

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



**FERTIRRIGACIÓN EN CAÑA DE AZUCAR MEDIANTE
UN PIVOTE CENTRAL HIDRAULICO EN EL RANCHO “KATANGA”,
MUNICIPIO DE XICOTENCATL, TAMAULIPAS**

Por:

HILARIO REYES PEREZ

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México., Octubre de 1999.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**FERTIRRIGACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE
UN PIVOTE CENTRAL HIDRAULICO EN EL RANCHO “KATANGA”,
MUNICIPIO DE XICOTENCATL, TAMAULIPAS.**

Realizado por:

HILARIO REYES PEREZ

**Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito
Parcial para Obtener el Título de:**

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

Aprobada

M.C. Gregorio Briones Sánchez
Asesor Principal

M.C. Lindolfo Rojas Peña
Coasesor

Ing. Fernando A. Villareal Reyna
Coasesor

Ing. Jesús R. Valenzuela García
Coordinador de la División de
Ingeniería

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México., Octubre de 1999.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme lo maspreciado, la vida.

A mi **“ALMA MATER”** por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.

Al **M.C. Gregorio Briones Sánchez** por darme la oportunidad de asesorarme y por su valiosa colaboración para realizar el presente trabajo.

Al **M.C. Lindolfo Rojas Peña** con admiración y respeto por dedicar su tiempo para la elaboración de este trabajo.

Al **Ing. Fernando Villareal Reyna** por su colaboración en la realización de esta tesis.

Al **Ing. Liborio Hernández Vázquez** por su colaboración en la realización de esta Tesis.

Al **Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho** por sus enseñanzas dentro y fuera del aula, sobretodo por su amistad.

A la **Familia Govea Echavarría** propietarios del Rancho “Katanga” por permitirme servirles y a la vez realizar este trabajo.

Al **Sr. Ing. Jesús Govea Saenz** mis mas sinceros agradecimientos por brindarme su amistad y por compartir conmigo su gran experiencia en el cultivo de la caña de azúcar.

Al **Ing. Juan Miguel Rubio Elosua** por su amistad y asesoría en el área administrativa del Rancho “Katanga”.

A mis compañeros de trabajo: **Sotero, Daniel y Juan.**

DEDICATORIAS

A esa persona que con su gran espíritu de lucha y trabajo me enseñó a seguir adelante y enfrentar cualquier reto de la vida, que aunque ya no este presente, le seguiré recordando por siempre con cariño.

Mi abuelita

Margarita Elizalde González (†)

Por su apoyo brindado para superarme profesionalmente y por su ejemplo de honestidad que me motiva a ser una buena persona.

A mi abuelito

José Refugio Reyes Figueroa

Con profundo amor y agradecimiento a quienes a base de trabajo, esfuerzo, sacrificio y ejemplo han hecho de mi una persona útil a la sociedad, por su deseo inquebrantable de darme una profesión y guiarme por el mejor camino.

A mis Padres

Hilario Reyes Elizalde

Ana María Pérez Rosales

A quienes siempre me han brindado su apoyo y cariño. Y siempre los llevo conmigo.

Mis hermanos

Fabiola, José Alvaro, Ana Isabel y Claudia Margarita.

A mis Tíos por su cariño y apoyo brindado, en especial a:

Ma. Del Refugio Pérez

Victor, Margarita, Refugio y Gilberto Reyes Elizalde.

Por brindarme su apoyo y amistad durante mi estancia en Saltillo.

Familias

**Bacópulos Mejía
Aleman Sánchez**

A mis amigos y compañeros de Generación.

**Marcia, Joaquín, Benjamin, Santiago, Gildardo, Jaramillo, Fernando,
Jesús, Gabriel, Rigoberto, Hector, Juan Gabriel, Gabino, Alejandra, Blas,
Benito, Hugo, Sandra y Antonieta.**

INDICE GENERAL

Pag,

INDICE DE CUADROS

INDICE DE FIGURAS

I. INTRODUCCION.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.

III. REVISION DE LITERATURA.

3.1.	Antecedentes Históricos.	5
3.2.	Clasificación y Nomenclatura.	6
3.3.	Morfología y Anatomía.	8
3.4 .	Exigencias Ambientales.	10
3.4.1.	Características Climáticas.	10
3.4.2.	Requerimientos Hídricos.	11
3.4.3.	Exigencias del Suelo.	12
3.4.3.1.	Profundidad del Suelo.	12
3.4.3.2.	Drenaje.	13
3.4.4.	Factores Topográficos.	13
3.5.	Epocas de Siembra.	14
3.6.	Variedades.	14
3.7.	Multiplicación.	14
3.8.	Características Nutritivas de la Caña de Azúcar.	15
3.8.1.	Absorción de Elementos Nutritivos.	15
3.8.2.	Elementos Nutritivos en la Caña de Azúcar.	15

3.8.3.	Síntomas de deficiencias Nutrimientales en el cultivo de la Caña de Azúcar.	20
3.9.	Fertilización.	21
3.9.1.	Aspectos generales de la fertilización en México.	21
3.9.2.	Antecedentes de la fertilización en México.	23
3.9.3.	Plan de fertilización.	26
3.9.4.	Epoca y forma de aplicación.	27
3.10.	Riego por aspersión en Caña de Azúcar.	28
3.11.	Pivote Central.	30
3.11.1.	Historia del pivote central.	31
3.11.2.	Ventajas de la irrigación con pivote central.	33
3.11.3.	Consideraciones que se deben analizar antes de comprar un pivote central.	34
3.11.4.	Factores que se consideran en el diseño del pivote central.	35
3.11.5.	Inyección de fertilizantes y químicos en los sistemas de riego por pivote central.	36
3.12.	Aspectos tecnológicos de la fertirrigación.	39
3.12.1.	Fertirrigación.	39
3.12.2.	Ventajas de la fertirrigación.	40
3.12.3.	Desventajas de la fertirrigación.	41
3.12.4.	Recomendaciones.	42
3.13.	Comportamientos de los nutrientes en fertirrigación.	43
3.14.	Aspectos generales de los fertilizantes utilizados en fertirrigación.	43
3.14.1.	Compatibilidad de los fertilizantes.	44
3.14.2.	Solubilidad de los fertilizantes.	45
3.14.3.	Composición y acidez de algunos fertilizantes.	46
3.14.4.	Índice de sal de algunos fertilizantes.....	47

IV MATERIALES Y METODOS.

4.1.	Descripción del sitio experimental.	48
4.1.1.	Localización geográfica.	48
4.1.2.	Vía de Acceso.	49
4.2.	Características del área de estudio.	49
4.2.1.	Condiciones iniciales de suelo.	50
4.2.1.1.	Indices de fertilidad en el Rancho Katanga.	50
4.2.1.2.	Salinidad.	50
4.2.1.3.	Textura.	52
4.2.2.	Condiciones iniciales del agua de riego.	53
4.3.	Diseño experimental.	55
4.3.1.	Diseño de tratamientos probados (factores).	55
4.3.2.	Modelo.	55
4.3.3.	Análisis estadístico.	56
4.3.4.	Descripción de los tratamientos probados.	56
4.3.5.	Arreglo en campo.	58
4.4.	Variables observadas de estudio.	59
4.5.	Materiales utilizados.	61
4.6.	Equipo utilizado.	62
4.7.	Manejo del cultivo.....	65

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1.	Rendimiento comercial.	69
5.2.	Muestreo poblacional.	72
5.2.1.	Numero de brotes (tallos no molederos).	72
5.2.2.	Numero de tallos (molederos).	73
5.2.3.	Altura del tallo.	73
5.2.4.	Diámetro del tallo.	74

	Pag.
5.2.5. Número de entrenados.	74
5.2.6. Peso promedio de los tallos.	76
VI. CONCLUSIONES	77
VII. RESUMEN	78
VIII. BIBLIOGRAFIA	79

APENDICE

INDICE DE CUADROS

	Pag.
3.1 Clasificación de los suelos cañeros de acuerdo a su profundidad.	12
3.2 Clasificación de la fertilización Nitrogenada para caña de azúcar.	22
3.3 Dosis de fertilización en caña de azúcar para siembras de verano.	25
3.4 Fertilización de caña de azúcar para siembras de invierno.	25
3.5 Dosis estándares indicativas de elementos nutritivos para la fertilización de la caña de azúcar en diferentes condiciones de producción y fertilidad de suelo. .	27
3.6 Resultado de una experiencia de fertilización de caña de azúcar, en la que se observa la respuesta a la aplicación de potasa en el primer año. Motril (Granada).	28
3.7 Solubilidad de los fertilizantes comerciales.	45
3.8 Composición y acidez de algunos fertilizantes (Medina, 1979; Enciso, 1995).	46
3.9 Índice de sal de algunos fertilizantes (Medina, 1997).	47
4.1 Resultados de análisis de fertilidad de suelo en el Rancho “Katanga”.	50
4.2 Resultados de análisis de salinidad en el rancho “Katanga”.	51
4.3 Tratamientos probados en el Rancho “Katanga”.	55
4.4 Testigo (T) .- Riego rodado y fertilización tradicional.	56
4.5 (F1).- Riego con pivote central y dosis 1 de fertirrigación.	57
4.6 (F2).- Riego con pivote central y dosis 2 de fertirrigación.	57
4.7 Aplicación de Nitrato de Amonio (kg/ha).	67
4.8 Aplicación de Sulfato de Potasio (kg/ha).	67
5.1 Rendimiento comercial de caña e azúcar en ton/ha cosechada por tratamiento.	69
5.2 Análisis de varianza para la variable Rendimiento por Factor.	69

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
4.1 Localización geográfica del Rancho “Katanga”.	48
4.2 Ruta de acceso al sitio de estudio.	49
4.3 Localización de los pozos para muestreo de suelo en el Rancho “Katanga”.	52
4.4 Croquis de los tratamientos establecidos en campo.	59
4.5 Conteo de numero de tallos y brotes.	60
4.6 Altura de la caña.	60
4.7 Conteo de numero de entrenudos.	61
4.8 Bomba centrífuga en el cárcamo de bombeo de autocebado.	62
4.9 Componentes del pivote central en el Rancho “Katanga” para la prueba de validación y transferencia de tecnología.	63
4.10 Componentes del equipo de inyección utilizado.	64
4.11 Quema de caña antes de la cosecha.	68
5.1 Tendencia de los rendimientos de caña de azúcar en respuesta a los diferentes tratamientos establecidos.	71
5.2 Numero de brotes en planta de caña de azúcar.	72
5.3 Numero de tallos molederos observados en caña de azúcar con y sin fertirrigación.	73
5.4 Altura del tallo en caña.	74
5.5 Diámetro del tallo en caña de azúcar.	75
5.6 Numero de entrenudos en dos variedades de caña de azúcar fertirrigados.....	75
5.7 Peso promedio del tallo	76

I. INTRODUCCION

La producción de azúcar es básica para la alimentación del pueblo, resultando difícil sustituirla por algún otro producto. La actividad que representa sirve para dar ocupación a un elevado número de trabajadores, tanto en el campo como en la fábrica, así mismo, constituye uno de los principales renglones de la economía mexicana.

Con el transcurso de los años, la industria azucarera en México ha llegado a ocupar un lugar importante tanto por el monto de los créditos que se operan, cuanto por el número de personas que trabajan en la misma, que entre los empleados productores y obreros suman varios miles y en tiempo de zafra, que es un periodo de intensa actividad aumentan considerablemente, pues para la recolección y transporte de la caña además de la gente local, hay una fuerte emigración de campesinos (jefes de familia y elementos libres) que se trasladan a las zonas cañeras para trabajar en cinco o seis meses y ayudarse en su economía puesto que en sus lugares de origen, donde la agricultura es de temporal, en esos meses casi no tendrían en que ocuparse, teniendo que esperar que se inicien las lluvias para efectuar siembras de diversos cultivos, especialmente maíz.

El cultivo de la caña de azúcar representa una de las actividades más importantes en la economía nacional, junto con el maíz, frijol, trigo y café, esta catalogado entre los cinco productos básicos alimenticios.

Ocupa el quinto lugar en superficie cosechada con 514,000 hectáreas y por lo que se refiere a la generación de recursos a través de las actividades agrícolas, la caña en su proceso integral de agroindustria representa el segundo lugar en importancia con una producción de 4,762,353.00 miles de pesos.

Una de las principales limitantes en la producción de este cultivo es el uso inadecuado del agua ya que casi en la totalidad de la superficie irrigada se utiliza el sistema de riego por gravedad (surcos),

Ahora mas que nunca se reconoce la importancia del uso eficiente del agua y un adecuado suministro de nutrimentos, a las plantas para mantener un eficiente nivel de producción de las mismas.

Debido a su influencia en el sector agrícola los fertilizantes juegan un papel determinante en el logro de la autosuficiencia alimentaria y en el desarrollo económico y social de nuestro país.

Con el propósito de aumentar la eficiencia de aplicación del agua de riego se han ideado nuevas estrategias, dentro de estas estrategias, los recursos naturales para producir juegan un papel importante. El agua disponible es cada vez más escasa y costosa y tanto la agricultura de temporal como de riego enfrentan en nuestro país el reto de optimizar los métodos de captación y uso de esta. Razón por la cual el gobierno federal implementa desde 1995 el programa alianza para el campo, que impulsa un programa específico para promover la transferencia e implementación a escala comercial de nuevas tecnologías de riego presurizado que, al incorporar el uso de fertilizantes, constituye la practica conocida como fertirrigación.

Cuyos beneficios significan para los productores agropecuarios un mayor acceso a nuevas opciones tecnológicas para mejorar significativamente sus procesos de producción y elevar el potencial de rendimiento de los cultivos redundando todo esto en el aumento de la rentabilidad del campo.

Con la implementacion de estos programas federales y el gran interés mostrado por el Ingenio Aaron Saenz Garza, en Xicotental, Tamaulipas, a través del departamento técnico de campo, se han incrementado el numero de sistemas de riego presurizado instalados en la zona de abasto para este ingenio.

II. OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1. Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son:

- Evaluar el rendimiento en toneladas por hectárea de caña de azúcar bajo dos programas de fertirrigación mediante un pivote central hidráulico.
- Validar la tecnología del fertirriego y las formulas de fertilización en caña de azúcar.
- Comparar la fertirrigación aplicada mediante un pivote central hidráulico con la fertilizada tradicional y con riego por gravedad, en base al rendimiento de caña de azúcar (factor 1).
- Probar las dosis de fertilización y fertirrigación NPK en dos variedades de caña de azúcar (factor 2).

2.2. Hipótesis

A través de las pruebas de validación y transferencia de tecnología comerciales se buscó probar las siguientes hipótesis.

⇒ Para métodos de irrigación

Ho : Superficie = Pivote central

Ha : Superficie < Pivote central

↻ Para programas de fertirrigación

$$H_0 : T1 = F1 = F2$$

$$H_a : T1 \neq F1 \neq F2$$

↻ Para variedades de caña de azúcar.

$$H_0 : V1 = V2$$

$$H_a : V1 \neq V2$$

III. REVISION DE LITERATURA

3.1. Antecedentes Históricos

Las aseveraciones acerca del origen de la caña de azúcar, la mas generalizada es la que señala a la India como el país donde primero apareció y lugar donde el azúcar fue producido desde épocas muy remotas, de este país luego paso a cultivarse a otros lugares del mundo, inicialmente a las Islas de Sicilia, atendiéndose en grandes extensiones y siendo procesada en un molino que se instaló de acuerdo con los adelantos técnicos que por el año de 1148 se conocían. Antes y aunque en corta escala, la citada planta fue sembrada en Siria y en la Isla de Chipre, posteriormente se llevo a la Isla de Madera, a las Islas canarias y a España.

El cultivo de caña de azúcar en México fue introducido por los Españoles poco después de la conquista de México a mediados del siglo XVI . Hernán Cortés fue el primero que introdujo la caña a la Nueva España siendo Santiago Tuxtla, Veracruz el primer lugar del territorio donde se cultivó esta planta por los años 1522-1523 . Posteriormente se ordenó la construcción del ingenio Tepeca, en los alrededores de Santiago y la obra se concluyó en 1534, año en que se inicio la producción de azúcar en México.

Hernan Cortés estableció su residencia en Coyoacán, en las cercanías de la Ciudad de México y observando que en los lugares circunvecinos prosperaban frutos de climas semi-tropicales, resolvió introducir la caña de azúcar, de tal forma Coyoacán fue el segundo lugar en donde se propagó esta planta, sin embargó no prospero debido a las heladas ya que estas interrumpían el buen desarrollo durante los meses de invierno y hubo de abandonarse para fomentarlo en otro lugar de menor altitud en las cercanías de Cuernavaca.

A partir del año de 1540 se inicia la expansión de la industria azucarera en lo que es ahora el estado de Morelos . La caña ocupó las mejores tierras desplazando a las milpas y a los campos algodoneros de Cuernavaca, Cuautla y en poco tiempo fueron estableciéndose plantaciones con sus trapiches respectivos a lo largo de la ruta de las diligencias que unían a la capital de la Nueva España con el puerto de Acapulco, donde cargaban los naos de China que realizaban comercio con el gobierno virreynal.

El desarrollo de la industria azucarera durante las dos últimas décadas del siglo XVI fué espectacular; españoles y criollos se habituaron al dulce y entre la población indígena también se difundió la costumbre de consumir productos derivados del azúcar, como la panocha, panela o piloncillo.

El aumento en el consumo interno paralelo al incremento de la demanda exterior, provocó una alza constante en el precio de la azúcar durante los 1550 a 1600, tales circunstancias aunadas a la producción no estaban contempladas por el virreinato, por lo que estimularon a muchos hacendados a probar suerte en este cultivo; además hubo una política económica de la corona española encaminada a fomentar el desarrollo de la industria. El estado dió facilidades para impulsar el cultivo y otorgó grandes extensiones de tierras y mano de obra indígena para explotarlas. Bajo condiciones tan favorables se construyeron ingenios y trapiches por diversas zonas que disponían de climas y recursos acuíferos. En el curso del siglo XVI el cultivo y beneficio de la caña se extendía desde Coyoacán hasta Tehuantepec y por todos los rumbos de la Nueva España, llegando a 36 instalaciones. En Michoacán por los valles del centro y el sur cerca del río Lerma, en Zitácuaro, Tingambato, y Peribán. En la costa del Pacífico de la Nueva Galicia (Jalisco y Colima), hasta Jiquilpan. En Puebla y Morelos, desde Atlixco, Izucar, Chiautla hasta Huajapan. Hacia la costa del Golfo de México en Orizaba, Huatusco, Jalapa, Chicontepepec había alrededor de 10 ingenios, entre ellos el mas grande estaba en Mahuixtlán.

3.2. Clasificación y Nomenclatura

En la industria azucarera las variedades comerciales de caña que han contribuido a destacar la importancia de este cultivo en la economía de los países, pertenecen básicamente a especies e híbridos del género *Saccharum*.

Las variedades nobles antiguamente cultivadas se caracterizaban por tener cortos entrenudos, mediano grosor, tejidos suaves, bajo contenido en fibra alto, contenido en azúcar, epidermis con colores que varían del verde al morado, rojizo, con pobre soqueo y muy susceptibles a las plagas y enfermedades que han sido gradualmente remplazadas por otras, en

relación con su resistencia a ciertas plagas o enfermedades o más satisfactorio comportamiento agronómico industrial, muestran mejor adaptación a las condiciones del medio en que se cultivan o industrializan.

El número de variedades cultivadas es muy grande , y a la fecha, aumenta constantemente como resultados de los éxitos obtenidos por los programas de fitomejoramiento . Como existe el problema identificarlas, han sido necesarios establecer un sistema que permite su conveniente clasificación y nomenclatura.

BOTANICA

Sistema de la planta.

Clasificación.

Reino :	Vegetal
División :	Espermatofitas o fanerogamas.
Sub - división :	Angiospermas
Clase :	Monocotiledoneas
Orden :	Zacates o glumioferas
Familia :	Gramínea
Sub- Familia :	Panicoideae
Tribu :	Andropogoneae
Sub- Tribu :	Sacarineas
Género :	Saccarum
Especie :	spp.

3.3.Morfología y Anatomía

Tallo.- Como sucede con numerosas gramíneas, la caña de azúcar forma cepas, matas o macollos, constituidos por la aglomeración de tallos que se originan primero de las yemas u ojos de las semillas y posteriormente de los brotes laterales que se originan de las yemas del rizoma o tallo subterráneo de la cepa formada .

Morfología del tallo.- El tallo esta formado por una sucesión alterna de nudos y entrenados, los primeros están limitados por una zona de color claro y generalmente poseen un diámetro diferente al del entrenado, en el nudo se inserta una sola hoja y una sola yema. El arreglo y colocación de las hojas y yemas en cada nudo del tallo es alterno y opuesto o de segundo orden.

Por su conformación el nudo puede ser liso o erecto, cuando presenta el mismo diámetro que el entrenado; constricto o sumido cuando el diámetro es mayor y propicia que el entrenado tenga apariencia de barril o huso; hinchado o saliente , cuando el diámetro es sobresaliente al de los entrenados contiguos.

La región del nudo comprende de arriba hacia abajo las partes siguientes: a)anillo de crecimiento; b) banda de las raíces; c)cicatriz foliar o de vaina; d) nudo propiamente dicho; e) yema u ojo y f) anillo ceroso.

Anatomía del tallo.- Cuando se corta el tallo transversalmente en un entrenado , se observa que la coloración de los tejidos inferiores es variable , sobre todo en la zona meristemática . De afuera hacia adentro se encuentran las siguientes regiones : epidermis, corteza y parenquima asociado con haces fibrovasculares; ocasionalmente y bajo ciertas condiciones de desarrollo se observa la formación de corcho o médula en la región central de la caña.

Banda de raíces.- Esta se encuentra colocada sobre la base del entrenudo y en ella se sitúan entre hileras las yemas de las raíces primordiales. El número de hileras y primordios radiculares varían de acuerdo con el tipo de variedad de la caña.

La forma que presenta la banda de las raíces puede ser cilíndrica, conoidal u obconoidal, limitada por la parte inferior del nudo y cicatriz de la vaina, así como por el anillo de crecimiento en su parte superior.

Anillo de crecimiento.- Este varían de acuerdo al tamaño y esta constituido por tejido meristemático que es responsable de la elongación del entrenudo, como sucede con la caña acamada que presenta un cambio en la dirección del crecimiento del tallo , producto del desarrollo de una parte del anillo de crecimiento que permite curvarse al tallo .

Yema.- Las yemas se encuentran sobre las bandas de las raíces y ocurre normalmente una sola por cada entrenudo. Sin embargo, en algunas ocasiones faltan o pueden presentarse dos o más en un nudo , como acontece con las yemas cuatas que se originan en el desarrollo dicotómico del tallo en dos secciones con un solo tallo basal . La yema esta constituida por tejido meristemático y es el órgano capaz de producir por crecimiento vegetativo una planta similar a la original.

Hojas.- Las hojas en la caña son alternas colocadas más o menos en el mismo plano de adherencia al nudo; ocasionalmente difieren de esta colocación pues se han observado casos con un arreglo foliar en espiral. La hoja esta constituida por el limbo y la vaina, la vaina semeja la forma de un tubo, más ancha en su zona de inserción, reduciendo gradualmente su tamaño hacia la zona de unión del limbo. El lado externo de la vaina es de color verde, frecuentemente cubierto de pelos o ahuate , mientras el interior es liso y glabro con haces fibrovasculares espaciados y sin nervadura central.

Floración.- En la parte superior del tallo, los entrenudos son cortos de diámetro reducido finalizando en la yema terminal, el desarrollo de esta parte del tallo alcanza una longitud de 25 mm y está compuesta por entrenudos inmaduros con un contenido muy bajo de

sacarosa pero rico en azúcares simples y sustancias, no azucares incluyendo almidón. Los entrenudos de la región apical de la caña están caracterizados por presentar un gran número de hojas aglomeradas que forma un penacho o cogollo.

Al presentarse los períodos críticos de luz y temperatura por un cambio en la insolación y la longitud del día, lo que ocurre normalmente después del solsticio de verano, de la mitad al final del mes de septiembre en el hemisferio norte y de la mitad de abril a fines del mismo mes en el hemisferio sur, se ocasionan cambios bruscos en el metabolismo de la planta que limitan su desarrollo vegetativo y promueven la actividad productiva en el meristemo apical de la caña.

3.4.Exigencias Ambientales

3.4.1. Características Climáticas

La temperatura, la humedad y la insolación son factores determinantes para el desarrollo de la caña de azúcar, durante el invierno la caña retrasa su desarrollo aproximadamente en un tercio en relación con el verano, este retraso, más que al descenso de la temperatura, se debe a la reducción de la insolación, ya que en el invierno los días son mas cortos, es decir, las horas luz tienden a reducirse.

Las características de un clima ideal para la caña de azúcar son:

- Un verano largo y caliente, con lluvia adecuada durante el período de crecimiento.
- Un clima seco, soleado y frío pero sin heladas, en la época de maduración y cosecha.
- Ausencia de huracanes y vientos fuertes.

Por otra parte, los resultados de varios investigadores señalan que en cuanto a :

1.- Temperatura

- a) Margen de la germinación optima: de 32° a 38 °C
- b) Margen optimo para el desarrollo y absorción de nutrimento: 27°C

- c) Margen de desarrollo normal de la caña: de 21 a 38°C
- d) Margen en que la caña retarda su desarrollo: de 10 a 21°C
- e) Margen en que la caña paraliza sus funciones: menos de 10°C
- f) Margen en que la caña se daña : menos de 2°C

2.- Precipitación Pluvial.

- a) Las zonas con precipitación pluvial menor de 1,500 mm anuales y mal distribuida, requieren riegos de auxilio.
- b) La necesidad de agua de la caña de azúcar varía en clima templado, de 3.8 a 8.6 mm por día, en un año completo.
- c) La necesidad de agua de la caña varía en clima cálido de 4.8 a 8.9 mm por día, en un año completo.

3.4.2. Requerimientos Hídricos

Las necesidades hídricas de este cultivo son muy elevadas, el consumo de agua necesario para la caña de azúcar determinado por el método de Blaney y Criddle, de acuerdo con las condiciones de las zonas cañeras en México, varía de 5.48mm por día (2000 mm por año) a 6.84 mm por día (2500 mm por año).

Otras fuentes indican que para producir 1 kg. de azúcar se requieren aproximadamente 500 litros de agua. El consumo necesario de agua para la caña de azúcar varía según las regiones, y para un año completo tiene fluctuaciones de 3.8 a 8.6 mm por día en clima templado cálido (sub-tropical), y de 4.8 a 8.9 mm por día en clima cálido, lo que en el primer caso significa una lámina anual de 1,387 mm a 3,139 mm, y en el segundo de 1,752 a 3,248 mm, las que se abastecen con las lluvias y los riegos aplicados; sin embargo cabe considerar que de la lluvia solo se tiene un aprovechamiento fluctuante entre 70 y 745 , sobre todo cuando no son lluvias torrenciales.

3.4.3. Exigencias del Suelo

La caña de azúcar se desarrolla bastante bien en una gran variedad de tipos de suelos, siendo mas favorables los suelos medios o ligeramente pesados, como los francos o francos arcillosos y los suelos aluviales que tengan buen drenaje.

Aunque se adapta a una amplia variación a la reacción del suelo (pH de 5 a 8), sin embargo los suelos neutros o ligeramente ácidos son los mas favorables por su efecto en la asimilación de nutrientes. En general, los suelos ácidos con pH inferior a 5.5 requieren sean corregidos mediante encalado.

3.4.3.1. Profundidad del Suelo

Siendo la base del rendimiento de la caña de azúcar el desarrollo de un sistema radicular abundante y profundo, se requerirá el medio adecuado para dicho desarrollo. Según distintos investigadores, el 85% de las raíces de la caña se concentra en los primeros 60 cm de profundidad. De una octava a novena parte de los pelos radiculares se desarrollan en los primeros 30 cm alrededor de la planta. Con esa base se han establecido los siguientes Índices o Clasificaciones:

Cuadro 3.1. Clasificación de los suelos cañeros de acuerdo a su profundidad.

Índices o clasificación	Características
Suelos no cañeros	Menos de 30 cm de profundidad
Suelos cañeros de segunda clase	de 30 a 60 cm de profundidad
Suelos cañeros medianos	de 60 a 90 cm de profundidad
suelos cañeros de primera clase	mas de 90 cm de profundidad

3.4.3.2. Drenaje.

a) Superficial o externo

Clasificación	Características
Normal	Si el agua de lluvia o riego se infiltra con facilidad y no causa erosión dañina
Mediano	Si después de la lluvia o riego quedan encharcamientos que tardan tiempo en desaparecer
Excesivo o malo	Si forma corrientes superficiales con deslaves (erosión) con fuertes infiltraciones, o bien la pendiente no da salida a las aguas superficiales.

b) Interno o profundo.

Clasificación	Características
Normal	Manto freático a mas de 4 m de profundidad
Mediano	Manto freático entre 3 y 4 m de profundidad
Malo	Manto freático entre 2 y 3 m de profundidad
Pésimo	manto freático menor de 2 m de profundidad

Los niveles del manto freático son relativos y están basados en condiciones de riego, las cuales en un momento dado pueden provocar un exceso perjudicial del manto freático. En zonas de temporal estos niveles varían.

3.4.4. Factores Topográficos.

El índice topográfico en la productividad de una zona refleja la necesidad de su explotación y el costo de desarrollo de la tierra. Así mismo, debido a la acción del factor topográfico en la profundidad del suelo, este índice denota la adaptabilidad y permanencia del cultivo.

3.5. Epocas de siembra

En las regiones cañeras de México, el período de siembra se ha dividido arbitrariamente en dos épocas: invierno y primavera. Las siembras de invierno incluyen a las tempranas o de gran cultivo realizadas durante los meses de agosto a enero; las de primavera realizadas durante los meses de febrero a junio constituyen el mayor volumen de siembras efectuadas en nuestro país. El periodo óptimo, agosto - octubre se a modificado en relación de las ubicaciones de las regiones, climas, diversificación de cultivos, épocas en que estos se establecen, cosecha y desocupa de los terrenos.

3.6. Variedades

La selección del material para la propagación comercial es de máxima importancia. Como organismo vivo, cada variedad de caña presenta características propias, tales como adaptabilidad, peculiaridad de soqueo, macollamiento, resistencia a la sequía, acame, bajas temperaturas, floración, contenido de fibra, sacarosa, azúcares reductores, resistencia a plagas y enfermedades, etc. que en cada región deben ser valoradas de antemano por el agricultor o el industrial.

3.7. Multiplicación

La resistencia o tolerancia a enfermedades o plagas es fundamental en la selección . El material por propagar debe ser sano y de existir alguna duda, debe consultarse al especialista para tratar el material básico. El tratamiento y multiplicación de este material exige técnicas especiales en su manipulación debiendo ser realizada por la estación experimental con conocimiento de los responsables de la industria toda vez que los resultados afectan la sanidad cuando se inicia la multiplicación dentro de la zona de abastecimiento.

3.8. Características Nutritivas

3.8.1. Absorción de Elementos Nutritivos

Mientras que la formación de materia vegetativa total y la parte aprovechable, la extracción de azúcar se va acumulando de modo regular a lo largo de todo el periodo vegetativo, la absorción de todos los elementos nutritivos se realiza, fundamentalmente, durante los primeros meses del desarrollo. Tanto el fósforo como el potasio alcanzan el máximo de absorción para el décimo mes, reduciéndose a partir de esta época el contenido total.

La absorción de Nitrogeno, si bien alcanza un máximo parcial también para dicho periodo, tras un ligero descenso, vuelve a crecer hasta alcanzar el máximo al final del periodo vegetativo. Al final de este período, la cantidad de elementos nutritivos que queda almacenada en la caña madura útil es, aproximadamente, el 67% del N, el 50% del P y el 52% del K.

Ayres (1930), anotó los pesos acumulativos de nitrógeno, fósforo y potasio hasta la edad de 30 meses. Señala que la absorción es mas activa entre los 3 y 6 meses de edad una nivelación de la absorción de nitrógeno aproximadamente a los 12 meses de edad y el potasio continua absorbiéndose en grandes cantidades. Con una mas fuerte fertilización de nitrógeno en los últimos años en el Hawai la absorción del nitrógeno continua bien en el segundo año de desarrollo.

3.8.2 Elementos Nutritivos Primarios en la Planta.

Nitrógeno.- En la planta, este elemento representa una fracción de 1% de materia seca, en contraste con el carbono, hidrógeno y oxígeno que en conjunto representan el 90% . El agua y el aire constituye la fuente principal de estos elementos, mientras que el nitrógeno proviene del suelo, aguas de inundación y en forma amoniacal, del aire a través de la descomposición de la materia orgánica o de las tormentas eléctricas en la época de lluvia.

La planta asimila este elemento a través de un proceso complejo y para que éste elemento se aproveche del suelo, es indispensable su disponibilidad por medio del agua de

lluvia o riego. Con la solución del suelo el nitrógeno penetra a la planta a través de la zona de absorción del sistema radicular y es transportado a las hojas y acción de la luz y energía es asimilado y transformado en carbohidratos que forma una parte de protoplasma de las células de la planta; este elemento se presenta en abundancia en las zonas de crecimiento meristematos. En la caña de azúcar lo encontramos en el nudo y en las yemas terminales y laterales; se hace patente su presencia durante el gran desarrollo, proporcionando a la planta un crecimiento vigoroso y turgencia, así como un color verde oscuro en el limbo de las hojas.

Cornelison y Cooper (1941) informaron que el nitrógeno en los coloides de las células esta presente principalmente en forma amoniacal. El nitrógeno nítrico, tan común en otros cultivos, no se encuentra en los campos de caña de Hawai. El nitrógeno es transportado de la raíz que lo absorbe a las hojas donde la asimilación tiene lugar. El nitrógeno se transforma en aminoácidos y sustancias proteicas.

Clements y asociados (1941) señalaron que las mas altas concentraciones de nitrógeno se encuentran en los tejidos meristemáticos. La caña en desarrollo, así como las hojas 3, 4, 5, y 6, contienen las más altas concentraciones de nitrógeno, lo cual indica una relación estrecha entre el nitrógeno y el desarrollo de la caña.

Cornelison (1940) menciona que el nitrógeno de los tallos se almacena en los tejidos del nudo inmediatamente abajo de las yemas axilares, la primordia de las raíces y en el protoplasma de las células de almacenamiento. Su presencia indica que el punto de desarrollo puede ser alimentado por muchos otros lugares y que el tallo abajo de la punta suplirá la falta de agua y de nutrientes mientras pueda.

Ayres (1937)elaboro una gráfica de la acumulación del nitrógeno en varias partes de la planta desarrollándose en condiciones de campo en Hawai. La mayor cantidad del nitrógeno se almacena en las hojas verdes durante los primeros 6 meses del desarrollo.

Fósforo.- Este elemento como ácido fosfórico es indispensable en el metabolismo de la planta y de los microorganismos del suelo. En el campo se adiciona a través de la aplicación de fertilizantes fosfóricos provenientes de la fosfórta y de la roca fosfórica natural tratada . Sus efectos mas destacados se observá en el sistema radicular que normalmente presenta un gran desarrollo y participan en los procesos metabólicos enzimaticos y de transformación de energía.

El fósforo se concentra en la planta de caña en los centros de mayor actividad. Altas concentraciones de fósforo se observan en los tejidos meristemáticos y en la caña que esta creciendo. En experimentos donde el abastecimiento de fósforo era bajo Clements y otros han demostrado que los órganos más activos sostienen su alto contenido de fósforo extrayéndolo de los tejidos mas viejos.

Baver y Asociados (1960) confirmaron esta observación en el campo con una serie muy detallada de experimentos. Mientras haya un abastecimiento adecuado de fósforo asimilable, los niveles de fósforo en la sección basal de los tejidos del tallo son más altos que en la sección 8-10.

Van Dillewijn (1952) recopiló los resultados de todos los experimentos con fósforo en la POJ 2878 en Java hasta 1929 e informó que hay una tendencia general de la caña a responder mas fácilmente a las aplicaciones de fosfato mientras más baja es la concentración del fósforo del suelo.

Ayres (1937) demostró que durante los primeros 6 meses del desarrollo más del 50% del fósforo absorbido por la planta se encuentra en las hojas verdes. En los siguientes 8 meses la cantidad de fósforo en las hojas no aumenta aunque se presentan fluctuaciones estacionales. La cantidad en las hojas secas y en los tallos continúa aumentando hasta que más del 50% del contenido total de fósforo en la porción aérea de la caña aparece en el tallo.

Potasio.- Sin excepción alguna los fertilizantes potásicos se caracterizan por ser solubles en agua, ya que este elemento es fácilmente asimilable por la planta.

La función de este elemento en el metabolismo de la planta no puede en términos generales ser reemplazado por ningún otro elemento; ocasionalmente y bajo ciertas condiciones, el sodio produce efectos benéficos en el crecimiento de las plantas al sustituirlo el potasio en la movilización de solutos dentro de la misma. En las células vegetales activa el metabolismo de las albúminas, activa el transporte del agua y de otros elementos nutritivos en la solución dentro de los tejidos de la planta. Promueve el desarrollo radicular del tallo y de las hojas en la caña, imparte a la planta resistencia tanto a las enfermedades como a la sequía cuando los cultivos se encuentran establecidos en terrenos ricos en potasio disponible.

La fertilización potasica ha tenido un papel muy importante para aumentar los rendimientos en la industria azucarera.

Smith (1955) revisando la historia del uso de los fertilizantes en Hawai indico que en el año de 1882 las cenizas aplicadas en la proporción de 3000 lb/acre, aumentaban la producción de azúcar en la Paukaa <plantation. Sin embargo, la historia primitiva de la industria no enfatiza la importancia de la fertilización potásica.

Naquin (1926) señala que en los experimentos en Honokaa la caña que recibía potasio y nitrógeno daba mejor calidad de jugo que con el nitrógeno solo.

Alexander (1926) menciona que los resultados obtenidos en 6 años de estudio con experimentos de campo, análisis de los suelos y del jugo de la desmenuzadora, y estableció los fundamentos para determinar las necesidades de fertilización potásica.

Elementos Secundarios.

Calcio.- En el interior de la planta es un elemento poco móvil interviniendo en la formación de pectatos de calcio de la laminilla media de la célula que intervienen en el proceso general de la absorción de nutrientes. Las mayores concentraciones de calcio se encuentran en los tejidos meristemáticos de las hojas más jóvenes.

Martín (1934) informa que la falta de calcio en las soluciones nutritivas produce un efecto adverso más pronunciado que con la omisión de cualquier otro nutriente.

Nason y McElroy (1963) informa que el calcio es relativamente inmóvil y no se distribuye en los tejidos de las plantas. Las hojas más viejas pueden tener mayores reservas de calcio mientras que las hojas más jóvenes de la misma planta pueden exhibir deficiencia.

Azufre.- El azufre es absorbido por la planta en forma de sulfato, es decir en forma aniónica perteneciente a distintas sales. El azufre en el interior de las células tiene características de poca movilidad, sin embargo cumple fisiológicamente algunas funciones importantes además de constituir distintas sustancias vitales.

Magnesio.- El magnesio es absorbido por la planta en su forma catiónica ingresa en el interior de las células participando en distintas funciones y constituciones moleculares. La cantidad en que el magnesio es absorbido por la caña es semejante a la del calcio. El

magnesio se acumula en las hojas verdes de la caña joven. Cuando la caña madura, la mayor parte del magnesio se encuentra en los tallos y en las hojas secas.

Micronutrientes

Cloro.- Este elemento esencial e interviene en el proceso de la fotólisis del agua que se produce en la fotosíntesis.

Boro.- Las deficiencias de boro generalmente ocurren en suelos excesivamente lavados y con muy poca materia orgánica, como por ejemplo los suelos arenosos.

Evans (1959) describe que las deficiencias de boro se inician con el rizado de las hojas, lo cual indica una falla de las células buliformes para mantener la turgidez.

Zinc.- Este elemento interviene en importantes procesos metabólicos como en la formación de sustancias de crecimiento y es un activador de numerosos organismos. El alto contenido en la región meristemática del punto de crecimiento es de esperarse en vista del papel importante que desempeña el zinc en la producción de sustancias para el desarrollo y en las altas concentraciones de auxinas.

Fierro.- El fierro es absorbido en su forma ferrosa y férrica, es un elemento inmóvil dentro de la planta, interviene en distintos procesos metabólicos.

Manganeso.- El manganeso interviene en importantes procesos metabólicos, siendo poco móvil en la planta.

Cobre.- El cobre es absorbido por los vegetales en forma catiónica, e interviene en procesos metabólicos de sustancias vitales.

Molibdeno.- El molibdeno es absorbido en su forma catiónica e interviene fisiológicamente en el ciclo de absorción del nitrógeno.

3.8.3 Síntomas de Deficiencias Nutrimientales en el Cultivo de la Caña de Azúcar.

Nitrógeno.- A medida que la deficiencia de nitrógeno avanza, todas las hojas de la caña toman un color verde amarillento, además se observa un retraso en el crecimiento de la planta. Los tallos de la caña tienen un diámetro más pequeño y las hojas viejas se secan prematuramente. Las raíces se alargan pero su diámetro es menor que en aquellas que reciben un suministro adecuado de nitrógeno . Cuando el nitrógeno llega a ser deficiente, el crecimiento vegetativo se reduce y la caña almacena mayor cantidad de los azúcares producidos. Sin embargo, conforme la planta se acerca a la madurez son de desearse niveles bajos de nitrógeno con el objeto de afectar la calidad del jugo.

Fósforo.- Los síntomas de deficiencias de fósforo se caracterizan por una reducción de la longitud de los tallos, cuyo diámetro se adelgaza rápidamente hacia la punta de la caña. Una población de caña deficiente de fósforo esta compuesta principalmente por tallos secundarios y mamonos. El campo no cierra y los tallos primarios muestran entrenudos extremadamente cortos una vez que el fósforo llega a ser factor delimitante del crecimiento. El color de las hojas es azul en contraste con las hojas anchas verde oscuro de las plantas normales.

Potasio.- Las plantas que sufren deficiencias de potasio muestran un crecimiento deprimido, amarillento y secamiento de los márgenes de las hojas mas viejas y el desarrollo de tallos delgados . Las hojas inferiores mas viejas toman un color amarillento anaranjado y desarrollan numerosos puntos cloróticos que más tarde se tornan café con los centros secos.

Calcio.- Los primeros síntomas de deficiencia de calcio en la caña son los puntos cloróticos diminutos con los centros secos que posteriormente toman un color café rojizo oscuro . La intensidad de este moteado aumenta con la edad de las hojas mas viejas toman apariencia mohosa.

Fierro.- Los primeros síntomas de deficiencia de fierro en la caña se presenta como un pequeño empaldecimiento general de las hojas mas jóvenes seguido por el desarrollo de rayas verdes y cloroticas alternadas a lo largo de la hoja.

Magnesio.- Se presenta en las hojas de la caña un empaldecimiento de color verde normal entre los haces vasculares seguidos por la formación de rayas longitudinales bien definidas de color verde pálido amarillento a blanco.

Boro. Cuando las plantas de caña están deficientes de boro rápidamente se desarrollan en las hojas jóvenes rayas aguanosas alargadas. Estas rayas son paralelas a las venas y se originan un rayado bien definido.

Cobre.- Los síntomas de deficiencias de cobre se manifiestan por el desarrollo deficiente de las plantas de caña las hojas colgantes la clorosis de las hojas del cogollo para desenrollarse.

Zinc.- En la caña de azúcar el síntoma de deficiencia de cinc es un pronunciado aclaramiento de color verde a lo largo de las venas principales de las hojas.

3.9. Fertilización

3.9.1. Aspectos Generales de la Fertilización en México

Gran parte de los suelos cañeros de México están bien abastecidos de potasio, y pocas veces muestran deficiencias marcadas de fósforo; en cambio son pobres de materia orgánica y consecuentemente en nitrógeno, por lo cual siempre hay respuesta a la aplicación nitrogenada cuando no existen factores adversos que los invaliden. Sin embargo, las dosis excesivas de nitrógeno, así como las aplicaciones tardías de este elemento, tienden a incrementar el contenido de azúcares reductores y a quebrantar el rendimiento en fabrica.

Con base en lo anterior se trata de establecer los índices de fertilización en la consideración de que las dosificaciones menores 80 kg. de nitrógeno por Ha no causa respuesta significativa en los rendimientos de campo y que las dosis mayores de 200 kg. por hectárea tiene la probabilidad de causar problemas de fabrica, sobre todo cuando su aplicación es tardía.

Cuadro 3.2. Clasificación de la fertilización Nitrogenada para caña de azúcar.

CLASIFICACIÓN O INDICES	Kg. DE NITROGENO /Ha.
Mala	menos de 80
Regular	de 80 a 100
Buena	de 100 a 200
Excesiva	mas de 200

Esta clasificación es sumamente general y no implica el desconocimiento de las necesidades que tienen algunas regiones cañeras de complementar la fertilización nitrogenada con fósforo y potasio a fin de evitar la descomposición de otros elementos y la consecuente caída del rendimiento de campo.

No sería práctico integrar los índices de potasio y fósforo por la variabilidad de las regiones cañeras de México, sin embargo como guía adicional si para producir una cosecha de 100 ton/Ha de caña suponiendo que en una zona dada se tienen deficiencias de nitrógeno y fósforo y se van aplicar 150 kg. de nitrógeno, como la proporción es aproximadamente(1.6:1.0) N:P, se aplicara alrededor de 92 kg/ha de fósforo. Es incuestionable que la fertilización deberá fundamentarse en un análisis de suelo y de plantas así como también en las condiciones ecológicas particulares de cada zona, para obtener los mejores resultados.

3.9.2. Antecedentes de la Fertilización en México

La combinación de análisis de suelo y plantas calibrados con experimentos de campo , es el mejor método para determinar la fertilización y recomendar las dosis mas adecuadas, apoyándose en levantamientos agrológicos y en la historia de campo. Esta es la base del servicio que en materia de suelos y fertilizantes ha suministrado el IMPA desde su fundación hasta la fecha.

En México la fertilización de campos cañeros a nivel comercial fue iniciada por el ingenio Atencingo en el año 1929, efectuando dos aplicaciones de nitrofosca a razón de 300 kg/Ha cada una en la siembra y antes del aporque, dosificación que elevó espectacularmente la producción de campo en plantillas hasta 180 toneladas de caña por hectárea.

En el año de 1943 el ingenio el Potrero hizo una demostración de la aplicación de fertilizantes a escala comercial teniendo resultados satisfactorios y tal hecho fue el punto de partida para que se extendiera la utilización de esta practica agrícola en el resto de las áreas cañeras del país.

En el año de 1952, como resultado de los estudios sobre producción de caña en los últimos treinta años, el IMPA determinó que uno de los factores que más delimitaba la productividad en el campo cañero lo constituía la baja fertilidad de los suelos. Por tal motivo elaboró un programa para la obtención de muestras representativas de suelo de las áreas cañeras para estimar su nivel de fertilidad a fin de colaborar con la administración de los ingenios y con los agricultores interesados en el uso mas eficiente de fertilizantes comerciales, habiéndose realizado hasta 1959 un total de 14,768 análisis correspondientes a todos los ingenios del país. A manera de un informe preliminar, los resultados y la interpretación relativa de análisis se hicieron extensivos a los ingenios y a los agricultores cañeros.

Los análisis de suelo se complementaron con los datos de 1,967 análisis de las plantas de donde se dedujeron 272 fórmulas de fertilizantes para las diferentes zonas cañeras.

En el campo experimental de Mante, Tamaulipas, durante el período de 1951 a 1954 se condujeron 11 experimentos de fertilizantes en tierras negras de texturas arcillosas pesadas, generalmente con drenaje deficiente y de profundidad variable y en tierras de barrote de

textura franca profundidad variable y en tierras de barrote de textura franca, con buen drenaje, de origen aluvial y de mayor productividad que los anteriores. Se obtuvieron las siguientes las recomendaciones:

- a) .- En las tierras negras la aplicación de 90 kg. de nitrógeno por hectárea adicionado al suelo mediante el uso de 440 kg. de sulfato de amonio por hectárea cuando la planta tiene una altura de 25 cm produjo un incremento de 6 toneladas de caña por hectárea.
- b) .- En las tierras de barrote la aplicación de 90 kg. de fósforo por hectárea adicionados al suelo mediante el uso de 490 kg. de superfosfato simple por hectárea elevo los rendimientos de caña de 8 toneladas por hectárea.

Campo Experimental del Papaloapan.

Por otra parte, en abril de 1953, en la Campo Experimental de Papaloapan se realizó una serie de experimentos sobre el uso de los mejorados del suelo en combinación con diferentes fórmulas de fertilizantes. Estos trabajos indicaron lo siguiente:

a).- En las siembras de verano (Junio a Septiembre) la aplicación de dos toneladas de caliza agrícola por hectárea. tres meses antes de la siembra, produjo un incremento medio de campo de 4.82 toneladas de caña por hectárea en los rendimientos de campo tanto en ciclo plantilla como en soca y resoca.

Los máximos rendimientos de caña, en sus diferentes ciclos fueron alcanzados como se muestra en el cuadro 3.3

Cuadro 3.3 Dosis de fertilización en caña de azúcar para siembras de verano

CICLO	DOSIS (KG/HA)
PLANTILLA	no requiere fertilización
SOCA	70-40-60
RESOCA	120-80-60.

a)En ningún caso se observó que el encalado favoreciera una mayor absorción de nutrimentos por parte de la caña de azúcar.

b).- En las siembras de invierno la aplicación de 2 toneladas de caliza agrícola por hectárea, siete meses antes de la siembra, no produjo incrementos significativos en los rendimientos de campo tanto en ciclo plantilla como en soca y resoca.

En este caso los nutrimentos también produjeron incrementos muy significativos en los rendimientos de campo; y correspondieron para cada ciclo de la caña, las siguientes dosificaciones:

Cuadro 3.4 fertilización de caña de azúcar para siembras de invierno.

CICLO	DOSIS (KG./HA)
PLANTILLA	60-40-60
SOCA	60-80-60
RESOCA	120-40.60

c).- En este mismo campo experimental se condujo durante los años de 1953 a 1957 y en los ciclos plantilla, soca y resoca un experimento sobre diferentes épocas de aplicación de fertilizantes, fraccionándose para ello la dosificación comercial 120-80-120 en la siembra (pelillo 5 meses) y despacho(8 meses). Los resultados obtenidos indicaron que:

1).- En la siembra y en el pelillo la aplicación comercial superó por 17.8 toneladas de caña por hectárea al suministro total de fertilizantes a los cinco meses de edad de la planta ((pelillo).

2).- El fraccionamiento del fertilizante en la siembra y en el pelillo produjo un incremento medio de 7.0 toneladas de caña por hectárea y por ciclo, en relación a la aplicación del fertilizante en 3 partes en siembra, en pelillo y en despacho.

d).- Los técnicos del Campo Experimental del Papaloapan también realizaron investigaciones sobre la respuesta de la caña de azúcar ante diferentes materiales fosfatados . El estudio abarco los ciclos de plantilla, soca y resoca en los cuales se aplico al suelo por ciclo la cantidad de 80 kg. de por fósforo hectárea mediante la adición de 432 kg. de superfosfato simple por hectárea (20% de fósforo), en comparación con la aplicación total (en la siembra) de 240 kg. de fósforo por hectárea que fueron suministrados con 727 kg. de Aero-phos por hectárea. Los resultados obtenidos mostraron lo que se indica a continuación:

1).-Al compararse como testigo (sin fertilizante fosfórico) las aplicaciones de fósforo incrementaron los rendimientos de caña en 36.4 ton/ha. en promedio.

2).- En relación a las fuentes de fósforo para la plantilla se observó que el Aero-phos tuvo un incremento de 220 toneladas de caña por hectárea mas que el superfosfato simple, como consecuencia de una mayor dosificación.

3).- En soca y resoca por el contrario el superfosfato simple recuperó en 21 y 14 toneladas de caña por hectárea respectivamente a la producción alcanzada con el Aerpo-phos indicando con esto su bajo poder de solubilidad . Ambas fuentes de fósforo en relación al testigo elevaron su rendimiento en 48 y 27 toneladas de caña por hectárea para la resoca.

2.9.3 Plan de Fertilización

El análisis de suelos conjuntamente con la experiencia acumulada en la zona permite establecer el plan de fertilización para este cultivo, este debe ejecutarse a lo largo del desarrollo, en función de las indicaciones que se obtengan del análisis foliar.

Para el Nitrógeno son abundantes las experiencias realizadas entre las que se obtienen respuestas entre 200 y 400 kg. de N/ha, si bien en algunas zonas se sobrepasan ampliamente estas dosis, es necesario tener en cuenta las disponibilidades en el suelo, como consecuencia de la mineralización y de los efectos residuales.

Las dosis de Fósforo varían, en función de los niveles de fertilidad del suelo, habiéndose obtenido repuestas normalmente entre 60 y 200 kg. de Fósforo. En los suelos con gran capacidad de fijación es necesario saturar esta capacidad antes de obtener una respuesta clara al Fósforo.

por lo que se refiere al Potasio, este elemento absorbido en grandes cantidades generalmente se han obtenido respuestas en los casos de suelos pobres que pueden alcanzar los 300 - 400 kg de Potasio, siendo las cantidades aplicadas normalmente mas modestas (Domínguez ,1997).

En el cuadro 3.5 se presentan unas dosis indicativas para la fertilización de la caña de azúcar en función de las características de producción y los niveles de fertilidad del suelo, según se trate de primera cosecha o de rebrotes.

Cuadro 3.5 Dosis estándares indicativas de elementos nutritivos para la fertilización de la caña de azúcar en diferentes condiciones de producción y de fertilidad en el suelo.

Capacidad de producción y tipo de cosecha	Nitrógeno (N)			Fósforo (P ₂ O ₅)			Potasio (K ₂ O)		
	A	M	B	A	M	B	A	M	B
1° Cosecha (plantación)									
100 tn/ha	100	200	300	0-50	75	100	0-100	200	300
150 tn/ha	200	300	400	0-75	100	150	0-200	300	400
200 tn/ha	300	400	500	0-100	150	200	0-300	400	500
2° Cosecha (rebrote)									
100 tn/ha	100	200	300	0-50	60	100	0-150	200	250
150 tn/ha	200	300	400	0-60	80	100	0-200	250	300
200 tn/ha	300	400	500	0-80	100	120	0-300	350	400

A, Alto; M, Medio; B, bajo.

3.9.4. Época y Forma de Aplicación

Las diferentes fuentes de los distintos elementos nutritivos dentro de los fertilizantes normalmente solubles dan resultados similares para la misma cantidad de nutrientes, siempre que se apliquen correctamente.

Cuadro 2.6 Resultado de una experiencia de fertilización de caña de azúcar, en la que se observa la respuesta a la aplicación de potasa en el primer año. Motril (Granada)

Tratamientos en Kg./ha			Producción de caña tn/ha	Sacarosa %	Fibra %
N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
350	120	300	84.2	13.3	14.8
420	120	350	90.6	14.6	13.9
520	120	400	99.3	14.6	12.7
520	120	120	81.4	13.8	14.2

En los suelos pobres con gran capacidad de fijación es aconsejable la localización del Fósforo y Potasio en profundidad y especialmente en el surco, aplicando una parte del fertilizante debajo de la caña en la plantación.

El nitrógeno se distribuirá entre el fondo y cobertera dependiendo de la aplicación inicial de la cantidad de materia orgánica aportada. Las aplicaciones de cobertera se realizaran dos o tres veces a lo largo del verano y del otoño.

2.10. Riego por Aspersión en Caña de Azúcar

El riego por aspersión se ha generalizado ampliamente en los últimos años, con mejores boquillas, tubos de aluminio de peso ligero, bombas mas eficientes y fuerza mas barata. El riego por aspersión se prefiere en el cultivo de la caña cuando :

1. Los suelos son muy porosos para una buena distribución de agua rodada.
2. Los suelos son muy delgados para permitir la nivelación adecuada.
3. La tierra tiene fuertes pendientes y se erosiona con facilidad.
4. El agua y los salarios costosos y/o dispone de cantidades inadecuadas de agua.
5. Se requiere de alta eficiencia en las aplicaciones de agua.

Los tipos de aspersores mas comúnmente utilizados son: a) mangueras fijas unidas al tubo, b) de tubo perforado, y c) aspersores giratorios.

De este tipo de aspersores (aspersores giratorios) son los mas frecuentes en la industria mundial de la caña de azúcar. Los aspersores giratorios operan bajo una amplia escala de presiones desde 5 hasta mas de 100 Lb/plg², los aspersores mas grandes por lo general operan a mas altas presiones .

Los sistemas que asperjan el agua arriba de la planta son utilizados con éxito en muchos países. Han sido probados en Hawai pero los vientos variables, la elevada inversión de capital en los sistemas de riego por presión y otros factores han delimitado su adopción en la industria de la caña hasta fines de los años 50's . Un ahorro potencial de agua ha mantenido vivo el interés en el riego por aspersión.

Las posibilidades de implementar riego de caña por asperjado superior fueron explotadas por la Waialua en 1940 , a pesar de los resultados poco satisfactorios que se obtuvieron antes en Kohala, Ewa, y Waipio. En un campo de 105 acres se instaló un sistema subterráneo de tubos de presión provisto de válvulas estratégicamente localizadas en la línea subterránea de modo que se pudieran conectar las secciones superficiales de tubo. La distribución del agua se hizo con tubos verticales que llevaban aspersores giratorios conectados a los tubos elevadores. Los surcos de la caña de azúcar eran rectos, cualquiera que fuera la topografía para facilitar las operaciones mecánicas. Se observó un significativo ahorro de agua y las operaciones de campo se simplificaron pero los costos impidieron la expansión de este sistema de riego. Los ensayos de distribución con pequeños aspersores indican que la uniformidad en la aplicación se incrementa con el aumento de altura del asperjado. Cuando aumenta el área cubierta por un solo aspersor aumenta la uniformidad de aplicación. La uniformidad tiende a aumentar con mayor presión pero fue solo ligeramente afectado por el tamaño de la boquilla. Para vientos fuertes las boquillas circulares dan mayor uniformidad que las ranuradas. La mayor uniformidad de los patrones de precipitación ocurre cuando los vientos soplan sobre la dimensión mayor del patrón y por último la uniformidad decrece con el aumento de la velocidad del viento.

Con relación a las pérdidas de agua, las siguientes tendencias se establecieron en los estudios en Hawai :

Las pérdidas del agua aumentan con la mayor altura del aspersor. Las pérdidas se incrementan con la presión hasta 40 psi y después decrece . Ninguna variación en las pérdidas se pueden atribuir al tamaño o tipo de boquilla. Las pérdidas aumentan cuando la velocidad del viento aumenta.

La Kohala Sugar Company ha empleado con éxito durante muchos años pequeños aspersores para riego de emergencia en los lunares de caña de temporal durante las sequías generales. Antes de este uso el porcentaje de caña muerta en la cosecha ocasionalmente llegaba hasta 50%. Se requería de 15 a 17 toneladas de caña para producir una tonelada de azúcar , las reducciones en el rendimiento del 25 al 50% fueron comunes en años secos.

El equipo consiste en una bomba accionada con motor diesel montada en un remolque, tubos de aluminio de 8” para la línea principal y de 6” para los laterales y boquillas de 1 1/8 “. Con el objeto de evitar presiones excesivas se dispone de un reductor de presión montado en un trailer que se instala en la línea principal en las pendientes de la colina.

Las unidades prefabricadas del sistema de la Ames-Boom-O-Rain en Kilauea Sugar Company del Hawai mostraron los resultados siguientes. Con un funcionamiento de 2 horas suministra: 1) aplicación mínima de agua de 2” en el 60% del campo ; 2) Una aplicación 0.84 a 1.5 “ en el 20% restante del campo.

3.11.Pivote Central

De acuerdo con Briones y Casillas (1986) estos sistemas constan de una línea lateral con uno de sus extremos fijos a un punto pivote, mientras que el otro extremo se desplaza en círculos alrededor del punto pivote. El agua entra al sistema a través del extremo fijo. La línea lateral es soportada por una serie de torres metálicas, las cuales son desplazadas por unidades motrices equipadas con propulsión individual, montadas sobre grandes ruedas. Estas torres están separadas unas de otras de 25 a 75 metros de longitud de la línea lateral varía frecuentemente de 50 a 800 metros.

La línea lateral es mantenida en forma alineada durante el movimiento del sistema alrededor del punto pivote mediante un sistema de control que regula la velocidad de avance en cada torre.

3.11.1.Historia del Pivote Central

El primer prototipo logrado del pivote actual fue construido en 1949 por un agricultor de Columbus, Nebraska; Frank Zybach quien era en aquel tiempo productor de trigo cerca de Strausburg; Colorado (1979).

Frank Zybach perfecciono la máquina para que funcionara continuamente sin interrupción; y mas tarde recibió la patente U.S.2,604,359 por su invento; en aquella época

fue reconocido como la mejor invención agrícola después del tractor. A la fecha mas de 60,000 pivotes centrales han sido fabricados y vendidos; reconociéndose su gran potencial después de los años 70 s.

En 1952 la producción de la máquina de Zybach era un problema; esto ocasiono que en el otoño de ese año Zybach vendiera el 49 % de los derechos de patente a A.E. Trowbridge también de coloumbus.

Ellos juntos empezaron a construir sistema de riego de pivote central en un pequeño taller mecánico en Colombus; pero los agricultores se mostraban escépticos a cerca de la nueva máquina y difícilmente encontraron compradores para los 19 sistemas que ellos habían construidos durante su primer año de operación.

Los primeros pivotes eran de giro lento, estructuras en A y cables impulsados por un juego de pistón y barra troyana por la misma presión de el agua en la tubería. Ahora tales sistemas casi han desaparecido del mercado, pero muchos de los que se fabricaron todavía están funcionando.

En el Otoño de 1953 Zibach y Trowbridge negociaron un acuerdo de concesión para la fabricación y venta de un pivote central con una pequeña firma llamada Valley Manufacturing, Company de Valley, Nebraska.

Valley empezó la producción y venta de sistemas en 1954 y desde entonces ha crecido hasta convertirse en la más Grande compañía de pivotes centrales a nivel mundial (La compañía Valley cambió su nombre a Valmont Industries en 1967). Desde entonces muchos fabricantes han entrado al negocio de pivote central y casi 24 casas comerciales permanecen en competencia actualmente. Los dos principales fabricantes de pivotes centrales son Valmont Industries y Liindsay Manufacturing de Nebraska; estas dos firmas solas han vendido probablemente más de la mitad de los pivotes centrales que existen en Estados Unidos.

Pero le siguen una gran número de casas prestigiadas en el mercado del pivote como: Olson Bros, Gifford Hill, Reinke, Lockwood, Raincat, Rainbow, Pringle, Pierce, Wade-Rain, T-L Irrigation, Higromatic, Aguanomics, Carborundum, Sargent, Stewart Stevenson y otros.

Actualmente todos los agricultores pueden seleccionar su sistema de alta o baja presión, con cañón final o cañón esquinero, con lateral despegable, y pueden disponer de cualquier arreglo de aspersores o boquillas. Dentro del caudal de agua de la tubería pivote se pueden inyectar fertilizantes, herbicidas, fungicidas e insecticidas ya que un recubrimiento epoxico protege el interior de la tubería de la corrosión química.

Los pivotes centrales representan un factor importante en el mercado internacional de América pues la irrigación por aspersión se ha difundido ampliamente por todo el planeta incluyendo China y la Ex unión Sovietica. El pivote central, además ha evolucionado los sistemas de movimiento lineal, que viajan mas bien en línea recta en circulo, los cuales están siendo promovidos como las máquinas del futuro.

3.11.2. Ventajas de la Irrigación con Pivote Central.

Los elevados costos de inversión inicial de un sistema de aspersión son substancialmente reducidos con un pivote central, por lo tanto los continuos costos de mano de obra de los sistemas Side-Roll o laterales operadas manualmente son eliminados.

El principal propósito de la irrigación en cualquier tipo, es acondicionar el ambiente del suelo para proporcionar el desarrollo del cultivo, siendo la distribución uniforme del agua un factor importante en el desarrollo.

Una aplicación absolutamente uniforme pudiera representar un coeficiente de uniformidad (CU) de casi 100%; Los sistemas Side-Roll y completamente fijos alcanzan un coeficiente de uniformidad de 70% a 85%; El pivote central normalmente alcanza una uniformidad del 85% a mas de 90%.

La uniformidad de la distribución del agua hecha posible por el pivote central, al igual que con otros sistemas de aspersión, es un eficiente mecanismo para la inyección de agroquímicos en el agua de irrigación que representa ahorros substanciales en combustible, equipo y mano de obra.

Los pivotes centrales propulsados eléctricamente tienen la capacidad de correr en seco, tienen reversa y proporcionan un patrón de humedecimiento más uniforme que las máquinas impulsadas hidráulicamente con agua.

La electricidad, es la principal fuente de energía para la mayoría de los sistemas, aunque también se construyen pivotes centrales con torres impulsadas hidráulicamente con agua, aceite o aire comprimido.

El pivote central tiene capacidad para regar praderas con pendiente de hasta 30%, de esta forma se pueden transformar en productivas aquellas laderas que hasta ahora son imposibles de regar.

El agua para un pivote central puede provenir de un pozo, río, lago o embalse; prácticamente de cualquier fuente de agua, pero para no acortar la vida útil del sistema es necesario bombear agua con bajo contenido de arena.

Para prevenir la corrosión de la tubería por la acción de los agroquímicos y el intemperismo, la tubería se ha protegido con una pintura epóxica más resistente que el galvanizado, y que permite el flujo de agua con menos pérdida por fricción.

Las altas velocidades y la operación en terrenos accidentados generan esfuerzos y deformaciones en la estructura del pivote central, por lo cual se fabrica con componentes y armaduras metálicas para trabajo pesado. El sistema estándar es de diez torres, pero también se fabrican máquinas con diferentes números de torres. Sin cañón esquinero el sistema estándar riega el 78.5% de un campo cuadrado de 64 hectáreas.

El coeficiente de uniformidad promedio para los sistemas estándar (con tubería de 400 metros de largo) es mayor de 90% con vientos de 8 km/hr, sin embargo, la uniformidad varía con la presión del agua, topografía del campo, viento y cantidad del agua aplicada. El correcto tamaño y colocación de los aspersores a lo largo de la tubería de irrigación son factores determinantes del coeficiente de uniformidad.

3.11.3.Consideraciones Que se Deben Analizar antes de Comprar un Pivote Central.

Un sistema de riego de pivote central (de calidad) tendrá una vida útil mayor de 15 años, y representa una inversión de capital que demanda un análisis cuidadoso y profunda.

Hay todo tipo de pivotes centrales grandes, pequeños e intermedios, cuando se decide la compra de alguno se incurre en la vía de riesgo. Muchas compañías de pivote central esta solamente en el negocio como vendedores de fierro, pues no suministran refacciones para los sistemas ni la asesoría para su mantenimiento.

Los pivotes que ellos venden son perfectos y adecuados para empezar; sin embargo, años después sufren por falta de atención y el deficiente mantenimiento; esta realidad de mercado ha costado mucho a algunos agricultores.

3.11.4.Factores que se Consideran en el Diseño del Pivote Central.

Un adecuado diseño se anticipa y resuelve los problemas de riego sobre la mesa de dibujo, antes de que cualquier equipo se lleve al campo. La meta es maximizar los ahorros de mano de obra, agua y energía en conjunto con los mas altos rendimientos posibles. Un trabajo de diseño inteligente es crucial, ahora que los pivotes se han sofisticado con el amplia arreglo de accesorios, boquillas, aspersores, mecanismos y dispositivos.

Los puntos generales considerados en el diseño de un pivote central son los siguientes:

AGUA: Un pivote central típico requiere de 700-800 gpm., pero mucho menos o mucho mas pudieran ser requeridos para sistemas especiales, también es importante la calidad del agua, la profundidad al espejo y la cantidad necesaria para satisfacer la demanda del cultivo.

SUELO:. Los pivotes centrales pueden ser adaptados a la mayoría de los suelos, ajustando la tasa de precipitación para evitar el encharcado del suelo.

CULTIVOS: Los cultivos tienen diferentes sentidos radicales y diferentes patrones de extracción de agua, por lo mismo se deben analizar sus necesidades y la forma operacional en que un sistema puede manejarse para cubrir las demandas de los cultivos establecidos.

ENERGIA: Con respecto a la energía se debe conocer que fuentes están disponibles en el área, cuál es la más abundante, cuál es la más costosa para obtener respuesta a estas interrogantes en tiempos de incertidumbre sobre la energía, es crítico y decisivo para el diseño de un buen pivote.

FORMA DEL CAMPO Y TOPOGRAFÍA: Si el campo es de forma irregular, o el valor de la tierra es alto; un sistema esquinero puede ser el más adecuado para regar. Los sistemas de irrigación lineales son óptimos en terrenos largos y rectangulares. Los sistemas lineales y esquineros, pueden proporcionar el mejor pago a la inversión. En terrenos de lomerío, algunos pivotes se manejan sobre pendientes hasta del 30% mientras que otros son garantizados para un 7%. Cuando la tubería pivote gira sobre un campo en lomerío esta sujeto a un rango muy amplio de pendientes, a favor y en contra, que hacen variar la presión en las boquillas; por lo tanto se debe asegurar que el sistema trabaje sobre la pendiente variable aceptable, y lo mismo para los vientos que soplan sobre los patrones de aspersión en todas direcciones durante el movimiento de la tubería.

APLICACIÓN DE AGUA: Existen muchos tipos y diseños de aspersores y boquillas de aspersión, que presentan una gran variedad de opciones de aplicación. Para saber cuáles son las más adecuadas para el sitio es una importante pregunta para contestar.

VELOCIDAD DE GIROS: Es necesario definir cuántas vueltas dará el pivote en promedio por año, cuántas revoluciones por minuto se requieren en los motores para que la velocidad del sistema este ajustada al tipo del suelo, tasa de aplicación, cultivos y cantidad de agua.

DIAMETRO DE LA TUBERIA: Los fabricantes están ofreciendo tubería de 4" a 10" de diámetro, al comprar diámetros grandes se pueden elevar innecesariamente el peso y el precio del sistema y al comprar diámetros pequeños se pueden incrementar los costos de bombeo por el elevado consumo de energía. ¿cuál es la combinación más perfecta?: Quizá una mezcla de diámetros de tuberías será lo mejor para el caso.

REMOLQUE DEL SISTEMA: Muchos pivotes pueden ser intercambiados de un campo a otro, sin embargo cual será la opción mas adecuada y cual es el mecanismo mas apropiado?.

3.11.5. Inyección de Fertilizantes y Químicos en los Sistemas de Riego por Pivote Central.

Como se menciona anteriormente la posibilidad de aplicar agroquímicos a través de pivote central es una de las ventajas importantes que ofrece este sistema. Al respecto Witkowski et al (1987) indica que la aplicación de insecticidas con este sistema puede ser una alternativa de otras formas convencionales de aplicación. Las razones para usar este método incluyen: distribución relativamente uniforme del producto, tiempo de aplicación flexible, ventaja económica y mayor efectividad del agroquímico.

El problema concerniente al uso de esta tecnología es la contaminación del agua subterránea; ya que existe la posibilidad de que el agroquímico entre al pozo. Otros problemas incluyen el posible acarreo por el viento del producto y escurrimiento fuera del área de cultivo; además de la exposición del producto al operador durante la mezcla, la calibración y el proceso de aplicación.

Con la finalidad de evitar al máximo los problemas anteriores se debe contar con equipo de seguridad que incluye. Válvula de retención, válvula de alivio de aire, salida de inspección, dren automáticos de baja presión, válvula en la línea de inyección y estructura de cierre de paso al químico hacia la línea de bombeo. Así mismo se debe tener la unidad de inyección adecuada al producto que se este utilizando.

Dentro de las precauciones personales que se deben tener en la operación del sistema son: usar guantes, botas de hule, equipo protector, tapar los primeros aspersores, colocar señales de seguridad y guardar el producto en lugares adecuados.

Anónimo (1985) indica que cuando por alguna causa los sistemas son lentos, los aspersores se controlados para igualar la aplicación con la necesidad de agua, pues el sistema completo está coordinado para aplicar agua y químicos en una tasa extremadamente exacta en

todas las partes del campo. Menciona además que según estudios independientes el sistema "Reinke" incrementa a través del sistema la eficiencia de aplicación del químico por arriba del 20%.

Eisenhauer (1994) reporta que los sistemas de riego serán muchas veces diseñados, modificados y comparados para aplicar agua según las necesidades propias de los cultivos, sin embargo el agricultor podrá encontrar otros usos de los sistemas de riego incluso para el control de heladas, control de polvos, aplicación de aguas negras y aplicación de químicos. Así mismo indica que en las regiones de llanos grandes, en la mayoría de las fumigaciones se está empleando aspersión en el riego de pivote central.

Así mismo hace mención de la importancia en la uniformidad del riego para la aplicación de agroquímicos ya que el reactivo generalmente irá a donde el agua va, si la uniformidad de la aplicación del agua de riego es pobre, el control de la aplicación de la lamina de agua es inadecuada.

Mickey y Seymour (1995) indica que en regiones áridas, la relación agua-suelo tiene una gran influencia sobre la productividad del cultivo, la suma de la humedad del suelo, replantación, mas la precipitación y el agua aplicada durante la estación del desarrollo generalmente gobiernan el rendimiento máximo cosechable en un cultivo. La habilidad de un productor para tratar con todos los factores además de la disponibilidad de nutrientes, invasión de malezas y la incidencia de plagas determinan en conjunto que tanto se aproxima el rendimiento máximo potencial.

Cualquier medio aplicado para mejorar la eficiencia en el uso del agua y nutrientes ayudará en el retorno sobre la inversión. Un apropiado programa de fertilización ha mostrado que incrementa directamente en la eficiencia en el uso del agua, y cuando se descuida la fertilización de un cultivo en desarrollo se pone en riesgo la redituabilidad del capital invertido en un equipo de riego por aspersión en pivote central.

Retledge (1989) menciona que los pivotes centrales han demostrado ser la combinación perfecta para las bombas de inyección en una amplia variedad de cultivos,

también otros sistemas de riego pueden ser adaptados a la fertirrigación y a la quimigación resultando también una combinación ideal con la microirrigación.

Kjelgren et al (1985) señalaron que el uso de los aspersores de bajo volumen, típicamente conocidos como microaspersores o nebulizadores tienen numerosas ventajas potenciales sobre el convencional riego por superficie (inundación, bordos y surcos), aspersión y métodos de goteo simple. Los aspersores de bajo volumen mojan un área de suelo mas grande, esto reduce la posibilidad de las necesidades de las plantas, incrementando su capacidad para extraer agua y nutrientes de un volumen de suelo mas confinado.

3.12. Aspectos Tecnológicos de la Fertirrigación

3.12.1 Fertirrigación.

En términos generales la fertirrigación consiste en la aplicación de fertilizantes disueltos en el agua de riego, con esto se pretende situar a los nutrientes bajo la acción del sistema radicular, suministrándolos de forma continua y de acuerdo a las necesidades de las plantas, la asimilación de los fertilizantes por la planta se produce de manera mas racional, además de tener una mayor comodidad y ahorro de mano de obra.

“Quimigación” es la aplicación de cualquier químico a través del agua de riego . Esto puede incluir insecticidas, fungicidas, fertilizantes, mejoradores de suelo y cualquier otro componente. De hecho la forma mas común de quimigación es “fertirrigación”, lo cual se refiere a la aplicación de fertilizantes en el agua de riego. (Burt 1995).

Jhonson y colaboradores (1986) mencionaron que muchos productores están usando los sistemas de irrigación para aplicar químicos agrícolas con el agua. El método llamado “quimigación” inicialmente incluía solamente nutrientes vegetales que generalmente requerían incorporación dentro del suelo por efectividad.

La técnica de quimigación se esta expandiendo ampliamente y es promovida por los avances de sistemas de irrigación, equipo mejorado para la inyección de agroquímicos y por el mayor desarrollo y uso de químicos agrícolas.

Los químicos inyectados mediante esta técnica incluyen: fertilizantes, insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematicidas y reguladores de crecimiento.

Maroto Borrego (1991) indica que en la fertirrigación existen una serie de aspectos que deben tenerse en cuenta y que no siempre se tratan adecuadamente derivados de la propia esencia del método, es decir, de la confección y el manejo de las soluciones nutritivas. En relación con el establecimiento de las mezclas, una gran mayoría de los autores consideran como parámetros importantes las compatibilidades entre las sales, su solubilidad y acidez. Otras por razones obvias, hablan de la potencialidad de salinización de los fertilizantes. En cualquier caso parece lógico indicar que estos cuatro parámetros: compatibilidad, solubilidad, acidez y grado de salinización son los parámetros mas importantes que deben conocerse a la hora de elaborar una solución nutritiva.

3.12.2. Ventajas de la Fertirrigación

Los sistemas modernos de riego han solucionado muchos problemas al brindar la posibilidad de aplicar los elementos nutritivos en el momento que la planta lo requiera, como son: la dosis adecuada, el volumen de agua filtrada requerida, y dependiendo del tipo de sistema.

La fertirrigación ofrece algunas ventajas en comparación con la aplicación mediante los métodos convencionales:

1. - Ahorro de agua
2. - Fácil incorporación y activación del químico, al mezclar los químicos con el agua, estos pueden aplicarse a la profundidad deseada quedando inmediatamente disponibles para su asimilación.
3. - Reducción de riesgos para el operador, al aplicarse los agroquímicos en el riego se reduce la posibilidad de explosión o contacto directo con el operador.

4. - Fraccionamiento de los fertilizantes obteniendo una mayor producción y eficiencia en el uso de los fertilizantes
5. - Se evita la compactación del suelo debido a que maquinaria pesada no entra al campo cultivado.
6. - El cultivo no es dañado por cortes en la raíz, daños de rotura en las hojas o acame, como ocurre con las técnicas convencionales de aplicación de químicos al campo.
7. - Se requiere menos equipo para la aplicación de químicos.
8. - Al aplicar los químicos, se gasta menos energía
9. - Usualmente se necesita menos trabajo para supervisar la aplicación
- 10.- El suministro de nutrientes pueden ser más cuidadosamente regulados y monitoreados.
- 11.- Los nutrientes pueden ser distribuidos más uniformemente en toda la zona de la raíz o en el perfil del suelo
- 12.- Los nutrientes pueden suministrarse de acuerdo a la etapa y a los requerimientos nutricionales del cultivo
- 13.- Los nutrientes pueden ser aplicados al suelo cuando las condiciones del cultivo o suelo pudieran de otro modo prohibir la entrada dentro del campo con equipo convencional.

Zoldoske (1993) menciona que el fertirriego, consiste en el uso de sistemas de riego para aplicar productos químicos y fertilizantes a los cultivos; dentro de sus beneficios incluyen aplicaciones económicas, aplicación de gran precisión, disminución de la compactación del suelo y de daños al cultivo. Sin embargo, debe tenerse mucha precaución en evitar retroflujo del agua de inyección ya que los agroquímicos contaminarían la fuente de donde se toma el agua para el sistema. Esta práctica de protección se basa en utilizar válvulas llamadas de quimiriego (válvulas chek), diseñadas para evitar que la mezcla de agua y producto químico vayan a retroceder por efecto de sifón y contamine la fuente de agua.

3.12.3.Desventajas de la Fertirrigacion

Las principales desventajas que se mencionan son debido al manejo del equipo, fertilizantes, perdida de mano de obra, inversiones iniciales lo cual hace necesario considerar las siguientes:

1. - Problema de contaminación de la fuente de abastecimiento, cuando el agua proviene de un acuífero, la bomba debe tener un sistema que prevenga el retroflujo del químico al acuífero.
2. - Requisitos administrativos mayores son importantes ya que el retraso en las decisiones de operación pueden causar daños irreversibles al cultivo.
3. - Para aplicar el fertilizante con el agua de riego, se requiere tener tanques mezcladores, inyectoros y dispositivos de prevención de retroflujos.
4. - El daño de roedores, insectos y humanos, causan fugas y reparaciones.
5. - Mala uniformidad producida por fallas en el sistema de riego, si el sistema de riego tiene una fuga es muy probable que se tengan aplicaciones excesivas de agroquímicos en algunas partes del terreno y muy poca aplicación en otras.
6. - Aumento excesivo de la salinidad del agua de riego.

Jimenez Montesinos (1991) reporta que las características químicas del agua de riego se ven alteradas al incorporar los fertilizantes por medio de la fertirrigacion. Tales alteraciones influyen dos aspectos principalmente:

- a) Modifican la conductividad eléctrica, ya que la adición de las distintas sales fertilizantes aumentan el contenido salino del agua, empobreciendo la calidad de la misma.
- b) Modifican el ph, ya que al ser los abonos sales altamente dissociables, es claro que ello influye en las propiedades químicas y en particular el ph.

3.12.4.Recomendaciones

Goldbarg, Garnot y Rimon, (1986), menciona algunas recomendaciones para lograr mejores resultados en la fertirrigacion.

1. - Los agroquímicos deben ser lo suficientemente solubles.
2. - Si se utiliza más de un agroquímico para la fertirrigación, es necesario preparar una solución madre para inyecciones posteriores, estos productos químicos no deberán reaccionar unos con otros para formar un precipitado.
3. - Los elementos químicos deberán ser compatibles con los elementos constituyentes del agua de riego ya que estos entrarán en contacto después de su inyección.
4. - Cuando se disuelven en agua, los productos químicos no deberán formar espuma o sedimentos, ya que pueden penetrar en el sistema de riego ocasionando problemas de diversa índole.
5. - Los productos químicos utilizados no deben corroer o deteriorar de ninguna forma los materiales o componentes utilizados en el sistema de micro-riego.
6. Entre los productos químicos que pueden ser dañinos se tienen : el cloro daña los componentes de bronce utilizados en los manómetros, en medidores o en los impulsores de las bombas así tenemos que algunos nematocidas atacan al PVC y algunos otros plásticos.

3.13. Comportamiento de los Nutrientes en Fertirrigación.

Burgoño (1996) menciona los comportamientos para los fertilizantes siguientes:

Nitrógeno. El nitrógeno en forma amoniacal queda retenido por los coloides del suelo, si las dosis de aplicación no son altas. A medida que aumenta la dosis, queda superada la capacidad de intercambio iónico de los coloides y en consecuencia el desplazamiento es mayor.

Fósforo. Es el elemento más difícil de aplicar, pues, además de su baja solubilidad existe el peligro de precipitación al reaccionar con el calcio que puede contener el agua de riego y que produce el paso del fósforo monocalcico a bicalcico.

Potasio. El potasio se mueve muy limitadamente en el suelo. El potasio suministrado es absorbido en el complejo de cambio de suelo. No obstante, las investigaciones han demostrado que el potasio puede moverse en el suelo a distancias de 60 a 90 cm. La absorción de potasio

depende en gran parte de la humedad de suelo, por esto en los suelos secos prácticamente no se produce.

3.14. Aspectos Generales de los Fertilizantes Utilizados en Fertirrigación.

Bundy (1993) señala que el problema económico principal de la urea es la pérdida de nitrógeno una vez aplicada al suelo, por la hidrólisis y la subsecuente volatilización del amoníaco. Los factores climáticos y de suelo que favorecen la volatilización son: temperaturas elevadas, suelo alcalino, humedad intermedia, bajo contenido de arcilla o de materia orgánica en el suelo, residuos vegetales sobre la superficie del suelo.

Sutton(1993) indicó que la elección de la mejor fuente de nitrógeno debe basarse en las posibles pérdidas durante la primera semana después de la aplicación, cuando el fertilizante se aplica en la superficie, la pérdida principal es por volatilización del amoníaco, de manera que es preferible usar el nitrato de amonio calcico, ya que no se alcaliniza el suelo ocasionando con ello se pierda poco amoníaco o fertilizantes complejos NPK. Si se usa urea es esencial incorporarla al suelo de alguna forma evitando así pérdidas entre 20 y 40 % de nitrógeno.

Phene et al (1993) menciona que cuando el nitrógeno de varias fuentes es proporcionado al suelo, está sujeto a transformaciones y transporte. Cuando éste es transformando a nitrato, es soluble y se mueve rápidamente con el agua de suelo, cuando la precipitación o riego excede a la cantidad del uso de agua por el cultivo y la capacidad de almacenaje del suelo, los nitratos disueltos se percolan verticalmente hacia abajo de las raíces del cultivo con el desplazamiento de la solución del suelo y eventualmente alcanzan el agua subterránea.

3.14.1. Compatibilidad de Fertilizantes.

Los problemas de compatibilidad se pueden notar solo cuando el fertilizante líquido se combina, ya sea o no el fertilizante original o que se prepare en forma soluble con materiales

secos. Para realizar la preparación de fertilizantes con varios ingredientes se deben tomar en cuenta lo siguientes pasos:

- La persona involucrada debe estar segura de la preparación de la solución, esto mediante la prueba de jarras que consiste en someter una solución de fertilizantes dentro de un recipiente con agua de riego y observar si se precipita o se forman natas en un tiempo de una o dos horas ya que estas condiciones pueden ocasionar taponamientos en la salida del sistema.
- Del efecto del fertilizante líquido y la agregación de otro sobre la solución en el mismo recipiente.
- De la reacción del fertilizante líquido en el sistema de riego.
- Del tipo de sistema de riego y la susceptibilidad al problema del taponamiento.(Burt et al, 1995).

3.14.2.Solubilidad de los Fertilizantes.

Para la aplicación de varios fertilizantes se debe considerar la solubilidad en el uso de la inyección dentro de un sistema de riego a presión. La mayoría de los fertilizantes secos son de manufacturas por capas y tienen la condición especial de guardar la humedad y absorber los demás fertilizantes.

Para evitar que estos materiales ocasionen problemas se debe preparar la mezcla mediante tandas o porciones pequeñas para evitar que se deposite en el fondo o se forme nata en la superficie del recipiente. También el líquido debe estar claro o transparente para que pueda drenar por el sistema. Este es un procedimiento que puede prevenir el problema de la sedimentación y las natas (Burt et al, 1995).

Cuadro 3.7 Solubilidad de los fertilizantes comerciales

FERTILIZANTE	SOLUBILIDAD (gr. / litro)
Amoniaco	97
Nitrato amonico	1185

Sulfato amonico	700
Nitrato de calcio	2760
Sulfato de calcio	Insoluble
Fosfato bicalcico	413
Fosfato diamonico	Insoluble
Sulfato de magnesio	700
Sulfato de manganeso	517
Fosfato monoamonico	225
Fosfato monocalcico	Insoluble
Clorhídrico de potasio	227
Nitrato de potasio	135
Sulfato de potasio	67
Urea	1190

3.14.3 Composición y acidez de algunos fertilizantes.

Cuadro 3.8 Composición y acidez de algunos fertilizantes (Medina, 1979; Enciso,1995)

Fertilizantes	N %	P205%	k%	Ca%	S%	Equilibrio de acidez *
Amoniaco	82					
Nitrato amonico	33.5					62
Sulfato aminico	21					110
Nitrato calcico	15.5			21		-20
Nitrato de potasio	13		44			23
Nitrato sodico	16					
Urea	45					71
Superfosfato simple		18-20		18-21	12	
Superfosfato simple		45-46		12-14	1	
Sulfato de potasio			50-53			neutro

Cloruro de potasio			60-62			neutro
Ácido fosfórico			52			110

* Kg. de CaCO₃ que son requeridos para neutralizar 100 kg. de fertilizante

3.14.4. Índice de Sal de Algunos Fertilizantes.

No debe olvidarse que el abono aporta al suelo una serie de sales, por lo tanto lógicamente cuanto mayor es el índice de sal mayor es la cantidad de sales que el fertilizante aporta al suelo y en consecuencia mayor riesgo de salinización del terreno por ello deberán vigilar los índices para que no se presente problemas de salinización del terreno (Medina, 1979).

Cuadro 3.9 Índices de sal de algunos fertilizantes (Medina 1997)

FERTILIZANTES	INDICE DE SAL
Amoniaco	47.1
Nitrato amonico	104.7
Sulfato amonico	69
Nitrato calcico	52.5
Nitrato potasio	73.6
Nitrato sódico	100
Urea	75.4
Superfosfato simple	7.8
Superfosfato triple	10.1
Sulfato de potasio	46.1
Cloruro de potasio	116.3
yeso	8.1

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Descripción del Sitio Experimental

4.1.1. Localización Geográfica.

El trabajo de campo se llevó a cabo en un cañaveral regado con pivote central hidráulico localizado en el Rancho “Katanga” en el municipio de Xicotencatl Tamps., en la margen derecha del remate del canal principal de la presa Emilio Portes Gil y margen izquierda del dren colector central Xicotencatl.

Las coordenadas geográficas del Rancho son:

Latitud N 22 58”

Longitud W 98 58”

Altitud 60 msnm

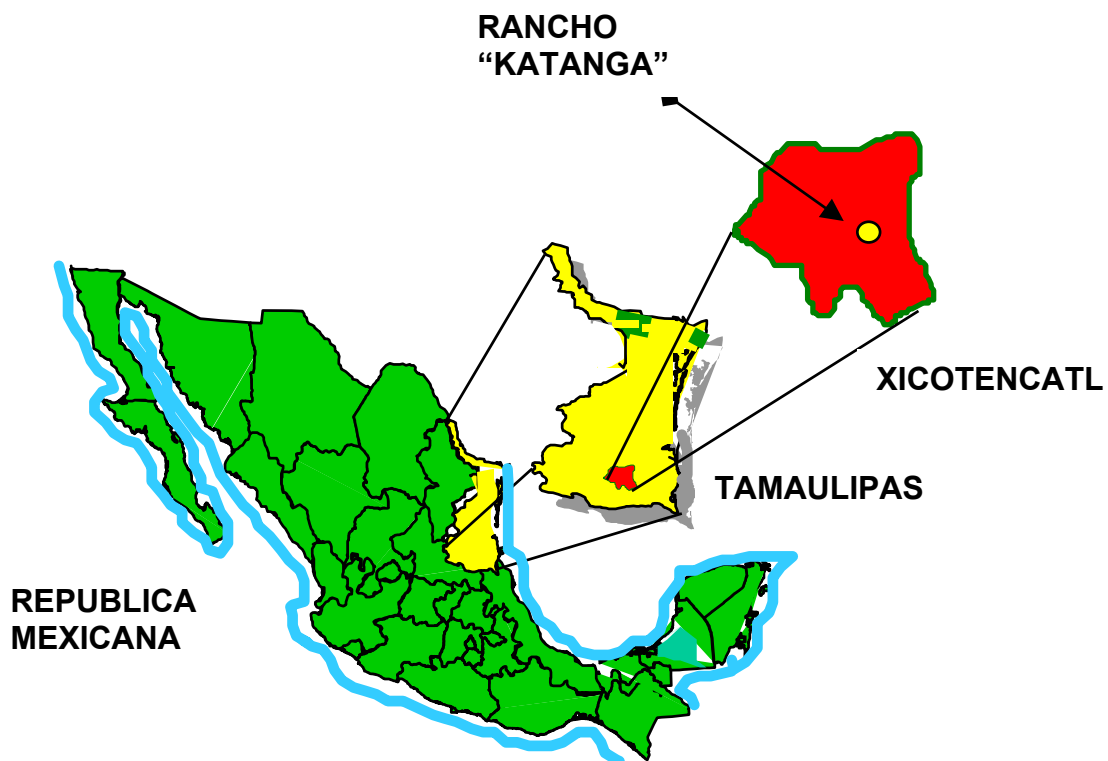


Figura 4.1. Localización geográfica del Rancho “Katanga”.

4.1.2. Vías de Acceso.

El acceso principal es por la carretera Ingenio-Limón, en el Km 13 se desvía hacia el oriente 2 km.



Figura 4.2 Ruta de Acceso al Sitio de Estudio.

4.2. Características del Área de Estudio.

La zona de abasto de este ingenio, es la que se encuentra mas al norte de la región cañera de las Huastecas, su clima de acuerdo a Koppen, es estepario, que va del más seco al más cálido de los templados con concentración térmica en verano, temperaturas medias de 18 a 23 °C y máximas de 37 a 42 °C. La precipitación anual oscila entre los 900 - 1200 mm con

un pequeño o nulo exceso agua y marcada concentración durante los meses de Junio a Septiembre.

4.2.1. Condiciones Iniciales de Suelo

Todos los análisis de suelo de este estudio estuvieron a cargo del Laboratorio Ambiental Nuevo Tamaulipas, del Gobierno del Estado teniendo la acreditación oficial de SEMARNAP y CONAGUA.

4.2.1.1. Índices de Fertilidad en el Rancho Katanga.

Cuadro 4.1. Resultados de análisis de fertilidad de suelo en el Rancho “Katanga”.

CONCEPTO	M.O.	N	P	K	Ca	Mg
% en el suelo	2.6	0.13	----	----	----	----
p.p.m.	26,000	----	4.78	35.97	45.57	15.49
kg./ha	26	4.29	3.88	29.12	66.72	40.50
Indice de fertilidad	medio	medio	medio	pobre	pobre	pobre
Indice IMPA	2-3 %	0.1-.15 %	4-8 ppm	25-102 ppm	373-489 ppm	15-25 ppm

M.O.=Materia Orgánica; N=Nitrógeno; P=Fósforo; K=Potasio; Ca=Calcio; Mg=Magnesio

La calificación del contenido de nutrientes es el establecido por el Instituto para el Mejoramiento de la Producción de la Azúcar (IMPA), dependencia de la Comisión Nacional de la Industria Azucarera (CONIA), en 1975.

Los índices del IMPA anotados en la ultima línea, corresponden a la categoría registradas en la penúltima línea.

Se distribuyeron cinco pozos de muestreo para tomar tres muestras de suelo en cada uno, de 0-30, 30-60 y 60-90 cm de profundidad.

4.2.1.2. Salinidad

En cuatro de los cinco pozos se obtuvo un pH promedio de 7.6, ligeramente alcalino, en tanto que en el pozo 2 ubicado al SE del terreno se obtuvo un pH de 8.1 esta zona se localiza en las proximidades del dren Limón, en la parte baja del terreno, en donde se proyecta la construcción de un dren parcelario para desalojar los excedentes de riego, evitándose la concentración de sales, principalmente Cloruro de sodio y en su caso eliminarlo disuelto en el agua del dren.

Por lo que respecta al pH, los suelos del predio Katanga presentan cifras adecuadas para el cultivo de la caña de azúcar.

De acuerdo a los valores de la conductividad eléctrica y al contenido de sodio cuantificado en miliequivalentes por litro las muestras de suelo analizadas reportan cifras que se clasifican en general normales como se puede apreciar en el cuadro 4.2.

Cuadro 4.2 Resultados de análisis de salinidad en el Rancho “Katanga”.

POZO	PROFUNDIDAD EN CM.	CONDUCTIVIDAD	SODIO	CLASIFICACION POR SALINIDAD
1	0-30	0.46	0.75	normal
	30-60	0.41	0.67	normal
	60-90	2.82	15.22	salino
2	0-30	0.80	2.28	normal
	30-60	2.83	10.39	normal
	60-90	4.28	29.09	sodico-salino
3	0-30	0.83	4.52	normal
	30-60	0.79	2.10	normal
	60-90	3.41	11.74	normal
4	0-30	0.79	1.78	normal
	30-60	1.67	2.10	normal
	60-90	2.58	5.43	normal
5	0-30	0.75	1.3	normal
	30-60	2.09	6.35	normal
	60-90	2.08	6.26	normal

Como se observa, solamente dos muestras dieron cifras que lo clasifican como salino y sodico-salino, ambas a profundidad de 60-90 cm donde probablemente se acumula la

lixiviación de capas superiores, en los pozos 1 y 2. Se encuentran concentraciones elevadas de sales de sodio a las profundidades señaladas, lo que podría originar ascenso de estas sales por efecto de la capilaridad a la zona radicular de la caña de azúcar, pero considerando que el terreno será regado con riego presurizado, lo cual permitirá mantener el suelo a capacidad de campo permanentemente, la evapotranspiración de las plantas no provocará pérdidas de humedad como para propiciar la capilaridad, manteniendo a las sales de sodio en los niveles profundos en que se identificaron.

En la figura 4.3. se muestra croquis del terreno del Rancho “Katanga”, donde se localizan los cinco pozos para toma de muestras de suelo.

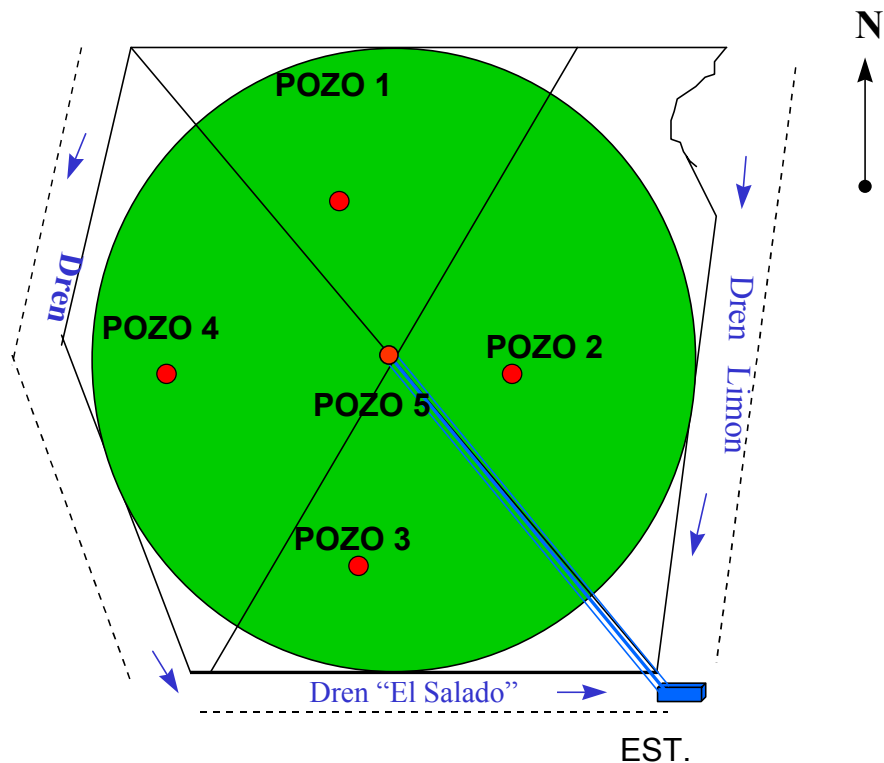


Figura 4.3. Localización de los pozos para muestreo de suelo en el rancho “Katanga”.

4.2.1.3 Textura

La caracterización de la textura, en base a los contenidos de arena, limo y arcilla, indico que todas las muestras se clasifican como arcillas. Se trata de arcilla del grupo de la

Kaolinita localizada en las zonas tropicales, integrada al tipo 1:1 (un estrato de sílice y otro de aluminio) con una capacidad de intercambio cationico reducida, de 10 me/100grs. de suelo. La estructura de los suelos es del tipo granular, con agregados relativamente poco porosos, lo que hace lenta la infiltración.

4.2.2. Condiciones Iniciales del Agua de Riego

El agua de este proyecto fué tomada del remate del dren Limón y del dren colector central Xicotencatl, el uso de esta agua esta recomendada para cultivos resistentes a la salinidad, como es el caso de la caña de azúcar. El análisis de agua se realizó en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la CNA en Cd. Xicotencatl, y de la interpretación del reporte se desprende que el pH es ligeramente alcalino y al clasificarse esta agua como C3S1 entonces se tiene un agua altamente salina.

A continuación se muestran los reportes de análisis de aguas:

1.- DREN EL LIMON

No. LAB.	<u>1</u>
No. CLAVE	<u>P - Control No. 1</u>
SITIO DE MUESTREO	<u>Dren el Limón</u>
LOCALIZACION	<u>Distrito No. 029 Xicotencatl, Tam.</u>
No. OFICIO	<u>Calidad del agua</u>
FECHA DE ANALISIS	<u>28 de marzo de 1996</u>

CARACTERÍSTICAS QUIMICAS

POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)	<u>7.24</u>	CONCENTR. DE SALES (ppm)	<u>537.76</u>		
C.E. MICROMHOS/CM(25°C)	<u>830</u>				
IONES	Me/lt	ppm	CACIONES	Me/lt	ppm
CO3	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	Ca	<u>3.50</u>	<u>70.14</u>
HCO3	<u>2.50</u>	<u>152.53</u>	Mg	<u>4.50</u>	<u>54.72</u>
CL	<u>2.00</u>	<u>70.92</u>	Na	<u>0.30</u>	<u>6.90</u>
SO4	<u>3.80</u>	<u>182.55</u>	K	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
SUMA	<u>8.30</u>	<u>406.00</u>	SUMA	<u>8.30</u>	<u>131.76</u>

1.- CONTENIDO DE SALES SOLUBLES

SALINIDAD EFECTIVA	<u>4.80</u>	ME/LT	<u>CONDICIONADA</u>
SALINIDAD POTENCIAL	<u>3.90</u>	ME/LT	<u>CONDICIONADA</u>

2.- EFECTO PROBABLE DEL SODIO SOBRE EL SUELO

CARBONATO DE SODIO RESIDUAL	<u>0.00</u>	ME/LT	<u>BUENA</u>
PORCIENTO DE SODIO POSIBLE	<u>6.25</u>	%	<u>BUENA</u>
RELACION DE ABSORCION DE SODIO	<u>0.15</u>		
PORCIENTO DE SODIO INTERCAMBIABLE	<u>-1.05</u>	%	

3.- CONTENIDO DE ELEMENTOS TOXICOS

CLORUROS	<u>2</u>	ME/LT	<u>CONDICIONADA</u>
BORO		ppm	

2.- DREN EL SALADO

No. LAB.	<u>2</u>
No. CLAVE	<u>P - Control No. 2</u>
SITIO DE MUESTREO	<u>Dren el Salado</u>
LOCALIZACION	<u>Distrito No. 029 Xicotencatl, Tam.</u>
No. OFICIO	<u>Calidad del agua</u>
FECHA DE ANALISIS	<u>28 de marzo de 1996</u>

CARACTERISTICAS QUIMICAS

POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)	<u>7.46</u>	CONCENTR. DE SALES (ppm)	<u>1039.01</u>		
C.E. MICROMHOS/CM(25°C)	<u>1600</u>				
IONES	Me/lit	ppm	CACIONES	Me/lit	ppm
CO3	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	Ca	<u>5.00</u>	<u>100.20</u>
HCO3	<u>5.50</u>	<u>335.56</u>	Mg	<u>9.00</u>	<u>109.44</u>
CL	<u>4.50</u>	<u>159.57</u>	Na	<u>2.00</u>	<u>46.00</u>
SO4	<u>6.00</u>	<u>288.24</u>	K	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
SUMA	<u>16.00</u>	<u>783.37</u>	SUMA	<u>16.00</u>	<u>255.64</u>

1.- CONTENIDO DE SALES SOLUBLES

SALINIDAD EFECTIVA	<u>10.50</u>	ME/LT	<u>CONDICIONADA</u>
SALINIDAD POTENCIAL	<u>7.50</u>	ME/LT	<u>CONDICIONADA</u>

2.- EFECTO PROBABLE DEL SODIO SOBRE EL SUELO

CARBONATO DE SODIO RESIDUAL	<u>0.00</u>	ME/LT	<u>BUENA</u>
PORCIENTO DE SODIO POSIBLE	<u>19.05</u>	%	<u>BUENA</u>
RELACION DE ABSORCION DE SODIO	<u>0.76</u>		
PORCIENTO DE SODIO INTERCAMBIABLE	<u>-0.15</u>	%	

3.- CONTENIDO DE ELEMENTOS TOXICOS

CLORUROS	<u>4.5</u>	ME/LT	<u>CONDICIONADA</u>
BORO	<u></u>	ppm	<u></u>

4.3.Diseño Experimental

4.3.1 Diseño de Tratamientos Probados (Factores)

Para el diseño experimental se utilizo la metodología de parcelas apareadas semejante a un arreglo factorial 3 x 2 bajo un diseño sistematizado con ciertas modalidades respecto al tamaño de parcela.

Cuadro 4.3 Tratamientos probados en el Rancho “Katanga”.

Factor 1 (Riego y Fertilización)	Factor 2 (Variedad del cultivo)
Testigo (T): Riego rodado y fertilización tradicional	V1 : NCO310
(F1): Riego con pivote central y una dosis 1 de fertirrigacion	V2 : CP72-2086
(F2): Riego con pivote central y una dosis 2 de fertirrigacion	

4.3.2.Modelo

El modelo utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + Fert_i + Var_j + (fert*var)_{ij} + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = valor de la variable de respuesta observada

μ = efecto común a todas las unidades experimentadas

Fert i = efecto de la i -ésima fertilización

Var j = efecto de la j -ésima variedad

(fert*var) ij = interacción fertilización por variedad

e_{ij} = error

4.3.2. Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete SAS, el análisis de varianza se aplicará en los cuadros de concentración de datos observados.

4.3.3. Descripción de los Tratamientos Probados

El estudio consistió en evaluar la producción en caña de azúcar con fertirrigación mediante pivote central y fertilización tradicional con riego por gravedad como testigo, para dos variedades del cultivo; V1= NCo 310 y V2=CP 72-2086.

Cuadro 4.4. Testigo (T) : Riego rodado y fertilización tradicional

Nutrientes aplicados	Cantidad Aplicada Kg./ha	Fuente	Variedades
N	110	Formula 22-11-11	Nco 310
P ₂ O ₅	55	Aplicada en forma	CP 72-2086
K ₂ O	55	Manual.	
Se aplicaron 8 riegos de 150 mm de lamina cada uno.			

Cuadro 4.5. (F1) : Riego con pivote central y dosis 1 de Fertirrigacion

Nutrientes aplicados	Cantidad Aplicada Kg./ha			Fuente	Variedades
	manu al	Fertirriego	Total		
N	32	188	220	* Formula Ultramix 8-18-18-8S-4Mg	Nco 310 (Sector I)
P	72	---	72		
K	72	70	142		
Mg		8	8	** Nitrato de Amonio ; Sulfato de potasio (cristali- zado) ; Sulfatos de Fe, Mg y Zn	CP 72-2086 (sector III)
Mn		8	8		
Zn		8	8		
Fe		8	8		
Se aplicaron 25 riegos a intervalos de 7 a 10 días de 50mm de lamina, de los cuales 12 fueron con inyección de fertilizante.					

* Se aplicó en forma manual ; ** Se aplicó mediante fertirrigacion

Cuadro 4.6. (F2) : Riego con pivote central y dosis 2 de Fertirrigacion

Nutrientes aplicados	Cantidad Aplicada Kg./ha			Fuente	Variedades
	manual	Fertirriego	Total		
N	40	178	118	* Formula Ultramix 8-18-18-8S-4Mg	Nco 310 (Sector I)
P	90	---	90		
K	90	70	160		
Mg		8	8	** Nitrato de Amonio ; Sulfato de potasio (cristali- zado) ; Sulfatos de Fe, Mg y Zn	CP 72-2086 (sector III)
Mn		8	8		
Zn		8	8		
Fe		8	8		
Se aplicaron 25 riegos a intervalos de 7 a 10 días de 50mm de lamina, de los cuales 12 fueron con inyección de fertilizante.					

* Se aplicó en forma manual ; ** Se aplicó mediante fertirrigacion

4.3.4. Arreglo en Campo

El experimento se estableció de la siguiente manera:

Riego rodado y fertilización tradicional (T):

Se tomó como testigo (T) el área no cubierta por el pivote central , conformado por dos unidades; Unidad I (esquinas colindantes con los sectores I y II) y Unidad II (esquinas colindantes con los sectores III y IV).

	TRATAMIENTOS	SUPERFICIE (has)
UNIDAD 1	T , V1	5
UNIDAD 2	T , V2	11

Riego con pivote central y fertirrigacion (F1 y F2):

El área cubierta por el pivote central se dividió en cuatro sectores donde se aplicaron dos dosis de fertirrigacion para dos variedades cada uno, quedando como sigue:

	TRATAMIENTOS	ÁREA (has)
SECTOR I	F1 , V1	22
SECTOR II	F2 , V1	33
SECTOR III	F1 , V2	22
SECTOR IV	F2 , V2	33

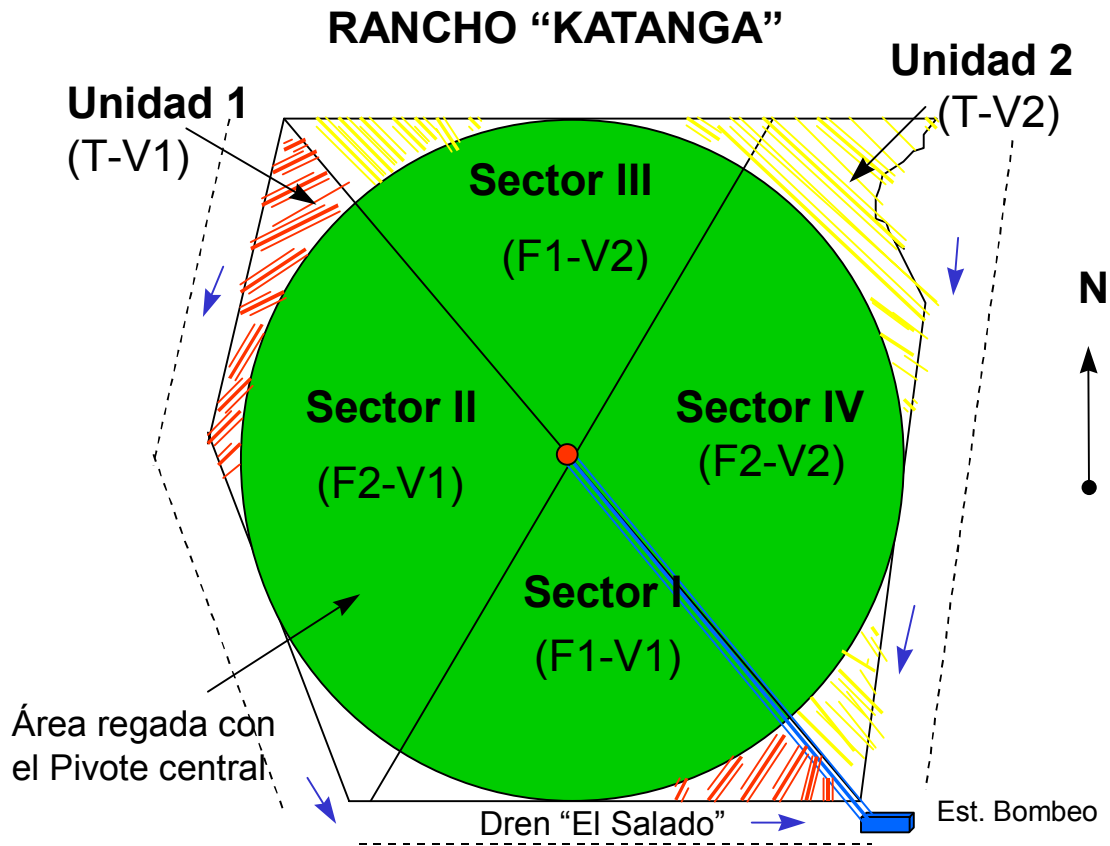


Figura 4.4. Croquis de los tratamientos establecidos en campo.

4.4. Variables Observadas de Estudio

Rendimiento comercial.

Al momento de la cosecha se registró el número de boletas (1 boleta por camión) que se obtienen por cada sector , posteriormente el Ingenio entrega una guía del peso en toneladas de cada boleta, obteniéndose así el rendimiento en ton/ha.

Muestreo poblacional

Se realizó a los nueve meses del ciclo en cuatro sitios al azar a lo largo de 10 metros lineales donde se tomaron los siguientes parámetros:

Numero de tallos por metro.- Se contó el No. de tallos molederos (con una altura máxima de 1m).

Numero de brotes por metro.- Se contó el No. de brotes, estos son los tallos no molederos

Altura del tallo.- De un tallo se separa la sección 8-10 (la punta o la parte tierna de la caña) y el resto se midió con cinta métrica.

Diámetro del tallo.- Se midió con vernier

Numero de entrenudos por tallo.- Se contó el numero de entrenudos de cada tallo, un entrenudo es la porción del tallo comprendida entre dos nudos.

peso del tallo.- Se cortaron los tallos y se pesaron.

4.5.Materiales Utilizados.

- ◆ Terreno agrícola de 138-35-47 Has.

- ◆ Semilla (esquejes o tallos de caña) en las variedades NCo 310 y CP 72-2086

- ◆ Fertilizantes:
 - Fórmula 22-11-11
 - Fórmula 8-18-18-8S-4Mg
 - Nitrato de amonio- NH_4NO_3
 - Sulfato de potasio- SO_4K_2
 - Sulfato de magnesio- SO_4Mg
 - Sulfato de Manganeso- SO_4Mn
 - Sulfato de fierro- SO_4Fe
 - Sulfato de zinc- SO_4Zn

4.6.Equipo Utilizado

- ◆ Estación de bombeo que consta de:

Subestación Eléctrica: Línea de alta tensión de 13600 volts 250 m al cárcamo; Subestación completa con apartarrayos, transformador de 100 KVA a 440-110 ;, Arrancador a tensión reducida para motor eléctrico de bomba de 60 HP; cable subterráneo blindado 792.5m. al punto pivote. Arrancador para motor trifásico 440 V para bomba hidráulica de 20 HP.

◆ Equipo de Bombeo.

Esta compuesto por una bomba centrifuga horizontal marca Cornell modelo 6RB acoplada a motor eléctrico de 60 HP, que incluye accesorios de succión y descarga.

◆ Línea de conducción de agua.

792 m de tubería de PVC 12” a 50 lbs/pulg² del cárcamo al punto pivote con los elementos necesarios de protección, así como las transiciones de entrada y salida en tubería de fierro cédula 40.

◆ Sistema de riego.

El equipo considerado fué un pivote central hidráulico marca T-L con 14 torres, altura estándar 2.91 m. con una longitud de 596.6 m. con 456 boquillas distribuidas para cada surco circular, con aspersores marca Seninger de 360 grados “super spray” con bajantes ajustables tipo telescopio, trabajando a una presión de 30 lbs/pulg² en el punto pivote. El gasto suministrado es de 113.5 lps a máxima velocidad genera una revolución en 39.5 hrs, aplicando una lamina de 10mm cubriendo una superficie de 111-44-47 has.

a). Extremo del Pivote central

b). Punto Pivote

c). Torre del pivote central

d). Aspersor

Figura 4.9. Componentes del pivote central en el Rancho “Katanga” para la prueba de validación y transferencia de tecnología.

◆ -Equipo de fertirrigacion

⇒ Inyector dúplex con motor de 1/3 de HP con 2 inyectores.

⇒ Un tanque fertilizador de 1100 galones.

⇒ Válvulas check, como punto de inyección.

- ⇒ Un motor agitador.
- ⇒ Tanques de plástico de 200 lts.
- ⇒ 3 botes de plástico de 20 lts.

◆ Preparación del terreno

- a).- subsuelo.- remover el suelo a una mayor profundidad de 30 a 80cm, para mejorar la aereación y drenaje interno del suelo
- b).- cruza de subsuelo.- consiste en un subsuelo perpendicular al primero.
- c).- rastra pesada.- Labor con rastra de discos
- d).- rastra agrícola.- Se utiliza para acabar de mullir y dejar bien preparado el terreno para surcar.
- e).- surcado.- Trazo del surco con surcadores abriendo la tierra a ambos lados para depositar la semilla (esqueje)en el fondo del surco.

◆ Fertilización de arranque

Se aplicó en forma manual en el fondo del surco antes de la siembra.

El programa de fertilización se elaboró a partir de los resultados de análisis de suelos (fertilidad) y las necesidades nutricionales del cultivo, el cual consistió en lo siguiente:

Testigo (T)

Unidad 1 y Unidad 2.- 500 kg/ha de la fórmula 22-11-11 (T)

Fertirrigación (F1 y F2)

sector I y III - se aplicaron 400 kg./ha de la formula ultramix 8-18-18-8S-4Mg (F1)

sector II y IV - se aplicaron 500kg./ha de la formula ultramix 8-18-18-8S-4Mg (F2)

- ◆ Siembra.- Consiste en colocar la semilla (caña) entera o en trozos, esta actividad se realizo en forma manual.
- ◆ Tapa de semilla.- Acción de cubrir la semilla con tierra suelta , se realizo con tiro de bestias.

- ◆ Riego de asiento.- Primera aplicación del agua al terreno recién sembrado.

Se aplicó un riego de 70 mm de lamina.

Unidad 1 y Unidad 2.- Riego rodado

Sectores I, II, III y IV - Riego con pivote central, pero no con aspersores sino con mangueras arrastrantes, regando únicamente el fondo del surco.

- ◆ Raspadilla.- Acción que permite limpiar las malezas dentro de las hileras de caña y se efectúa con azadón.
- ◆ Aplicación de herbicida.- se hizo una aplicación de 3 lt/ha de herbicida DACONATE (msma) en forma manual para maleza de hoja angosta (zacates) y para maleza de hoja ancha AGRAMINA (2-4D).
- ◆ Cultivo.- Consiste en remover la tierra tirándola a ambos lados del surco o hilo de la caña, se realizaron dos cultivos con tiro de bestias, es recomendable para evitar la compactación del suelo.
- ◆ Riegos .- Los riegos se aplicaron de la siguiente manera:

Área 1 y Área 2 (riego rodado)

7 riegos de 150 mm a intervalos de 20 a 25 días

Sectores I,II, III y IV (Área del pivote)

3 riegos de 50mm a intervalos de 7 a 10 días. Y 12 riegos con aplicación de fertilizantes mediante boba de inyección Dúplex, como se describe en los cuadros 4.7 y 4.8.

Cuadro 4.7. Aplicación de nitrato de Amonio (kg./ha.)

MES	SECTOR I		SECTOR II		SECTOR III		SECTOR IV	
	Nitrato de amonio	Unidades de N	Nitrato de amonio	Unidades de N	Nitrato de amonio	Unidades de N	Nitrato de amonio	Unidades de N
DIC	41	14	29	10	41	14	29	10
ENE	38	13	29	10	38	13	29	10
FEB	38	13	29	10	38	13	29	10
MAR	58	20	58	20	58	20	58	20
ABR	116	40	116	40	116	40	116	40
MAY	----	----	----	----	----	----	----	----
JUN	----	----	----	----	----	----	----	----
JUL	160	55	160	55	160	55	160	55
AGOS	100	33	100	33	100	33	100	33
TOTAL	551	188	521	178	551	188	521	178

Cuadro 4.8. Aplicación de sulfato de potasio cristalizado (kg./ha.)

MES	SECTOR I		SECTOR II		SECTOR III		SECTOR IV	
	Sulfato de potasio	Unidades de K	Sulfato de potasio	Unidades de K	Sulfato de potasio	Unidades de K	Sulfato de potasio	Unidades de K
DIC	20	10	20	10	20	10	20	10
ENE	20	10	20	10	20	10	20	10
FEB	20	10	20	10	20	10	20	10
MAR	20	10	20	10	20	10	20	10
ABR	----	----	----	----	----	----	----	----
MAY	----	----	----	----	----	----	----	----
JUN	----	----	----	----	----	----	----	----
JUL	----	----	----	----	----	----	----	----
AGOS	60	30	60	30	60	30	60	30
TOTAL	140	70	140	70	140	70	140	70

Para los elementos Mg, Mn, Fe y Zn se aplicaron 8 kg./ha de sulfato de Mg, Mn, Fe y Zn. Para los cuatro sectores.

- ◆ Cosecha.- Es la acción de cortar la producción de campo cruda o quemada con machete a ras del suelo , eliminando el follaje y la parte tierna o cogollo. Cuando

se verifica mecánicamente las cortadoras efectúan la cosecha cortando simultáneamente la base y la punta o parte tierna del tallo y también puede levantarla y entregarla directamente a los camiones, esta se realizó mecánicamente.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1.Rendimiento Comercial

En cuanto a los rendimientos, el mas alto se obtuvo al aplicar los factores F1*V1 con 172 ton/ha., Siguiendo un comportamiento decreciente, de la siguiente manera F2*V1 > F1*V2 > F2*V2 > T*V2 > T*V1. Como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 5.1. Rendimiento comercial de caña de azúcar en ton/ha cosechada por tratamiento.

FACTORES		RENDIMIENTO EN TON/HA			
factor 1	factor 2	Rep1	Rep2	Rep3	Promedio
T	V1	78	82	80	80
T	V2	89	92	95	92
F1	V1	180	160	176	172
F1	V2	165	160	161	162
F2	V1	162	165	168	165
F2	V2	160	154	154	156

Los resultados obtenidos en el análisis estadístico nos muestran que el factor 1 el cual se refiere a los diferentes programas de fertilización y riego utilizados (T,F1,F2) son altamente significativos, el factor 2 referente a las variedades (V1, V2) del cultivo no son significativas y en cuanto a la interacción de estos dos factores(T*V1,T*V2, F1*V1, F1*V2, F2*V1, F2*V2) se obtuvo que son altamente significativos. Como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.2. Análisis de varianza para rendimiento por factor.

FACTORES	DF	Type I SS	Mean square	valor F	pf > F	
FACTOR 1 (fert. Y riego)	2	24307.00	12153.50	476.61	0.0001	**
FACTOR 2 (variedad)	1	24.50	24.50	0.96	0.3463	NS
F1 * F2	2	463.00	231.50	9.08	0.0040	**

** = altamente significativo NS = No significativo; R-cuadrada= 0.987809

C.V. = 3.6636

FACTOR 1 (Fertilización y Riego)

Prueba T (LSD) para la variable rendimiento aplicada a los promedios por programa de fertilización, encontrando diferencia significativa entre los tres tratamientos, con diferencias muy pequeñas entre los tratamientos con fertirrigación, obteniéndose la menor producción en el tratamiento testigo (riego rodado y fertilización tradicional) y el mas alto en la fertirrigación con la dosis 1.

$\alpha = 0.05$

df=12

MSE= 25.5

valor critico de T = 2.18

Mínima diferencia significativa = 6.3523

Agrupación T	valores medios rend. (ton/ha)	No. datos	FACTOR 1 (Fert. Y riego)
A	167.00	6	F1
B	160.50	6	F2
C	86.00	6	T

Valores con la misma letra no son significativamente diferentes.

FACTOR 2 (Variedad)

Prueba T (LSD) para la variable rendimiento aplicada a los promedios obtenidos para las dos variedades del cultivo del cultivo, encontrándose que no hay diferencia significativa entre las dos variedades evaluadas.

$\alpha = 0.05$

df=12

MSE= 25.5

valor critico de T = 2.18

Mínima diferencia significativa = 5.1866

Agrupación T	valores medios rend. (ton/ha)	No. datos	FACTOR 2 (variedad)
A	139.000	9	V1 (NCo 310)
A	136.667	9	V2 (CP 72-2086)

Valores con la misma letra no son significativamente diferentes.

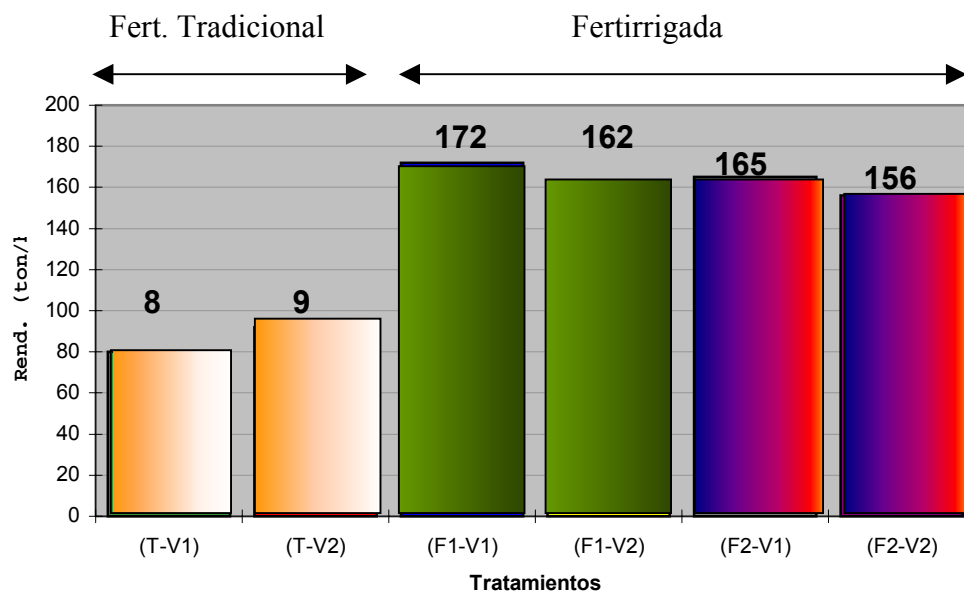


Figura 4.1. Tendencia de los rendimientos de caña de azúcar en respuesta a los diferentes tratamientos establecidos.

Después de analizar los resultados obtenidos se encontró que los factores más importantes para la obtención de un alto rendimiento en toneladas por hectárea en caña de azúcar son el uso y aplicación adecuada de los fertilizantes y el manejo del agua. En este trabajo los mas altos rendimientos se obtuvieron en los cuatro sectores del área regada por aspersión mediante un pivote central y fertirrigación, presentando variaciones entre estos de 1.82% a 4%.

El rendimiento obtenido en las áreas fertirrigadas fue un 89.5% mayor que el de las áreas regadas con riego rodado y fertilización tradicional.

5.2. Muestreo Poblacional.

A continuación se discuten e interpretan los resultados encontrados al muestrear los componentes del rendimiento en correlato con los tratamientos.

5.2.1. Numero de Brotes (tallos no molederos).

A los nueve meses después de la siembra (mitad del ciclo) se encontró un mayor numero de brotes (tipo pelillo) en la variedad (Nco 310) y la fertilización tradicional promovió mayor brotación que los de programa de fertirrigación. Sin embargo, tal parámetro no resulto consistentes durante todo el ciclo, además, se apreció un retardo en la formación de tallos y poco vigor para la planta con riego rodado y fertilización tradicional.

Los brotes o tallos no molederos tienen un muy bajo porcentaje de sacarosa y poco valor comercial.

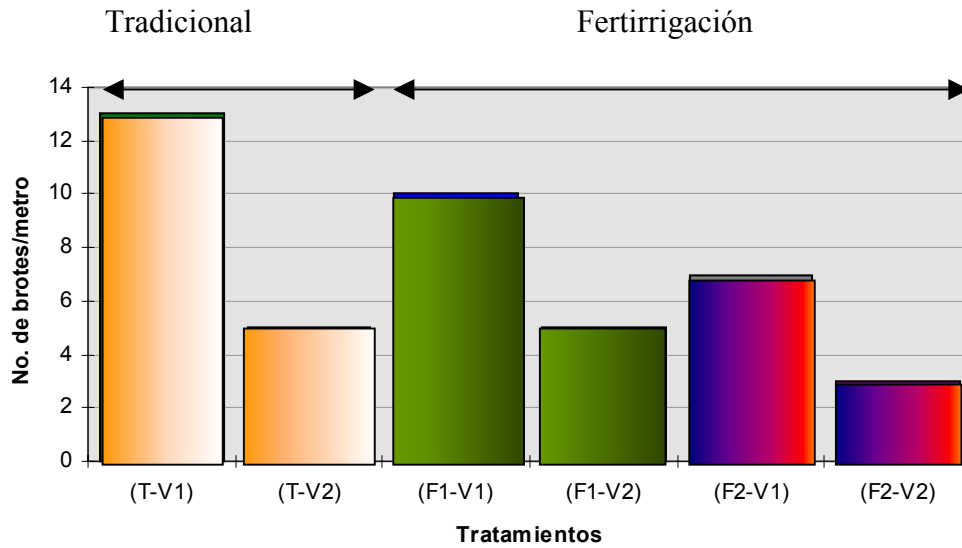


Figura 5.2. Numero de brotes en planta de caña de azúcar .

5.2.2. Numero de Tallos (molederos).

Los sectores fertirrigados dentro del área circular regada con el pivote central desarrollaron cañas con el mayor numero de tallos “molederos”, lo cual se puede apreciar en la figura 5.3.

Las cañas fertirrigadas produjeron en promedio nueve tallos molederos y 7 tallo no molederos, mientras que las cañas no fertirrigadas (fertilizadas) produjeron 3 tallos molederos y 9 tallos no molederos en nueve meses de crecimiento. La cosecha se efectuó a los 18 meses.

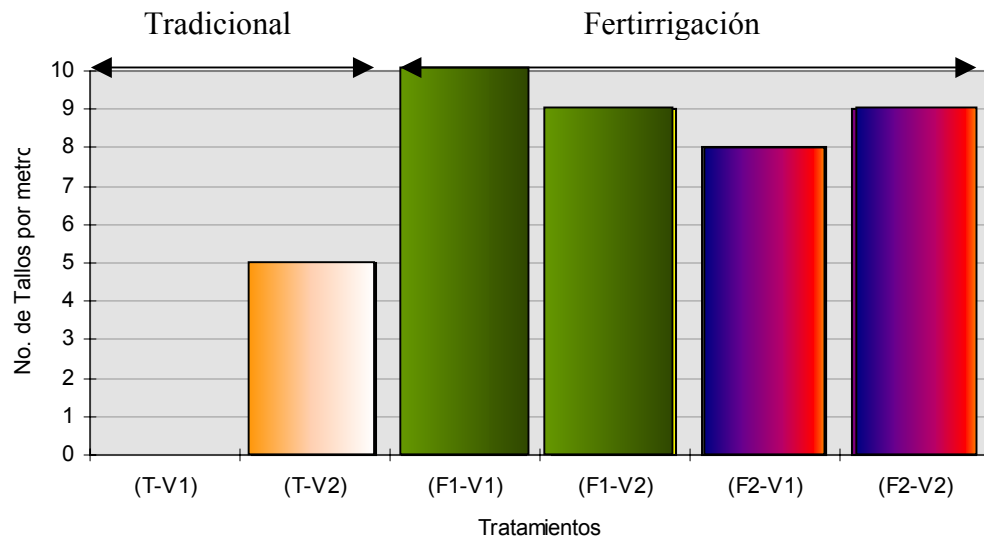


Figura 5.3. Numero de tallos molederos observados en caña de azúcar con y sin fertirrigación.

5.2.3. Altura del Tallo.

La mayor altura se obtuvo en la planta de caña fertirrigada en donde se observan alturas de 0.94 hasta 1.30 m. La fertirrigacion con formula 1 tendió a elongar más el tallo; como se muestra en la figura 5.4.

La Unidad 1 (T-V1) , riego por surcos en variedad 1 y fertilización convencional se retrasó excesivamente en su crecimiento.

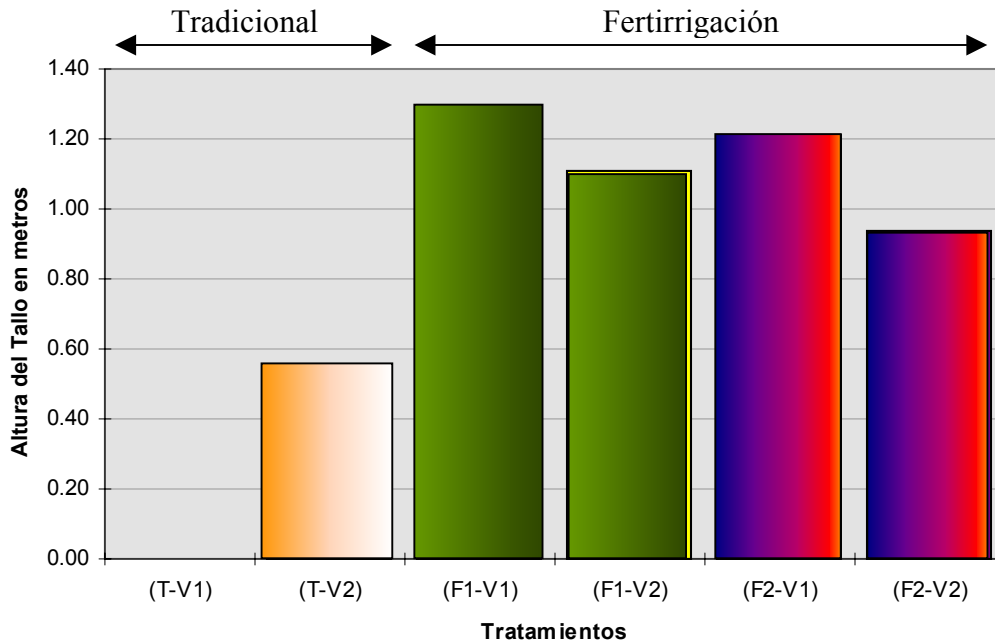


Figura 5.4. Altura del tallo en caña .

5.2.4. Diámetro del Tallo.

Este parámetro no fue afectado por el tipo de riego y fertilización, y las cañas producidas tenían un grosor en el orden de 2.5 – 3.0 cm de diámetro como se puede observar en la figura 5.5.

5.2.5. Numero de Entrenudos

La fertilización tradicional combinada con el riego superficial produjo cañas con entrenudos muy cortos y de baja altura. En algunos casos sin diferenciación de entrenudos.

La fertirrigación (formula 1) combinada con riego por aspersión con pivote central produjo cañas con mayor número de entrenudos y más largos

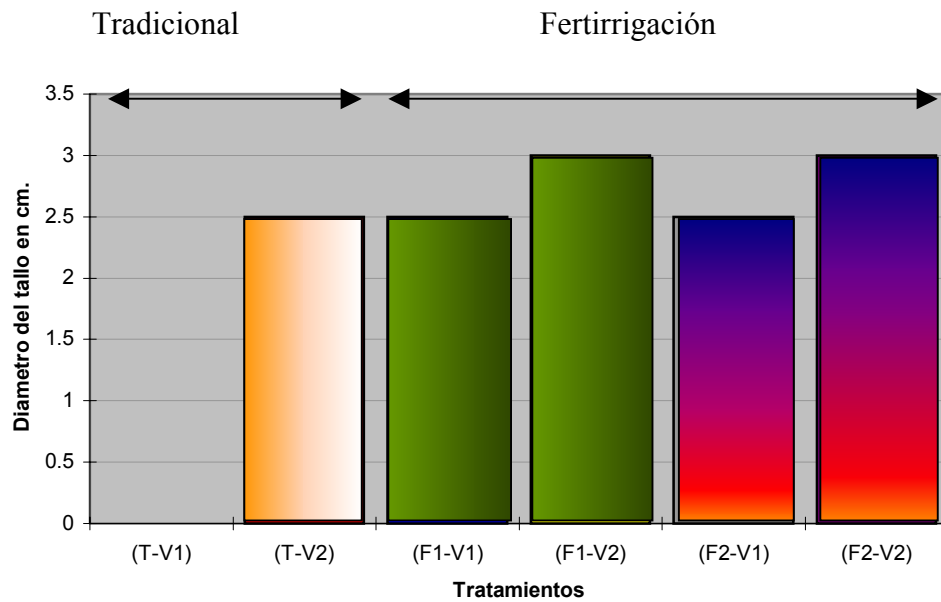


Figura 5.5. Diámetro del tallo en caña de azúcar.

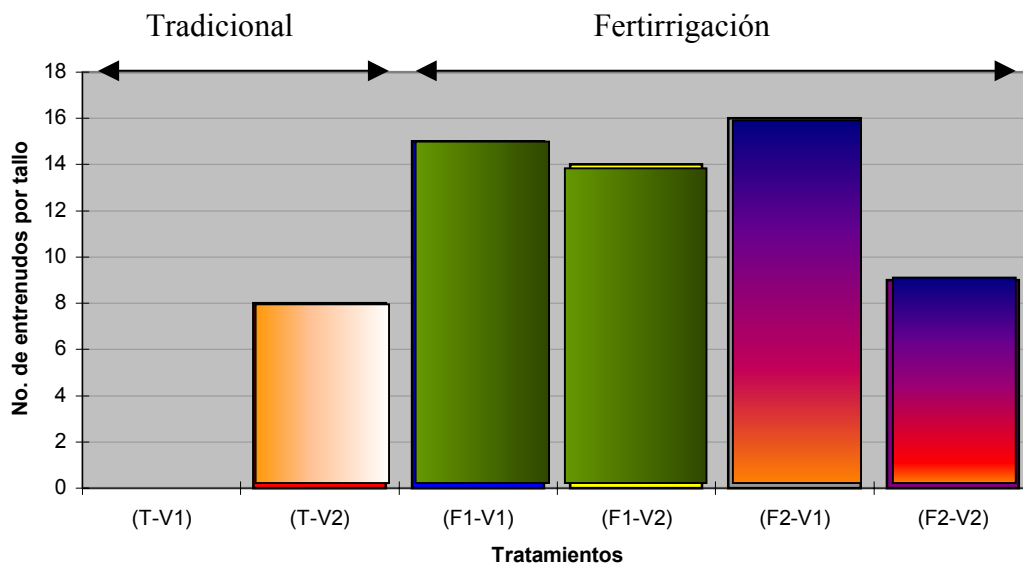


Figura 5.6. Numero de entrenudos en dos variedades de caña de azúcar fertirrigados.

5.2.6. Peso Promedio de los Tallos

Los tallos más robustos, jugoso y con aceptables concentraciones de sacarosa (11%) se cosecharon en las plantas fertirrigadas en donde los tallos pesaron de 0.587 – 0.635 kg a la mitad de su crecimiento.

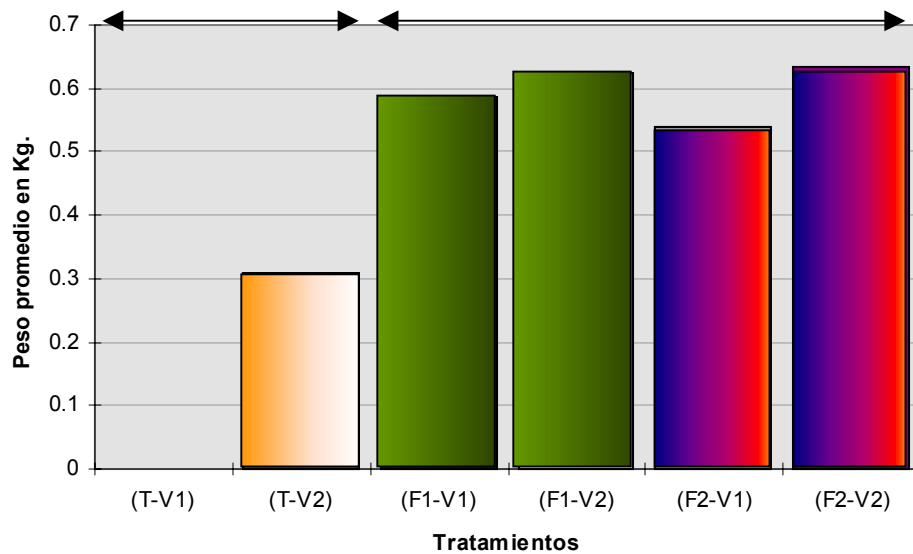


Figura 5.7. Peso promedio del tallo en caña de azúcar para los tratamientos evaluados.

Analizando en forma general los parámetros del muestreo poblaciones se observó que las diferencias entre estos no fue debido a las características propias de las variedades evaluadas, sino más bien influyó la dosificación de nutrientes.

La fórmula de fertirrigación dada por el tratamiento **(F1-V1)** fue la que obtuvo mayor rendimiento mostrando los valores más altos en los parámetros más determinantes como son: Número de tallos por metro y altura del tallo con un promedio alto en el peso del mismo.

VI. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se aplicaron tres dosis diferentes de fertilización, la tradicional (110-55-55-) aplicada en forma manual y con riego por gravedad; y dos en fertirrigación con riego por aspersión mediante un pivote central hidráulico, la primera (220-72-142) y la segunda (213-92.5-162.5), para dos variedades de caña de azúcar la Nco 310 y la CP 72-2086.

Al término de la realización de este trabajo se concluye que tanto el sistema de riego como la fertilización fueron los factores determinantes para alcanzar una mayor producción.

En los diferentes parámetros de desarrollo del cultivo, obtenidos mediante un muestreo poblacional, se presentaron valores más altos en las dos dosis de fertirrigación que en la fertilización tradicional, además de presentar una mayor uniformidad en las primeras que redundara en un mayor rendimiento.

El rendimiento promedio de 164 ton/ha fue obtenido con fertirrigación (fórmula F1) y pivote central superando en un 89% el de riego por gravedad. Sugiriendo para obtener el mayor rendimiento en caña de azúcar usar la dosis 220-72-142 con fertirrigación mediante un pivote central con una producción de 172 ton/ha.

VII. RESUMEN

Este trabajo de fertirrigación Nitrógeno (N), Potasio (K) se desarrolló en el Rancho “Katanga” localizado en el Municipio de Xicotencatl, Tamaulipas con el objetivo de validar dos dosis de fertirrigación (220-72-142 y 213-92.5-162.5) en dos variedades de caña de azúcar (Nco 310 y CP 72-2086).

La mezcla de fertilizantes se inyectó con una bomba Dúplex (de pistón) a través de sistema de riego tipo pivote central hidráulico. Las fuentes N, K de fertilizantes inyectado fueron: Nitrato de Amonio, Sulfato de Potasio y la fuente de fósforo se incorporó manualmente al suelo antes de la siembra. El área circular del pivote se dividió en cuatro sectores y un tratamiento fue validado por sector. Los parámetros de crecimiento de la caña se observaron en cada sector muestreando tres sitios por sector, donde se obtuvieron los valores mas altos y uniformes en los sectores fertirrigados con pivote central.

El rendimiento promedio de 164 ton/ha fue obtenido con fertirrigacion y pivote central superando en un 89% el de riego por gravedad. Sugiriendo para obtener un mayor rendimiento en caña de azúcar usar la dosis 220-72-142 con fertirrigacion mediante un pivote central para la cual se obtuvo una producción de 172 ton/ha.

VIII. BIBLIOGRAFIA

George, P. M. 1967. Manual de caña de azúcar. Montaner y Simon S..A. Barcelona.

Alonso, G. E. 1973. Manual de campo en caña de azúcar. Comisión de la Industria Azucarera. México.

Humbert, P. R. 1974 El cultivo de la caña de azúcar. Compañía Editorial Continental S.A. México.

González, R. P. 1966. Estudio sobre las variedades en caña de azúcar en Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico.

Limon M. H. 1997. Eficiencia de aplicación de fertilizantes a través de riego por goteo en el cultivo de manzana. Tesis de licenciatura UAAAN Saltillo, Coah, México.

Coello, C. C. A. 1997. Inyección de químicos y fertilizantes en los sistemas de riego presurizados. Tesis de licenciatura UAAAN Saltillo, Coah. México.

Martínez, N. F. 1997. Manejo y operación de los sistemas de riego por superficie, aspersión y goteo. Tesis de licenciatura UAAAN Saltillo, Coah. México.

Briones, S.G., García C.I. 1986. Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión y goteo. UAAAN. Saltillo, Coah. México.

Witkowski, J. F., D.R. Hay, T.W. Dorn and Gold R.E. 1987. Applying Insecticides Through Center pivots. Nebguide. University of Nebraska Lincoln, Neb.

Anónimo. 1985. Uniformity on corner system allows through-system chemical use, Irrigation Age.

Einsenhauer, D. E. 1994 Chemigation, Another Use for Your Irrigation System., Journal Irrigation.

Myckey, M. and Mary Seymor. 1995. Application of fertiizers pivot spinner systems, Irrigation Journal.

Ratledge G. 1988. Fertigation and Chemigation. Pumps Make it all Possible. Irrigation Journal.

Burt C.M. Fertigation the next and frontier. Irrigation business e technology.

Jiménez, M. 1991 Fertilización localizada 3er. Congreso. El Agua y los Fertilizantes. Región de Murcia Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Bundy, L.G. 1993 Conveniente y problemática. UREA. Agricultura de las Américas. E.U.A.

Sánchez, N. F. 1972. Materia Prim. Caña de Azúcar. México.

INIFAP, 1999. Memorias de seminarios técnicos de ferti-irrigacion. Centro de Investigación Regional del Noreste, Campo Experimental del Sur de Tamaulipas.

Flores, C. S. 1997. Las enfermedades de la caña de azúcar en México. México.

FIRA, 1997. Situación del Sector Azucarero en México. Morelia Mich.

Sánchez F. M. 1997 Desarrollo de la Producción de Caña y Azúcar en la República Mexicana. Colegio de Posgraduados..

Burgeño C.H.J. 1994 la fertirrigacion en cultivos hortícolas con acolchado plástico. Culiacán Sinaloa., México.

Ayres A.S. 1930. Cane growth studies at Waipio substation. Experiment E. Hawaiian Planters record.

Domínguez V.A. 1997. Tratado de fertilización. 3^a.edicion, Ediciones Mundi-Prensa, México.

APENDICE

A1. Resultados de Análisis Foliare, Previo a las Aplicaciones de Fertirrigación

ELEMENTO	SUFICIENCIA CAÑA DE AZUCAR	S E C C I O N			
		I	II	III	IV
N%	2.00 - 2.60	1.40	1.32	1.31	1.42
P%	0.18 - 0.30	0.16	0.16	0.17	0.17
K%	1.10 - 1.8	1.20	1.30	1.23	1.39
MG%	0.10 - 0.35	0.60	0.06	0.07	0.08
Fe ppm	40 - 250	156	132	94	124
Cu ppm	5 - 15	1.7	1.5	2.8	3.4
Mn ppm	25 - 400	40	39	21	20
Zn ppm	20 - 100	10	6	6	5

A2. Tabla de Aplicación de Agua Mediante un Pivote Central Hidráulico

LAMINA mm	ROTACION HRS.	VEL. ULTIMA TORRE CM/MIN
10.16	39.5	212.50
12.7	36.9	170.18
15.24	44.20	141.73
17.78	51.60	111.41
20.38	59.00	106.42
22.86	66.40	99.48
25.4	73.70	85.09
27.94	81.10	77.21
30.48	88.50	70.86
33.02	95.90	65.53
35.56	103.20	60.70
38.10	110.60	56.64
40.64	118.00	53.08
43.18	125.40	50.03
45.78	132.70	47.24
48.26	140.10	44.70
50.80	147.50	42.41
53.34	159.80	40.38
55.88	162.20	38.60
58.42	169.60	37.08
60.96	177.00	35.56
63.50	184.30	34.03
66.04	191.70	32.76
68.58	199.10	31.49

71.12	206.50	30.48
73.66	213.80	29.21
76.20	221.20	28.44

A3. Gasto de la Bomba Inyectora Usada (Dúplex modelo HV1-82) de Acuerdo a su Graduación

Graduación	Gasto (lt/min)
2	0.52
4	1.05
6	1.58
8	2.11
10	2.64

A3. Resultados del muestreo poblacional

A3.1. No. de Brotes

FACTORES		No. de brotes por metro
FACTOR 1	FACTOR 2	
T	V1	13
T	V2	5
F1	V1	10
F1	V2	5
F2	V1	7
F2	V2	3

T= Riego rodado y fertilización tradicional

V1=Nco 310

F1= Fertirrigación con pivote central (Dosis 1)

V2=CP 72-2086

F2= Fertirrigación con pivote central (Dosis 2)

A3.2. No. de Tallos

FACTORES		No. de tallos por metro
FACTOR 1	FACTOR 2	
T	V1	no tiene el tallo formado
T	V2	5
F1	V1	10
F1	V2	9
F2	V1	8
F2	V2	9

T= Riego rodado y fertilización tradicional V1=Nco 310
 F1= Fertirrigacion con pivote central (Dosis 1) V2=CP 72-2086
 F2= Fertirrigación con pivote central (Dosis 2)

A3.3. Altura del Tallo

FACTORES		Altura del tallo en metros
FACTOR 1	FACTOR 2	
T	V1	no tiene el tallo formado
T	V2	0.55
F1	V1	1.30
F1	V2	1.11
F2	V1	1.21
F2	V2	0.94

T= Riego rodado y fertilización tradicional V1=Nco 310
 F1= Fertirrigacion con pivote central (Dosis 1) V2=CP 72-2086
 F2= Fertirrigación con pivote central (Dosis 2)

A3.4. Diámetro del Tallo

FACTORES		Diámetro del tallo en cm.
FACTOR 1	FACTOR 2	
T	V1	no tiene el tallo formado
T	V2	2.5
F1	V1	2.5
F1	V2	3.0
F2	V1	2.5
F2	V2	3.0

T=Riego rodado y fertilización tradicional V1=Nco 310
 F1= Fertirrigacion con pivote central (Dosis 1) V2=CP 72-2086
 F2= Fertirrigación con pivote central (Dosis 2)

A3.5. No. de Entrenudos por Tallo

FACTORES		No. de entrenudos por tallo
FACTOR 1	FACTOR 2	
T	V1	no tiene el tallo formado
T	V2	8*
F1	V1	15
F1	V2	14
F2	V1	16
F2	V2	9

* entrenudos muy cortos

T=Riego rodado y fertilización tradicional

V1=Nco 310

F1= Fertirrigación con pivote central (Dosis 1)

V2=CP 72-2086

F2= Fertirrigación con pivote central (Dosis 2)

A3.6. Peso Promedio del Tallo

FACTORES		Peso promedio del tallo en kg.
FACTOR 1	FACTOR 2	
T	V1	no tiene el tallo formado
T	V2	0.310
F1	V1	0.587
F1	V2	0.625
F2	V1	0.540
F2	V2	0.635

T=Riego rodado y fertilización tradicional

V1=Nco 310

F1= Fertirrigación con pivote central (Dosis 1)

V2=CP 72-2086

F2= Fertirrigación con pivote central (Dosis 2)

A4.- Ejemplo de Calibración del Equipo de Inyección, Para la Primera Aplicación de Nitrógeno del Sector I en el Mes de Diciembre.

Datos:

Superficie: 22 has.

Perímetro del sector: 743 m

Lamina de riego por aplicar: 50mm

Necesidad Nutricional: 14 kg/ha de N.

Fuente: Nitrato de Amonio (33.5% N)

Solubilidad de la fuente: 0.5 kg/lt

Gasto de la bomba: 113 lps (0.113m³/seg)

Gasto de la bomba inyectora: 0.52 a 2.64 lpm

a).- Cantidad de Fertilizante (Nitrato de amonio) Para Satisfacer la Necesidad.

33.5 kg de N ----- 100kg de Nitrato de amonio

14.0 kg de N ----- **X**

X= 41 kg de Nitrato de amonio

b).- Volumen de Agua para Aplicar 50mm de Lamina en 22 has.

Fórmula $\text{Vol} = \text{Lamina (m)} * \text{Area (m}^2\text{)}$

$\text{Vol} = (0.5\text{m}) * (220,000 \text{ m}^2)$

Vol= 11,000 m³

c). Tiempo de Viaje del Pivote Central para Aplicar una Lamina de 50mm

Es igual al tiempo que requiere la bomba para aplicar el volumen de agua calculado.

Q = Vol / Tiempo

Despejando:

$\text{Tiempo} = \text{Vol} / \text{Q}$

Sustituyendo datos:

$\text{Tiempo} = 11,000\text{m}^3 / 0.113 \text{ m}^3/\text{seg}$

Tiempo (T)= 97,345.13 seg = 1,622.4 min

d). Velocidad de viaje del pivote central

D = 743 m (perímetro del sector I)

T = 1,622.4 min

Fórmula **V= D/T**

Sustituyendo datos:

$V=743\text{m} / 1,622.4 \text{ min}$

$$V = 0.45 \text{ m/min}$$

e). Calculo de la cantidad de agua necesaria para hacer la solución de fertilizante.

$$\text{Solubilidad} \quad 0.5 \text{ kg} \text{ ----- } 1 \text{ lt}$$

$$902.0 \text{ kg} \text{ ----- } X$$

$$X = 1,804 \text{ lt}$$

f). Calculo del gasto requerido por la Bomba Inyectora

$$\text{Vol} = 1,804 \text{ lt}$$

$$T = 1,622.4 \text{ min}$$

$$\text{Formula: } Q = V / T$$

Sustituyendo datos:

$$Q = 1,804 \text{ lt} / 1622.4 \text{ min}$$

$$Q = 1.11 \text{ lt/min}$$

g). Calibración de la Bomba Inyectora

Graduación

Gasto

$$4 \text{ ----- } 1.05 \text{ lts/min} \rightarrow \text{ (Cuadro A3 del apéndice)}$$

$$X \text{ ----- } 1.11 \text{ lt/min}$$

$$X = 4.22$$