

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

EVALUACIÓN DE LA FERTIRRIGACIÓN NITROGENADA, EN EL CULTIVO DE LA
CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)
EN UN MOLLISOL, DE LA GOMERA, ESCUINTLA.

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

POR

JOSE DANIEL CARBALLO DIAZ

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2001.

DL
01
+C 1998)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO

VOCAL PRIMERO

VOCAL SEGUNDO

VOCAL TERCERO

VOCAL CUARTO

VOCAL QUINTO

SECRETARIO

Ing Agr. Edgar Oswaldo Franco Rivera

Ing Agr. Walter Estuardo García Tello

Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez Ovalle

Ing. Agr. Alejandro Arnoldo Hernández F.

Prof. Abelardo Caal Ich

Br. José Baldomero Sandoval Arriaza

Ing. Agr. Edil René Rodríguez Quezada

Guatemala, Agosto de 2001

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

Distinguidos miembros:

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

EVALUACIÓN DE LA FERTIRRIGACIÓN NITROGENADA, EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum officinarum L.) EN UN MOLLISOL, DE LA GOMERA, ESCUINTLA.

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

En espera de su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento

Atentamente,



JOSE DANIEL CARBALLO DIAZ

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

CREADOR DEL UNIVERSO

A MIS PADRES

JOSE MANUEL CARBALLO SÁNCHEZ
AIDA DIAZ DUBON DE CARBALLO

A MI ESPOSA

SILVIA EUGENIA VALDEZ DE CARBALLO

A MIS HIJOS

LIONEL ESTUARDO
LILY DANIELA
SILVIA MARIA
ANDREA ALEJANDRA
RITA MARIA

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis asesores, Ing. Agr. M.Sc Víctor Manuel Cabrera Cruz e Ing. Agr. Jorge Enrique Sandoval Illescas, por el aporte técnico y la guía en la presente investigación.

Mis compadres Inga. Agra. M.Sc Ana Beatriz Pacheco Turcios de Contreras e Ing. Agr. M.Sc Juan Carlos Contreras Morales, por su incondicional apoyo y dedicación para llevar a feliz término éste trabajo.

El personal del Centro de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA), por el aporte que me brindaron durante la fase de investigación.

El personal tanto de oficina como de campo, en especial al que labora en la finca Monte Alegre y la Empresa "Ingenio La Unión", por la colaboración brindada durante el desarrollo de la fase de campo para la presente investigación.

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	i
RESUMEN	ii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
3. JUSTIFICACIÓN.....	3
4. MARCO TEÓRICO.....	4
4.1. MARCO CONCEPTUAL.....	4
4.1.1. BOTÁNICA.....	4
4.1.2. FISIOLÓGÍA.....	4
4.1.3. VARIEDADES.....	7
4.1.4. RIEGO POR ASPERSIÓN.....	8
4.1.5. FERTILIZACIÓN.....	10
4.2. MARCO REFERENCIAL.....	16
4.2.1. UBICACIÓN.....	16
4.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA.....	16
4.2.3. TEMPERATURA.....	17
4.2.4. PRECIPITACIÓN.....	17
4.2.5. ZONAS DE VIDA.....	17
4.2.6. ESTRATIFICACIÓN DE LA ZONA CAÑERA.....	17
4.2.7. SUELOS.....	18
5. OBJETIVOS.....	20
5.1. GENERAL.....	20
5.2. ESPECÍFICOS.....	20
6. HIPOTESIS.....	20
7. METODOLOGÍA.....	21
7.1. EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSIÓN.....	21
7.2. EQUIPO DE MECANIZACIÓN.....	21
7.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	21
7.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	24
7.5. VARIABLES RESPUESTA.....	26
7.6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	26
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
8.1. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	31
9. CONCLUSIONES.....	33
10. RECOMENDACIONES.....	34
11. BIBLIOGRAFÍA.....	35
12. ANEXOS.....	

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1:	CALENDARIO DE RIEGO PROGRAMADO PARA EL ENSAYO	23
CUADRO 2:	PRESENTACIÓN DEL ANALISIS DE VARIANZA EFECTUADO A CADA UNA DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS	27
CUADRO 3:	RESULTADOS DE LAS COMPARACIONES DE MEDIAS (PRUEBAS DE TUKEY) PARA LAS VARIABLES RESPUESTA	29
CUADRO 4:	ANALISIS DE DOMINANCIA PARA TRATAMIENTOS	31
CUADRO 5:	ANALISIS DE TASA MARGINAL DE RETORNO	32

EVALUACIÓN DE LA FERTIRRIGACIÓN NITROGENADA, EN EL CULTIVO DE LA
CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)
EN UN MOLLISOL, DE LA GOMERA, ESCUINTLA.

EVALUATION OF NITROGENATED FERTIGATION IN THE PRODUCTION OF
SUGAR CANE (*Saccharum officinarum* L.)
IN A MOLLISOL, OF LA GOMERA, ESCUINTLA.

RESUMEN

En el presente estudio, se realizó la evaluación de la fertilización nitrogenada aplicada en el agua de riego por aspersión en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Se evaluó la población, altura y rendimiento hasta los 343 días después de corte (ddc) aplicando un fertilizante nitrogenado, Urea con 46% de nitrógeno, a través de una solución en agua que fue conducida por el sistema de riego por aspersión.

Bajo condiciones técnicas, el cultivo de caña de azúcar ha tenido varios avances sin embargo, en la actualidad los productores y los ingenios azucareros se mantienen con procesos tradicionales de fertilización mecanizada y riego por aspersión, ambas actividades realizadas por separado.

En esta oportunidad, se propone una nueva forma de aplicar el fertilizante y es a través del agua de riego por aspersión, planteándose la posibilidad de que hubiese una respuesta igual a la producida cuando la fertilización se lleva a cabo en forma mecanizada.

El experimento se llevó a cabo en un área de 14.85 has. Durante los meses de Enero a Mayo de 1997. se utilizó un diseño de bloques al azar con submuestreo, consistiendo en cinco tratamientos con tres repeticiones de la siguiente forma:

(SAU) SIN APLICACIÓN DE UREA (TESTIGO ABSOLUTO)
(TM) TRTATAMIENTO MECANIZADO (TESTIGO COMERCIAL)
(TR-1) TRATAMIENTO CON RIEGO 129.87 KG. DE UREA / HA
(TR-2) TRATAMIENTO CON RIEGO 194.80 KG. DE UREA / HA
(TR-3) TRATAMIENTO CON RIEGO 162.33 KG. DE UREA / HA

Para medir la altura de plantas se realizaron cuatro lecturas con un intervalo de 45 días después del primer riego; para medir la población de plantas se llevó a cabo un conteo a los 133 ddc; el rendimiento de caña en toneladas por hectárea (ton /ha) y libras de azúcar por hectárea (lb / ha), se midieron durante la cosecha; los riegos se realizaron con una frecuencia de quince días.

La metodología que se siguió fue la siguiente: el riego tuvo una duración de tres horas divididos en 70 minutos de aplicación de agua, 40 minutos de agua más fertilizante y 70 minutos de agua nuevamente. El equipo que se utilizó es similar al utilizado para las actividades normales de riego, así como de mecanización.

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en la variable **Producción de caña en ton / ha**, los tratamientos con fertilización nitrogenada (Urea 46%) a través del agua de riego por aspersion, son los que presentaron un mejor rendimiento. Para la variable **Rendimiento de azúcar (kg / ha)**, se obtuvo que los tratamientos con 129.87 kg. de urea / ha y 194.80 kg. de urea / ha presentaron mayor rendimiento.

En el aspecto económico el mejor tratamiento a **utilizar fertirrigación aplicando 129.87 kg de urea / ha**. Coincidiendo este comportamiento con el observado en el campo dando mejores y más altos rendimientos y siendo el más barato.

Podemos concluir que en cuanto a la variable rendimiento en kg. de azúcar / ha, al comparar los tratamientos donde se aplicó fertilizante nitrogenado (Urea 46%) con el tratamiento sin aplicación de Urea (SAU), se determinó que el mejor tratamiento es al que se aplicó fertilizante nitrogenado (Urea 46%) a través del agua de riego por aspersion (129.87 Kg. de urea / ha.)

De acuerdo al análisis económico (TMR), el tratamiento más eficiente corresponde a la aplicación de fertilizante nitrogenado (Urea 46%) aplicado mediante el agua de riego por aspersión (129.87 kg de urea / ha); siendo el más económico dentro del experimento y manifestando un rendimiento en producción de caña en toneladas por ha, y en libras de azúcar por ha; mayor al tratamiento tradicional (Tratamiento mecanizado).

Se recomienda introducir la técnica de aplicar fertilizante nitrogenado (Urea 46%) a través del agua de riego por aspersión, dentro del programa de riego en el cultivo de caña de azúcar.

La dosis de fertilizante nitrogenado (Urea 46%) aplicada en el agua de riego por aspersión recomendable a utilizar es la de 129.87 kg. de urea / ha, ya que bajo las condiciones en que se realizó este experimento fue la que presentó mejor comportamiento en campo y mayor rentabilidad económica.

Se recomienda también continuar con la evaluación, adicionando otros elementos químicos a la fertilización nitrogenada (Urea 46%) a través del agua de riego por aspersión; así como realizar pruebas en suelos que presenten características diferentes al realizado en este experimento y que se encuentren dentro del cultivo de caña de azúcar.

1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) es un cultivo con gran auge en Guatemala, ha sido por mucho tiempo el proveedor de las mayores fuentes de trabajo en toda la costa sur, además de generar importantes divisas, y ser un rubro importante dentro de la economía del país.

El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala ocupa actualmente un área aproximada de 170,000 has. (de las 342,000 has potenciales), localizadas sobre la planicie costera del Océano Pacífico. Actualmente la fertilización nitrogenada se lleva a cabo en forma mecanizada y en algunas áreas se hace manual, de ésta forma se aplica al suelo fertilizante nitrogenado, con el consecuente costo de aplicación.

En la actualidad las prácticas culturales tales como el riego y la fertilización se hacen de manera independiente, programadas de tal forma que llevan una secuencia regular entre una labor y otra. Con la utilización de sistemas de riego, se provee al cultivo, del agua necesaria para su desarrollo y en gran parte del área se utiliza riego por aspersión, implicando grandes costos de inversión en equipos. Es por ello que para darle la mayor utilidad posible a los equipos se ha decidido que el fertilizante sea incorporado al riego por aspersión. La práctica de incorporar la fertilización mediante el riego por aspersión (fertirrigación), en el cultivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) es algo nuevo en la agroindustria azucarera del país, debiendo tomar en cuenta que tal labor puede aportar muchos beneficios, sin recurrir a mayores inversiones.

Esta labor es muy factible de realizar, si se cuenta con los equipos necesarios para implementar ésta práctica, la que en el campo es fácilmente adaptable, lo que daría como resultado un mejor aprovechamiento y optimización de los recursos que están a disposición.

Este trabajo se realizó para determinar si entre la fertirrigación y la fertilización manual o mecanizada, existen o no diferencias en desarrollo y producción del cultivo, y tratar de reducir los costos de operación.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la finca Monte Alegre, del municipio de La Gomera, Departamento de Escuintla, actualmente se riegan por aspersión alrededor de 800 has, en las cuales el rubro económico presenta un costo elevado. Además, existen algunos problemas cuando las actividades de irrigación y fertilización mecanizada o manual se llevan a cabo por separado; ya que produce un elevado costo en el manejo de la maquinaria e implementos para fertilizar; traslado de personal; aspectos de efectividad; envase; la aplicación menos homogénea en el área y otros aspectos en los cuales cada año se pierde tiempo y dinero en el proceso. Esto permite determinar que en la tecnología del cultivo de la caña de azúcar, los métodos de incorporar las dos actividades en una sola es factible.

Las prácticas culturales tales como el riego por aspersión y la fertilización se realizan en forma independiente, su programación obedece a secuencias regulares entre una y otra. Al utilizar sistemas de riego se provee al cultivo del agua que necesita para su desarrollo. Por ello, se hace necesario darle a los equipos la mayor utilidad y obedeciendo a esto se ha logrado que en los equipos, se incorpore la fertilización a través del riego por aspersión

Si tomamos en cuenta la factibilidad que existe en el campo para incorporar la fertilización mediante el riego por aspersión y considerando que se cuenta con equipos e implementos necesarios para tal efecto, la agroindustria azucarera se beneficiaría grandemente.

3. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala, principalmente en donde la investigación agrícola se encuentra en un proceso muy serio y constante; no existen pruebas documentales acerca de la práctica de incorporar fertilizantes nitrogenados mediante el riego por aspersión en el cultivo de la caña de azúcar. Tampoco se ha profundizado en la investigación de como incorporar fertilizantes nitrogenados por medio del riego por aspersión, debido a que muchos productores prefieren mantener las técnicas tradicionales para aplicación de fertilizantes, pues no quieren arriesgar los costos que ya han efectuado.

En algunos países de Latinoamérica se han realizado ensayos con la práctica de irrigación de fertilizantes o fertirrigación, y los resultados obtenidos han sido: ahorro de mano de obra, ahorro de maquinaria y equipo, mejor aprovechamiento de la inversión de los equipos de riego por aspersión, menor compactación del suelo, mejor distribución del fertilizante en el tiempo y en la zona radicular, mayores rendimientos por área.

Basándose en las investigaciones y sabiendo que con ésta práctica habría mayores ventajas y que en la actualidad el cultivo de la caña de azúcar requiere de nuevas técnicas para que exista un ahorro económico por hectárea y con esto sus valores en el mercado internacional sean más positivos.

El riego por aspersión en Guatemala, tiene varias ventajas en su utilización con cultivos extensivos, como la caña de azúcar, y para la zona de la costa sur guatemalteca es una práctica económica y eficiente, es por ello que con la investigación que se realiza, se presenta una nueva opción en la forma de aplicar fertilizantes nitrogenados, donde el aspecto más importante es que el elemento nitrógeno llegue en forma fácilmente aprovechable para la planta, y que de dicha práctica se determine la serie de ventajas que se presentan y a la vez conocer como se presenta el crecimiento del cultivo cuando los fertilizantes son aplicados en forma de irrigación sobre un tiempo ya conocido.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. MARCO CONCEPTUAL

4.1.1. BOTÁNICA

La caña de azúcar es una planta perenne de gran tamaño, pertenece a la familia de las gramíneas, del género Saccharum y se ha asignado a la especie S. officinarum; se presenta con una altura que varía de 1.5 a 5 m, de colores diversos (verde, amarillo, violáceo, rojizo) de tinte unido unas veces y estriado otras (8).

4.1.2. FISIOLÓGÍA

La caña de azúcar se caracteriza porque durante su desarrollo forma un sistema vegetativo subterráneo, del cual nacen gran número de tallos, llamándose a todo el conjunto "cepa". El tallo está formado por una serie de canutos o entrenudos y en cada uno están insertadas las hojas en posición alterna; la caña en cierta época de su vida emite una inflorescencia, conocida entre los cañeros con el nombre de espiga o bandera (7). La caña de azúcar puede ser de tallo largo y delgado o bien corto y grueso, no es de extrañarse si el tallo alcanza hasta cinco metros de longitud al momento de la cosecha, debiéndose a factores de clima, fertilidad del suelo, labores culturales, etc. El tallo esta compuesto de entrenudos o canutos que varían hasta 25 cm de longitud; los canutos del tronco son mas cortos que aquellos de la porción superior de la planta y estos a su vez son mas tiernos y delgados porque se encuentran en proceso de desarrollo. El canuto consta de dos partes: el nudo que es duro y fibroso y el entrenudo que es mas blando y jugoso. Cerca del nudo se encuentran otras estructuras del tallo que son: anillo de crecimiento, bandas de las raíces, cicatriz de la vaina y la yema. La yema esta situada sobre el nudo y cada canuto lleva una yema en forma alterna, en lados opuestos del tallo; en cuanto a su forma, son redondeadas, ovaladas o lanceoladas. La banda de las raíces se localiza en el nudo en el espacio que existe entre la cicatriz de la vaina y el anillo de crecimiento; cuando la planta es tierna, se pueden distinguir varias hileras de puntitos violáceos que corresponden a las futuras raíces rudimentarias, las cuales nacen cuando el canuto se coloca sobre la tierra (6).

Las hojas de caña están en continua renovación. Las hojas maduras mueren y nacen otras nuevas; están insertadas en los nudos del tallo en posición alterna, hasta llegar a la punta donde se localiza el cogollo, en cuyo centro están las hojas tiernas enrolladas. La porción anterior de la hoja que cubre el nudo y la yema del canuto se llama vaina y la parte superior es la lámina. La parte exterior de la vaina se encuentra cubierta por cierto número de pelos, que irritan la piel de los cortadores durante la cosecha. La lámina mide de 1 a 1.5 m de longitud por 5 a 8 cm de ancho y en la parte media de la hoja tiene una delgada vena de color blanco llamada nervadura.

En la cara inferior y superior de las hojas se encuentran los estomas que son pequeñas aberturas a través de las cuales tiene lugar el movimiento de gases, hacia adentro y afuera de la hoja, así como las pérdidas de agua por transpiración.

La hoja se puede considerar como una fabrica donde se elabora el azúcar y al tallo como el almacén donde ésta se guarda. Algunas de las células de la planta se pueden considerar como cuartos de trabajo mientras que otras son esenciales para mejorar los materiales crudos (agua y bióxido de carbono) y para llegar al tallo el azúcar. La energía en la fabrica es la luz del sol, en tanto que la clorofila que se encuentra en ciertas células de la hoja y tiene aptitud para utilizar la energía solar para combinar el agua y el bióxido de carbono, es parte de la maquinaria a la cual se aplica la energía para hacer el trabajo. Las principales funciones de la hoja son: a) fabricación de carbohidratos (fotosíntesis); b) la síntesis de carbohidratos en otros alimentos para la planta, especialmente nitrogenados; c) la transpiración o la pérdida de agua en la planta, que aumenta o disminuye con la temperatura del aire (6, 7, 8).

Existen factores que influyen en el crecimiento de la planta, como son la humedad, la temperatura y la luz.

La humedad:

No hay diferencia si el suelo está más o menos húmedo, mientras que su contenido de humedad esté arriba del punto de marchites permanente; la proporción del desarrollo es uniforme con tal de que no haya otros factores limitantes (21).

La temperatura:

Se ha demostrado que las variaciones en alargamiento o volumen de la caña son correlativas a la curva de la temperatura. Cuando ésta alcanza el máximo también es máximo el crecimiento y lo mismo se observa con el mínimo (21).

La luz:

La caña es una planta de sol. La intensidad luminosa afecta todo el complejo del crecimiento de la caña. En plena luz del sol los tallos son más gruesos, pero más cortos. Las hojas son más largas y más verdes y el amacollamiento es más abundante (21).

Las primeras raíces del tronco de caña son finas y fibrosas. Funcionan hasta que las raíces del tallo se desarrollan, luego mueren. Las raíces del tallo son más gruesas, tienen cofia bien desarrollada y penetran bien en el suelo. Las raíces del tronco de caña generalmente mueren después de corto tiempo. Pero como el desarrollo de los primordios radiculares no es simultáneo, al paso que van muriendo las raíces viejas nacen otras de los primordios que antes estaban latentes. Así el sistema radicular del tronco de caña pueden durar bastante tiempo (5). Después del alargamiento, las raíces se ramifican abundantemente, produciendo ramificaciones de primero y segundo orden. Las raicillas están densamente recubiertas de pelos absorbentes. Las raíces más largas del sistema radicular crecen hasta abajo y se reúnen formando cordones de quince a veinte raíces. Estos cordones verticales alcanzan las partes más profundas del suelo, hasta cerca de 50 cm, son llamadas raíces de cordón o sistemas de cordones. Los sistemas de cordones absorben vigorosamente agua y nutrientes minerales del suelo y su eficiencia se debe a que alcanzan mayor profundidad y retienen más humedad entre las raíces componentes de los cordones, que las raíces de soporte.

La inflorescencia de la caña es una panícula de aspecto sedoso, color violeta plateado, y cuando se abre por completo muestra muchas pequeñas espiguillas, las cuales están dispuestas en pares. Cada espiguilla contiene una flor hermafrodita. Al efectuarse la polinización tiene lugar la producción de la semilla verdadera de la caña, que los genetistas utilizan para la creación de nuevas variedades. La floración de la caña presenta un problema para los agricultores porque limita el crecimiento y tonelaje de los campos de caña con pérdidas directas, según las regiones y las variedades.

El crecimiento implica el aumento de materia seca y de peso fresco y, por consiguiente de volumen. Sin embargo, tales aumentos no ocurren necesariamente en etapas paralelas. La formación de nuevos órganos involucra los procesos celulares siguientes: división, diferenciación y alargamiento. Los nuevos órganos se originan de diversos tejidos meristemáticos. En la semilla verdadera los tejidos meristemáticos de la plúmula y de la radícula originan respectivamente, el tallo y la raíz primaria (5).

La semilla de la caña de azúcar en buenas condiciones de temperatura y humedad germinan en dos días. El embrión presenta la plúmula en la extremidad del mesocotilo, con dos primordios foliares y el punto vegetativo donde está el meristemo apical que va dar origen al tallo. La plúmula está protegida por el coleóptilo. La radícula ya con la cofia está protegida por la coleorriza. El endospermo de la semilla de la caña es amiláceo con excepción de la capa externa que es protéica.

La caña es normalmente propagada por estacas o trozos. La germinación es un conjunto de fenómenos bioquímicos complejos, caracterizados principalmente por las transformaciones de reservas nutritivas o por la actividad de enzimas y auxinas. Habiendo buenas condiciones de humedad, temperatura y un buen nivel de nitrógeno, un trozo germina; esto es, sus yemas se desarrollan en un nuevo tallo y sus primordios radiculares en raíces.

La formación de carbohidratos, principalmente la sacarosa, los azúcares reductores y el almidón, así como la movilización y el almacenamiento en la caña de azúcar son fenómenos importantes para la orientación del cultivo de caña y de la industria azucarera.

Según Zamora (22) la fotosíntesis es el proceso por medio del cual las plantas que tienen clorofila, en presencia de la luz del sol, sintetizan compuestos orgánicos a partir del agua y del bióxido de carbono. Los productos finales del producto de la fotosíntesis son azúcares de cinco a seis átomos de carbono (carbohidratos). La formación de azúcares por la fotosíntesis opera solamente durante el día porque es dependiente de la luz, pero la traslocación ocurre día y noche; y cuando la traslocación excede a la capacidad de transporte del floema, parte de los azúcares se almacenan en la lámina en forma de almidón y otros polisacáridos insolubles. Este almacenamiento temporal ayuda a la traslocación, pues suministra un suplemento de azúcares para la traslocación nocturna, cuando no hay fotosíntesis.

En las plantas jóvenes, el contenido de sacarosa presenta un máximo localizado aproximadamente a nivel del suelo. En estas plantas, el contenido de sacarosa decrece rápidamente de la base al ápice del tallo. El bajo contenido de sacarosa de la planta de caña indica que ahí los entrenudos aún no están plenamente desarrollados. La tendencia de contenidos en glucosa es casi opuesta a la de sacarosa. Su punto máximo está en los entrenudos más jóvenes y decrece hacia los más viejos. En la caña madura la glucosa casi desaparece excepto en la punta. La acumulación de almidón en el tallo es normal en cantidades relativamente pequeñas. Sin embargo, continúa Zamora (22), cuando el contenido de almidón es excesivo causa perjuicios en la industrialización de la caña.

4.1.3.VARIEDADES.

La variedad CP-722086, tiene las siguientes características agronómicas: tiene un color amarillo verdoso, buen vigor y cierre en las calles. Su crecimiento es erecto y no posee afate, es una variedad muy florecedora de fácil corte y desbarejado regular. Tiene muy buen retoño y se adapta a todo tipo de suelo, aunque se rendimiento merma en forma mínima en suelos poco profundos y arenosos (6, 7, 8).

La variedad CP-722086 es de maduración temprana, por lo cual se recomienda su siembra y cosecha para los meses de noviembre a febrero ya que en caso de atrasarse estas actividades, debido al alto porcentaje de floración, se forma tejido corchoso, empezando por el tercio superior hacia abajo, lo que implica un despunte más bajo en la cosecha y por consiguiente, una reducción en la producción (6, 7, 8).

Esta variedad brinda un buen tonelaje de caña por hectárea y un alto rendimiento en kg. de azúcar por tonelada, tanto a nivel experimental como a nivel comercial. En el ámbito comercial se han obtenido resultados promedio de 116.39 ton de caña por ha. y 94.34 kg. de azúcar por tonelada; mientras que a nivel experimental se tiene un promedio de 130 ton de caña por ha. y 108.18 kg. de azúcar por tonelada (22).

Juárez (14) cita que el cultivo de la caña de azúcar en Guatemala, durante su ciclo pasa por tres fases de desarrollo: germinación y macollamiento hasta los 2.5 meses; rápido crecimiento o elongación de 2.5 a 10 meses y la maduración de 10 a 12 meses. En el medio, de acuerdo a la época de cosecha, las plantaciones que son cortadas en los primeros meses (diciembre a enero), reciben una buena cantidad de agua de riego en la fase de germinación y macollamiento y la fase de rápido crecimiento coincide con los meses de lluvia, por lo que no requiere de riego en esta fase.

4.1.4. RIEGO POR ASPERSIÓN

El riego por aspersión simula la aplicación de agua al suelo de la misma manera en que actúa la precipitación o lluvia. Hidráulicamente consiste en transformar la energía de presión, en energía de velocidad a través de un orificio o boquilla, generando un chorro de alta velocidad que al friccionar con el aire se descompone dando lugar a la formación de gotas que caen sobre la superficie del suelo o sobre el follaje de las plantas (2).

Entre las partes constituyentes de un sistema de riego por aspersión se tienen: dispositivo de presión, compuesto por una bomba centrífuga y el motor para accionarla; medio de conducción de agua compuesto por la red de tuberías; medio de aplicación de agua compuesto por los aspersores; la fuente de agua y los accesorios (16).

Las bombas son algunas de las máquinas más antiguas conocidas por el hombre. La motobomba tiene la finalidad de aspirar el agua desde la fuente de provisión y la impulsará a través del sistema. Dado que para el funcionamiento de los aspersores requiere carga, la bomba crea la presión necesaria para ello, así como también para recompensar las pérdidas de energía en las tuberías. Se emplean para riego por aspersión, bombas centrífugas de eje horizontal y bombas tipo turbina. El motor puede ser eléctrico y de combustión interna; conjuntamente con la bomba, el motor integra el equipo motobomba que puede ser fijo o móvil (12).

Casi toda la tubería superficial del sistema de riego por aspersión es de aluminio y PVC. Los tubos de aluminio son definidos por su diámetro externo, en unidades de pulgadas. Las ventajas del aluminio son: peso escaso, resistencia relativamente alta, comodidad para el traslado y almacenamiento, además de su larga duración. Los tubos de PVC poseen diámetros definidos en milímetros, de acuerdo al diámetro interno. (12).

En general, las tuberías de un sistema de riego por aspersión, la integran conductos circulares que conducen el agua desde la bomba a los aspersores. Dichas tuberías pueden ser todas fijas, en cuyo caso, el equipo es fijo y van enterradas; pueden ser semifijas, es decir una parte es fija y la otra es móvil o transportable. Las tuberías fijas son comúnmente metálicas, de asbesto cemento o de concreto reforzado con una junta especial. Las metálicas se caracterizan por su reducido peso a fin de que puedan trasladarse con facilidad y con el mínimo esfuerzo; y se integran por tramos de 6, 9 y 12 metros de largo y con diámetros variables entre 2" y 8" (13).

El aspersor, dispersa o distribuye el agua sobre la superficie a través de una o varias boquillas por efecto de la presión del agua. Existe un espectro muy amplio de medidas de aspersores, la cual comprende descargas, alcance, tamaño de las gotas, ángulo de lanzamiento del chorro de agua y otros (12). Los aspersores son de tipo estacionario y tipo rotativo. La mayor parte de los aspersores existentes en la actualidad en el comercio para uso en la agricultura son giratorios. El giro puede ser total o puede ser regulable para cubrir un sector circular y los aspersores, pueden así mismo tener una o dos boquillas (16).

La velocidad de rotación del aspersor debe ser uniforme para una mejor distribución del agua. La velocidad de rotación también dependerá del mecanismo de construcción, diámetros de boquilla y la presión. Los espaciamientos entre los laterales y aspersores se fijan de acuerdo al tipo de aspersor, su boquilla, condiciones del viento, nivel de presión y ángulo de chorro. Es preferible llegar a una máxima distancia entre laterales para reducir costos de materiales y mano de obra; por lo tanto se requiere un mínimo de 84% uniformidad de distribución, para una velocidad del viento de 1.5 a 5 Km. / hrs. El espaciamiento entre laterales será superpuesto a 60% del diámetro de alcance, bajo condiciones de viento leve y a velocidades mayores de 5 Km. / hrs., el espaciamiento será de 40% (13).

El costo de la energía (combustible, electricidad) constituye el mayor costo de operación del riego por bombeo. Cuando más eficiente sea el sistema de bombeo, menores serán los costos por unidad de agua bombeada. Los motores y las bombas no son 100% eficientes, las pérdidas de energía son inevitables (4).

Si el motor eléctrico está acoplado directamente a la bomba se puede determinar la eficiencia del motor y de la bomba por separado. Un buen motor eléctrico debe operar a una eficiencia de 89 a 91% y la bomba entre 72 a 75%. Las eficiencias combinadas de la bomba y del motor deben dar una eficiencia de 66% mínimo. Se ha observado que algunos sistemas de bombeo operan en el campo con eficiencias superiores al 66%, sin embargo, se considera que el 66%, es una buena eficiencia de operación del sistema (4).

4.1.5. FERTILIZACIÓN

CUALIDADES DE LA FERTILIZACIÓN CON EL RIEGO

Anulación del trabajo de aplicación del fertilizante: la aplicación manual es dificultosa e inexacta. La aplicación mecánica es relativamente costosa, y en algunos casos provoca la compactación del suelo o daños a la planta. Todo ello puede impedirse al aplicar el fertilizante por medio de la tubería de riego (15).

Ahorro y comodidad: contrariamente a los otros métodos, el uso de equipo de fertirrigación es cómodo y bastante rápido, ya se trate de equipo central para todo el área, para una parcela o un lateral (15).

Distribución del fertilizante y localización: la solución fertilizadora de nutrientes se diluye en forma homogénea en el agua de riego, y esto hace que sea distribuida en el campo en la misma forma que el agua. En Israel (15), las plantaciones de cítricos, frutales regadas con tuberías fijas debajo del follaje, se riega la zona a lo largo de las hileras, y por supuesto aquí se localiza el fertilizante, contrariamente al fertilizante aplicado por métodos mecánicos, el que queda localizado en el espacio entre las hileras, que solo es regado parcialmente y no absolutamente.

Coordinación con las distintas etapas de desarrollo de las plantas: generalmente se acostumbra fertilizar uno o dos veces por año. El periodo se determina en la mayoría de los casos de acuerdo a factores físicos o técnicos, como por ejemplo la disolución por medio de las lluvias, el estado de vegetación o la combinación con el laboreo del suelo y otros. Con los métodos convencionales resulta difícil coordinar la composición de los nutrientes (cantidades, relaciones entre los mismos y sobre todo momento de aplicación) a los cambios provenientes de las necesidades específicas en las diferentes etapas de desarrollo: crecimiento vegetativo, floración, maduración. La fertilización combinada con el riego presenta muchas más posibilidades para ello, sin inversión de grandes esfuerzos. Una parte del éxito conocido es el riego por goteo, en el cual la fertilización forma parte del sistema, es posible adjudicarla a la coordinación del abastecimiento de nutrientes a las necesidades del cultivo (15).

Eficacia del uso y economía de fertilizantes: el abastecimiento de nutrientes, tal como se ha descrito, dividido en cuotas, aumenta la asimilación, limita las pérdidas en la profundidad por lavado y provoca un mayor aprovechamiento eficiente del fertilizante; es decir, mejor respuesta a una cantidad equivalente o respuesta equivalente a una cantidad menor en comparación con otros métodos (15).

Control de la profundidad de aplicación: existen algunos casos de acuerdo con las características del suelo, el fertilizante y el cultivo- en los que es conveniente aplicar el fertilizante recién al finalizar el riego para impedir la lixiviación de los nutrientes a profundidad. En la aplicación corriente es imposible, mientras que con el sistema combinado es posible hacerlo agregando controles adecuado automáticos que permitirán aplicarlo en el momento y durante el tiempo programados (15).

Cuotas de aplicación y control: cantidades exactas pueden ser aplicadas y además el sistema fertilizante puede conectarse a un sistema en serie bajo control hidráulico o eléctrico automático; o sea, es factible poner en practica cualquier programa deseado (15).

Riego con solución fertilizante: Últimamente se ha difundido el riego con soluciones diluidas de concentración constante de elementos fertilizantes, acomodado a las necesidades de la planta. Esta es una parte del adelanto en la intensificación e incremento en el control de los procesos de los cultivos, que conducen al aumento de los rendimientos y economía de los fertilizantes (15).

Otros usos: en principio, el mismo sistema puede ser utilizado también para la introducción de diversas sustancias en el agua de riego, como por ejemplo los herbicidas, pero aún no hay suficiente experiencia y a pesar de que las primeras observaciones son alentadoras, se debe esperar la obtención de resultados claros y evidentes. Cuando se aconseje el uso de estos productos, que generalmente son venenosos para el ser humano, será necesario tomar severas precauciones de seguridad. De esta manera, el sistema será de uso universal (15).

LIMITACIONES:

Envenenamiento y contaminación: una gran parte de las redes de agua para riego forman parte de las redes de agua potable. Las aguas que contienen fertilizantes u otras sustancias venenosas son prohibidas como agua potable. En cualquier caso en que el sistema haya sido adoptado, deberá prevenirse a los obreros de tomar agua de las tuberías de campo, y al mismo tiempo adoptar las debidas precauciones para impedir la contaminación del agua potable. Se deben colocar a la vista carteles y afiches preventivos. Otro factor puede ser el caso en que corte el flujo de agua mientras se aplica el fertilizante. En algunos puntos de la red el agua circulará en forma inversa conteniendo fertilizante o cualquier otra sustancia que fuera agregada al agua. El agua contaminada puede llegar a lugares en los que la gente o los animales beben, o asimismo a algún cultivo vecino. Para impedir la corriente inversa debe protegerse a la red en los lugares de aplicación con accesorios adecuados: válvulas de un solo sentido y válvulas de aire o vacío. Deben revisarse periódicamente para asegurar un perfecto funcionamiento (15).

Reacción de los fertilizantes en la red: hay fertilizantes, sobre todo los fosforados, que pueden provocar precipitados en la red de agua como reacción al nivel de pH; esto puede ser serio en el caso del goteo (15).

La aplicación de fertilizantes junto con el agua de riego es una práctica que puede ser asociada a los sistemas de riego localizado y a los sistemas de aspersión. Esta práctica, denominada fertirrigación, se constituye en una técnica de aplicación simultánea de fertilizantes y de agua al suelo, a través de un sistema de riego. Es una práctica agrícola esencial en el manejo de cultivos cuando se utiliza un sistema localizado, siendo una de las maneras más eficientes y económicas de aplicar fertilizante a las plantas, principalmente en regiones de climas áridos y semiáridos, en los cuales estos se aplican en menores cantidades por turno, pero con mayor frecuencia. Con este método es posible mantener un buen nivel de nutrientes al suelo durante el ciclo vegetativo del cultivo, lo que aumentará su productividad (1).

La aplicación de fertilizante a través de sistemas de riego es hoy día de comprobada eficiencia. En países donde se desarrolla la agricultura irrigada, constituye una de las prácticas utilizadas con el fin de obtener altas productividades, lo que se ha generalizado principalmente con el desarrollo del riego por goteo (1).

La fertirrigación es efectuada por la adición de pequeñas cantidades de fertilizantes durante todo el periodo de crecimiento de las plantas, sin causarles problemas de deficiencia de nutrientes o de toxicidad. La aplicación en pequeñas dosis evita el lavado de los fertilizantes, tan común en la fertilización convencional, mantiene el nivel ideal de nutrientes en el suelo y permite un mejor aprovechamiento de abono que, disuelto en agua, es fácilmente absorbido por las plantas (1).

Los fertilizantes aplicados por fertirrigación tienen que ser solubles en agua. En su mayoría, los fertilizantes ricos en nitrógeno y potasio son solubles en agua y no presentan ningún problema en su uso. Los fertilizantes ricos en fósforo son, por el contrario, poco solubles en agua. Aun los fertilizantes fosfatados solubles, como el fosfato de amonio, presentan el peligro de que con altos contenidos de calcio en el agua de riego, causan precipitación de fosfato de calcio dentro de las tuberías y aspersores, obstruyéndolos (1).

La fertilización combinada con el agua de riego es adaptable a diferentes sistemas de riego, sean estos fijos, semifijos, o convencionales. Los sistemas de riego más apropiados para la aplicación de fertilizantes son aspersión, micro aspersión y goteo. Esto porque tales sistemas transportan agua en conductos cerrados (tubos bajo presión), asegurando una buena distribución y poca pérdida de fertilizantes (1).

- VENTAJAS DE LA FERTIRRIGACIÓN:

- a. **Utilización intensiva del sistema de riego:** el trabajo necesario para realizar la fertirrigación es poco mayor que para la irrigación. Evita el uso de tractores y aviones, costando en general un tercio de los métodos convencionales de aplicación. Con los mismos equipos de fertirrigación, se pueden aplicar herbicidas y otros productos químicos, utilizándose también para desobstrucción de goteros con la aplicación de ácidos (15).
- b. **Flexibilidad de aplicación:** se puede fraccionar y dosificar la aplicación de fertilizantes, economizar mano de obra, reducir la lixiviación y distribuir mejor los nutrientes en el perfil del suelo (15)
- c. **Eficiencia en el uso y economía de fertilizantes:** la aplicación fraccionada de nutrientes aumenta su asimilación por las plantas y limita las pérdidas por lixiviación, proporcionando un aprovechamiento más eficiente de fertilizantes y reduciendo la cantidad de abono aplicado en comparación con otros métodos. Posibilita mejor control, lo que disminuye los casos de contaminación de aguas superficiales y subterráneas y, también es menor el riesgo de intoxicaciones de los trabajadores (15).
- d. **Control de la profundidad de aplicación de fertilizantes:** de acuerdo con las características del suelo, del fertilizante y del cultivo, algunas veces es conveniente aplicar el fertilizante poco antes de finalizar la irrigación, para impedir lixiviación de los nutrientes (15).
- e. **Cantidad de fertilizantes y época de aplicación:** cantidades exactas pueden ser aplicadas en el momento más oportuno de la fase del ciclo fenológico del cultivo (15).

Limitaciones de la fertirrigación: a pesar de las grandes ventajas de la fertirrigación, también presenta algunas limitantes.

- a. **Contaminación y envenenamiento:** las aguas de riego que contienen fertilizantes u otras sustancias, pueden contaminar y envenenar a los trabajadores cuando se operan deficientemente los equipos (15).
- b. **Tipos de fertilizantes:** el método no es apropiado para productos poco solubles o insolubles. Fertilizantes fosfatados pueden provocar reacciones químicas, originando precipitados y causando obstrucción de componentes del sistema de riego (15).
- c. **Corrosión:** algunas partes metálicas del sistema de riego pueden sufrir daños por la actividad corrosiva de los fertilizantes (15).

La Urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ contiene 46% de nitrógeno, es sólido y presenta una solubilidad de 1,190 gal / l, a una temperatura de 25°C (1).

El nitrógeno le imprime un color verde intenso a las plantas, fomenta el crecimiento rápido, aumenta la producción de hojas, aumenta el contenido proteínico en los cultivos de alimentos y forrajes, alimenta a los microorganismos del suelo durante su descomposición de los materiales orgánicos con escaso nitrógeno (1).

Najera Caal (19) cita que la caña de azúcar es una planta que tiene la característica de ser una de las mejores captadoras de energía y una de las mejores transformadoras de carbohidratos en azúcares. Esta doble característica determina una alta utilización de nutrientes por la planta; en especial de los elementos primarios.

Najera Caal (19) indica de trabajos realizados en Puerto Rico, donde se obtuvo que una tonelada de caña, requiere 3 libras de N, y que una tonelada de azúcar necesita 23 libras de Nitrógeno.

Se conoce también que la absorción de nutrientes es más elevada entre los 3 y los 6 meses de edad, con una nivelación de la absorción de Nitrógeno a los 12 meses, y el Potasio continúa absorbiéndose.

Najera Caal (19) hace referencia que entre los tres elementos primarios, el Nitrógeno tiene primacía y que un balance con fósforo y Potasio previene los indeseables efectos secundarios de una elevada aplicación unilateral de Nitrógeno.

En general Más López (17) que se puede asegurar que la mayoría de suelos no reúnen las condiciones ideales de N-P-K necesarias para el desarrollo, especialmente aquellas áreas donde por varios años se ha cultivado sin descanso caña de azúcar. De ahí la importancia que representa los análisis periódicos de suelos, ya que éste cultivo es uno de los que más agotan los nutrientes del suelo.

Más López (17) indica que con base a los resultados de los estudios efectuados en varios países y tomando los datos sobre análisis de los suelos, de las hojas y los tallos de la planta y de los experimentos de campo con N-P-K, ha determinado que la dosis media que necesita la planta para que haya una buena respuesta a la aplicación de N, fluctúa entre 105-126 kg. / mz. (Equivalente a 5-6 quintales de Urea); para los suelos deficientes en Fósforo, conviene aplicar de 60-80kg / mz. (Equivalente a 3-4 quintales de superfosfato triple); para los suelos deficientes en Potasio, recomienda aplicar dosis de Potasio iguales a la N.

El manual de fertilidad de suelos (18) cita que en las plantas, la absorción directa de urea puede ocurrir a través de las hojas y pequeñas cantidades de N son obtenidas de ciertos materiales como los aminoácidos solubles en agua. El nitrógeno es necesario para la síntesis de la clorofila y, como parte de la molécula de clorofila, tiene un papel en el proceso de fotosíntesis. El nitrógeno es también un componente de las vitaminas y sistemas de energía de la planta.

Un suministro adecuado de N (18) produce hojas de color verde oscuro, con motivo de una alta concentración de clorofila. Los pigmentos verdes de la clorofila absorben la energía luminosa necesaria para iniciar la fotosíntesis. La clorofila ayuda a convertir el carbono, hidrógeno y oxígeno en azúcares simples. Estos azúcares y sus productos de conversión estimulan la mayor parte del crecimiento de las plantas.

El nitrógeno aplicado en forma de urea (18) en la superficie se convierte rápidamente en NH_3 cuando existe adecuada humedad, temperatura y presencia de la enzima ureasa. Este NH_3 puede escapar a la atmósfera a través de la volatilización. Esta pérdida puede evitarse mediante (1) incorporación de la urea, (2) aplicarla cuando las temperaturas sean bajas, o (3) regar inmediatamente después de aplicada para que ésta penetre en el suelo.

La urea no es un fertilizante amoniacal en la forma en que se expande. Se hidroliza rápidamente en carbonato de amonio cuando es puesto en el suelo. La ecuación



El carbonato de amonio es un compuesto inestable que se descompone rápidamente en iones de carbonato de amonio. El ión amonio es adsorbido por el suelo donde finalmente es nitrificado. La hidrólisis de la urea ocurre en presencia de la enzima ureasa, que se encuentra en concentraciones variables en los suelos. Una vez que ha sido convertida en amonio, la urea se comporta exactamente como cualquier fertilizante nitrogenado.

4.2. MARCO REFERENCIAL

4.2.1. UBICACIÓN

El estudio se llevó a cabo en La finca Monte Alegre, del Ingenio La Unión, ubicada geográficamente en el municipio de La Gomera, Departamento de Escuintla, a 35 msnm y a 14°05'03" de Latitud Norte y 91°02'55" de Longitud Oeste (9). Se utilizó una plantación de cuatro cortes de la variedad CP-722086. El clima es cálido húmedo con temperaturas que van de los 22 a los 35 grados centígrados, con una precipitación media anual de 1,500 milímetros. Los suelos en esta región son desarrollados a partir de sedimentos aluviales medianos y finos de origen volcánico, perfil moderadamente desarrollado donde se identifica un horizonte A, B, y un horizonte 0C, a partir de los 50 cm. (9).

La finca Monte Alegre, colinda al norte, con las fincas El Piqué y Playa Grande; al este, con la finca Anaité y la aldea El Terrero; al sur, con la finca Lourdes; al oeste, con la finca Montevideo y el Municipio de La Gomera. Cuenta con una extensión de 40 caballerías (10).

La finca Monte Alegre, cuenta con dos tipos de riego debido a la topografía del terreno, el de aspersión y el riego por gravedad. Para el riego por aspersión se utilizan sistemas portátiles de alta presión y en el sistema de riego por gravedad se utiliza el riego por surco. En el sistema de aspersión, la presión deberá estar entre los 50 a 70 PSI. Es aspersor deberá recorrer los 360 grados en un tiempo aproximado de 2 a 3 minutos dejando el riego por espacio de tres horas, para después hacer el cambio.

La fertilización se hace manual y mecanizada, según la edad de la planta. En los últimos años se ha implementado la aplicación de sulfato de amonio por medio de avioneta, dando excelentes resultados. Generalmente la primera aplicación de fertilizante se suele hacer al momento de la siembra con un fertilizante fosforado y la segunda aplicación se hace a los 60 a 70 días después de la siembra.

4.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA

Según el mapa climatológico de la República de Guatemala (20), (del sistema Thornthwaite) escala 1:1,000,000, pertenece a la siguiente clasificación:

A' a' B i

A' = Cálido

a' = Sin estación fría bien definida

B = Húmedo

i = Con invierno seco

4.2.3. TEMPERATURA

La Temperatura en la media anual según las curvas isolíneas entre los 23 - 35 grados centígrados; pudiendo variar en los meses de diciembre a enero por ser los más fríos.

4.2.4. PRECIPITACIÓN

Las lluvias tienen una duración aproximada de 90 a 120 días al año, con una precipitación media anual de 1,687 mm. , Según datos registrados en las curvas isoyetas del atlas climatológico.

4.2.5. ZONAS DE VIDA

Según el sistema de clasificación de R. L. Holdridge (11), escala 1:600,000 pertenece a la clase bh-S(c) (Bosque húmedo subtropical cálido).

4.2.6. ESTRATIFICACIÓN DE LA ZONA CAÑERA

Según Juárez (14) para efectos de diferenciaciones climáticas y edáficas, existen, en la zona cañera tres estratos o zonas altitudinales, siendo estas:

Estrato I:

El estrato I o zona alta comprendida entre los 300 y los 800 msnm, con predominancia de suelos del orden Andisol y con precipitaciones mayores de 3,000 milímetros anuales, con una temperatura promedio anual menor a los 25 grados centígrados.

Estrato II:

El estrato II o zona media, es una zona de transición en lo que a suelos respecta, predominando suelos del orden Andisol e Inceptisol, ocupando áreas diferentes en ese orden de importancia; presenta precipitaciones anuales de 3,000 milímetros en las partes altas y 2,000 milímetros en las partes bajas, con una temperatura promedio anual de 25 grados centígrados. Este estrato comprende de los 100 a los 300 m.

Estrato III:

El estrato III o zona baja (aquí se desarrollo la investigación), comprende una altitud menor a los 100 msnm, predominando suelos del tipo Molisol, encontrándose también del tipo Andisol, Entisol e Inceptisol. Las precipitaciones promedio anual en áreas arriba de los 50 msnm, varían de 1,500 a 2,000 milímetros, mientras que debajo de los 50 msnm es menor a los 1,500 mm, con una temperatura promedio anual mayor a los 25 grados centígrados.

4.2.7. SUELOS

De acuerdo al estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala (3), la finca MONTEALEGRE se encuentra en los suelos de la consociación pacífico (PD), conjunto pacífico (*Fluventic Hapludolls* Franca gruesa) y dice que estos suelos ocurren en la parte media de los abanicos que conforman la llanura fluvio volcánica. Este subpaisaje ha sido ocasionalmente disectado por corrientes de agua, que descienden de la montaña. Los suelos son profundos y moderadamente profundos, limitados en ciertas zonas por el nivel friático; el drenaje natural es bueno a excesivo y la capacidad de retención de humedad es muy baja.

Los suelos han evolucionado a partir de sedimentos aluviales de origen volcánico, en los cuales predominan las arenas de diferentes tamaños y en algunos sitios lentes de gravilla. La sedimentación de estos materiales ha sido intermitente y con dinámica fluvial diferente, lo cual explica la presencia de capas bien diferenciadas por el tamaño de los granos; además, se identifican capas de arenas con contenidos apreciables de materia orgánica, sepultadas, indicando esto que en alguna época fueron horizontes A enterrados por aluviones posteriores (3).

El perfil característico de estos suelos es de tipo AC y en algunos sitios se identifica la presencia de un horizonte B incipiente. La parte superior del perfil corresponde a un epipedón mólico y se presenta en dos horizontes, Ap disturbado por el arado y un horizonte A que con el Ap suman 40 cm. Sus características son: color negro a gris muy oscuro, moderadamente estructurado y de consistencia friable; el horizonte B, cuando existe, corresponde a un cámbrico o B de alteración, presenta estructura débilmente desarrollada y alguna evolución de colores por la alteración de los materiales originales; el horizonte C se presenta en una sucesión de 3 ó 4 capas arenosas, de colores pardo y gris oscuro, sin estructura y de límite claro a abrupto (3).

En todos los casos la reacción es ligeramente ácida en la superficie y tiende a neutra en la profundidad, el contenido de materia orgánica es moderado y en algunos casos tiende a alto, pero no siempre el mayor contenido de ella se presenta en los horizontes superficiales; la capacidad de intercambio catiónico es moderada en casi todos los horizontes, en algunos sitios es alta en los horizontes superficiales, dependiendo del contenido de materia orgánica y de la cantidad de arcilla. La saturación total de bases es muy alta en todo el perfil y la relación calcio - magnesio normal. El contenido de fósforo aprovechable es muy bajo en todo el perfil y el de potasio normal aunque su distribución en el perfil es irregular, se presentan horizontes con contenidos muy altos. El contenido de elementos menores es muy irregular en los diferentes sitios y horizontes, pero en la mayoría de los casos es bajo a muy bajo (3).

Los suelos son aptos para la mayoría de los cultivos de la región; sin embargo, teniendo el alto contenido de arena, no es conveniente sembrar cultivos de árboles que necesiten amplio anclaje para las raíces, porque puede presentarse volcamiento. Las labores de preparación no exigen intenso uso de maquinaria, con una rastrillada profunda es suficiente. El arado puede ser conveniente ocasionalmente, haciéndolo a

diferente profundidad cada vez que se utilice. El riego más adecuado es por aspersión, con él se ahorra buena cantidad de agua, debe hacerse con caudales bajos y alta frecuencia. para la aplicación de fertilizantes debe tenerse en cuenta que la posibilidad de lavado es muy alta (3).

El perfil P-100 descrito a continuación representa el suelo PACIFICO (3).

PERFIL NUMERO	:	P-100
Unidad Cartográfica	:	Consociación PACÍFICO (PD)
Conjunto	:	PACIFICO
Fecha	:	julio 19 de 1993
Localización Geográfica	:	Municipio La Gomera, Finca Montealegre
Fotografía Aérea	:	Vuelo R-2-L-5-B. Foto 229
Posición Geomórfica	:	Cuerpo de abanico
Uso Actual	:	Caña
Relieve	:	Plano
Nivel Friático	:	Muy Profundo
Drenajes	:	Externo medio, interno rápido, natural bien
drenado Profundidad Efectiva	:	Profundo
Material Parental	:	Aluviones arenosos
Régimen de Humedad del suelo	:	Udico
Epipedón	:	Mólico
Endopedón	:	No tiene
Taxonomía del perfil, Subgrupo	:	Fluventic Hapludolls
Familia	:	Franca -gruesa

Ap 0-24 cm: Color gris muy oscuro (10YR3/1); textura franca; estructura en bloques subangulares, débiles, finos; consistencia friable en húmedo, ligeramente pegajosa y ligeramente plástica en mojado; regular cantidad de poros finos y medios; buena actividad de microorganismos; regular contenido de raicillas; límite difuso.

A 24-43 cm: Color gris muy oscuro (10YR3/1); textura franca; estructura en bloques subangulares débiles, medios; consistencia friable y ligeramente pegajosa y plástica; regular cantidad de poros finos y medios; regular actividad de microorganismos; regular cantidad de raicillas; límite claro y plano.

C 43-110X cm: Color pardo (10YR4/3); textura franco-arenosa; sin estructura (grano suelto); consistencia muy friable en húmedo, no pegajosa no plástica en mojado; abundantes poros finos; escasos microorganismos y raicillas.

5. OBJETIVOS:

5.1. GENERAL:

Determinar el efecto que produce la aplicación de un fertilizante nitrogenado (Urea 46%), mediante el riego por aspersion, en la producción del cultivo de la Caña de Azúcar (Saccharum officinarum L.).

5.2. ESPECÍFICOS:

- 5.2.1. Evaluar el efecto de diferentes dosis de un fertilizante nitrogenado (Urea 46%) en aplicación fraccionada, mediante el riego por aspersion, sobre el desarrollo en altura y población de plantas, rendimiento de caña y producción de azúcar.
- 5.2.2. Determinar a través de un análisis económico la eficiencia de aplicar fertilizante nitrogenado (Urea 46%) mediante riego por aspersion, con respecto a los métodos tradicionales (fertilización mecanizada).

6. HIPOTESIS:

- 6.1 Las diferentes dosis de un fertilizante nitrogenado (Urea 46%), aplicadas en forma fraccionada, presentan una respuesta similar en el desarrollo y rendimiento del cultivo de la caña.
- 6.2 Los tratamientos de un fertilizante nitrogenado aplicados mediante riego por aspersion, con respecto al tratamiento tradicional (fertilización mecanizada) responden económicamente igual.

7. METODOLOGÍA

7.1. EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSIÓN

- Tubería de aluminio de 6"
- Hidrantes
- Aspersores tipo cañón Nelson F-150
- Manómetros (salida de bomba y en los aspersores)
- Motor diesel modelo 4039 T de 90 HP
- Bomba modelo B3JQBM con capacidad de 630 GPM y 90 m de CDT.
- Recipientes plásticos con capacidad de 200 lts. (54 Gal.)
- Tubo de pitot
- Manguera
- Cronómetro
- Probeta
- Balanza
- Otros (metro, contadores, accesorios)

7.2. EQUIPO DE MECANIZACIÓN

- Un tractor de llanta marca John Deere de la serie 3350 de 106 HP
- Una abonadora marca Metalagro adaptada al tractor, con motor hidráulico, con capacidad de 363.64 kg.

7.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El experimento se realizó en la finca Monte Alegre, del Ingenio La Unión en el municipio de La Gomera del Departamento de Escuintla. El experimento se inició tomando en cuenta un área con caña soca de cuatro cortes de la variedad CP-722086, siendo ésta la que presenta mayor cobertura de siembra dentro de la finca. El clima imperante es cálido húmedo con temperaturas que van desde los 22 a los 35 grados centígrados, con precipitación media anual de 1,500 mm. Los suelos son Molisoles con relieve ligeramente plano y pendientes que no exceden el 3%, profundos a muy profundos, es decir no presentan limitaciones para el normal desarrollo de las raíces, bien drenados, con capacidad para retener humedad de moderada a alta. Son suelos desarrollados a partir a partir de sedimentos aluviales medianos y finos de origen volcánico, perfil moderadamente desarrollado donde se identifica un horizonte A, B y un horizonte C, a partir de los 50 cm (CENGICANA 1995).

El área total a cubrir por el ensayo fue de 22.275 ha. Luego, se marcaron quince parcelas experimentales con un área de 1.485 ha (14,850 m²) y un área neta de 1.263 ha (12,636 m²). El cultivo se manejó de acuerdo a la tecnología empleada para el mantenimiento de socas a nivel comercial. Las actividades de manejo se llevaron a cabo en forma tradicional, siendo estas las siguientes: desbasurado manual, primera limpia, entre otras labores

En el área total del experimento se distribuyeron cinco tratamientos con tres repeticiones cada uno, con un diseño experimental en bloques al azar con sub-muestreo.

Para el dimensionamiento de la red de riego, se colocaron hidrantes a cada 45 metros (30 surcos). Los tubos de aluminio para la conducción del agua de riego miden nueve metros de largo y a cada cinco tubos (45 metros) se colocó un hidrante. La tubería lateral, de las mismas dimensiones, también posee hidrantes a cada 45 metros y en cada uno de esos hidrantes se colocó un aspersor marca Nelson F-150, tipo cañón con boquillas de 1.18". Tres aspersores de estos, funcionando simultáneamente riegan un área de 0.60 ha y dos aspersores funcionando simultáneamente riegan un área de 0.40 ha.

Para poder succionar el fertilizante de un tonel de 200 litros, se acopló una válvula de compuerta de $\frac{3}{4}$ de pulgada y luego, se le acopló una manguera flexible resistente a alta presión de $\frac{1}{2}$ pulgada. Dicho acople se colocó muy cerca de la succión en el sistema de bombeo.

El fertilizante nitrogenado¹ se disolvió en agua, en un recipiente de 200 litros, y las dosis a aplicar en cada tratamiento se calcularon de la forma siguiente:

TRATAMIENTO 1 (SAU):

Sin Aplicación de Urea, únicamente se aplicó agua a través del riego por aspersión, (Testigo absoluto).

TRATAMIENTO 2 (TM):

Consistió en la aplicación de una dosis de 194.80 kg. de Urea / ha (fertilizante nitrogenado), la aplicación se llevó a cabo en forma mecanizada, (Testigo comercial).

TRATAMIENTO 3 (TR-1):

Consistió en aplicar 129.87 kg. de Urea / ha (fertilizante nitrogenado), los que se distribuyeron en nueve riegos, aplicando 14.43 kg. de Urea / riego. Cuando se utilizaron tres aspersores, se colocó la cantidad de 8.658 kg de urea y cuando se utilizaron dos aspersores se colocó la cantidad de 5.772 kg de urea.

¹ Urea 46% de N.

TRATAMIENTO 4 (TR-2):

Consistió en aplicar 194.80 kg. de Urea / ha (fertilizante nitrogenado), los que se distribuyeron en nueve riegos, aplicando 21.64 kg. de Urea / riego. Cuando se utilizaron tres aspersores se colocó la cantidad de 12.984 kg. de urea y cuando se utilizaron dos aspersores se colocó la cantidad de 8.656 kg de urea.

TRATAMIENTO 5 (TR-3):

Consistió en aplicar 162.33 kg. de Urea / ha (fertilizante nitrogenado), los que se distribuyeron en nueve riegos, aplicando 18.03 kg. de Urea / riego. Cuando se utilizaron tres aspersores se colocó la cantidad de 10.818 kg de urea y cuando se utilizaron dos aspersores se colocó la cantidad de 7.212 kg de urea.

La forma de incorporar el fertilizante nitrogenado al sistema de riego por aspersión, para los tratamientos 3, 4 y 5 fue de la manera siguiente:

Se realizó una programación de riegos en el área de ensayo, como lo muestra el Cuadro 1, para los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo. Se determinó una frecuencia de riego para cada unidad experimental de quince días, con un tiempo de tres horas por turno de riego, el cual se dividió en tres intervalos: 70 minutos + 40 minutos + 70 minutos respectivamente.

**CUADRO 1
CALENDARIO DE RIEGO PROGRAMADO PARA EL ENSAYO**

NUMERO DE RIEGO	RIEGO EN DÍAS DESPUÉS DEL CORTE (DDC)	FECHA
Primer riego con fertilización	39	4 enero 97
Segundo riego con fertilización	54	19 enero 97
Tercer riego con fertilización	69	3 febrero 97
Cuarto riego con fertilización	84	18 febrero 97
Quinto riego con fertilización	99	4 marzo 97
sexto riego con fertilización	114	19 marzo 97
séptimo riego con fertilización	134	8 abril 97
Octavo riego con fertilización	149	23 abril 97
Noveno riego con fertilización	164	9 mayo 97

Durante el primer intervalo de 70 minutos, el sistema de riego trabajó aplicando agua con la finalidad de humedecer el suelo y el follaje.

Durante el segundo intervalo de 40 minutos, el fertilizante nitrogenado es inyectado a través del sistema de riego por aspersión. Al conducir la solución a través del sistema, éste se diluye, con lo que se elimina cualquier efecto negativo en el follaje y no ocasiona daños por corrosión el equipo de riego.

El tercer y último intervalo, en donde el sistema vuelve a regar solamente agua, sirve para lavar el equipo y a la vez que remueva todo el fertilizante del follaje de las plantas, evitando daño por quemaduras; además sirve para conducir el fertilizante hasta la zona radicular del cultivo.

Para la aplicación del fertilizante incorporado al riego por aspersión se utilizó una motobomba, con motor John Deere modelo 4039 T de 90 HP, acoplado a la bomba marca Berkeley, modelo B3JQBM con capacidad de 630 GPM y 90 m. de CDT, Tubería y accesorios de aluminio de 6" y aspersores tipo cañón Nelson F-150.

Para conocer mejor el tipo de suelo se construyeron calicatas de 1m^3 en tres diferentes sitios de muestreo, se recolectaron las sub-muestras y después de identificarlas se enviaron al laboratorio de CENGICAÑA, cuyos resultados se observan en el ANEXO 1.

7.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el experimento se utilizó un diseño de bloques al azar con sub-muestreo, cinco tratamientos y tres repeticiones. Por presentar unidades experimentales muy grandes, fue que se utilizó el sub-muestreo en cada unidad experimental.

Para evaluar las variables respuesta se realizó lo siguiente:

- Altura de planta: se tomaron cuatro lecturas a diferentes edades de planta y tres sub-muestras a lo largo de la unidad experimental.
- Densidad de población se llevó a cabo tomando una lectura a mitad de periodo de crecimiento.
- Rendimiento en caña de azúcar se midió al momento de la cosecha.
- Rendimiento de producción de azúcar se midió posterior a la cosecha.

Características del experimento:

- Distancia entre surcos: 1.50 m
- Número de parcelas: 15
- Numero de repeticiones: 3
- Numero de tratamientos: 5
- Distancia entre plantas: siembra en cadena
- Surcos por parcela bruta: 30
- Surcos por parcela neta: 26
- Surcos por bloque: 150
- Área de parcela bruta: 14,850 m²
- Área de parcela neta: 12,636 m²
- Área por bloque: 74,250 m²
- Longitud del surco de la parcela bruta: 330 m
- Longitud del surco de la parcela neta: 324 m

Modelo Estadístico:

$$Y_{ijk} = U + T_i + B_j + E_{ij} + N_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk}	=	Variable a medir
U	=	Media general del experimento
T_i	=	Efecto del i-ésimo tratamiento
B_j	=	Efecto del j-ésimo bloque
E_{ij}	=	Error experimental en la i-j-ésima unidad experimental
N_{ijk}	=	Efecto de la i-j-k-ésima muestra

$$i = 1, \dots, 5 \quad j = 1, \dots, 3 \quad k = 1, \dots, 3$$

7.5. VARIABLES RESPUESTA

Altura de plantas: la altura de plantas se midió en cuatro lecturas, en cada sub-muestra. Se realizó midiendo desde la base del tallo hasta la última lígula visible; dichas lecturas se realizaron marcando con cinta de color las plantas seleccionadas en cada unidad experimental y se le llevó la secuencia de crecimiento para las lecturas siguientes 85, 133, 178 y 212 ddc.

Población de plantas: dentro de cada repetición, se identificó el surco central, se realizó el conteo de plantas que existían en 10 metros, luego se multiplicó por el largo del surco, y luego se vuelve a multiplicar por los 30 surcos, con ello se obtuvo la población total de cada unidad experimental. El conteo de plantas se llevó a cabo en una lectura, a los 133 ddc. Para la recolección de datos se seleccionaron los surcos centrales en cada unidad experimental y por cada sub-muestra.

Rendimiento de caña en toneladas por hectárea: se llevó a cabo durante la cosecha, la cosecha se realizó en forma mecanizada, se tomaron tres sub-muestras.

Rendimiento de azúcar en libras de azúcar por hectárea: se determinó por medio de Pre-muestreo el que se llevó a cabo previo a la cosecha, se seleccionaron 10 tallos al azar en cada unidad experimental, cortándolos desde la base hasta el punto de quiebre natural, después de pasar por el proceso industrial, que mediante el método de análisis directo fue determinada la calidad del jugo, (pool en porcentaje, porcentaje de pureza, porcentaje de grados brix, porcentaje de sacarosa y porcentaje de fibra) tomándose los valores de producción de azúcar de acuerdo a los resultados presentados por el Ingenio.

7.6. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

La incidencia de la aplicación de un fertilizante nitrogenado (Urea 46%) a través del agua de riego por aspersión en caña de azúcar fue evaluada en altura de plantas, población de plantas, rendimiento en toneladas por hectárea y en libras de azúcar por tonelada, efectuando el ANDEVA respectivo para cada una de las variables a medir.

De acuerdo al análisis estadístico realizado para cada una de las variables respuesta se elaboró un cuadro de resultados, los cuales fueron interpretados a través de un análisis de varianza al 5%, con lo que se logró determinar si estadísticamente existieron diferencias significativas entre los tratamientos.

8. RESULTADOS Y DISCUSION

Con el fin de evaluar el efecto de aplicar la fertilización nitrogenada en el agua de riego por aspersión, como sustituto de la fertilización tradicional (mecanizada), se analizaron estadísticamente los datos de las variables: Altura de Planta, Índice de Población de Plantas, Rendimiento de Caña en toneladas por hectárea y Rendimiento en libras de azúcar por hectárea. A cada variable se le efectuó un análisis de varianza cuyos los resultados se presentan en el Cuadro 2, muestran que hubo diferencia significativa entre las variables estudiadas.

CUADRO 2
PRESENTACIÓN DEL ANALISIS DE VARIANZA EFECTUADO
A CADA UNA DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS.

VARIABLES	FUENTE DE VARIACIÓN (TRATAMIENTOS)
Altura de Plantas	* *
Población de Plantas	* *
Rendimiento de caña (ton / ha)	* *
Rendimiento de azúcar (lb / ha)	* *

N. S. No Significativo

* * Significativo al 0.05 (5%)

En el cuadro 3 se muestran los valores de las medias comparativas a través del valor calculado para Tukey en todos aquellos análisis que mostraron diferencia estadística.

En los cuadros 3-A al 3-D, (**Altura de Plantas**), podemos observar mejor comportamiento en el desarrollo, en los tratamientos a los que se aplicó fertilizante nitrogenado (Urea 46%) mediante el riego por aspersión, en comparación al tratamiento tradicional (fertilización mecanizada) y el tratamiento con 0 kg de urea / ha (testigo absoluto). Se estableció que entre las diferentes Dosis de la fertilización nitrogenada aplicadas con agua de riego, los tratamientos con 129.87 y 194.80 kg de urea / ha, fueron los que mantuvieron las respuestas más altas de desarrollo durante todo el ciclo del cultivo.

El efecto de la aplicación de nitrógeno en el riego por aspersión, 45 días antes que el aplicado en forma mecanizada, se manifestó en la Densidad de Población, CUADRO 3-E, en donde se observa que la fertilización Nitrogenada (Urea 46%) mediante el riego por aspersión, obtuvo una respuesta similar en las diferentes dosis, no manifestando diferencia significativa. No así al compararlos con el Tratamiento Mecanizado (TM), en donde se observó mayor Densidad de Población en los tratamientos con fertilización nitrogenada en el riego por aspersión. Esta diferencia se debe a que cuando se inicio el desarrollo de los brotes, no había suficiente nitrógeno disponible en el suelo para las plantas dentro de las parcelas con el tratamiento mecanizado.

Comparando el Tratamiento Mecanizado (TM) con el tratamiento de 0 kg de Urea /ha (SAU) no se encontró diferencia significativa en relación con la Densidad de Población,

El efecto de los tratamientos sobre el Rendimiento en la Producción de Caña, se puede observar en el CUADRO 3-F, en donde no existen diferencias significativas entre los diferentes Tratamientos con Fertilización Nitrogenada a través del agua de riego por aspersión y el Tratamiento Mecanizado. No así, si se comparan los tratamientos nitrogenados con el tratamiento Sin Aplicación de Urea (SAU) en donde estadísticamente si existe diferencia significativa.

Según, el cuadro 3-G (**Rendimiento de lb de azúcar / ha**), se observa que los tratamientos con 129.87 Kg. de urea / ha y 194.80 Kg. de urea / ha presentaron mayor rendimiento. Además se observó que existen diferencias significativas entre los tratamientos con fertilización nitrogenada (Urea 46%), en comparación al tratamiento Sin Aplicación de Urea (SAU), siendo éste ultimo el que presentó el menor rendimiento. Fisiológicamente, esto nos confirma que el cultivo de la caña requiere del nitrógeno para el proceso de fotosíntesis en donde el carbono, hidrógeno y oxígeno son convertidos en azúcares y proteínas.

CUADRO 3
RESULTADOS DE LAS COMPARACIONES DE MEDIAS (PRUEBAS DE TUKEY)
PARA LAS VARIABLES RESPUESTA.

CUADRO 3-A
Primera Lectura en Altura de Plantas (m)

Tratamientos	Medias	
TR - 129.87 kg de urea / ha	1.100	A
TR - 162.33 kg de urea / ha	1.031	B
TR - 194.80 kg de urea / ha	0.983	C
SAU - Sin Aplicación de Urea	0.903	D
TM - 194.80 kg de urea / ha	0.862	E

CUADRO 3-B
Segunda Lectura en Altura de Plantas (m)

Tratamientos	Medias	
TR - 129.87 kg de urea / ha	1.243	A
TR - 194.80 kg de urea / ha	1.182	B
TR - 162.33 kg de ures / ha	1.155	C
TM - 194.80 kg de urea / ha	1.023	D
SAU - Sin Aplicación de Urea	1.013	D

CUADRO 3-C
Tercera Lectura en Altura de Plantas (m)

Tratamientos	Medias	
TR - 129.87 kg de urea / ha	2.185	A
TR - 194.80 kg de urea / ha	1.942	B
TR - 162.33 kg de ures / ha	1.902	C
TM - 194.80 kg de urea / ha	1.745	D
SAU - Sin Aplicación de Urea	1.703	E

CUADRO 3-D
Cuarta Lectura en Altura de Plantas (m)

Tratamientos	medias	
TR - 129.87 kg de urea / ha	2.395	A
TR - 194.80 kg de urea / ha	2.363	A B
TR - 162.33 kg de ures / ha	2.337	B
TM - 194.80 kg de urea / ha	2.284	C
SAU - Sin Aplicación de Urea	2.183	C

CUADRO 3-E
Lectura de Población (Plantas / ha)

Tratamientos	medias	
TR - 129.87 kg de urea / ha	107814	A
TR - 162.33 kg de urea / ha	105790	A
TR - 194.80 kg de ures / ha	102889	A
TM - 194.80 kg de urea / ha	89819	B
SAU - Sin Aplicación de Urea	89713	B

CUADRO 3-F
Rendimiento de Caña (Ton / ha).

Tratamientos	medias	
TR - 129.87 kg de urea / ha	153.15	A
TR - 194.80 kg de urea / ha	143.82	A B
TM - 194.80 kg de urea / ha	125.74	B
TR - 162.33 kg de ures / ha	120.78	B
SAU - Sin Aplicación de Urea	87.44	C

CUADRO 3-G
Rendimiento de Azúcar (lb / ha).

Tratamientos	medias	
TR - 129.87 kg de urea / ha	33498.42	A
TR - 194.80 kg de urea / ha	30834.72	A B
TM - 194.80 kg de urea / ha	26844.00	B
TR - 162.33 kg de ures / ha	25321.28	B
SAU - Sin Aplicación de Urea	18138.29	C

8.1. ANALISIS ECONOMICO

Se realizó un análisis económico utilizando para ello la metodología de TASA MARGINAL DE RETORNO, iniciando con la elaboración del Presupuesto Parcial de todo el experimento (Ver ANEXO 4).

Con los datos obtenidos y para analizar el comportamiento económico del ensayo, establecimos el análisis de dominancia comparando los valores de costos variables como podemos observar en el cuadro 4.

CUADRO 4
ANALISIS DE DOMINANCIA PARA TRATAMIENTOS

COSTOS VARIABLES (CV)	BENEFICIO NETO (BN)	TRATAMIENTOS (T)	DOMINANCIA (D)
Q 000.00	Q 48,973.38	1 testigo absoluto	ND
Q 251.61	Q 68,115.85	5 con riego (162.33 kg/ha)	ND
Q 444.74	Q 72,034.06	2 mecanizado (194.80 kg/ha)	D
Q 301.94	Q 82,951.80	4 con riego (194.80 kg/ha)	D
Q 201.30	Q 90,244.43	3 con riego (129.87 kg/ha)	D

Los datos anteriores en dominancia se analizaron en su totalidad por la importancia dentro del experimento de saber la rentabilidad de todos los tratamientos evaluados, dándonos como resultado que las condiciones no dominadas corresponden a los mejores tratamientos.

En base al cuadro 4 se calcularon los incrementos en el beneficio neto y el incremento en los costos variables con lo que se obtuvo la Tasa Marginal de Retorno, como vemos en el cuadro 5.

CUADRO 5
ANALISIS DE TASA MARGINAL DE RETORNO

COSTO VARIABLE (CV)	BENEFICIO NETO (BN)	TRATAMIENTOS (T)	INCREMENTO BENEFICIO NETO (IBN)	INCREMENTO COSTOS VARIABLES (ICV)	TASA MARGINAL DE RETORNO (TMR)
Q 000.00	48,973.38	1 testigo absoluto	000.00	000.00	00.00
Q 201.30	90,244.43	3 con riego	41,271.05	201.30	205.02 **

Nota: la TMR más alta corresponde al tratamiento más económico (**)

La Tasa Marginal de Retorno más alta corresponde al tratamiento más eficiente en el aspecto económico que corresponde a **utilizar fertirrigación aplicando 129.87 kg. de urea / ha.** Coincidiendo este comportamiento con el observado en el campo dando mejores y más altos rendimientos y siendo el más barato.

9. CONCLUSIONES

- a) Se determinó que el efecto de la aplicación de fertilizante nitrogenado (Urea 46%), mediante el riego por aspersión es altamente eficaz en la producción del cultivo de caña de azúcar.
- b) Con relación a la variable altura de plantas en los tratamientos donde se observó mejor desarrollo son aquellos en donde se aplicó fertilizante nitrogenado (Urea 46%) mediante el agua de riego por aspersión y donde se aplicaron 129.87 kg. de urea / ha y 194.80 kg. de urea / ha, respectivamente.
- c) En referencia a las variables densidad de población y rendimiento de caña en toneladas por ha, los tratamientos con diferentes dosis de fertilizante nitrogenado (Urea 46%) aplicadas mediante el agua de riego por aspersión, son iguales en su comportamiento.
- d) En cuanto a la variable rendimiento en lb de azúcar / ha, al comparar los tratamientos donde se aplicó fertilizante nitrogenado (Urea 46%) con el tratamiento Sin Aplicación de Urea (SAU), se determinó que el mejor tratamiento es al que se aplicó fertilizante nitrogenado (Urea 46%) a través del agua de riego por aspersión (129.87 Kg. de urea / ha.).
- e) De acuerdo al análisis económico (TMR), el tratamiento mas eficiente corresponde a la aplicación de fertilizante nitrogenado (Urea 46%) aplicado mediante el agua de riego por aspersión (129.87 Kg. de urea / ha); siendo el mas económico dentro del experimento y manifestando un rendimiento en producción de caña en toneladas por ha y en libras de azúcar por ha mayor al tratamiento tradicional (fertilización mecanizada).

10. RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda introducir la técnica de aplicar fertilizante nitrogenado (Urea 46%) a través del agua de riego por aspersión, dentro del programa de riego en el cultivo de caña de azúcar.
- b) La dosis de fertilizante nitrogenado (Urea 46%) aplicada en el agua de riego por aspersión recomendable a utilizar es la de 129.87 Kg de urea / ha, ya que bajo las condiciones en que se realizó este experimento fue la que presentó mejor comportamiento en campo y mayor rentabilidad económica.
- c) Continuar con la evaluación, adicionando otros elementos químicos a la fertilización nitrogenada (Urea 46%) a través del agua de riego por aspersión; así como realizar pruebas en suelos que presenten características diferentes al realizado en este experimento y que se encuentren dentro del cultivo de caña de azúcar.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. ABONAMIENTO VÍA agua de riego, Fertirrigación. 1990. Brasil, s. n. p 14.
2. CABRERA CRUZ, R. O. 1984. Estudio y diseño para la implementación de riego por aspersión en la aldea Los Tecomates, Palencia, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 72 p.
3. CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACION Y CAPACITACION DE LA CAÑA DE AZUCAR. (Gua.) 1994. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. 242 p.
4. COLACO, C. J. 1979. Evaluación del método de riego por aspersión basado en patrones de aplicación. Tesis Mag. Sc. México D. F. , Universidad Autónoma de México. 104 p
5. EMPRESA PANTALEÓN, DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN. (Gua.), s. f. Áreas estimadas por variedad, datos de rendimiento y áreas aplicadas con madurante. Escuintla, p 10-11
6. _____ s. f. Descripción de variedades. Escuintla, Guatemala. p 40.
7. _____ s. f. Reporte de floración. Escuintla, Guatemala. p 12-22.
8. _____ s. f. Variedades reproductivas. Escuintla, Guatemala. p 40.
9. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. 1980. Guatemala, Tipografía Nacional.
10. _____ . 1980. Mapa topográfico de Guatemala. Esc. 1:50,000.
11. _____ . 1975. Mapa de clasificación de zonas de vida de Guatemala. Sistema Holdridge, Esc. 1:600000.
12. HUERTAS, I. 1978. El buen uso y manejo del agua de riego; segunda parte. México, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 175 p.
13. ISRAELSEN, O. N. et al. 1980. Principios y aplicaciones del riego. Trad. por Alberto García. Barcelona, España, Reverte. 366 p.

14. JUAREZ, D. 1994. Requerimiento de riego en caña de azúcar en la costa sur de Guatemala. Guatemala. 40 p.
15. LA FERTILIZACIÓN combinada con el riego. Israel, Ministerio de agricultura de Israel. 36 p.
16. MANUAL DE riego por aspersión. 1988. 2 ed. Mérida, Venezuela, Centro Internacional de Aguas y Tierras. 160 p.
17. MAS LÓPEZ, C. E. 1983. Evaluaciones de niveles de $N-P_2O_5-K_2O$ y épocas de aplicación sobre el rendimiento de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en la finca Bulbuxyá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 32p.
18. MANUAL DE fertilidad de suelos. 1988. Colombia, F. A. R. y P. P. I. R. 73 p.
19. NAJERA CAAL, M. A. 1978. Respuesta de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) a la aplicación de 5 niveles de N-P-K. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 32 p.
20. OBIOLS DEL CID, R. 1980. Mapa climatológico de la republica de Guatemala, según el sistema Thornthwaite. Guatemala. Esc. 1:1000000.
21. OROZCO, H.; SOTO, G. 1996. Morfología de las variedades de caña de azúcar (Saccharum spp.) importantes en Guatemala y de variedades en evaluación regional grupo (CGVO). Escuintla, Guatemala, CENGICANA. Documento técnico no. 7. 43 p.
22. ZAMORA DE LEÓN. J. A. 1978. Estudio de los niveles tecnológicos utilizados en las fincas que cultivan caña de azúcar en el departamento de Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 40 p.

vo. B^o

Miriam De La Roca

12. ANEXOS.

ANEXO 1
RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE SUELOS

IDENTIFICACIÓN	pH	P ppm	K ppm	Ca Meq/100ml	Mg Meq/100ml	Cu ppm	Zn ppm	Fe ppm	Mn Ppm
A 6-04	6.6	118	395	14.66	3.03	0.5	7.0	4.5	37
B 6-04	6.9	98	788	13.10	2.98	0.5	6.5	5.0	53
C 6-04	7.1	86	735	9.98	1.80	1.0	3.0	14.5	18
A 6-05	7.1	99	200	9.98	2.00	2.0	3.0	17.0	18
B 6-05	7.0	99	455	11.54	1.33	0.5	6.0	7.50	18.5
C 6-05	7.1	62	353	10.30	1.33	1.0	3.5	14.0	20.5
A 6-10	6.7	56	173	11.86	1.80	0.5	6.0	6.0	14
B 6-10	6.7	27	238	8.42	0.92	1.0	2.5	22.5	18
C 6-10	6.9	29	313	7.80	0.77	1.0	3.0	14.0	12

ANEXO 2
RESULTADOS GENERALES REGISTRADO EN CADA UNA
DE LAS VARIABLES RESPUESTA.

Bloque	Tratamiento	Altura plantas en metros				Población Plantas / ha	Caña Ton / ha	Azúcar Lb / ha
		1a	2a	3a	4a			
I	Sin nitrógeno	0.96	1.08	1.67	2.33	89,704	94.01	19,741.40
	3 qq mecanizado	0.73	1.02	1.59	2.03	89,953	137.79	28,798.11
	2 qq riego	1.20	1.30	2.14	2.43	105,386	140.99	30,991.39
	3 qq riego	1.02	1.27	1.88	2.37	103,264	129.50	27,066.20
	2.5 qq riego	0.97	1.14	1.77	2.30	104,614	128.27	26,809.13
II	Sin nitrógeno	0.97	1.08	1.92	2.32	89,481	62.15	13,052.20
	3 qq mecanizado	0.95	1.08	2.12	2.46	89,585	107.08	22,487.50
	2 qq riego	1.15	1.32	2.30	2.49	109,114	164.14	34,468.70
	3 qq riego	0.98	1.27	2.18	2.50	102,538	135.14	30,405.75
	2.5 qq riego	1.16	1.28	2.17	2.49	106,257	90.21	18,944.10
III	Sin nitrógeno	0.78	0.91	1.52	2.14	89,954	106.15	21,621.28
	3 qq mecanizado	0.91	0.94	1.52	2.06	89,919	132.34	29,246.40
	2 qq riego	0.94	1.12	2.12	2.26	108,942	154.39	35,035.18
	3 qq riego	0.95	1.01	1.77	2.22	102,866	166.82	35,032.20
	2.5 qq riego	0.96	1.05	1.76	2.22	106,498	143.86	30,210.60

Fuente: Finca Monte Alegre, Ingenio La Unión.

GRAFICA 1
CUATRO LECTURAS DE ALTURA DE PLANTAS MEDIDA EN METROS



SAU = SIN APLICACIÓN DE UREA (TESTIGO ABSOLUTO)

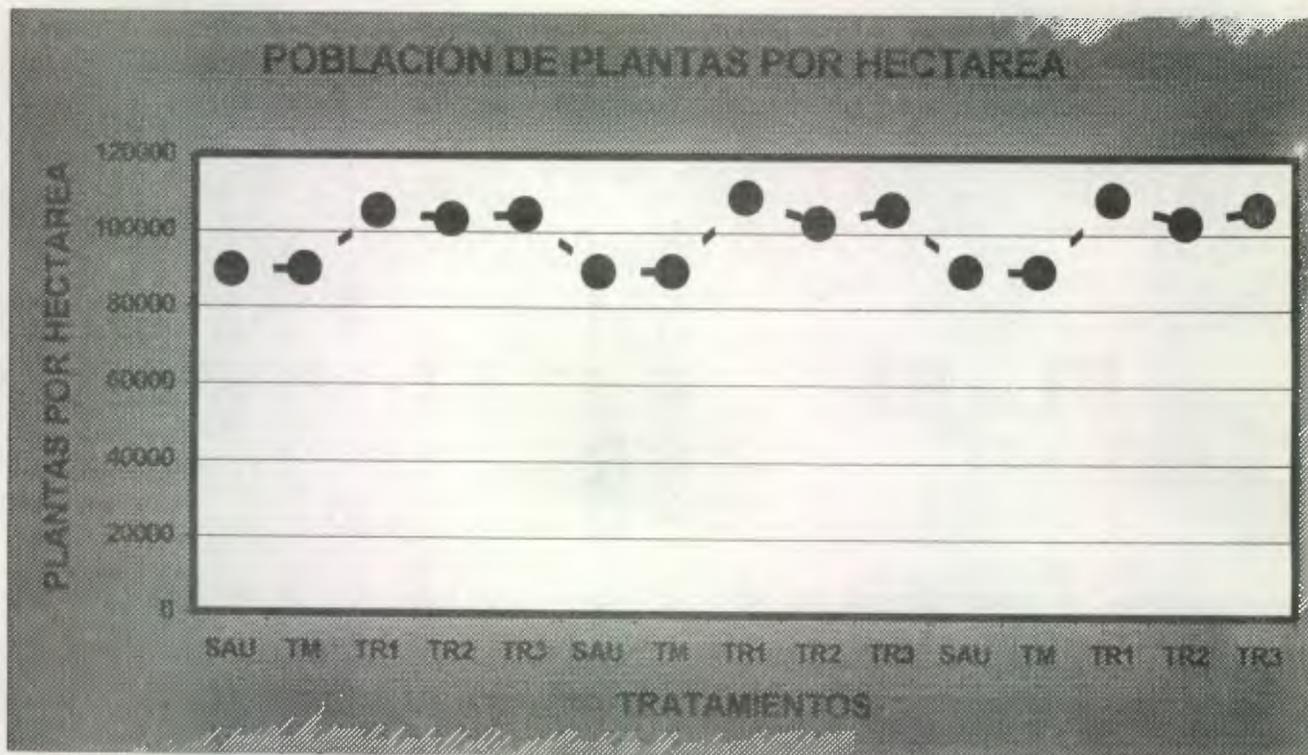
TM = TRATAMIENTO MECANIZADO (TESTIGO COMERCIAL)

TR-1 = TRATAMIENTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON 129.87 KG. DE UREA / HA.

TR-2 = TRATAMIENTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON 194.80 KG. DE UREA / HA.

TR-3 = TRATAMIENTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON 162.33 KG. DE UREA / HA.

GRAFICA 2
UNICA LECTURA DE POBLACIÓN DE PLANTAS POR HA.



SAU = SIN APLICACIÓN DE UREA (TESTIGO ABSOLUTO)

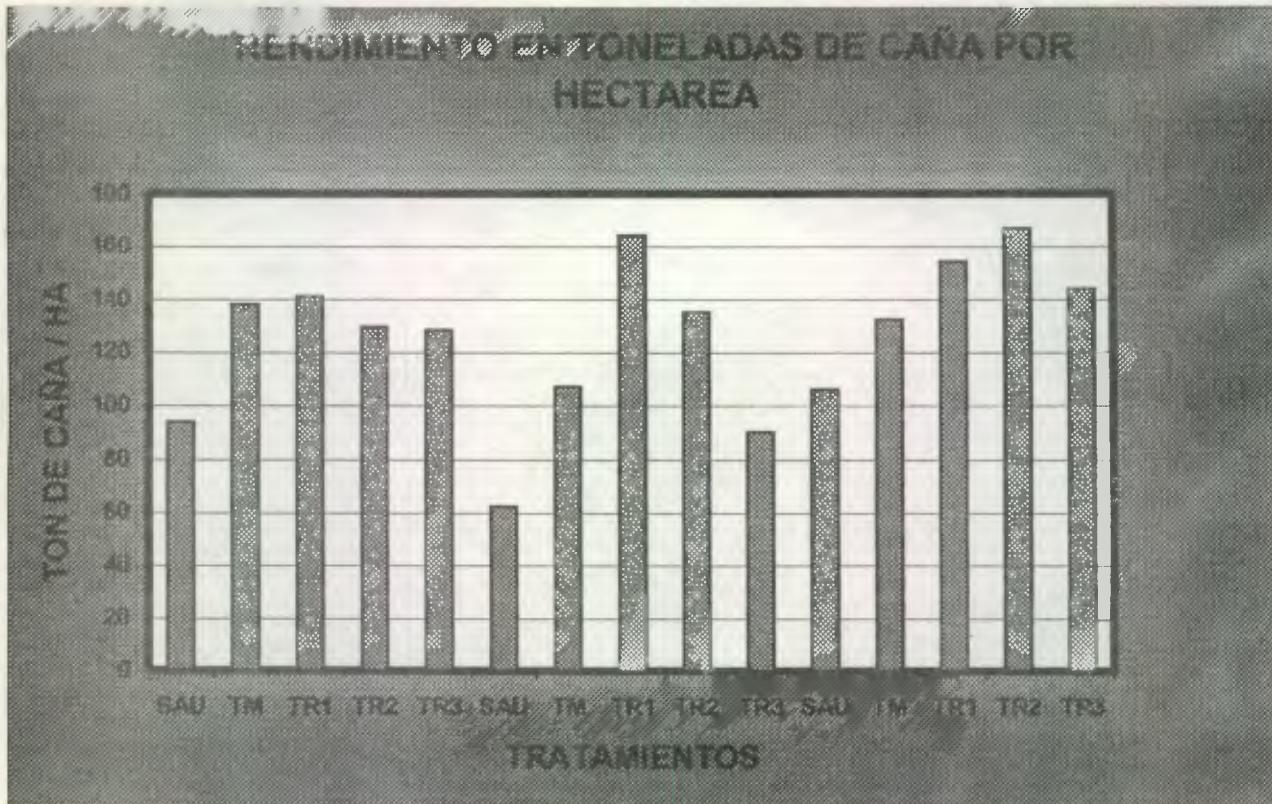
TM = TRATAMIENTO MECANIZADO (TESTIGO COMERCIAL)

TR-1 = TRATAMIENTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON 129.87 KG. DE UREA / HA.

TR-2 = TRATAMIENTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON 194.80 KG. DE UREA / HA.

TR-3 = TRATAMIENTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON 162.33 KG. DE UREA / HA.

GRAFICA 3
RENDIMIENTO EN TONELADAS DE CAÑA POR HA.



SAU = SIN APLICACIÓN DE UREA (TESTIGO ABSOLUTO)

TM = TRATAMIENTO MECANIZADO (TESTIGO COMERCIAL)

TR-1 = TRATAMIENTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON 129.87 KG. DE UREA / HA.

TR-2 = TRATAMIENTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON 194.80 KG. DE UREA / HA.

TR-3 = TRATAMIENTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON 162.33 KG. DE UREA / HA.

ANEXO 3
ANÁLISIS DE VARIANZA POR VARIABLE

PRIMERA LECTURA ALTURA PLANTAS

FV	GL	SC	CM	FC	CV
Bloques	2	0.1307	0.0653		
Tratamientos	4	0.3302	0.0825	141.26	2.476976
Error Experimental	8	0.2165	0.0270	46.32	
Error de muestreo	30	0.0175	0.0005		
TOTAL	44				

SEGUNDA LECTURA ALTURA PLANTAS

FV	GL	SC	CM	FC	CV
Bloques	2	0.3370	0.1685		
Tratamientos	4	0.3690	0.0922	242.80	1.734991
Error Experimental	8	0.0441	0.0055	14.53	
Error de muestreo	30	0.0114	0.0003		
TOTAL	44				

TERCERA LECTURA ALTURA PLANTAS

FV	GL	SC	CM	FC	CV
Bloques	2	1.3641	0.6820		
Tratamientos	4	1.3119	0.3279	447.25	1.428444
Error Experimental	8	0.1880	0.0235	32.05	
Error de muestreo	30	0.0220	0.0007		
TOTAL	44				

GRAFICA 4
RENDIMIENTO EN LIBRAS DE AZUCAR POR HA.



SAU = SIN APLICACIÓN DE UREA (TESTIGO ABSOLUTO)

TM = TRATAMIENTO MECANIZADO (TESTIGO COMERCIAL)

TR-1 = TRATAMIENTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON 129.37 KG. DE UREA / HA.

TR-2 = TRATAMIENTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON 194.80 KG. DE UREA / HA.

TR-3 = TRATAMIENTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON 162.33 KG. DE UREA / HA.

ANEXO 4

PRESUPUESTO PARCIAL

PRESUPUESTO PARCIAL																																																																																																									
INGRESOS	TRATAMIENTOS																																																																																																								
	T1	T2	T3	T4	T5																																																																																																				
	RENDIMIENTO (lb / ha)	18138.29	26844	33498.42	30834.72	25321.28																																																																																																			
Precio Producto (Q / lb)	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70																																																																																																				
Beneficio Bruto	48973.38	72478.80	90445.73	83253.74	68367.46																																																																																																				
COSTOS VARIABLES	TRATAMIENTOS																																																																																																								
	T1	T2	T3	T4	T5																																																																																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T1</th> <th>T2</th> <th>T3</th> <th>T4</th> <th>T5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cantidad de fertilizante (kg / ha)</td> <td></td> <td>194.80</td> <td></td> <td>194.80</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo / kg</td> <td>0.00</td> <td>1.55</td> <td></td> <td>1.55</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tractorista</td> <td>0.00</td> <td>35.70</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SUB-TOTAL</td> <td>0.00</td> <td>337.64</td> <td></td> <td>301.94</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cantidad de fertilizante (kg / ha)</td> <td></td> <td></td> <td>129.87</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo / kg</td> <td></td> <td></td> <td>1.55</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tractorista</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SUB-TOTAL</td> <td></td> <td></td> <td>201.30</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cantidad de fertilizante (kg / ha)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>194.80</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo / kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1.55</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tractorista</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SUB-TOTAL</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>301.94</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cantidad de fertilizante (kg / ha)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>162.33</td> </tr> <tr> <td>Costo / kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>Tractorista</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SUB-TOTAL</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>251.61</td> </tr> </tbody> </table>					T1	T2	T3	T4	T5	Cantidad de fertilizante (kg / ha)		194.80		194.80		Costo / kg	0.00	1.55		1.55		Tractorista	0.00	35.70				SUB-TOTAL	0.00	337.64		301.94		Cantidad de fertilizante (kg / ha)			129.87			Costo / kg			1.55			Tractorista						SUB-TOTAL			201.30			Cantidad de fertilizante (kg / ha)				194.80		Costo / kg				1.55		Tractorista						SUB-TOTAL				301.94		Cantidad de fertilizante (kg / ha)					162.33	Costo / kg					1.55	Tractorista						SUB-TOTAL				
T1	T2	T3	T4	T5																																																																																																					
Cantidad de fertilizante (kg / ha)		194.80		194.80																																																																																																					
Costo / kg	0.00	1.55		1.55																																																																																																					
Tractorista	0.00	35.70																																																																																																							
SUB-TOTAL	0.00	337.64		301.94																																																																																																					
Cantidad de fertilizante (kg / ha)			129.87																																																																																																						
Costo / kg			1.55																																																																																																						
Tractorista																																																																																																									
SUB-TOTAL			201.30																																																																																																						
Cantidad de fertilizante (kg / ha)				194.80																																																																																																					
Costo / kg				1.55																																																																																																					
Tractorista																																																																																																									
SUB-TOTAL				301.94																																																																																																					
Cantidad de fertilizante (kg / ha)					162.33																																																																																																				
Costo / kg					1.55																																																																																																				
Tractorista																																																																																																									
SUB-TOTAL					251.61																																																																																																				
Número de Jornales	0	3	0	0	0																																																																																																				
Costo / jornal	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70																																																																																																				
SUB-TOTAL	0.00	107.10	0.00	0.00	0.00																																																																																																				
TOTAL COSTOS VARIABLES	0.00	444.74	201.30	301.94	251.61																																																																																																				
BENEFICIO NETO	48973.38	72034.06	90244.43	82951.80	68115.85																																																																																																				

CUARTA LECTURA ALTURA PLANTAS

FV	GL	SC	CM	FC	CV
Bloques	2	0.5526	0.2763		
Tratamientos	4	0.2614	0.0653	90.50	1.163945
Error Experimental	8	0.1696	0.0212	29.36	
Error de muestreo	30	0.0216	0.0007		
TOTAL	44				

UNICA LECTURA POBLACION PLANTAS

FV	GL	SC	CM	FC	CV
Bloques	2	91024	455120		
Tratamientos	4	27832	695810	221.31	4.002733
Error Experimental	8	25151	314391	0.199	
Error de muestreo	30	47304	157681		
TOTAL	44				

UNICA LECTURA TONELADAS POR HECTAREA

FV	GL	SC	CM	FC	CV
Bloques	2	6289.3	3144.6		
Tratamientos	4	23121.8	5780.4	3.88	0.49
Error Experimental	8	6227.58	778.45		
Error de muestreo	30	6008.33	200.28		
TOTAL	44	41647.1			

UNICA LECTURA LIBRAS DE AZUCAR POR TONELADA

FV	GL	SC	CM	FC	CV
Bloques	2	304494	15224		
Tratamientos	4	124452	31113	3.19	0.44
Error Experimental	8	228062	28507		
Error de muestreo	30	268167	89389		
TOTAL	44	204524			



FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

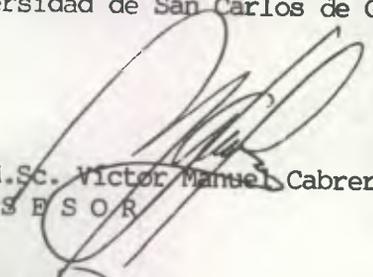
LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DE LA FERTIRRIGACION NITROGENADA, EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.) EN UN MOLLI-SOL, DE LA GOMERA, ESCUINTLA".

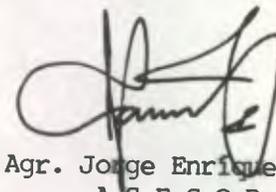
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: JOSE DANIEL CARBALLO DIAZ

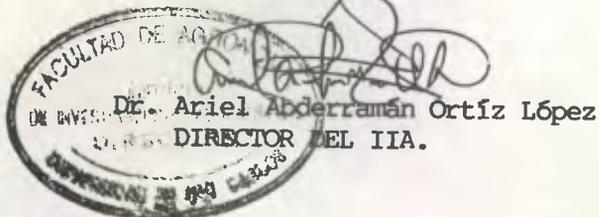
CARNET No:8110050

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Efraín Medina Guerra
Ing. Agr. Ovidio Anibal Sacbajá Galindo
Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
Ing. Agr. Iván Dimitri Santos Castillo

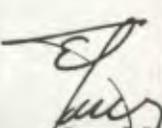
Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.


Ing. Agr. M.Sc. Victor Manuel Cabrera Cruz
A S E S O R


Ing. Agr. Jorge Enrique Sandoval Illescas
A S E S O R



I M P R I M A S E


Ing. Agr. M.Sc. Edgar Oswaldo
D E C A N O
APARTADO POSTAL 1515 § 01091 GUATEMALA, C.A.
TEL/FAX (502) 476-9794



cc:Control Académico
IIA.
Archivo
AO/prr.

e-mail: liusac.edu.gt & <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>