.1 OBJETIVO GENERAL	29
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
IV. PLAN DE TRABAJO	
4.1 DEPARTAMENTO DE DISEÑO AGRÍCOLA	30
4.2 PROGRAMA A DESARROLLAR	30
4.2.1 Tratamientos	31
4.2.2 Muestreo de suelos, asignación de puntos	
a muestrear y coordenadas	32
4.2.3 Frecuencia de toma de muestras y distanciamiento	33
4.2.4 Etapas y ciclos de fertilización variable	34
4.2.5 Ingreso de datos	34
4.2.6 Procesamiento, análisis e interpretación de la	
Información	35
4.2.7. Aplicación diferencial de insumos	35
4.3 METAS PROPUESTAS	36
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1 Análisis estadístico	37
5.2 Propuesta nueva de fertilización variable	45
5.3 Dosis	46
VI. CONCLUSIONES	48
VII. RECOMENDACIONES	49
VIII. BIBLIOGRAFÍA	50

Índice de Cuadros

Cuadro 1.	Recomendaciones de nitrógeno (kg de N/ha) para los suelos derivados de ceniza volcánica de Guatemala.	15
Cuadro 2.	Principales características de los abonos orgánicos que se usan en el cultivo de caña de azúcar.	22
Cuadro 3.	Composición elemental de la vinaza de 55% y 10% de sólidos totales.	23
Cuadro 4.	Resultados obtenidos de la fertilización variable con hidroretenedor (T1), donde se puede observar el incremento que existió de la zafra 2010-2011 y 2011-2012.	38
Cuadro 5.	Resultados obtenidos de la fertilización convencional con hidroretenedor (T2), donde se puede observar que un lote tuvo incremento significativo mientras que el otro tuvo un decremento de la zafra 2010-2011 y 2011-2012.	39
Cuadro 6.	Resultados obtenidos de la fertilización variable sin hidroretenedor (T3), donde se puede observar que existió un incremento de lotes y de material vegetativo diferente a pesar de estos factores existió incremento significativo no tan marcado como el T1.	40
Cuadro 7.	Resultados obtenidos de la fertilización convencional sin hidroretenedor (T4), a pesar que se mantienen las labores agrícolas tradicionales los lotes tuvieron incremento de producción	42
Cuadro 8.	Resultado de medias de las diferentes cosechas, lo cual demuestra los porcentajes de incremento de los diferentes tratamientos.	44
Cuadro 9.	Rangos de aplicación de fertilizante al cultivo de caña de azúcar en la zafra 2011-2012 según requerimientos.	47

Índice de Figuras

	Pagina
Figura 1. Ubicación geográfica de la zona cañera de la costa sur de Guatemala.	3
Figura 2. Estratos altitudinales de la zona cañera de la costa sur de Guatemala.	7
Figura 3. Categorías de interpretación de la materia orgánica según respuestas del cultivo a las aplicaciones de nitrógeno en la zona cañera de Guatemala.	14
Figura 4. Mapa de categorías de materia orgánica en la región cañera de Guatemala.	16
Figura 5. Relación entre el periodo de crecimiento y la utilización de nitrógeno en el cultivo de la caña de azúcar.	18
Figura 6. Velocidad de absorción según granulometría.	25
Figura 7. Mapa de ubicación del Ingenio Pantaleón.	26
Figura 8. Organigrama Agrícola de la Corporación Pantaleón-Concepción.	28
Figura 9. Distribución de los tratamientos en cada lote.	32
Figura 10. Localización de puntos en los lotes del proyecto para tomar muestra de suelo y realizar análisis.	33

- Figura 11.** Distribución de la toma de muestras compuestas cada una de ellas a 20 metros de distanciamiento. 33
- Figura 12.** Resultado de lotes de Finca El Para, de la fertilización variable con hidroretenedor (T1), incremento de producción de 14% 38
- Figura 13.** Resultados de los lotes de Finca Anaitede fertilización convencional con hidroretenedor (T2), donde no existió una tendencia. 39
- Figura 14.** Resultado de 3 fincas diferentes, los lotes están divididos entre Finca Bonampak, Finca Churubusco y Finca Chuspas, en donde se desarrollo la fertilización variable sin hidroretenedor (T3). 41
- Figura 15.** Fertilización convencional sin hidroretenedor (T4), ensayo distribuido en Finca Chuspas y Finca Anaite, en donde se mantuvieron las prácticas agrícolas convencionales. 42
- Figura 16.** Resultado de los tratamientos de agricultura de precisión en el Ingenio Pantaleón de las zafras 2010-2011 y 2011-2012. 44
- Figura 17.** Propuesta nuevo proyecto fertilización variable en la Finca Limones Pantaleón. 45
- Figura 18.** Distribución de los tratamientos de fertilización variable y fertilización convencional. 46

SEGUIMIENTO A LA IMPLEMENTACIÓN DE FERTILIZACIÓN VARIABLE EN CAÑA DE AZÚCAR INGENIO PANTALEÓN, SIQUINALA, ESCUINTLA

RESUMEN

La implementación de agricultura de precisión, permite la aplicación de un sistema de fertilización variable eficiente. Para tratar áreas menores dentro de lotes de una manera distinta a la que se manejaría el lote entero, un requisito básico es la elaboración de mapas de productividad. La práctica profesional realizada en el ingenio Pantaleón, Siquinala, Escuintla, se trató sobre la implementación de un sistema de fertilización variable en el cultivo de caña de azúcar. Este sistema consiste en la utilización de fertilizadoras que son adaptadas a la tecnología con un GPS (Global Positioning System). Lo que se pretende es que este sistema tenga una aplicación de dosis de sitio específico de los lotes en donde está sembrada la caña, y almacene los datos. Esos datos, juntamente con la información obtenida del GPS permitirá la elaboración de un mapa digital que representa una superficie de área fertilizada. De esta manera se establecen estrategias para usar los insumos necesarios en la cantidad requerida, en el sitio adecuado y en el momento oportuno, según las necesidades del cultivo o del suelo. El proyecto incluyó el diseño y el análisis de diferentes tratamientos que demostraran el efecto que realiza la fertilización variable al momento de cosechar los lotes, observar el incremento de toneladas por hectárea de la caña de azúcar durante la zafra 2010-2011 y 2011-2012.

MONITORING OF THE IMPLEMENTATION OF VARIABLE RATE
FERTILIZATION IN SUGAR CANE AT INGENIO PANTALEÓN, SIQUINALÁ,
ESCUINTLA, GUATEMALA

SUMMARY

Precision agriculture allows for the implementation of an efficient variable rate fertilization system. A basic requirement for providing a different treatment to a small area within a plot is the creation of productivity maps. The purpose of the professional practice carried out at Pantaleón sugar mill in Siquinalá, Escuintla, was to apply a variable rate fertilization system on sugar cane crops. This system consists in using fertilizer spreaders adapted to technology with a GPS (Global Positioning System). The goal is for this system to apply the dosage to the specific areas of the plots where sugar cane is planted, and record the data. This data, along with the information obtained from the GPS, would allow for the creation of a digital map that represents the surface of a fertilized area. As a result, strategies are created for the usage of necessary supplies in the required amount, in the correct area, and at the right time according to the needs of the soil or crops. The project included designing and analyzing different treatments that would reveal the effect of variable rate fertilization at the moment of harvesting the plots, observing the increase of tons per hectare in sugar cane production during the harvests of 2010-2011 and 2011-2012.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar, (*Saccharum* spp.), representa en la actualidad una de las fuentes principales de generación de divisas para el país además de que es generador de muchos empleos directos e indirectos. La agroindustria azucarera guatemalteca, genera alrededor del 3% del PIB nacional, además de 300,000 empleos directos e indirectos, 33,000 corresponden a cortadores de caña. El cultivo de caña de azúcar representa el 23.82 % del valor total de la producción agrícola guatemalteca y 13.65 % de las exportaciones (ASAZGUA, 2007).

Durante el 2009, se produjo un 55% de azúcar refinado, 40% de azúcar crudo y 5% de otros materiales azucarados. Fueron molidas 21.8 millones de toneladas de caña cosechadas en 220 mil hectáreas, para una producción de caña de 99.1 t/ha y un rendimiento azucarero de 10,97% azúcar/caña, con lo que Guatemala se consolida como el mayor productor de caña de azúcar en Centroamérica (Díaz, 2009).

Dentro de los mayores productores a nivel mundial se encuentra Brasil, Tailandia, Australia, Estados Unidos y Cuba, lo que significa que Guatemala esta posicionada en el puesto número 6. A pesar de eso Guatemala exporta a países que son potencia mundial entre algunos podemos mencionar Estados Unidos, Venezuela, Bulgaria, Canadá, Chile, Rusia, Corea del Sur y México (Smith, 2008).

Guatemala ha aumentado su producción de caña de azúcar más rápidamente que el resto de países de Centro América. El crecimiento en la producción no obedece precisamente al aumento de tierras sembradas sino más bien a la productividad por hectárea sembrada gracias a los avances tecnológicos que ha tenido (CENGICAÑA, 2010).

II. ANTECEDENTES

2.1 REVISION DE LITERATURA

2.1.1 Historia del cultivo

La caña de azúcar es uno de los cultivos más antiguos en el mundo. Se dice que se empezó hace unos 3.000 años como un tipo de pasto en la isla de Nueva Guinea, luego se extendió a Borneo, Sumatra. Estudios realizados sobre el origen de la caña de azúcar concuerdan que *Saccharum spontaneum*, *S. sinense* y *S. barben* se desarrollaron en el área de Birmania, Cina e India. La migración de dicha especie fue muy lenta ya que llegó al sur de España 773 d. de J.C. y Sicilia 950 d. de J.C. La caña de azúcar llegó América por Cristóbal Colón quien fue que la introdujo, el éxito que tuvieron las plantaciones en Santo Domingo llevó a la producción a lo largo del Caribe y América del Sur (Cardona, 2010).

Se le atribuye a Pedro de Alvarado la introducción de este cultivo a tierras guatemaltecas, en donde se dice que los primeros trapiches se establecieron en San Jerónimo, Baja Verapaz. Posteriormente se extendió a toda la costa sur en donde aun hoy día existen edificaciones en donde se trabajó la caña de azúcar. El desarrollo de la industria azucarera en Guatemala se incrementó a partir de 1932, cuando se estableció el consorcio azucarero. Entonces la producción era de 500,000 quintales (22,679,618.5 kg) de azúcar blanca y se elaboraba en doce ingenios: Pantaleón, Concepción, El Baúl, El Salto, Palo Gordo, Mirandilla, Tululá, Santa Teresa, San Diego, Los Cerritos, Santa Cecilia y Mauricio (Saravia, 1990).

En 1849, Manuel María Herrera adquirió la finca Pantaleón y San Gregorio, entre los pueblos de Siquinalá y Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla (figura 1). Esta hacienda, originalmente de ganado, caña de azúcar y panela, se convirtió en 1870 en ingenio azucarero. En 1877 don Manuel formó Herrera & Cía. Limitada. A su muerte, sus hijos, continuaron con la empresa y se

expandió la capacidad del ingenio, que la convirtió en el mayor productor de azúcar de Guatemala. Durante 1937, se creó un Consorcio Azucarero conformado por once ingenios, de los cuales Pantaleón obtuvo la mayor cuota de producción de azúcar, el 30.70% del total, seguido de Concepción con 15.344% (Pantaleón, 2010).

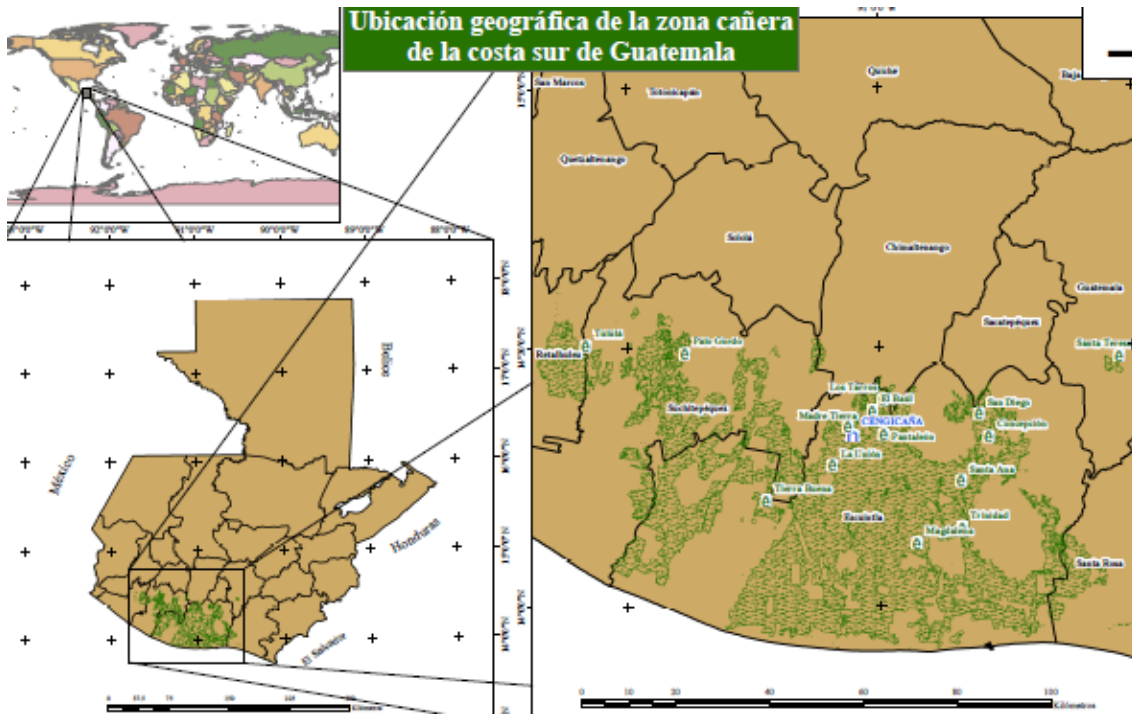


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona cañera de la costa sur de Guatemala (CENGICAÑA, 2010).

2.1.2 Taxonomía de la caña de azúcar

La caña de azúcar está ubicada taxonómicamente de la siguiente manera:

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Subclase:	Commelinidae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Subfamilia:	Panicoideae
Tribu:	Andropogoneae
Subtribu:	Saccharae
Género:	<i>Saccharum</i>

2.1.3 Requerimientos climáticos

La temperatura, la humedad y la luminosidad, son los principales factores del clima que controlan el desarrollo de la caña. La caña de azúcar es una planta tropical y se desarrolla mejor en lugares calientes y soleados. Cuando prevalecen temperaturas altas la caña de azúcar alcanza un gran crecimiento vegetativo y bajo estas condiciones la fotosíntesis se desplaza, hacia la producción de carbohidratos de alto peso molecular, como la celulosa y otras materias que constituyen el follaje y el soporte fibroso del tallo. La luz juega un papel muy importante, como principal fuente de energía de la caña de azúcar en el almacenamiento de la sacarosa. La caña de azúcar se cultiva con éxito en la mayoría de suelos, estos deben contener materia orgánica y presentar buen drenaje tanto externo como interno, y que su pH oscile entre 5.5 a 7.8 para su óptimo desarrollo (Subirós, 1995).

Una precipitación total entre 1100 y 1500 mm es adecuada, siempre que la distribución de luz sea apropiada y abundante en los meses de crecimiento vegetativo, seguido de un período seco para la maduración. Durante el período

de crecimiento activo la lluvia estimula el rápido crecimiento de la caña, la elongación y la formación de entrenudos. Sin embargo, la ocurrencia de lluvias intensas durante el período de maduración no es recomendable, porque produce una pobre calidad de jugo, favorece el crecimiento vegetativo, la formación de cañas de agua y aumenta la humedad del tejido. Además, dificulta las operaciones de cosecha y transporte.

El crecimiento está directamente relacionado con la temperatura. La temperatura óptima para la brotación (germinación) de los esquejes es 32°C a 38°C. La germinación disminuye bajo 25°C, llega a su máximo entre 30-34°C, se reduce por sobre los 35°C y se detiene cuando la temperatura sube sobre 38°C.

Temperaturas sobre 38°C reducen la tasa de fotosíntesis y aumentan la respiración. Por otro lado, para la maduración son preferibles temperaturas relativamente bajas, en el rango de 12-14°C, ya que ejercen una marcada influencia sobre la reducción de la tasa de crecimiento vegetativo y el enriquecimiento de azúcar de la caña. A temperaturas mayores la sacarosa puede degradarse en fructosa y glucosa, además de estimular la fotorespiración, que produce una menor acumulación de azúcares.

Durante el período de crecimiento condiciones de alta humedad (80 - 85%) favorecen una rápida elongación de la caña. Valores moderados, de 45-65%, acompañados de una disponibilidad limitada de agua, son beneficiosos durante la fase de maduración (Subirós, 1995).

La caña de azúcar, crece bien en áreas que reciben energía solar de 18-36 MJ/m². Por ser una planta C4 la caña de azúcar es capaz de altas tasas fotosintéticas y este proceso tiene un alto valor de saturación de luz. El ahijamiento es influenciado por la intensidad y la duración de la radiación solar. Una alta intensidad y larga duración de la irradiación estimulan el ahijamiento, mientras que condiciones de clima nublado y días cortos lo afectan

adversamente. El crecimiento del tallo aumenta cuando la luz diurna se extiende entre 10-14 días (Subirós, 1995).

2.1.4 Requerimientos edáficos

La caña de azúcar se cultiva en la costa sur del Pacífico de Guatemala con una superficie de 180,000 hectáreas. La caña de azúcar se puede cultivar en la mayoría de suelos, estos deben contener materia orgánica y presentar buen drenaje tanto externo como interno, y que su pH oscile entre 5.5 a 7.8 para su óptimo desarrollo. En la Costa Sur los suelos son derivados de ceniza volcánica con distintos grados de meteorización y con ciertas características especiales como la alta fijación de fósforo particularmente en suelos andisoles, los cuales representan el 25% de de los suelos usados para la producción de caña de azúcar (CENGICAÑA, 1994).

La preparación del suelo es un factor fundamental para obtener buenas plantaciones de caña de azúcar, asegurándose facilidad de desarrollo radicular. Lo que hace que la planta tenga buen anclaje y una buena área de absorción de agua y nutrientes, elementos necesarios para que una planta sea vigorosa y resistente (CENGICAÑA, 1994).

2.1.5 Áreas cañeras de Guatemala

En las áreas del estrato bajo (< de 100 msnm) predominan los suelos Molisoles, aunque también se encuentran suelos del orden Andisol, Entisol e Inceptisol. La precipitación promedio anual en áreas por debajo de los 50 msnm es menor a los 1500 mm. La temperatura promedio anual es mayor a los 25.°C (Cardona, 2011).

Zona intermedia debido a la posición que ocupa, se encuentra entre los 100 a 300 msnm, es una zona de transición con respecto a los suelos, los órdenes predominantes son Andisol e Inceptisol y ocupan áreas diferentes en ese

orden de importancia. La precipitación media anual es de 2500 msnm. En este estrato la temperatura promedio es de 25°C (Ver figura 2) (Cardona, 2011).

Son todas aquellas áreas que se encuentren entre los 300 a 800 msnm se caracteriza por la predominancia de suelos de tipo Andisol y con precipitaciones mayores a 3000 mm anuales. La temperatura media anual es menor a los 25°C. El estrato alto presenta la menor superficie cultivada con caña de azúcar (Cardona, 2011).

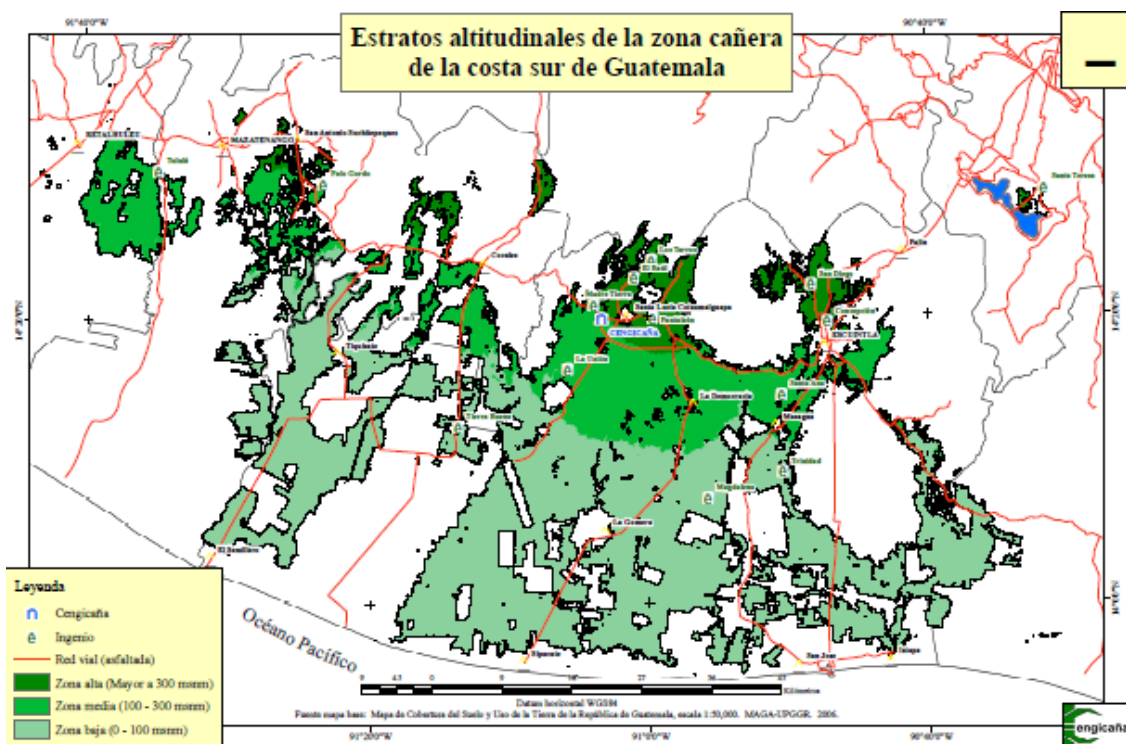


Figura 2. Estratos altitudinales de la zona cañera de la costa sur de Guatemala (CENGICAÑA, 2010).

2.1.6 Agricultura de precisión (A.P.)

Son muchas las definiciones que existen en la actualidad de Agricultura de Precisión (AP), se conoce como “aquel tipo de agricultura que incrementa el número de decisiones correctas por unidad de área de suelo y de tiempo con beneficios netos asociados”. Esta definición va más allá de la simple resolución espacial, refinando las decisiones tanto en espacio como en tiempo. Los beneficios netos asociados se refieren a incrementos en la cantidad o cualidad de las producciones y/o el ambiente con igual o menor cantidad de insumos. A pesar de que esta definición es bastante amplia, se considera que la verdadera aplicación práctica de la AP permanece vinculada con la agricultura de alta tecnología (McBratney, 2005).

La AP abarca un grupo de tecnologías que permiten, entre otras posibilidades, el manejo automatizado del sitio específico. Entre ellas se encuentran los sistemas de posicionamiento por satélite (GPS), la percepción remota y los sistemas de información geográfica (SIG), entre otros. Esto posibilita que se pueda optimizar el manejo agrotécnico del cultivo, en dependencia del potencial productivo de cada área, que en la práctica puede variar en un entorno reducido de varios metros (McBratney, 2005).

La AP fue inicialmente desarrollada para el cultivo de los granos, teniendo su mayor grado de adopción en el cinturón maicero de los Estados Unidos, Europa, entre otros países desarrollados. Entre los principales productos de la AP se encuentran la gestión de equipos agrícolas, el monitoreo de rendimiento y la aplicación variable de insumos agrícolas (McBratney, 2005).

2.1.7 La agricultura de precisión en la caña de azúcar

Cox, citado por Bramley (1997), la caña de azúcar es un cultivo donde la Agricultura de Precisión tiene grandes oportunidades, pues para lograr producciones significativas, es necesario incurrir en elevados costos de insumos agroquímicos y mecanización. La mayor cantidad de productos para la

agricultura de precisión han sido desarrollados para cultivos de granos, no siendo posible para la mayoría de ellos adaptarse al cultivo de la caña de azúcar. Australia ha sido el país pionero en el desarrollo de productos de la agricultura de precisión para este cultivo. Desde mediados de la década de los años 90 se evaluó las posibilidades que podía ofrecer la agricultura de precisión para la industria azucarera australiana.

Entre los aspectos analizados estuvo el manejo más preciso de insumos agrícolas (Wood, 1997); el mapeo de rendimiento como factor limitante para la introducción de la AP en la industria azucarera (Harris y Cox, 1997); el uso y requerimientos de la tecnología GPS en la AP (Kiernan y Nolan, 1997); el control de dosis variable en la industria azucarera (Williams, 1997); entre otras.

A pesar de estos esfuerzos, la mayoría de estos estudios han quedado a nivel de prototipos, como ha ocurrido por ejemplo con el monitor de rendimiento (Cox, citado en Bramley, 1997), impidiendo que el nivel de adopción se extienda como en el cultivo de los granos. No obstante, a partir de la edición y adopción de buenas prácticas tanto para la producción de caña, como para su cosecha (Sandell y Agnew, 2002, citado en Bramley, 1997), la AP ofrece las tecnologías necesarias para asegurar el cumplimiento de las mismas.

Recientemente en otros países como Colombia (Erickson, 2006 citado en Bramley, 1997) y Brasil (Menegatti, 2006, citado en Bramley, 1997), se comienza a valorar la importancia de la aplicación de las tecnologías de la agricultura de precisión para la producción cañera.

Cuba ha tenido una larga tradición en la adopción de tecnologías de avanzada para el cultivo de la caña de azúcar. Desde 1929 se introdujo en Cuba la primera cosechadora troceadora mecánica de caña producida de forma masiva en el mundo. Fue una cosechadora Falkiner, desarrollada por el australiano R.S Falkiner, quien desde 1927 comenzó sus actividades en Cuba con la empresa norteamericana Punta Alegre Sugar Co. (Kerr y Blyth, 1993, citado en Bramley, 1997).

Desde 1999 se iniciaron en Cuba los estudios de agricultura de precisión en la caña de azúcar. Los mismos surgieron en el marco del Proyecto Reloj, en el CAI Fernando de Dios en la provincia de Holguín (Esquivel, 2003 a, citado en Bramley, 1997). A partir de este proyecto se comenzó el desarrollo de sistemas de agricultura de precisión para la caña de azúcar (Fernández, 2005, citado en Bramley, 1997) y los frutales.

Los primeros resultados estuvieron relacionados con la automatización de la altura de corte base y la velocidad de traslación en la cosechadora de caña (Hernández, 2000, citado en Bramley, 1997). Posteriormente se desarrolló el monitoreo de rendimiento y se produjo el primer mapa de rendimiento de manera automática en Cuba (Hernández, 2003 a, b, citado en Bramley, 1997). También se adaptaron las fertilizadoras existentes para la aplicación de dosis variable (Ponce, 2003, citado en Bramley, 1997), realizándose estudios para el censado automático de las propiedades agroquímicas del suelo (Esquivel, 2003b, citado en Bramley, 1997) y las afectaciones por plagas y enfermedades (Esquivel, 2003c, citado en Bramley, 1997). Se trabajó también en el diseño e implementación de un Sistema de Información Geográfica para el soporte de las aplicaciones de la agricultura de precisión (Álvarez, 2003).

A partir de año 2001 se creó la empresa Tech-Agro, con vistas a exportar estos resultados al exterior, comenzando en Brasil. En colaboración con la CUJAE y GEOCUBA, se continuó el desarrollo de nuevas tecnologías de agricultura de precisión para la caña de azúcar, entre las que se han encontrado un computador de a bordo y su software para la gestión de equipamiento agrícola (Fernández, 2005, citado en Bramley, 1997).

Luego de validar y generalizar los resultados anteriormente descritos en Brasil, se desarrollaron posteriormente actividades en Australia. Resultados de la Evaluación de Productos de la AP en la Caña de Azúcar en Cuba, Brasil y Australia.

2.1.8 Sistemas de posicionamiento global

El Sistema de Posicionamiento Global, conocido por sus siglas en inglés GPS (Global Positioning System), es un sistema de radionavegación satelital operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América. Este sistema está diseñado para que un observador pueda determinar cuál es su posición en la Tierra, con una cobertura sobre todo el planeta, en todo momento y bajo cualquier condición climática (Agropropuesta, 2008).

Si bien el sistema GPS fue diseñado esencialmente con fines militares, el uso civil se ha difundido debido a su utilidad en las más variadas disciplinas, que van desde las netamente científicas, como la geodesia y tectónica, hasta fines comerciales como el geomarketing, pasando por fines puramente recreacionales (Agropropuesta, 2008).

La captura de datos en terreno para aplicar correctamente esta tecnología, depende en forma crítica del componente espacial y por ende de coordenadas GPS que por la precisión y exactitud requeridas deben ser obtenidas mediante señales corregidas en forma diferencial. Entonces toda la información que se genera en terreno está siempre georeferenciada para su correcta ubicación dentro de la finca.

Algunos ejemplos de datos obtenidos son; el lugar donde se toman las muestras de suelo (humedad, fertilidad, CE etc.) el monitoreo del rendimiento de los cultivos, área foliar o la presencia de plagas y enfermedades. Sobre la base de esta información, posteriormente se tomarán las decisiones de aplicación de tasas variables de semillas, fertilizantes o pesticidas, que determinarán mejoras importantes en los rendimientos y calidad de los productos asociados a un menor impacto sobre el medio ambiente (Agropropuesta, 2008).

2.1.9 Monitor y mapas de rendimientos

Variación espacial de rendimiento productor y asesores del sector agrícola han estado siempre interesados en las variaciones productivas de cada potrero y han tratado de explicarse éstas desde tiempos inmemoriales. Actualmente existen en el mercado un sinnúmero de equipos diseñados para registrar los resultados de cosecha obtenidos con un cultivo en distintos sectores, es decir, un registro de la variabilidad espacial de los rendimientos, los cuales son desplegados en forma de mapas georeferenciados mediante DGPS en tiempo real. Esto permite una rápida interpretación de los resultados de cosecha y también la integración de distintos años, facilitando los análisis temporales útiles para la gestión y toma de decisiones (Agropropuesta, 2008).

Los tipos de variabilidad que pueden presentarse son: variabilidad natural e inducida. Es natural cuando depende del clima, el suelo (génesis del suelo y propiedades físicas y químicas), o del relieve, etc., mientras que la variabilidad inducida se refiere al manejo (historia del potrero, insumos agregados, prácticas culturales, etc.) (Agropropuesta, 2008).

2.1.10 Tecnología de aplicación variable de insumos (equipos)

Monitor y controlador de siembra, este sensor monitorea en tiempo real las dosis de semillas utilizadas en cada sector. Conectado a DGPS puede generar mapas de la distribución espacial de las distintas dosis de semillas aplicadas.

Aplicador variable de agroquímicos Los sensores de aplicación variable de agroquímicos permiten dosificar en forma eficiente la cantidad de pesticidas según el área foliar de los cultivos. Conectados a DGPS permiten obtener mapas precisos de la distribución espacial del producto aplicado (Agropropuesta, 2008).

El uso de fertilizantes nitrogenados es generalizado en la producción de caña de azúcar en Guatemala, como en la mayoría de países productores de caña. De tal manera que este nutriente es considerado como el más importante desde el punto de vista económico para la producción del cultivo. En la zafra

2006-07 en Guatemala se aplicaron alrededor de 20,000 toneladas de nitrógeno en una superficie de 210,000 hectáreas. La respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de nitrógeno está influenciada por factores edáficos, climáticos y de manejo, factores que varían ampliamente en la zona cañera de Guatemala (Agropropuesta, 2008).

2.1.11 Generalidades de la zona cañera

La región cañera de Guatemala está localizada en la planicie costera del océano Pacífico en las regiones fisiográficas de la Llanura costera del Pacífico y Pendiente Volcánica reciente y está comprendido en las coordenadas 13° 55' 14" Latitud norte y 90°30'45" Longitud oeste (CENGICAÑA, 2007).

El clima es cálido húmedo con temperaturas que van desde los 22°C en las zonas altas a 35°C en las cercanías al mar con una precipitación media anual de 2234 msnm. Los suelos de la zona cañera de la costa sur de Guatemala son derivados de ceniza volcánica, producto de la actividad histórica de la cadena de volcanes circundantes. Son suelos de reciente formación y la mayor parte se caracterizan por tener excelentes propiedades físicas (Pérez, 2001).

El pH generalmente es ácido y medianamente ácido en las zonas altas, y neutro a ligeramente alcalino en las zonas cercanas al mar; su riqueza en materia orgánica hace que se consideren como suelos de alta fertilidad natural. Según el Estudio semi detallado de suelos (CENGICAÑA, 1996) en la región hay 6 órdenes de suelos predominando en su orden: Mollisoles (40%), Andisoles (25%), Entisoles (16%) e Inceptisoles (11%) y en menor escala Alfisoles (1%) y Vertisoles (1%) (Pérez, 2001).

2.1.12 Categorización de la materia orgánica del suelo y recomendaciones de nitrógeno

Desde el año de 1994 un buen número de ensayos experimentales fueron conducidos en sitios con variadas condiciones edáficas, climáticas y de manejo con la finalidad de determinar la dosis de nitrógeno para la zona cañera de Guatemala. Estos resultados permitieron en el año 2001 establecer la primera aproximación de las recomendaciones de nitrógeno (Pérez, 2001).

En el año 2004 se inició un proyecto de validación de las dosis de nitrógeno con una red de ensayos a escala semi comercial (ensayos de extrapolación) muestreando sitios con diversas condiciones que permitieran validar y definir las dosis de nitrógeno para la región cañera de Guatemala en una segunda aproximación.

Los resultados indicaron que las respuestas del cultivo a las aplicaciones de nitrógeno están explicadas en su mayor parte por los contenidos de materia orgánica (MO) del suelo. La MO del suelo es un parámetro que se determina a nivel de laboratorio en los análisis rutinarios y es utilizado en caña de azúcar y en muchos cultivos para estimar la disponibilidad de nitrógeno para las plantas. En la Figura 3 se presenta el análisis gráfico que muestra la relación entre la MO del suelo y los rendimientos relativos en porcentaje (RR %) de 47 cosechas de caña de azúcar (CENGICAÑA, 2006).

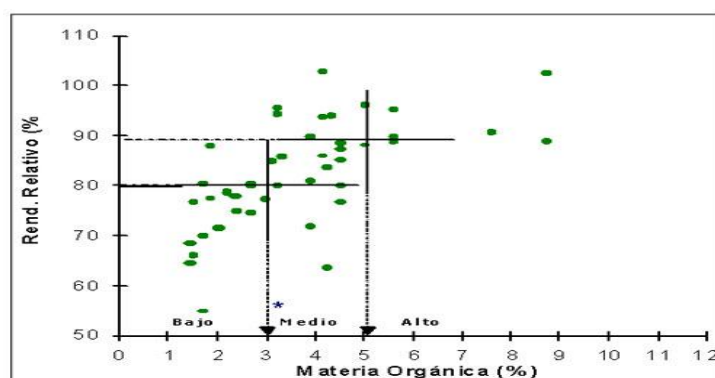


Figura 3. Categorías de interpretación de la materia orgánica según respuestas del cultivo a las aplicaciones de nitrógeno en la zona cañera de Guatemala (Pérez, 2001).

De acuerdo con la Figura 3, se determinaron tres categorías de materia orgánica asociados a diferentes respuestas del cultivo a las aplicaciones de nitrógeno de la siguiente manera: 1) MO < 3.0 por ciento asociados con altas respuestas a nitrógeno (RR<80%); 2) MO entre 3.0 – 5.0 por ciento asociados con medianas respuestas (RR: 80 – 90%) y 3) MO > 5.0 por ciento asociados con bajas respuestas (RR > 90 %) (Pérez, 2001).

En el Cuadro 1 se presentan las recomendaciones de dosis de nitrógeno para la zona cañera de Guatemala con base en los criterios de la MO definidas y las respuestas del cultivo encontradas en las diferentes pruebas (Pérez, 2001).

Cuadro 1. Recomendaciones de nitrógeno (kg de N/ha) para los suelos derivados de ceniza volcánica de Guatemala.

MO %	Plantía	Soca^{1/}
< 3.0	80	120 – 170
3.0 – 5.0	60 – 80	100 – 140
> 5.0	60	85 – 110

^{1/}= dosis según productividad y otros factores limitantes (Pérez, 2001).

En el Cuadro 1 se observa que las recomendaciones de dosis de nitrógeno para las plantías son menores que los requeridos para la soca. En cañas plantías hay un mayor aporte de nitrógeno aprovechable del suelo debido a las condiciones favorables para el desarrollo de microorganismos que oxidan la MO por las labores de preparación de la tierra que se realiza normalmente en las renovaciones. En la soca los aportes nitrógeno del suelo disminuyen por efectos negativos de la compactación (Pérez, 2001).

De tal manera que en plantía en suelos con contenidos bajos de materia orgánica (MO<3.0%) se recomienda aplicar 80 kg de N/ha. En tanto que en suelos con contenidos altos (MO>5.0%) se recomienda aplicar 60 kg de N/ha. En el caso de soca las recomendaciones indican que en suelos con contenidos bajos de materia orgánica (MO< 3.0%) las recomendaciones varían de 120 a 170 kg de N/ha. En esta categoría se ha estimado que por cada tonelada de caña se requiere aplicar alrededor de 1.14 kg de nitrógeno para tener

producciones óptimas. Como recomendación general la dosis de nitrógeno debe de fluctuar entre 120 kg de N/ha en lotes menos productivos hasta 170 kg de N/ha en lotes altamente productivos (150 t/ha o más) (Pérez, 2001).

Para los suelos con contenidos medios de materia orgánica (3.0 – 5.0%) se recomienda aplicar de 100 a 140 kg de N/ha como se indica en el Cuadro 1. En este rango de materia orgánica se ha estimado que el cultivo requiere 1.0 kg de N por tonelada de caña producida. Al igual que en el caso anterior la dosis de N puede estimarse según la productividad utilizando los valores correspondientes de kg de N/t de caña producida. Y en el caso de suelos con contenidos altos de materia orgánica (>5.0%) se recomienda aplicar de 85 a 110 kg de N/ha (Pérez, 2001).

2.1.13 Mapa de materia orgánica de la región

En la Figura 4 se presenta el mapa de materia orgánica de la región cañera según las tres categorías establecidas. Se presentan también las curvas de 40, 100 y 300 metros sobre el nivel del mar (Pérez, 2001).

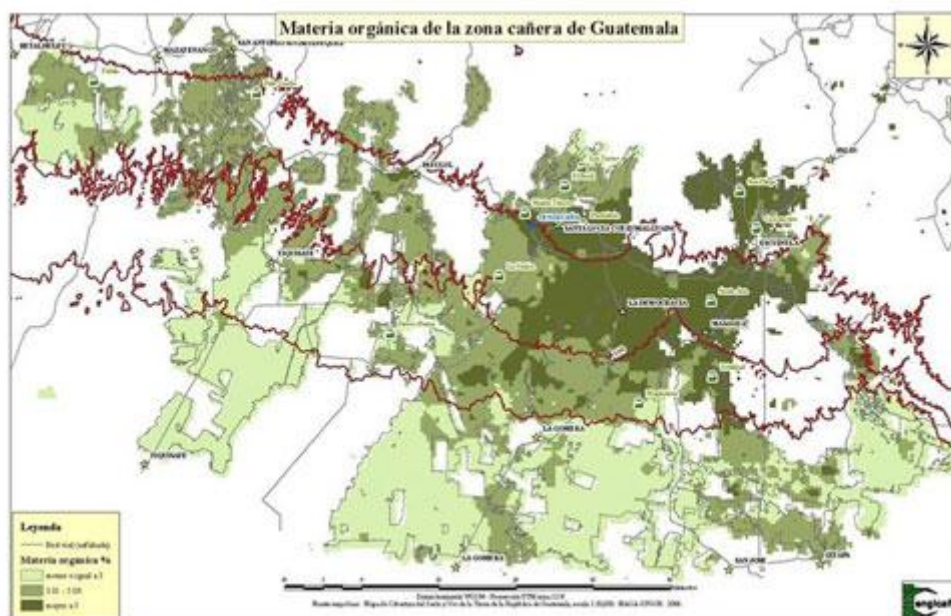


Figura 4. Mapa de categorías de materia orgánica en la región cañera de Guatemala (Pérez, 2001).

2.1.14 Extracción de nutrientes

Las plantas absorben los elementos minerales de las proximidades de las raíces; no obstante, la presencia de un elemento en particular en un cultivo determinado no es una prueba para considerarlo esencial para el desarrollo de dicho cultivo. Existen 16 elementos nutritivos esenciales para la caña de azúcar: el carbón, el hidrogeno y el oxígeno no son minerales y la planta los toma del bióxido de carbono y del agua (Romero, 2009). Los nutrimentos restantes son: nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Los micronutrientes son: boro, zinc, cloro, cobre, hierro, manganeso y molibdeno; estos últimos, aunque son necesarios para el normal desarrollo de la planta, se requieren en cantidades muy pequeñas.

Las cantidades de nutrimentos que extrae un cultivo es diferente de acuerdo con la variedad, el tipo de suelo las condiciones clima y el manejo de cultivo. El conocimiento de los requerimientos de los cultivos es una ayuda valiosa en la ejecución de programas de fertilización, si se toma como base el resultado del análisis de fertilidad del suelo y de sus características físicas más importantes (Romero, 2009).

2.1.15 Época óptima para la fertilización nitrogenada

El momento de fertilizar con nitrógeno se relaciona con el ritmo de absorción que tiene la caña de azúcar, que es máximo en los primeros meses desde la brotación (fin de la emergencia y durante el pleno macollaje), período durante el cual el cultivo absorbe más nitrógeno del que utiliza para su desarrollo y crecimiento, almacenando el exceso como sustancias orgánicas en sus tejidos (especialmente en vainas y láminas foliares). Luego, ese nitrógeno es removilizado hacia las zonas de activo crecimiento para atender, junto al nitrógeno aportado desde el suelo, los elevados requerimientos de la fase de Gran Crecimiento (Romero, 2009).

Este comportamiento representa una estrategia de administración biológica de nitrógeno que le garantiza no comprometer el crecimiento (Figura 5) de

crecimiento activo. Sin embargo, el N del suelo no resulta suficiente para responder a los requerimientos de elevadas producciones de caña y esta diferencia deberá ser soportada mediante la fertilización.

Pero hay que considerar que solamente entre el 20% y 50% como máximo del Nitrógeno aplicado como fertilizante es efectivamente utilizado por la caña de azúcar para construir la producción. De esta manera, el nitrógeno disponible para satisfacer las necesidades del cultivo está representado por el nitrógeno del fertilizante aplicado, el acumulado en el cañaveral y que puede removilizarse y el que proviene de la mineralización de la materia orgánica (Romero, 2009).

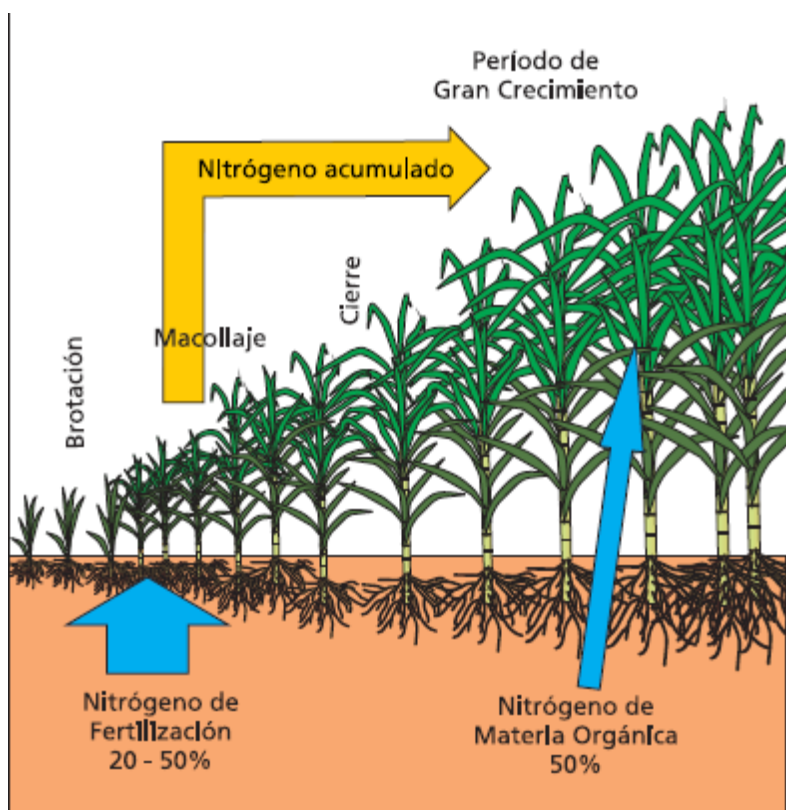


Figura 5. Relación entre el periodo de crecimiento y la utilización de nitrógeno en el cultivo de la caña de azúcar (Romero, 2009).

2.1.16 Manejo sitio específico de nutrientes

Definido de una manera simple, el manejo sitio específico (MSE), o Agricultura de Precisión, es tratar áreas menores dentro de lotes de una manera distinta a la que se manejaría el lote entero. El manejo sitio específico reconoce e

identifica variaciones en tipo de suelo, textura, color, y productividad dentro de los lotes. Luego trata de manejar esa variabilidad en una escala mucho menor que en las prácticas normales. Incluye recolectar, interpretar y manejar gran cantidad de datos agronómicos detallados, de lugares precisos en los lotes en un intento de ajustar y mejorar la eficiencia de la producción de cultivos (Doerge, 1999).

El concepto de MSE no es nuevo, pero nuevas herramientas de alta tecnología hacen más fácil manejar distintas áreas en los lotes de forma diferencial. Las tecnologías de precisión incluyen sistemas de posicionamiento global diferencial (DGPS), monitores de rendimiento, sistemas de información geográfica (SIG o GIS), software de computación, y tecnología de dosis variable (VRT). Los muestreos intensivos de suelo y reconocimientos de campo completan el paquete tecnológico (Doerge, 1999).

La tecnología de dosis variable es la herramienta que permite la implementación de decisiones de manejo en MSE. Identificar la variabilidad espacial de nutrientes en un lote y desarrollar un mapa de aplicación preciso son los aspectos más importantes del manejo sitio específico de nutrientes. Se han utilizado dos enfoques básicos para llevar a cabo aplicaciones de dosis variable de fertilizantes: muestreos en grilla y muestreo dirigido (Doerge 1999). Los mapas de aplicación de P y K se desarrollaron primero usando patrones de grilla amplios. Los valores de suelo entre los puntos de la grilla debían ser estimados, generalmente utilizando técnicas de interpolación como krigging o interpolación inversa. Investigadores determinaron que la densidad de muestreo debe ser menor a 1 muestra por hectárea para muestreos de rutina, pero, a veces son necesarias una muestra cada media hectárea para reflejar con precisión los niveles de P, K y pH (Doerge, 1999)

2.1.17 Fertilizantes nitrogenados líquidos

En las últimas campañas tuvo una gran difusión el uso de fertilizantes líquidos, especialmente en explotaciones de gran escala, donde los equipos de aplicación pueden mejorar la capacidad operativa, que es una de las ventajas

de esta alternativa. Los fertilizantes líquidos representan una alternativa de aplicación de nitrógeno, que en determinados ambientes edáficos pueden ser aplicados chorreados en superficie o incorporados, con resultados similares a la urea incorporada. Entre los factores que pueden disminuir la efectividad de los fertilizantes líquidos, se deben señalar lotes con suelos mal preparados, con presencia alta de rastros, texturas arenosas o suelos ligeramente alcalinos (Romero, 2009).

2.1.18 Potasio

El potasio es el nutriente que la caña de azúcar extrae en mayor cantidad, se encuentra en la planta generalmente como ión y es muy móvil. Tiene una importancia decisiva en la fotosíntesis, en la respiración, en la translocación de azúcares y en la acumulación de sacarosa y juega un rol vital para la economía hídrica, estimula el desarrollo de la raíz y aumenta la tolerancia a las enfermedades (Romero, 2009).

Las plantas deficientes de potasio muestran un crecimiento pobre, el tallo se debilita y adelgaza rápidamente hacia el punto de crecimiento. Hay una disminución en el macollaje y los entrenudos se presentan más cortos. Inicialmente, las deficiencias aparecen en las hojas más viejas que se secan en los extremos y en los bordes de la lámina y con fajas cloróticas paralelas internas. Contenidos excesivos de potasio en el suelo o la aplicación de fertilizantes en dosis no necesarias o inadecuadas, producen un efecto negativo en el contenido de azúcar recuperable, ya que dificulta el proceso de cristalización de la sacarosa (Romero, 2009).

2.1.19 Fósforo

El fósforo es un elemento móvil de primera importancia, que se concentra en la planta de caña de azúcar en los centros de mayor actividad metabólica, anticipa en los principales procesos vitales como la fotosíntesis, respiración y absorción de nutrientes. Disponible cuando está en forma soluble, se absorbe

como H_2PO_4 y $\text{HPO}_4^{=}$, es poco móvil en el suelo y su absorción depende de la raíz (Romero, 2009).

Su adecuado abastecimiento es esencial para obtener óptimas cosechas, el fósforo ejerce un efecto decisivo en la brotación, el desarrollo radical, la elongación de los tallos, el macollaje y en la cantidad de tallos molibles. El cañaveral deficiente en fósforo está formado esencialmente por tallos primarios, con pocos tallos secundarios y renuevos. Los tallos muestran entrenudos (Romero, 2009).

2.1.20 Subproductos de la caña como fuentes de nutrimentos

a. Cachaza

La cachaza está formada por los residuos que se obtienen en el proceso de clarificación del jugo de la caña durante la elaboración del azúcar crudo. Es un material oscuro, constituido por la mezcla de fibra, coloides coagulados, cera, sustancias albuminoides, fosfatos de calcio y partículas de suelo (Rojas, 2006).

La producción de cachaza es, en promedio, de 30 kg por cada tonelada de caña que se muele (Rojas, 2006). Generalmente se aplica en suelos próximos a las fabricas de los ingenios, ya que su alto contenido de humedad aumenta el costo del transporte. Entre los componentes de la cachaza fresca sobresalen la materia orgánica, el calcio, el fósforo y el nitrógeno. Después de 13 semanas de descomposición de este subproducto, disminuyen la humedad, la materia orgánica y los nutrientes antes mencionados, y aumentan el hierro, el cobre y la actividad microbiana (Cuadro 2).

En el comercio existen productos a base de microorganismos que se utilizan para acelerar los procesos de descomposición de los residuos orgánicos.

Cuadro 2. Principales características de los abonos orgánicos que se usan en el cultivo de caña de azúcar (Rojas, 2006).

Parámetros	Cachaza fresca ^a	Cachaza descompuesta		Cenichaza descompuesta
		Inoculada	Sin inocular	
Humedad (%)	68.0	56.0	56.0	53.0
pH	6.1	7.1	7.3	8.4
C/N	22.0	16.0	22.0	18.0
M.O. (%)	42.0	23.0	33.0	16.0
N (%)	1.16	0.82	0.87	0.54
P (%)	1.25	0.62	0.60	0.37
Ca (%)	3.33	3.00	2.52	1.40
Mg (%)	0.51	0.74	0.69	0.40
K (%)	0.54	0.62	0.59	0.85
Fe (mg/kg)	8691	20570	22280	12090
Mn (mg/kg)	162	134	139	142
Cu (mg/kg)	56	73	77	55
Bacterias ^b	2 x 10 ⁷	1.6 x 10 ¹²	> 5.4 x 10 ¹²	5.4 x 10 ¹²

a. Promedio de cachazas provenientes de tres ingenios.

b. Método bacteriológico = número más probable (N.M.P.)

b. Vinaza

La vinaza es un material líquido resultante de la producción de etanol, ya sea por destilación de la melaza fermentada o de la fermentación directa de los jugos de la caña. Su origen es, entonces, las plantas de caña de azúcar por lo que su composición elemental debe reflejar la del material de procedencia. Se trata de un material orgánico líquido que puede contener como impurezas sustancias procedentes del proceso de extracción de los jugos y de la fermentación. En ningún caso elementos extraños, tóxicos o metales pesados; tampoco puede contener elementos en exceso (Rojas, 2006).

La composición de la vinaza depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol (Cuadro 3), en este caso melaza, del sustrato empleado en la fermentación, del tipo y eficiencia de la fermentación y destilación y de las variedades y maduración de la caña. La vinaza, resultante de la destilación de melaza fermentada, tiene una composición elemental interesante y contiene todos los componentes del vino que han sido arrastrados

por el vapor de agua así como cantidades de azúcar residual y componentes volátiles. De manera general, los constituyentes son los siguientes:

- Sustancias inorgánicas solubles en las cuales predominan los iones K, Ca y SO₄.
- Células muertas de levadura.
- Sustancias orgánicas resultantes de los procesos metabólicos de levaduras y microorganismos contaminantes.
- Alcohol y azúcar residual.
- Sustancias orgánicas insolubles.
- Sustancias orgánicas volátiles.

Cuadro 3. Composición elemental de las vinazas de 55% y de 10% de sólidos totales (Rojas, 2006).

Característica	Unidades	Vinaza 55% s.t.	Vinaza 10 % s.t.
N	kg/m ³	4.30	0.63 – 1.14
P	kg/m ³	0.22	0.04 – 0.11
K	kg/m ³	34.03	4.05 – 9.01
Ca	kg/m ³	5.00	0.74 – 2.2
Mg	kg/m ³	5.40	0.80 – 1.36
S	kg/m ³	11.55	1.28
pH	–	4.3 – 4.5	3.5 – 4.3
CE	DS/m ¹	17	11.0

2.1.21 Retenedor de humedad (hidrokeeper)

Son Compuestos biodegradables, que introducidos al suelo o cualquier otro medio de cultivo absorben, retienen el agua y nutrientes manteniéndola disponible para las plantas, las cuales pueden tomarla directamente por la raíz optimizando su crecimiento. El hidrokeeper es un polímero hidrorretenedor de aspecto granular que al entrar en contacto con el agua se hidrata convirtiéndose en un gel transparente que actúa como una reserva de agua para las plantas cuando estas así lo requieran; permitiendo un mejor

crecimiento de la planta en regiones de escasas lluvias. Permite el cultivo de la tierra bajo condiciones extremas de clima y suelo, reduciendo los ciclos de riego y la cantidad de agua utilizada. Reduce al menos un tercio la pérdida de nutrientes en el suelo. Incrementa las reservas de agua de los suelos por muchos años. Protege el medio ambiente de sequía, erosión, desertificación y contaminación del agua. Tiene una vida útil de cinco años; por tanto, solo se aplica una vez en la vida de las plantas en el sustrato, a la siembra o cuando ya están establecidos (Retenedor de Humedad, 2012).

a) Mecanismo de acción

Al entrar en contacto con el agua o medio acuoso los grupos carboxílicos de su estructura reticular se disocian exponiendo cargas iguales negativas lo que permite una repulsión de las cadenas poliméricas ampliando las cavidades de la red, esto permite el paso de las moléculas de agua al interior del polímero. Las fuerzas intermoleculares de cohesión impiden la desintegración del compuesto. El agua es atrapada entonces en el interior del polímero y solo es entregada a las raíces de la planta a través de un proceso físico de presión osmótica (Retenedor de Humedad, 2012).

Su estructura en forma de red permite atrapar las moléculas de agua (puede hidratarse hasta 100 veces su peso), además el agua es liberada gradualmente, 95 % del agua es atrapada y entregada a las plantas según las necesidades que esta requiera. El agua y sus nutrientes son almacenados en su interior, cuando no hay riego, las raíces extraen el líquido acumulado por los polímeros, aumentando la masa radicular, lo que se traduce en plantas más productivas. (Retenedor de Humedad, 2012).

b) Velocidad de absorción con el tiempo

Como se puede apreciar en la figura 6, a mayor tamaño de grano menor será la capacidad y velocidad de absorción. Sin embargo esta propiedad es inversamente proporcional al ciclo de vida del producto.

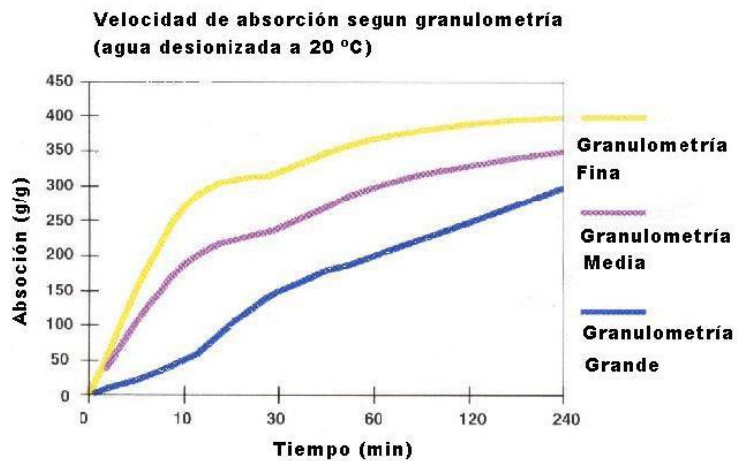


Figura 6. Velocidad de absorción según granulometría del Hidrokeeper (Retenedor de Humedad, 2012).

La presencia de electrolitos en medio acuoso disminuye significativamente la capacidad de absorción de HIDROKEEPER. Esto explica que la capacidad de retención de agua en un substrato varía entre 100 y 150 veces su peso (Retenedor de Humedad, 2012).

2.2 LOCALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL

La práctica profesional se realizó en Grupo Pantaleón, el cual está constituido actualmente por el Ingenio Pantaleón y el Ingenio Concepción, se ha consolidado como una de las empresas azucareras más importantes de Centro América. El Ingenio Pantaleón se encuentra localizado en la costa sur de Guatemala en el departamento de Escuintla, a 86 kilómetros de la ciudad de Guatemala, en donde se puede llegar por la autopista CA-4 una de las más modernas del país (Figura 7).

El Ingenio Pantaleón está localizado a 14°20'04" grados norte y 90°59'31" grados oeste y aproximadamente a 400 msnm, con una precipitación media anual de 3,500 mm en el periodo de lluvias que se inicia en el mes de mayo y termina en el mes de octubre, la temperatura varía entre 15 y 36°C, siendo los meses más calientes marzo y abril y los más fríos diciembre y enero, la humedad relativa varía entre 40% y 97% (Pantaleon, 2011).

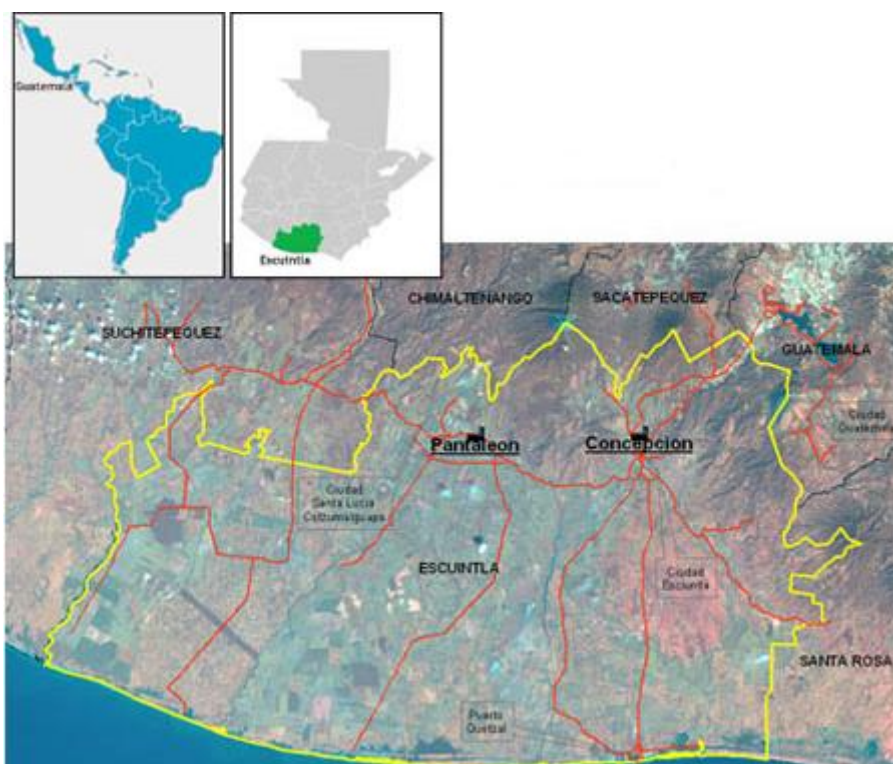


Figura 7. Mapa de ubicación del Ingenio Pantaleón (Pantaleón, 2011).

2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE LA CORPORACIÓN PANTALEÓN

A lo largo de sus 156 años de historia, quienes han estado al frente del ingenio Pantaleón han demostrado su capacidad para convertirse de una empresa familiar a uno de los quince grupos más grandes de Latinoamérica. Asimismo, han sabido cómo diversificar sus operaciones en un mundo globalizado que supone grandes retos para el presente y el futuro.

2.3.1 Departamento de ingeniería agrícola

Las oficinas del departamento de Ingeniería agrícola de la Corporación Pantaleón Concepción S.A se encuentran ubicadas dentro del perímetro de las instalaciones del Ingenio Pantaleón, que a su vez se sitúa el casco de la finca Pantaleón en el kilometro 86 carretera al Pacifico, jurisdicción del municipio de Siquinala, Escuintla.

Anteriormente en el departamento de Ingeniería Agrícola se le conocía como departamento de riego y drenajes, pero a partir del año 2007 por decisiones administrativas cambio a su actual denominación, el cual tiene como objetivo principal la implementación de proyectos de riego, drenaje y el diseño de los campos de cultivo en las distintas fincas del ingenio y otros proveedores de caña (*Saccharum sp*).

2.3.2 Descripción de la institución

La empresa está organizada de acuerdo a las funciones y obligaciones de cada departamento. En la figura 8 se presenta un organigrama de la empresa permitiendo conocer la jerarquización de cada departamento a evaluar.

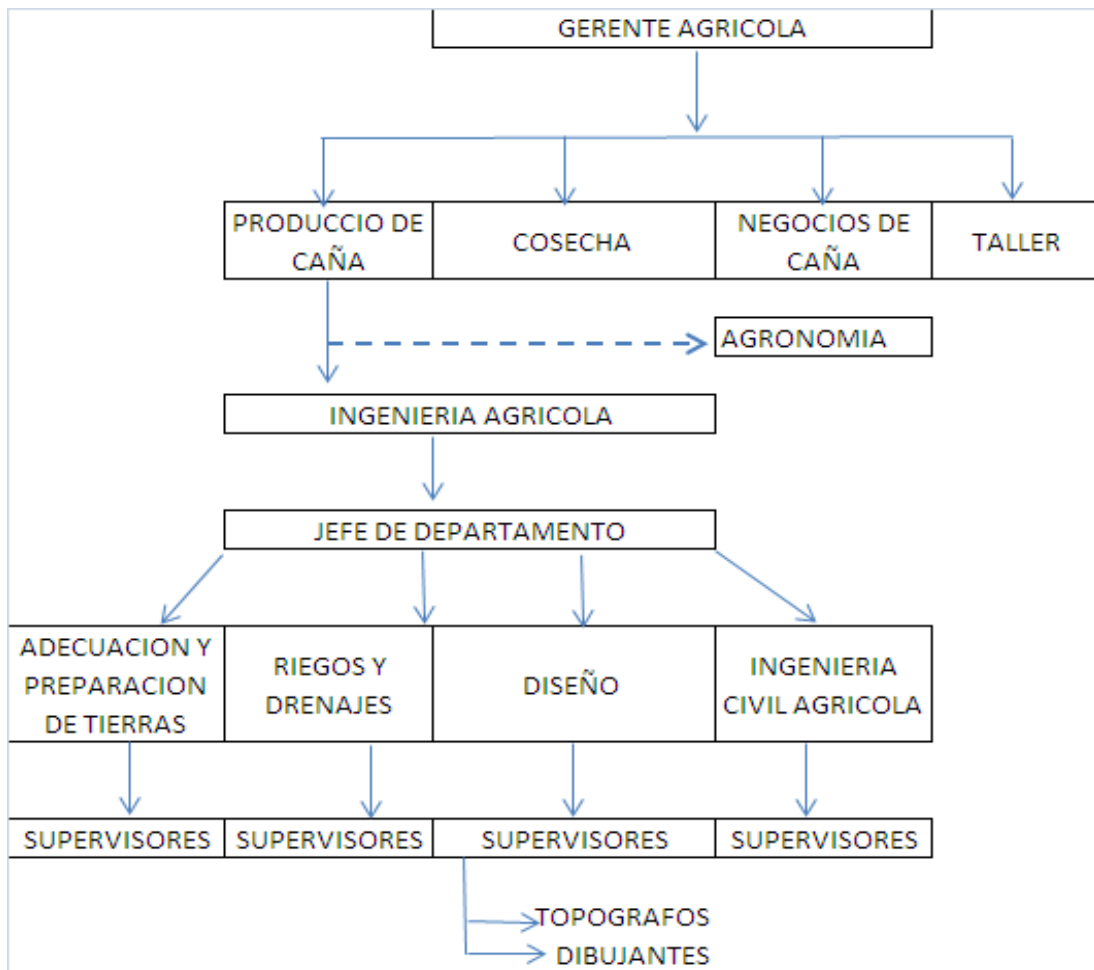


Figura 10. Organigrama Agrícola de la Corporación Pantaleón-Concepción (Pantaleón, 2011).

III. OBJETIVOS

Objetivo General

Apoyar el seguimiento en la implementación de fertilización variable establecido del proyecto de agricultura de precisión, e incrementar en 111 ha el área tratada, como parte de ampliación del proyecto en el Ingenio Pantaleón, Escuintla.

Objetivo Específicos

Analizar los resultados obtenidos, del proyecto de fertilización variable ya establecido de la temporada 2010-2011.

Desarrollar una base de datos con información que permita determinar la influencia de la fertilización variable en el cultivo de caña de azúcar en la temporada 2012-2013.

Elaborar un protocolo y una propuesta a incrementar el área de fertilización variable en 111 ha., para ser utilizadas con fertilización variable, del proyecto agricultura de precisión

IV. PLAN DE TRABAJO

4.1 Departamento de diseño agrícola

El departamento es el encargado de tener control sobre el diseño que más se adecue a las condiciones topográficas y edáficas. Delinean y realizan los trazos respectivos indicando como debe quedar un campo de cultivo teniendo en cuenta la máxima eficiencia de la maquinaria, el riego, el drenaje, labores de cultivo y la cosecha.

Uno de los objetivos es plasmar el sistema de riego y la red de drenajes que permitan hacer uso racional del agua y la evacuación de los excesos del agua de lluvia. Crear condiciones para optimizar la eficiencia y reducir los costos de las labores culturales, mecanizadas y de cosecha. Y también trazar rondas primarias y secundarias para optimizar la supervisión y el tránsito de la maquinaria, equipo agrícola y el transporte de caña.

4.2 Programa a desarrollar

Uno de los factores para el desarrollo de este cultivo, es la aplicación efectiva de fertilización, beneficiando a la planta en procesos de desarrollo y crecimiento principalmente en los primeros meses.

En el área administrada por el Ingenio Pantaleón aproximadamente el 23% del área tiene la presencia de vetas arenosas, lo cual es un problema ya que esta clase de suelos por su estructura granulométrica, les es difícil retener la humedad comparada con otros tipos de suelos. Respecto a la aplicación de fertilizante este es aplicado de manera uniforme, aplicando este en lugares en donde realmente no lo necesita y aplicando menores cantidades en donde se necesita más.

Este problema de retención de humedad puede ser lentamente modificado por medio de prácticas de agricultura de precisión con la aplicación de un

hidroretenedor, el cual es un producto que se aplica al suelo antes de la siembra, cuya función principal es conservar la humedad en el suelo y proporcionar humedad cuando este la pierda, proporcionándole a la planta una humedad continua. La aplicación de fertilizantes puede ser más efectiva, si esta se realiza de manera localizada por medio de sistemas de GPS, indicando la dosis necesaria en el lugar exacto, ya que en suelos arenosos el contenido de nutrientes es bajo e insuficiente para el desarrollo del cultivo.

El proyecto antiguo está ubicado en la región central del área del ingenio, Conformado por 8 fincas, con un total de 989 hectáreas, distribuidos en 36 lotes. Cuatro tratamientos están siendo evaluados en el proyecto, 306.84 hectáreas fueron aplicadas con hidrogel, 32% del área del proyecto en donde existe vetas arenosas.

4.2.1 Tratamientos

Los tratamientos evaluados en el experimento de agricultura de precisión se mencionan a continuación (Figura 9).

Aplicación de Hidrogel con fertilización variable, (T1).

Aplicación de Hidrogel con fertilización convencional, (T2).

Sin aplicación de Hidrogel con fertilización variable, (T3).

Sin aplicación de Hidrogel con fertilización convencional, (T4).

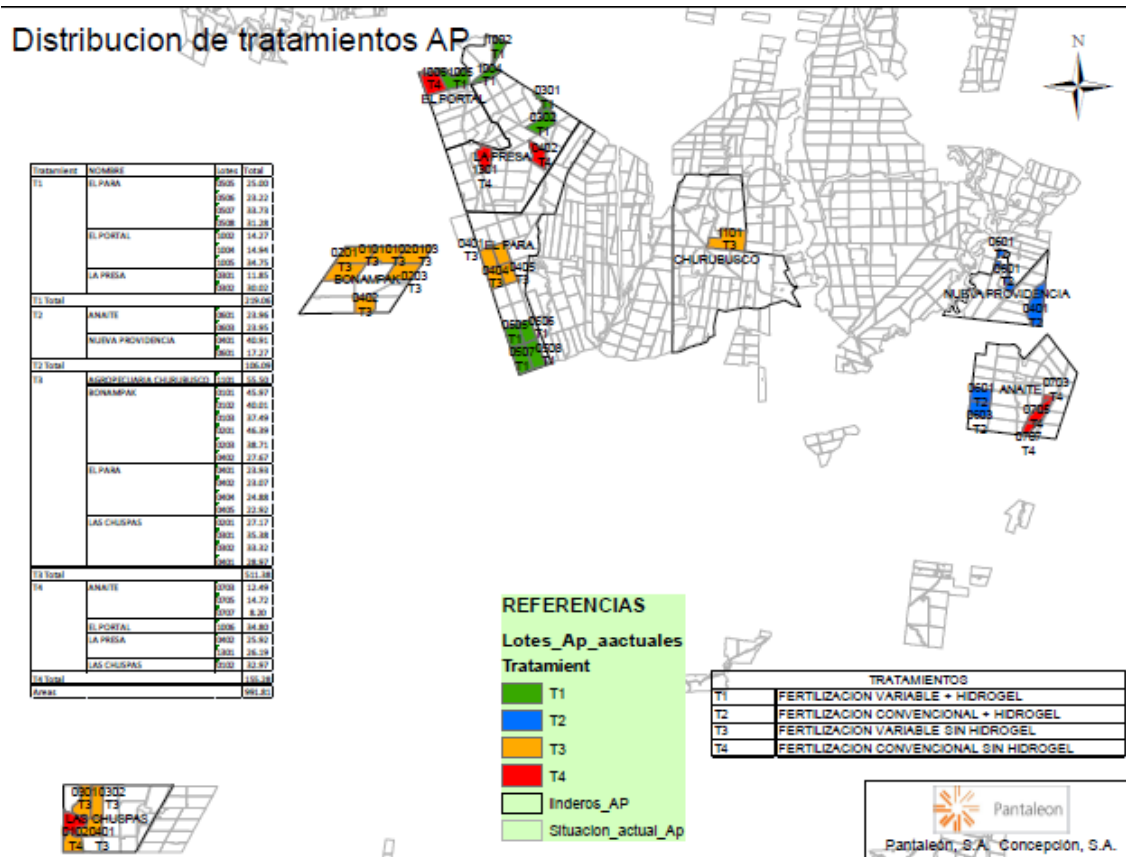


Figura 9. Distribución de los tratamientos en cada lote (Pantaleón, 2011).

4.2.2 Muestreo de suelos, asignación de puntos a muestrear y coordenadas

La metodología de muestreo de suelos fue dirigido, está se describe a continuación.

Se distribuyeron puntos de muestreo, a los cuáles se les asignó un código dentro de un rango de 0 a 101 con sus coordenadas correspondientes, para facilitar su localización. En la figura 10 se muestra la localización de cada punto muestreado con su respectivo código y coordenadas.

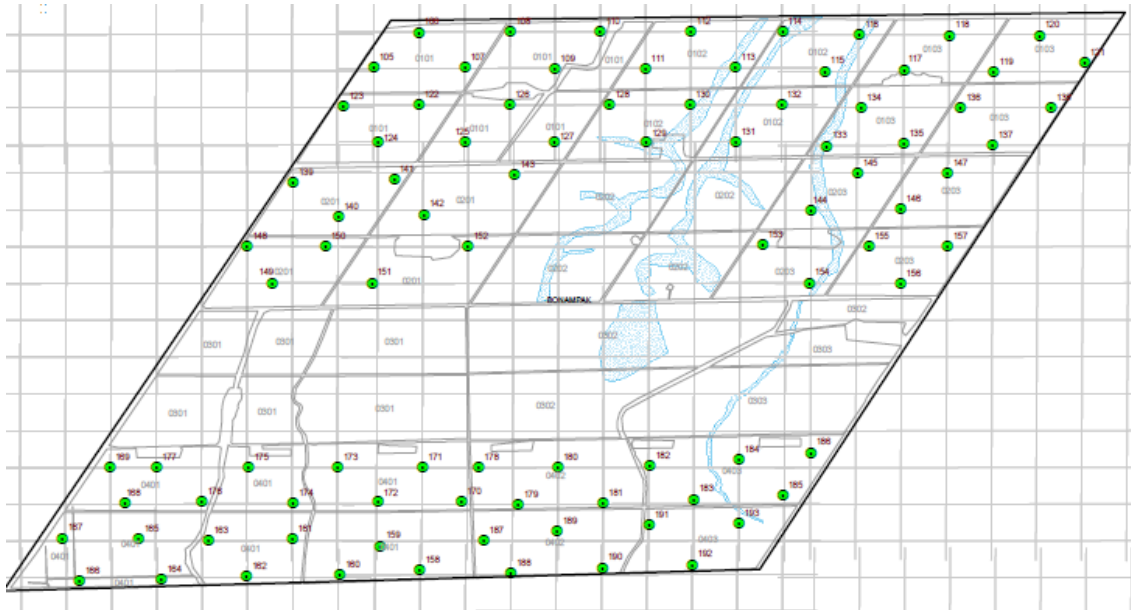


Figura 10. Localización de puntos en los lotes del proyecto para realizar muestra de suelo, para realizar el analizar respectivo (Pantaleón, 2011).

4.2.3 Frecuencia de la toma de muestras y distanciamiento

La frecuencia del análisis del suelo dependió de la cantidad de muestras a tomar, el distanciamiento entre cada punto de muestreo fue uniforme para todas, siendo este de 2 ha distribuida en cuadrícula. Se definió que el número de submuestras fueran 5 por cada muestra compuesta a una distancia de 20 metros entre ellas, estas distribuidas de la siguiente manera: mesa, surco y una última al centro (Figura 11).

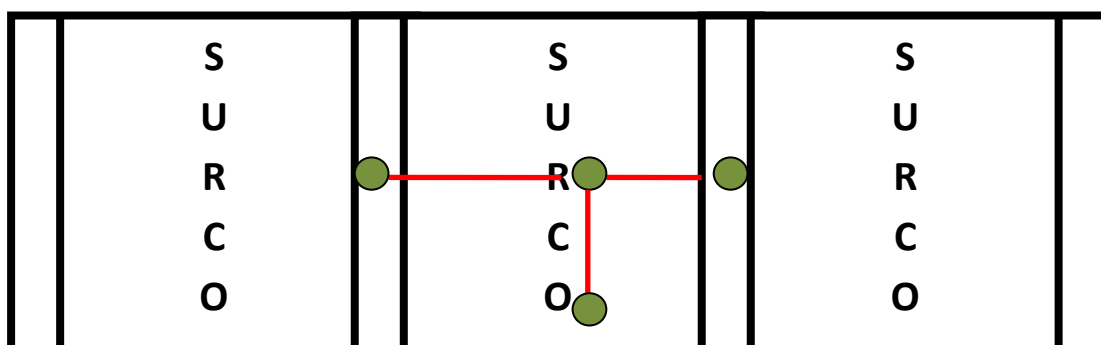


Figura 11. Distribución de la toma de muestra compuesta, cada una de ellas a 20 metros de distanciamiento para saber las características del suelo ne los lotes del proyecto (Pantaleón, 2011).

La profundidad de las muestras para este análisis de suelo se tomó de 0 a 30 centímetros, ya que en esta profundidad es donde se encuentra la zona de ramificación densa de la planta y la zona donde se acumula la lamina de agua aplicada, por los distintos sistemas de riego.

Para la elaboración y toma de muestras de suelo se emplearon barrenos del tipo holandés y palas convencionales, para luego tomar solo una pequeña parte del suelo que se lograba extraer con ambos instrumentos. Las 5 submuestras fueron homogenizadas extrayendo aproximadamente una porción de 1 kilogramo, estas fueron identificadas y depositadas en bolsas plásticas con el código de muestra correspondiente. La etiqueta de muestreo contenía los siguientes datos: Fecha, Código, Profundidad y muestreador.

4.2.4 Etapas y ciclos de la fertilización variable

La interpretación de los resultados del laboratorio se encuentra dividida en tres etapas:

De acuerdo a estas etapas se establece un ciclo de prácticas agrícolas dirigidas a proporcionar una recomendación precisa, con un manejo localizado que tome en cuenta el rendimiento variable presente en toda el área. De este modo se optimizan los recursos, ya que estos se emplean en la cantidad exacta y en las áreas donde se necesite del control.

El ciclo de Aplicación de Tecnología en Agricultura de Precisión comprende:

- Monitoreo de cultivo y suelo
- Mapas de cultivo
- Análisis de resultados
- Manejo variable

4.2.5 Ingreso de datos

En esta etapa se obtienen los datos brindados por el laboratorio donde se realizó el análisis respectivo de las muestras de suelo que se sacaron, hecho que permite conocer la situación actual del suelo, para posteriormente

digitalización de mapas. Dentro de la tecnología usada en esta etapa para apoyar las actividades realizadas, se nombran: El sistema de posicionamiento global (GPS), y el sistema de información geográfica (SIG).

4.2.6 Procesamiento, análisis e interpretación de la información

En base a las variables establecidas y con los datos obtenidos en la primera etapa, se empezó el procesamiento, análisis e interpretación de la información. En esta etapa se analiza los datos mediante el empleo de programas informáticos especializados, los cuales ayudaron a tomar las decisiones a ser implementadas en el campo.

En esta fase todos los datos deben ser asociados en conjunto para elaborar mapas digitales, en los que se puede observar como varían los factores establecidos para el análisis. En base a esta información se pueden elaborar mapas de evaluación y mapas de prescripción (mapas de variabilidad de suelo, de humedad, vigor de plantas, ataque plagas, etc.). Entre la tecnología utilizada en esta etapa se mencionan: programas de SIG, sistemas expertos, programas estadísticos.

4.2.7 Aplicación diferencial de insumos

En esta etapa se implementan las decisiones de manejo establecidas en la etapa anterior. El lote en el que se está trabajando puede ser dividido en zonas de manejo homogéneo, en las cuales se pueden aplicar dosis variables de los insumos. Aquí se realiza la aplicación variable de nutrientes, plaguicidas, como también la siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas. Entre la tecnología utilizada en esta etapa se menciona: tecnología de dosis variables, pulverización asistida por GPS., programas computacionales.

4.3 Metas propuestas

- Contar con la información necesaria que permita determinar la influencia de la fertilización variable en la temporada 2012-2013.
- Evaluación de la influencia del nivel del rendimiento utilizando la agricultura de precisión.
- Contar con la ampliación de área del cultivo de caña dedicada a la fertilización variable en 111 ha., y realizar un manual de las actividades que se realizan para crear un nuevo proyecto.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El proyecto de fertilización variable se ha desarrollado en 2 temporadas las cuales han sido zafra 2010-2011 y 2011-2012, de estos datos se analizaron a travez de una prueba de medias dado a que no existen repeticiones con una distribución espacial definida, sin embargo, se desarrollaron hipótesis para el análisis de la información, el proyecto cuenta con 4 tratamientos los cuales son:

Fertilización Variable + Hydrogel= T1

Fertilización Convencional + Hydrogel= T2

Fertilización Variable sin Hydrogel = T3

Fertilización Convencional (Testigo) = T4

Dado que no existe un modelo estadístico definido se hará una prueba de hipótesis, de medias independiente con varianzas conocidas, para establecer cuál de los tratamientos han sido significativos..

Como $\alpha = 4\%$, entonces $Z \alpha/2 = 2.05$

$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ ($\mu_A = \mu_B$) contra

$H_a: \mu_A - \mu_B \neq 0$ ($\mu_A \neq \mu_B$)

$$Z = \frac{\bar{X} - \bar{Y} - \Delta}{\sqrt{\frac{\sigma^2_x}{n} + \frac{\sigma^2_y}{n}}}$$

A través de un análisis de medias se determino que el tratamiento 1 que consiste en la fertilización variable + hidrotretenedor dio resultados positivos, como lo indica el cuadro 4, además de la variedad de caña de azúcar con que se estaba trabajando, sin embargo el la figura 12 se observa más detalladamente el incremento de producción en cada lote.

Cuadro 4. Resultados obtenidos de la fertilización variable + hidrotretenedor (T1), donde se puede observar el incremento que existió de la zafra 2010-2011 contra 2011-2012.

Tratamientos	Lote	TM/ha Cortadas 2010-2011	TM/ha Cortadas 2011-2012	Diferencia/ Lote TM/ha	Variedad
T1	0505	101.79	117.58	13%	CP88- 1165
T1	0506	105.55	128.53	18%	CP88- 1165
T1	0507	112.14	124.88	10%	CP88- 1165
T1	0508	109.19	125.81	13%	CP88- 1165

(Pantaleón, 2012)

MEDIA: 107.16

MEDIA: 124.2

DESVIACION ESTANDAR: 4.48

DESVIACION ESTANDAR: 4.67

VARIANZA: 3.88

VARIANZA: 4.05

$$Z = |5.26|$$

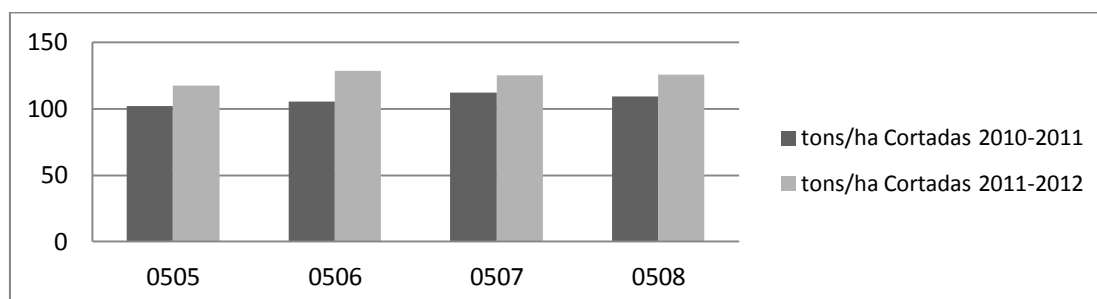


Figura 12. Resultados de lotes de la Finca El Para, de la fertilización variable + hidrotretenedor (T1), incremento de producción de 14% (Pantaleón, 2012).

En el cuadro 5 demuestra los resultados de fertilización convencional + hidrotretenedor, en donde se puede apreciar de manera diferente los resultados que demuestra la combinación de estas 2 actividades, esto también empieza a demostrar que el tratamiento 1 es la mejor combinación para tener resultados positivos como lo indica la figura 13.

Cuadro 5. Resultados obtenidos de la fertilización convencional + hidrotretenedor (T2), donde se puede observar que un lote tuvo incremento significativo mientras que el otro tuvo un decremento de la zafra 2010-2011 contra 2011-2012.

Tratamientos	Lote	TM/ha Cortadas 2010-2011	TM/ha Cortadas 2011-2012	Diferencia/ Lote TM/ha	Variedad
T2	0705	88.66	72.87	-22%	CP72- 2086
T2	0707	94.46	115.09	18%	CP72- 2086

(Pantaleón, 2012)

MEDIA: 91.56

MEDIA: 93.98

DESVIACION ESTANDAR: 4.1

DESVIACION ESTANDAR: 29.85

VARIANZA: 2.9

VARIANZA: 21.11

Z= |0.11|

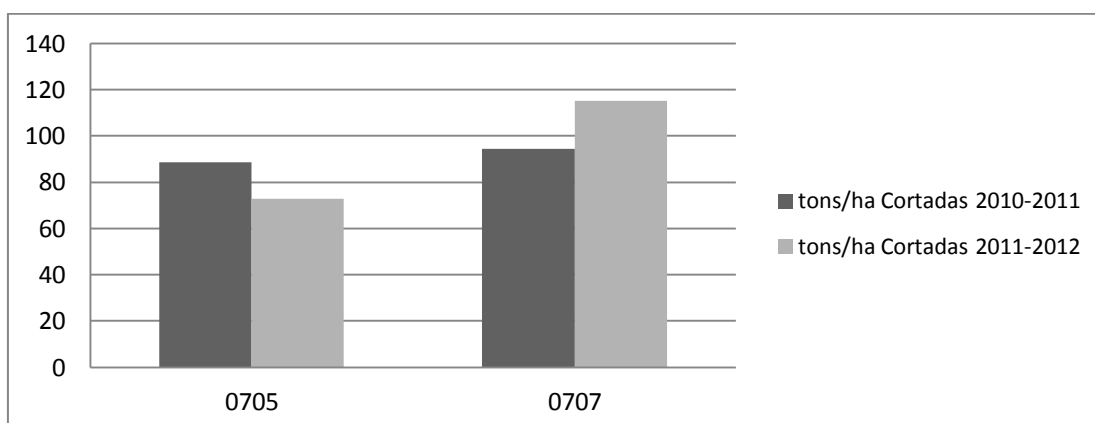


Figura 13. Resultados de lotes de la Finca Anaite, de la fertilización convencional + hidrotretenedor (T2), donde no existió una tendencia (Pantaleón, 2012).

El cuadro 6 muestra los lotes de la fertilización variable sin hidrotenedor aquí podemos apreciar que existe una cantidad mayor de lotes en donde se practico este ensayo que a pesar existen 2 tipos de variedades de caña de azúcar, además como lo indica la figura 14 que fueron practicados en 3 diferentes fincas que presentan condiciones edáficas relativamente diferentes, estos factores pueden alterar resultados más certeros, sin embargo predomina la tendencia de tener resultados positivos la fertilización variable.

Cuadro 6. Resultados obtenidos de la fertilización variable sin hidrotenedor (T3), donde se puede observar que existe un incremento de lotes y de material vegetativo diferente a pesar de estos factores existió incremento significativo no tan marcado como el T1.

Tratamientos	Lote	TM/ha Cortadas 2010-2011	TM/ha Cortadas 2011-2012	Diferencia/L ote TM/ha	Variedad
T3	0101	119.80	108.00	-11%	CP88- 1165
T3	0102	105.27	110.58	5%	CP88- 1165
T3	0103	110.53	96.51	-15%	CP88- 1165
T3	0201	91.96	112.42	18%	CP88- 1165
T3	0203	93.11	85.37	-9%	CG97-97
T3	0402	87.02	105.78	18%	CG97-100
T3	0201	132.41	127.91	-4%	CP88- 1165
T3	0301	98.85	109.72	10%	CP88- 1165
T3	0302	104.90	141.78	26%	CP88- 1165
T3	0401	108.48	125.76	14%	CP88- 1165

T3	1101	100.07	126.70	21%	CP88- 1165
-----------	-------------	---------------	---------------	------------	-----------------------

(Pantaleón, 2012)

MEDIA: 104.76

MEDIA: 113.68

DESVIACION ESTANDAR: 13.07 DESVIACION ESTANDAR: 15.89

VARIANZA: 12.46

VARIANZA: 15.15

Z= |1.43|

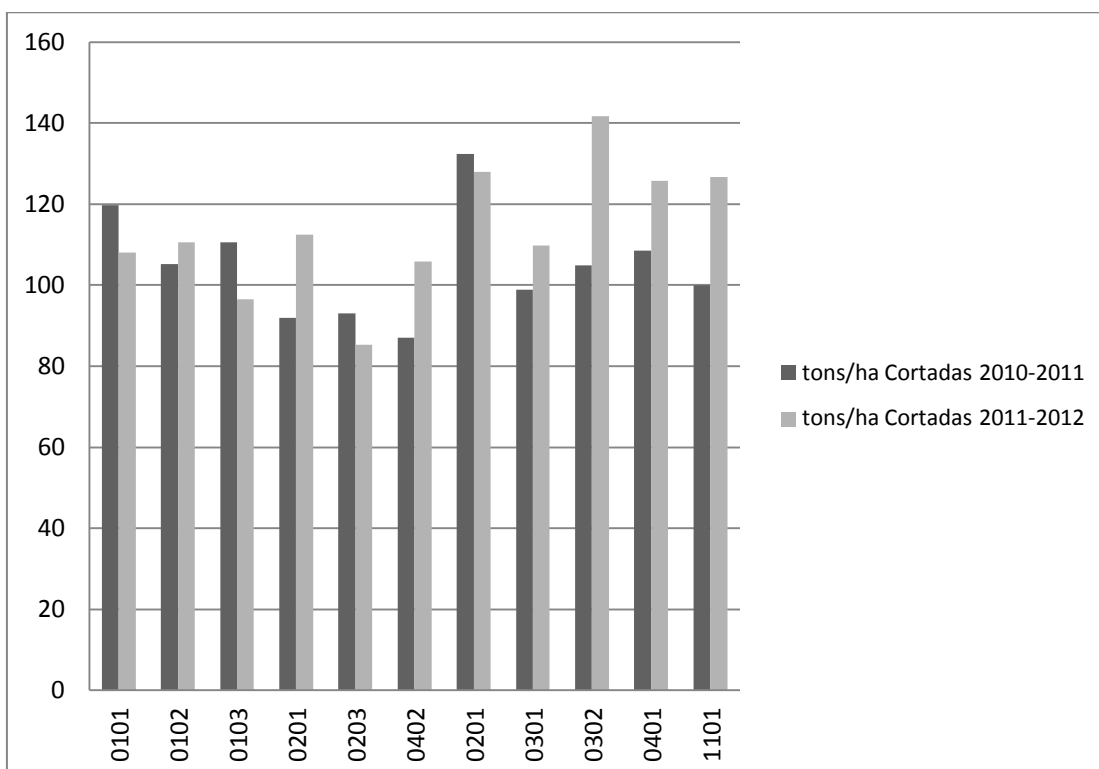


Figura 14. Resultados de 3 Fincas diferentes los lotes están divididos entre la Finca Bonampak, Finca Churubusco y Finca Chuspas, en donde se desarrollo la fertilización variable sin hidroretenedor (T3) (Pantaleón, 2012).

Como todo ensayo investigativo se tiene que tener un área testigo para que las demás variables se puedan comparar para analizar con resultados mas exactos, el cuadro 7 muestra los porcentajes de la cosecha 2010-2011 versus 2011-2012, que con las prácticas agrícolas que se realizan en estos lotes existió un incremento de producción, estos lotes están distribuidos en 2 fincas diferentes como lo demuestra la figura 15.

Cuadro 7. Resultados obtenidos de la fertilización convencional sin hidrotenedor (T4), a pesar que se mantienen las labores agrícolas tradicionales los lotes obtuvieron un incremento de producción.

Tratamientos	Lote	TM/ha Cortadas 2010-2011	TM/ha Cortadas 2011-2012	Diferencia/ Lote TM/ha	Variedad
T4	0102	116.24	125.14	7%	CP88- 1165
T4	0601	62.58	71.81	13%	CP88- 1165
T4	0603	62.17	95.98	35%	CP72- 2086
T4	0703	81.92	70.51	-16%	CP72- 2086

(Pantaleón, 2012)

MEDIA: 80.73

MEDIA: 90.86

DESVIACION ESTANDAR: 43.99

DESVIACION ESTANDAR: 25.67

VARIANZA: 38.1

VARIANZA: 22.23

Z= |0.39|

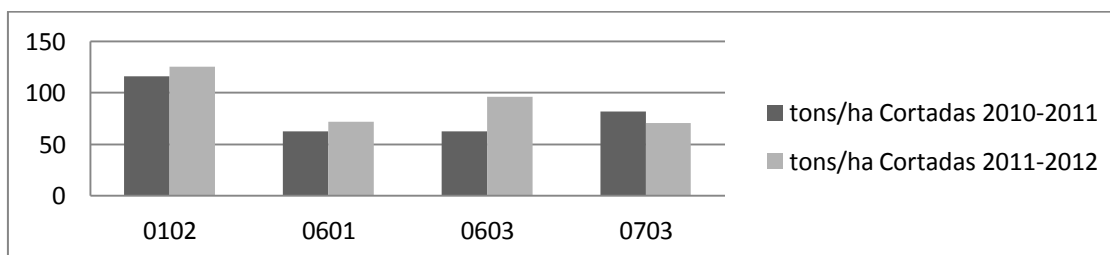


Figura 15. Fertilización convencional sin hidrotenedor (T4), ensayo distribuido en Finca Chuspas y Finca Anaite, donde se mantuvieron las prácticas agrícolas convencionales (Pantaleón, 2012).

Se observo un incremento en la productividad del tratamiento 1, esto obedece al manejo, resultado de una fertilización variable más la retención de humedad que brinda el hidroretenedor. Combinado estos factores se observa un incremento del 2.58% versus el testigo absoluto y un 5.88% versus el segundo mejor, que fue la fertilización variable sin hidroretenedor, a pesar que existieron varios factores los cuales pueden alterar los resultados tales como variedades de caña diferentes, condiciones climáticas, edad de las plantas, frecuencia de riego, sin embargo, existieron lotes donde si se manifiesta un incremento de toneladas por hectárea que es lo que se busca y que al analizarlos tienen resultados significativos, como lo demuestra el cuadro 8 donde se pueden observar los porcentajes de cada uno de los diferentes tratamientos de la zafra 2010-2011 y 2011-2012.

En la figura 16 muestra que la fertilización variable con hidroretenedor de la zafra 2011-2012, está por encima de los demás tratamientos, de ambas zafras, el que marca un leve incremento pero significativo fue la fertilización variable sin hidroretenedor aun que este ensayo presenta mayor numero de lotes, los cuales puedan mostrar alteración de nuestro análisis de medias independientes, sin embargo si podemos analizar que la fertilización variable con hidroretenedor tiene el mismo número de lotes que la fertilización convencional sin hidroretenedor y ahí es donde se marca la diferencia que en las dos zafras existió un incremento pero siendo el mayor la zafra 2011-2012 ya que aquí ya se tenía conocimiento total de el manejo agronómico que se está tratando de analizar.

Cuadro 8. Resultados de medias de las diferentes cosechas, lo cual demuestran los porcentajes de incremento de los diferentes tratamientos

Tratamiento	2010- 2011 TM/ha	2011- 2012 TM/ha	Diferencia TM/ha	Porcentaje (%)
1	107.16	124.2	17.04	13.72
2	91.56	93.98	2.42	2.57
3	104.76	113.68	8.92	7.84
4	80.73	90.86	10.13	11.14

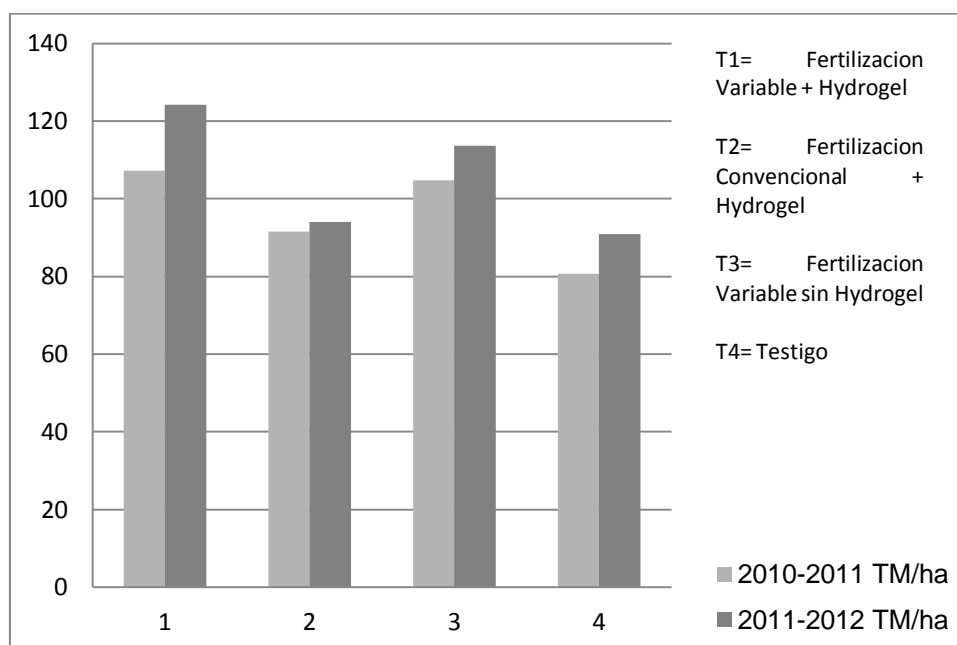


Figura 16. Resultados de los tratamientos de agricultura de precisión en el Ingenio Pantaleón de las zafas 2010-2011 y 2011-2012. (Pantaleón, 2012).

4.4 PROPUESTA NUEVA DE LA FERTILIZACION VARIABLE

Observando los problemas que se presentaron en el desarrollo del proyecto antiguo, las deficiencias que se tenían en la distribución de los tratamientos y la siembra de diferentes variedades entre sí, no se podían esperar datos reales y positivos, sin embargo se obtuvieron datos que reflejaron un incremento en la producción de caña que eso es lo que se busca.

Entonces se propuso un nuevo proyecto para realizar en zafra 2012-2013, en donde se analizó un bloque de renovación para poder ejecutar el nuevo proyecto y se determinó que un área homogénea era la finca Limones Pantaleón (Figura 17), de la cual se tomaron 5 lotes en donde no se presentaban vetas arenosas. Se propone evaluar únicamente fertilización variable (T1) contra la fertilización convencional (T2). Dado a que aquí existen similitud de factores que en el proyecto anterior presentaba alteraciones la base es evaluar más precisión los incrementos que vaya a tener los lotes de toneladas además del costo que estos presentan en la figura 18 observarán la distribución de los tratamientos que se estará evaluando.

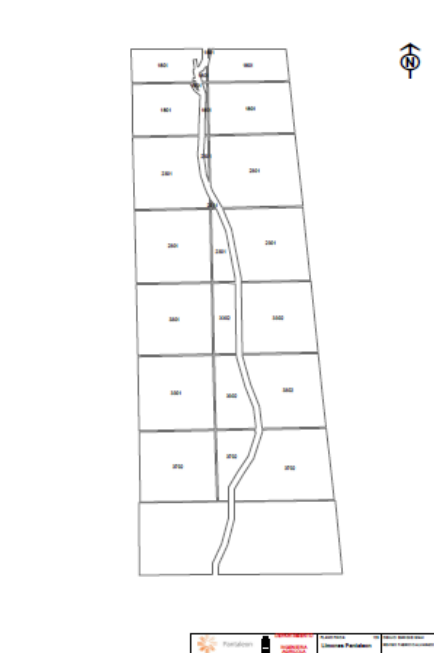


Figura 17. Propuesta de nuevo proyecto de fertilización variable en la Finca Limones Pantaleón (Pantaleón, 2011).



Figura 18. Distribución de los tratamientos de fertilización variable y fertilización convencional.

5.3 DOSIS

Ya teniendo los resultados de las muestra de suelos se interpretara la información brindada. Además, se trabajará conjuntamente con el programa de GIS, para realizar interpolación ya que con la información que ya es parte de las bases de datos del ingenio, ya cuando se tengan los datos se adjuntan a un programa propio que es el que va dosificando según los mapas.

Este proceso se tiene previsto realizarlo de 35-40 días después de la siembra, un dato extra es mencionar que se está aplicando fertilizante granulado.

Cuadro 9. Rangos de aplicación de fertilizante al cultivo de caña de azúcar en la zafra 2011-2012 según requerimientos.

NITROGENO (%N)	0-3= 80 kg/ha
	3-5= 65 kg/ha
	>5 = 50 kg/ha
FOSFORO (ppm P)	0-5= 60 kg/ha
	5-30=40kg/ha
	>30= 0
POTASIO (ppm K)	<50 = 167kg/ha
	50-100=117 kg/ha
	100-150= 83 kg/ha
	150-200= 67 kg/ha
	>200= 0

Dentro de la propuesta además se realizó una base de datos en donde está toda la información de los tratamientos de la zafra 2010-2011 además de la zafra 2011-2012, así como de la nueva propuesta en donde se incluyó hasta como realizar los muestreos de suelo, también podemos mencionar que se realizó un manual de los pasos que se tienen que seguir para elaborar un mapa de rendimiento en el software que se utilizó.

V. CONCLUSIONES

Se analizaron los resultados del proyecto de la temporada 2010-2011, y se encontraron varios factores que no fueron considerados al momento de ejecutarlo, los cuales eran la distribución de los tratamientos con diferentes condiciones climáticas y edáficas, además que utilizaron diferentes variedades de caña.

La fertilización variable en el cultivo de la caña de azúcar si influyó en el rendimiento en la zafra 2010-2011 y 2011-2012 ya que es el proceso que ayuda a incrementar el tonelaje de caña y a tener un lote más homogéneo, además se desarrolló una base de datos y un manual de los pasos que se tienen que tomar en cuenta para el desarrollo de los mapas de rendimiento y así exista información más precisa.

Se elaboró una propuesta de fertilización variable para la zafra 2011-2012, para incrementar 111 ha, para a mostrar datos más exactos los cuales van a estar bajo las mismas condiciones, actividades culturales y además de la misma variedad CP72-2086.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar el mismo protocolo que se estableció en la zafra 2011-2012 para el nuevo proyecto, además de usar el mismo equipo y mantener el orden apropiado de la toma de datos.

Se recomienda retomar el proyecto de la zafra 2010-2011 y mantener los 2 proyectos conjuntamente para que un futuro se aplique esta práctica favorable para el cultivo a nivel de empresa ya que los resultados que se obtuvieron en la zafra 2011-2012 fueron positivos, también podemos mencionar que se incluyan otras prácticas para la agricultura de precisión.

VII. BIBLIOGRAFIA

ASAZGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala). (2007). Azúcar de Guatemala. Documento Informativo: Cultivo de Caña de Azúcar Guatemala.

Bramley, R.G.V; S.E. Cook y G.G. McMahon, (Eds.). (1997). Precision agriculture: what can it offer to the Australian sugar industry? Proceedings of a workshop held at the Mercure Inn, La agricultura de precisión: ¿qué puede ofrecer a la industria azucarera australiana? Actas de un seminario celebrado en el Hotel Mercure, Townsville, 10-12 Junio 1997. CSIRO Land and Water, Tierra y Agua, Townsville, Australia. 101 p.

Cardona Orellana, J. A. (2011). Manual del Cultivo de Caña de Azúcar. Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). (2005). Informe anual 2004 – 2005 Guatemala Pág. 64-75

CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). (2010). Informe anual 2009-2010 Guatemala Pág. 64- 65

Cook, S.E. y McMahon, G.G. (Eds.). (1997). Precision agriculture: what can it offer to the Australian sugar industry? Proceedings of a workshop held at the Mercure Inn, La agricultura de precisión: ¿qué puede ofrecer a la industria azucarera australiana? Actas de un seminario celebrado en Hotel Mercure.

Díaz, L. (2009). País produjo 47.8 millones de quintales de azúcar. Prensa Libre. sec. Económicas Lunes, 22 de marzo de 2010.

Doerge, T.A. (1999). Site-Specific Management: Potash & Phosphate Institute. Manejo de Sitio Especifico: Instituto Potasio & Fosforo.

Flores, S. (1976). Manual de Caña de azúcar. Instituto Técnico de Capacitación y Productividad, INTECAP: Guatemala.

Humbert, R. (1974). El Cultivo de la Caña de Azúcar. Trad. de la 1ra. Ed. en Inglés por Alfonso González G. (1996). 1ra. Ed. México. 720 p.

Romero, E.R, Digonzelli, P.A., Scandaliaris, J. (2009). Manual del cañero / 1a ed. - Las Talitas : Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, 2009. Pag.87-100 232 p.

McBratney, A.; B. Whelan y T. Ancev, (2005). Future directions of precision agriculture, Direcciones futuras de la agricultura de precisión. Precisión Agricultura 6,: 7-23

Pantaleón. (2011). Historia. Consultado 8 noviembre 2011. Disponible en (Red): <http://www.pantaleon.com/historia> \t "_blank

Pérez, O. (2001). Fertilización nitrogenada en caña de azúcar. Síntesis de resultados de investigación en la zona cañera de Guatemala. En: Memoria del X Congreso Nacional de ATAGUA, Guatemala. 98-104 p.

Rojas, C. (2006). Vicepresidente Comisión de Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas de la Unión Internacional de Sociedades de la Ciencia del Suelo Laboratorio I & D., Sucromiles S.A. y Agrilab Ltda.

Revista Agropropuesta. (2008). Tecnologías aplicables en Agricultura de Precisión Uso de tecnología de precisión en evaluación, diagnóstico y solución de problemas productivos, Santiago. Chile. Primera edición.

Retenedor de Humedad. (2012). Consultado 30 abril. 2012. Disponible en <http://www.profafor.com/portal/Pdf/Retenedores%20de%20Humedad.pdf>

Subiros, R.F. (1995). El cultivo de la caña de azúcar. Editorial Universal estatal a distancia, San José, Costa Rica.

Smith, E. (2008). Cae Producción regional de Azúcar. Diario Prensa Libre. sec. Económicas (Abril, 25). Guatemala.

Sandell, G. y J. Agnew (Eds.), (2002). The harvesting best practice manual for chopper-extractor harvesters, La recolección Manual de buenas prácticas para la extracción helicóptero- recolectores. BSES. 98 p

Saravia, M. (1990). Cultivos tradicionales de exportación. Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

Quabba, R. (1997). Precision agriculture – a Herbert River canegrower point of view. Pp. 89-92. In: Bramley, R.G.V., S.E. Cook and G.G. McMahon (Eds.).

Werner, A. y A. Jarfe (eds.), (1997). Programme book of the joint conference of ECPA-ECPLF. Wageningen Academic Publisher, Programa de libro de la conferencia AECA-ECPLF. Wageningen Academic Publisher.

Williams, B. (1997). Variable rate control in the sugarcane industry, Control de velocidad variable en la industria de la caña de azúcar. Pp. 61-68. en: Bramley, R.G.V.,

Wood, A.W.; G. Kingston y B.L. Schroeder, (1997). Opportunities for improved management of sugarcane through more precise targeting of inputs, Oportunidades para mejorar la gestión de la caña de azúcar a través de una orientación mas precisa de los insumos. Pp. 13-24. en: Bramley, R.G.V., S.E.

Wood, A.W.; B.L. Schroeder y R.L. Steward, (2003a). The development of site specific nutrient management guidelines for sustainable sugarcane production, El desarrollo de sitios específicos directrices de manejo de nutrientes para la producción de caña de azúcar sostenible. Vol. 25. 12 p.

Wood, A.W.; B.L. Schroeder y R.L. Steward, (2003b). Soil specific management guidelines for sugarcane production, Directrices de gestión del suelo específica para la producción de caña de azúcar. CRC Sugar Technical Publication

September 2003. CRC for Sustainable Sugar Production, Publicación de Azúcar Técnica Septiembre 2003. CRC para la producción de azúcar sostenible, Townsville. 92 p.