

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIZACIÓN APLICADA EN EL CULTIVO DE
CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*).**

POR:

ERIK BENGT QUEZADA ROSA

DIAGNÓSTICO



CATACAMAS

OLANCHO

DICIEMBRE, 2013

**DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIZACIÓN APLICADA EN EL CULTIVO DE
CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*).**

POR:

ERIK BENGT QUEZADA ROSA

ESMELYM OBED PADILLA AVILA M. Sc.

Asesor Principal

**DIAGNOSTICO PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
AGRICULTURA COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

CATACAMAS

OLANCHO

DICIEMBRE, 2013

DEDICATORIA

A MI DIOS TODO PODEROSO

A MI MADRE SONIA MARGARITA ROSA MEDINA

A MI PADRE RODOLFO QUEZADA BENGTON

A MIS HERMANAS Y HERMANOS

IRMA CELINA QUEZADA

EDNA MARGARITA QUEZADA

SONIA MARIA QUEZADA

JOSE RODOLFO QUEZADA

DIEGO ROLANDO QUEZADA ROSA

A MI ESPOSA AMADA GRICELDA IZAGUIRRE FONSECA

A MI HIJA

VALENTINA QUEZADA IZAGUIRRE

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente **A DIOS TODO PODEROSO:** ya que sin él jamás pudiera haber encontrado la sabiduría y éxito necesario para culminación de mis estudios.

A MIS PADRES, por darme la vida y poner en todo momento su esfuerzo por mantenerme en el camino correcto, por darme la mejor herencia que un hijo puede recibir: la oportunidad de estudiar y prepararse para la vida. **A MIS HERMANOS (AS),** por brindarme su apoyo en todo momento.

A MI FAMILIA EN GENERAL: por apoyarme siempre y en todo momento, en especial a la persona que ha sido mi fuerza de superación mi abuelo Rodolfo Quezada (Q.D.D.G).

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA, por haberme formado y permitido culminar mis estudios universitarios.

A MIS COMPAÑEROS DE LA CLASE DE KAYROS 2013, por todos los momentos de alegría y de tristeza que compartimos juntos.

A MIS ASESORES M. Sc. ESMELYM PADILLA, Ph. D. SANTIAGO MARADIAGA, M. Sc. NORMAN LEONEL MERCADAL, M. Sc MOISES CASTELLANOS, por brindarme su apoyo desinteresado en el desarrollo de mi práctica profesional. Y a todos aquellos que de una forma y otra me apoyaron para alcanzar esta gran meta. Con todo mi cariño y agradecimientos:

ERIK BENGT QUEZADA ROSA

CONTENIDO

	pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE ANEXOS	x
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	2
2.1 General.....	2
2.2 Específicos	2
III REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1 Generalidades de la caña de azúcar	3
3.2 Botánica de la caña de azúcar.	4
3.2.1 Sistema radicular.....	4
3.2.2 El tallo	4
3.2.3 La hoja.....	4
3.2.4 La inflorescencia	5
3.3 Nutrición del suelo.....	5
3.4 Fertiliriego en el cultivo de caña de azúcar	6
3.5 Absorción de nutrientes	7
3.5.1 Funciones de los macro nutrientes	7
3.5.2 Síntomas de deficiencia de macro nutrientes	8
3.5.3 Función de los micronutrientes	9
3.5.4 Síntomas operadora de deficiencia de micronutrientes.....	10
3.6 Fertilizantes.....	11
3.7 Importancia del uso de fertilizantes	11

3.8 Principales propiedades de los fertilizantes solubles	12
3.9 Manejo de las soluciones nutritivas en fertirriego.	13
3.9.1 Aspectos básicos de las soluciones nutritivas (conductividad y pH).....	13
3.10 Capacidad de intercambio catiónico	15
3.11 Salinidad de los suelos	15
3.12 Efectos de la salinidad en el suelo y las plantas.....	16
3.12.1 Relaciones hídricas	17
3.12.2 Balance energético	17
3.12.3 Manejo de aguas salinas.....	18
3.13 Nutrición en caña de azúcar uso de análisis foliar	18
3.13.1 Interpretación de los análisis foliares.....	19
3.13.2 Procedimiento de muestreo de hojas de caña para análisis foliar.	19
IV METODOLOGIA	21
4.1 Localización del ensayo	21
4.2 Materiales y equipo.....	21
4.3 Manejo del Ensayo.....	21
4.3.1 Descripción del área de estudio	21
4.3.2 Sistema de bombeo	22
4.3.3 Riego	22
4.3.4 Fertilizantes.....	23
4.4 Muestreo de suelos.....	23
4.4.1 Análisis de suelo	23
4.5 Muestreo de agua	24
4.6 Muestreo de la solución nutritiva.....	24
4.6.1 Variable para la medición de conductividad eléctrica (CE)	25
4.6.2 Variable para la medición de pH de la solución nutritiva.....	25
4.8 Variables agronómicas evaluadas en la planta	26
4.8.1 Tallo por metro lineal.....	26
4.8.2 Número de hojas verdes.....	27
4.8.3 Número de hojas secas.....	27
4.8.4 Longitud de entrenudos.....	27

4.8.5 Número de nudos	27
4.8.6 Altura	27
4.8.7 Diámetro de tallo.....	28
4.8.8 Biomasa.....	28
4.9 Uso de hojas de toma de datos	28
V RESULTADOS Y DISCUSION	29
5.1 Suelo y aporte de nutrientes.....	30
5.2 Análisis de agua	32
5.3 Aplicación de fertilizantes	33
5.4 Relación de crecimiento del cultivo de caña de azúcar con la aplicación de nutrientes	40
5.5 Muestreo de la solución nutritiva.....	40
5.6 Variable para la medición de conductividad eléctrica	41
5.7 Variable para la medición de pH del suelo y agua.....	43
5.8 Comportamiento del cultivo	45
5.8.1 Análisis foliar	45
5.8.2 Contenido de Nitrógeno en el análisis foliar.....	45
5.8.3 Contenido de fosforo en el análisis foliar	46
5.8.4 Contenido de potasio en el análisis foliar	47
5.8.5 Contenido de calcio en el análisis foliar.	48
5.8.6 Contenido de magnesio en el análisis foliar.....	49
5.8.7 Contenido de cobre, manganeso, hierro, zinc y boro en el análisis foliar.	50
5.9 Variables agronómicas evaluadas.	51
5.9.1 Tallos por metro lineal	51
5.9.2 Número de hojas verdes.....	52
5.9.3 Número de hojas secas.....	52
5.9.4 Longitud de entrenudo	53
5.9.5 Numero de nudos	54
5.9.6 Altura	54
5.9.7 Diámetro del tallo.....	55
5.9.8 Biomasa.....	56
5.10 Análisis económico.....	56

VI CONCLUSIONES.....	21
VII RECOMENDACIONES	21
VIII BIBLIOGRAFIA.....	60
ANEXOS	63

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Datos obtenidos en las calicatas realizadas en los lotes bajo muestreo, finca La Legua.	30
Cuadro 2. Tipos de suelo de acuerdo a los pH obtenidos	31
Cuadro 3. Características principales de las diferentes clases de agua para el riego según normas Riverside.	33
Cuadro 4. Extracción de macronutrientes del suelo que realiza el cultivo de caña de azúcar para una elevada producción (Romero <i>et al.</i> 2009).....	34
Cuadro 5. Nutrientes disponibles en el suelo en los diferentes lotes, finca La Legua, Compañía Azucarera Tres Valles.	34
Cuadro 6. Demanda de fertilizantes según curva de crecimiento del cultivo en sus diferentes fases de desarrollo.	35
Cuadro 7. Descripción de los fertilizantes utilizados durante el ensayo en (Kg/ha).....	36
Cuadro 8. Fertilizantes usados en el primer fertirriego (Kg/Ha) que se realizó en la finca La Legua.	37
Cuadro 9. Fertilizantes usados en la tercera fertilización (Kg/ha) que se realizó en finca La Legua.	38
Cuadro 10. Fertilizantes usados en la quinta fertilización (Kg/ha) que se realizó en finca La Legua.	38
Cuadro 11. Fertilizantes usados en la octava fertilización (Kg/ha) que se realizó en finca La Legua.	39
Cuadro 12. Tallos por metro lineal tomadas en los lotes 11,14, 8 y 2, Finca La Legua.	51
Cuadro 13. Total de fertilizantes usados en las diferentes fertilizaciones y el precio de cada uno de ellos.	57
Cuadro 14. Estimado en la producción y total de producción en Finca La Legua compañía azucarera tres valles, Cantarranas, Honduras 2013.	57
Cuadro 15. Utilidad esperada de los gastos de fertilizantes menos total de producción.....	57

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Curvas de crecimiento y demanda de fertilizantes por el cultivo de caña de azúcar en diferentes fases de desarrollo.	35
Figura 2. Relación de crecimiento (Cm) del cultivo de la caña de azúcar en, con la cantidad de fertilizantes (Kg/ha) aplicados en las diferentes fertilizaciones.....	40
Figura 3. Porcentaje de conductividad eléctrica en el agua y el suelo en los diferentes fertirriegos aplicados.....	43
Figura 4. Promedio de pH en el agua y el suelo en los diferentes fertirriegos aplicados por la empresa.....	44
Figura 5. Porcentaje de absorción del nitrógeno en los diferentes lotes.	46
Figura 6. Porcentaje de la absorción del fosforo en los diferentes lotes.	47
Figura 7. Porcentaje de la absorción de potasio en los diferentes lotes.	48
Figura 8. Porcentaje de la absorción de calcio en los diferentes lotes.	49
Figura 9. Porcentaje de la absorción del magnesio en los diferentes lotes.....	50
Figura 10. Comportamiento de la absorción del Cobre, manganeso, Hierro, Zinc y boro en los diferentes lotes.	50
Figura 11. Número de tallos por metro lineal de caña de azúcar en las diferentes mediciones realizadas.	51
Figura 12. Promedio de hojas verdes en el cultivo de caña de azúcar en los Lotes 14, 11, 8 y 2, Finca La Legua.	52
Figura 13. Promedio de hojas secas en el cultivo de caña de azúcar en los Lotes 11,14, 8 y 2 de la Finca La Legua.	53
Figura 14. Promedio de longitud de entrenudos de caña de azúcar en los Lotes 11, 14, 8 y 2, Finca La Legua	53
Figura 15. Promedio de nudos en el cultivo de caña de azúcar en los diferentes lotes bajo estudio.....	54
Figura 16. Altura en el cultivo de caña de azúcar en los Lotes productivos de la Finca La Legua.	55
Figura 17. Promedio de los diámetro de los tallos de caña de azúcar de los lotes productivos de la Finca La Legua.....	55
Figura 18. Cantidad de biomasa (Kg) en los diferentes lotes bajo estudio.	56

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Análisis de suelo realizado en finca la legua, compañía azucarera tres valles.	63
Anexo 2. Análisis de agua del rio Choluteca compañía azucarera tres valles.	64
Anexo 3. Cantidad de fertilizantes que llegaron a los recipientes en los diferentes fertirriegos	65
Anexo 4. Análisis de pH, CE y sales totales en la solución nutritiva.	66
Anexo 5. Análisis de problemas con el contenido de sales presentes en la solución nutritiva finca la legua.....	67
Anexo 6. ANAVA para los valores de conductividad eléctrica en el agua y en el suelo.	68
Anexo 7. ANAVA para los valores de pH en el suelo y en el agua.....	68
Anexo 8. Análisis foliar realizado en el cultivo de caña de azúcar finca la legua compañía azucarera tres valles.....	69

Quezada Rosa, EB. 2013. Diagnóstico de la fertilización aplicada en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Honduras. C.A. Pág. 81.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en una de las fincas de la Compañía Azucarera Tres Valles, ubicada en la aldea Monte León (La Legua-caña soca) perteneciente al municipio de la Villa de San Francisco, departamento de Francisco Morazán. El estudio consistió en la aplicación de fertilizantes a través del sistema de riego por goteo en la caña de azúcar *Saccharum officinarum*. El desarrollo del diagnóstico se hizo la aplicación de fertilizantes solubles en varios lotes de la finca (2, 8, 11, 14), haciendo aplicaciones semanales de Nitrógeno (38.92 kg/ha), Fosforo (6 kg/ha), Potasio (38.92 kg/ha), por medio del fertiriego haciendo un total de 8 fertilizaciones. Para la toma de datos de fertilizantes, conductividad eléctrica (CE), pH del suelo y agua, análisis de suelo, agua y características agronómicas del cultivo, se utilizaron herramientas como el conductímetro, potenciómetro y formatos donde se registraban las dosis de fertilizantes aplicados al cultivo, para determinar las características físicas y químicas del mismo. Para el caso de la CE y pH, fue necesario la colocación de recipientes en las laterales en diferentes puntos (principio-medio-final), para la recolección de las muestras de solución nutritiva y en ella tomar lectura de los parámetros, a los 4 meses de edad del cultivo se realizó un análisis foliar para la determinación de la absorción de nutrientes por parte del cultivo en respuesta a la aplicación de los fertilizantes, las muestras se analizaron a través de laboratorio. Las variables evaluadas fueron: pH y conductividad eléctrica en el aspecto físico-químico y en las variables de las plantas como altura, número de hojas verdes y secas, biomasa, número de nudos, diámetro de entrenudos. Según los resultados obtenidos de suelo a nivel de laboratorio mostraron cantidades bajas de nutrientes y minerales. Para suplir estas necesidades se hicieron aplicaciones elevadas de Nitrógeno (447.50 kg/ha), Fósforo (28.20 kg/ha), Potasio (311.39 kg/ha), las lecturas de la conductividad eléctrica en el agua se encontraron en un rango considerado 4.4 ds/m, en el suelo se encontró de 0.8 ds/m siendo un nivel demasiado bajo ya que los rangos normales son de 5.8 a 6.2 y se identifica que en el pH bajo hay pérdidas de lixiviación de los fertilizantes lo cual no permite la adsorción de nutrientes por parte de la planta y se ve reflejado en el análisis foliar que se realizó en el cultivo, donde no se absorbe la cantidad adecuada de Nitrógeno (1.78%), Fósforo (0.17), Potasio (0.76%) siendo rangos demasiado bajos en comparación a los rangos normales en el cultivo de la caña. Se concluyó que las aplicaciones realizadas no están satisfaciendo las necesidades del cultivo.

Palabras claves: Nutrientes, rangos, lixiviación, conductividad eléctrica, rendimiento.

I INTRODUCCIÓN

El total de producción de caña de azúcar en América Central es de 395 mil hectáreas, teniendo un rendimiento promedio de 84 ton/ha de caña. En Honduras la elaboración de azúcar representa el 12.6 % del valor total de las exportaciones de la industria alimentaria nacional. Ocupando un total de área en producción de 47,924 hectáreas y produce 4 millones 117 mil TM de azúcar (FAOSTAT, 2002).

La fertirrigación es un eficiente y moderno sistema de fertilización, el cual se puede emplear para optimizar el aprovechamiento de agua y nutrimentos en el cultivo de la caña de azúcar. Existen investigadores especialistas en fertirriego que corroboran las ventajas mencionadas, afirman que es una revolucionaria técnica de cultivo que permite no solo aplicar localizadamente el riego sino que también se pueden adicionar distintos agroquímicos (Moya, 1994).

Como parte de las labores de manejo agronómico de la Caña de Azúcar, se realiza la aplicación de fertilizantes soluble, para aumentar los rendimientos de las cosechas incrementado así un mayor uso del suelo. Los fertilizantes, utilizados de forma racional, contribuyen a reducir la erosión, acelerando la cubierta vegetal del suelo y protegiéndolo de los agentes climáticos (Subirós, 2000).

La Compañía Azucarera Tres Valles (CATV) consideró importante un estudio sobre un diagnóstico de las fertilizaciones aplicadas, a través de su sistema de riego por goteo (fertirriego) en el cultivo de la caña de azúcar, encontrándose que los niveles de sales en el suelo están afectando negativamente la capacidad de absorción de nutrientes por parte del cultivo

II OBJETIVOS

2.1 General

- ✓ Analizar la fertilización aplicada en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en la Compañía Azucarera Tres Valles.

2.2 Específicos

- ✓ Medir la incidencia de las fertilizaciones sobre los valores de pH y conductividad eléctrica en los suelos de las fincas de la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV).
- ✓ Identificar la uniformidad de la fertilización a través del sistema actual de fertirriego.
- ✓ Realizar un análisis económico de las aplicaciones de fertilizantes en caña de azúcar para ver la rentabilidad en el uso de los insumos.

III REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Generalidades de la caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) de la familia de las gramíneas es una especie originaria de Nueva Guinea. Es conocida como la caña “noble”, se caracteriza por su alto contenido de sacarosa, tallos gruesos y pesados y con bajos contenidos de fibra. Se presume que esta especie es el resultado de la domesticación de tipos silvestres de *S. robustum* (Subiros, 2000).

El crecimiento de la caña de azúcar es influenciada por la temperatura, el rango óptimo del cultivo se ubica entre los 27°C y 33°C. A 20°C el crecimiento disminuye notoriamente, y si disminuye más, el crecimiento prácticamente se paraliza. Cuando es mayor a los 35°C, disminuye la tasa fotosintética, lo que ocasiona una reducción en la acumulación de materia seca. El límite de altura es de aproximadamente 700 m en el trópico y se eleva hasta más de 1,000 m en el ecuador (Fauconnier y Basseereau 1975).

Requiere un suelo profundo, un pH de 6 a 7.5, una textura fina a media, el nivel freático debe de estar a una profundidad entre 1.2 a 1.5 m, pero tolera periodos cortos de anegamiento (Alexander 1985). La caña se propaga mediante la plantación de trozos de caña, de cada nudo sale una planta nueva idéntica a la original; una vez plantada la planta crece y acumula azúcar en su tallo, el cual se corta cuando está maduro. La planta retoña varias veces y puede seguir siendo cosechada. Estos cortes sucesivos se llaman "zafras". La planta se deteriora con el tiempo y por el uso de la maquinaria que pisa las raíces, así que se debe replantar cada siete a diez años, aunque existen cañaverales de 25 o más años de edad. (Forzza, 2010).

3.2 Botánica de la caña de azúcar.

3.2.1 Sistema radicular

Es de tipo fibroso, conocido en la industria azucarera latinoamericana como cepa, se extiende hasta 80 cm de profundidad cuando los suelos son profundos, el 80% de la misma se encuentra regularmente en los primeros 35 cm del suelo. La raíz es una parte esencial de la planta ya que permite la absorción de nutrimentos y agua, además del anclaje de la planta, especialmente necesario en plantaciones cosechadas mecánicamente, ya que la cosechadora remueve las raíces cuando estas son muy superficiales y cuando están asociadas con suelos arenosos (Romero, 2009).

3.2.2 El tallo

La parte esencial para la producción de azúcar lo constituye el tallo dividido en nudos y entrenudos, el largo de los entrenudos puede variar según variedades y desarrollo de la planta, está compuesta por una parte sólida llamada fibra y una parte líquida, el jugo, que contiene agua y sacarosa. En ambas partes también se encuentran otras sustancias en cantidades muy pequeñas (Romero, 2009).

3.2.3 La hoja

Es en forma de vaina, su función principal es proteger a la yema, nace en los entrenudos del tallo. A medida que la caña se desarrolla, las hojas bajas se vuelven senescentes, se caen y son reemplazadas por las que aparecen en los nudos superiores. También nacen en los nudos las yemas que bajo ciertas condiciones especiales pueden dar lugar al nacimiento de una nueva planta (Subiros, 2000).

3.2.4 La inflorescencia

La inflorescencia es una panícula de forma y tamaño variables, características de cada cultivar o variedad usada, las flores son hermafroditas completas. La manipulación sexual por semillas se utiliza solamente en programas de mejoramiento, para la obtención de híbridos más productivos, resistentes a ciertas plagas y enfermedades o adaptables a una región específica (Romero, 2009).

3.3 Nutrición del suelo

El desarrollo de los procesos físicos, químicos y biológicos en el suelo conducen a la acumulación de sustancias nutritivas necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas, tales como: nitratos, amonio, fósforo, potasio, calcio, entre otros (en forma soluble y asimilable). Si los elementos nutricionales liberados no son retenidos o adsorbidos por las partículas y coloides del suelo, entonces pueden ser lavados por las aguas atmosféricas y perdidos por lixiviación (Cepeda, 2002).

La solución del suelo es una fuente de la cual las plantas pueden obtener cierta cantidad de cada elemento presente en el suelo; del mismo modo, el agua de percolación transporta algo de cada elemento, pero nunca en la misma cantidad ni en la misma proporción. Los materiales más meteorizables y solubles tienden a ser evacuados del suelo con mayor rapidez especialmente del horizonte A -, por el contrario los más resistentes permanecen en el perfil (Cepeda, 2002).

El suelo es un sistema abierto, dinámico, constituido por tres fases. La fase sólida está formada por componentes inorgánicos y los orgánicos, fase líquida que puede llevar iones y sustancias en solución o en suspensión, por el aire que constituye la fase gaseosa o atmosférica del suelo y por las raíces y organismos que viven en el suelo (Porta, *et al*, 2003).

Muchos de los componentes de la fase sólida del suelo retienen moléculas o iones, en forma más o menos permanente y en cantidades aproximadamente equivalentes. La retención de iones puede producirse por medio de diferentes tipos de reacciones, particularmente en el caso de suelos con cargas variables. Los componentes sólidos, inorgánicos del suelo poseen cargas electrostáticas en su superficie, las cuales pueden ser grandes, y lo son particularmente en las fracciones de arcilla y de materia orgánica (Fassbender y Bornemiza 1994).

3.4 Fertirriego en el cultivo de caña de azúcar

La fertirrigación es una técnica que consiste en disolver los fertilizantes en agua y aplicarlos a través del riego. Para el empleo de esta técnica se sugiere realizar el análisis de suelo y del agua de riego para evaluar su calidad y asegurarse que el cultivo aproveche al máximo los nutrimentos disponibles y que el sistema de riego sea útil por un período de tiempo mayor (Sugarcane, 2010).

Por ser un cultivo grande que produce enorme cantidad de biomasa, la caña de azúcar generalmente requiere mayores cantidades de nutrientes. Muchos estudios han demostrado claramente que el N, P y K son fundamentales para obtener mayores producciones de caña y azúcar en base a una aplicación sustentable de cantidades adecuadas de fertilizantes.

Al mismo tiempo, el costo de los fertilizantes químicos ha aumentado y es necesario mejorar la eficiencia de su uso para obtener mayores lucros. La fertirrigación es la mejor respuesta a este desafío, ya que en ella tanto el agua como los fertilizantes son entregados al cultivo en forma simultánea, a través del sistema de riego por goteo. La fertirrigación asegura que los nutrientes fundamentales sean aplicados justamente en la zona de mayor actividad radicular, según los requerimientos específicos del cultivo de caña de azúcar y según el tipo de suelo, lo que produce mayores rendimientos de caña y mayor recuperación de azúcar.

3.5 Absorción de nutrientes

La absorción de nutrientes de la raíz de las plantas desde la solución del suelo y el nivel de equilibrio de los nutrientes en la solución del suelo al tiempo que la absorción comienza, es un factor en la que determina la tasa a la cual la raíz de la planta pueda absorber los nutrientes (Barber, 1984).

El mismo autor dice que los nutrientes se absorben como solutos, estos son absorbidos en la superficie de las raíces por intercepción de elementos, flujo de masas y por difusión. Por intercepción de elementos, la cantidad de elementos interceptados es igual al volumen de suelo ocupado por las raíces. Flujo de masas, tanto el agua como los solutos son movidos a la superficie de la raíz por transpiración, con una relación directa en donde a más concentración de solutos existirá una mayor cantidad de elementos traídos a la superficie de la raíz.

3.5.1 Funciones de los macro nutrientes

A. Nitrógeno (N): Favorece el crecimiento, es necesario en la síntesis de clorofila, ayuda en la fotosíntesis y en la absorción de nutrientes, además aumenta el contenido de proteínas. Es móvil y soluble, por tanto, facilita la volatilización, lixiviación y des nitrificación.

B. Fosforo (P): Es poco móvil, interviene en sistema radicular, promueve el tejido leñoso y órganos reproductores, aumenta la resistencia a enfermedades, acelera la maduración y se concentra en la semilla. Es precursor de la fotosíntesis y respiración.

C. Potasio (K). Es móvil, permite el crecimiento y endurece ramas y tallos; influye en la cantidad, tamaño y calidad de frutos. Regula el balance hídrico, aumenta la resistencia a enfermedades y desordenes fisiológicos y reduce el stress producido por nematodos.

D. Calcio (Ca): Participa en división celular, es esencial en el crecimiento de tejido apical, previene la entrada de patógenos y favorece la acumulación de azúcares y maduración. Interviene en la síntesis de vitaminas, proteínas y carbohidratos. Estimula la actividad microbiana, la disponibilidad de Mo y la absorción de otros nutrientes.

E. Magnesio (Mg): Es constituyente de la clorofila, participa activamente en la fotosíntesis y evita la caída de hojas y frutos, se concentra en la semilla, favorece la absorción de Fósforo y Nitrógeno. Es precursor de la fotosíntesis y respiración.

F. Azufre (S): Participa en la formación de la semilla, es necesario para la formación de la clorofila y favorece la absorción del Nitrógeno. Los elementos: S, P y Mg, tienden a concentrarse en la semilla.

3.5.2 Síntomas de deficiencia de macro nutrientes

A. Nitrógeno (N): Clorosis o amarilla miento en hojas por disminución de clorofila, afectando el crecimiento y desarrollo.

B. Fosforo (P): Hojas adultas con manchas amarillas, que al final son rojizas, afecta el desarrollo de la raíz. Deficiencia severa produce necrosis en hojas, frutos y tallo.

C. Potasio (K): Muerte de tejido en hojas adultas (en forma de V, a su interior). Tallos débiles y frutos pequeños y arrugados. Deficiencia marcada provoca la baja resistencia a plagas y enfermedad.

D. Calcio (Ca): Hojas nuevas con áreas cloróticas (amarillas), de los bordes hacia la nervadura central. Afecta el crecimiento radicular y apical, además favorece la entrada de patógenos.

E. Magnesio (Mg): Los espacios entre nervaduras secundarias y central de las hojas adultas, toman un color amarillo anaranjado, quedando las nervaduras de las hojas de color verde. Nivel bajo de Mg provoca la caída de hojas y frutos.

F. Azufre(S): Las hojas jóvenes presentan bordes amarillos que después se hacen blanquecinos. En casos extremos el color blanquecino puede cubrir toda la hoja. Disminuye la asimilación de Nitrógeno (Quijano J 2010).

3.5.3 Función de los micronutrientes

A. Hierro (Fe): Es un catalizador que ayuda a la formación de la clorofila y actúa como portador de oxígeno y ayuda a formar ciertos sistemas enzimáticos respiratorios.

B. Manganeso (Mn): funciona primordialmente como parte del sistema enzimático de la planta. Además, activa numerosas e importantes reacciones metabólicas, desarrolla un papel directo en la fotosíntesis ayudando en la síntesis de clorofila, acelera la germinación y madurez y aumenta la disponibilidad de P y Ca.

C. Zinc (Zn): ayuda a las sustancias de crecimiento y a los sistemas enzimáticos de las plantas. Además, es esencial para promover ciertas reacciones metabólicas y es necesario para producir clorofila y para la formación de hidratos de carbono.

D. Cobre (Cu): es necesario para formar clorofila en las plantas, cataliza varios procesos en las plantas y es necesario para promover procesos en las plantas, aunque no forme parte de él o de los productos formados por estas reacciones.

E. Boro (B): es esencial en la germinación de los granos de polen y en el crecimiento del tubo polínico, es esencial en la formación de las paredes celulares. Además, forma

complejos de azúcar/boro asociados con la transmisión del azúcar, y es importante en la formación de proteínas.

F. Molibdeno (Mo): Esta enzima reduce los nitratos a amonio en la planta, vital para ayudar a las leguminosas a formar sus nódulos, los que son vitales para la fijación simbiótica del Nitrógeno y además también es necesario para convertir las formas inorgánicas de P a formas orgánicas en la planta.

3.5.4 Síntomas operadora de deficiencia de micronutrientes

A. Hierro (Fe): produce hojas de color verde pálido (clorosis) con una distinción marcada entre las venas verdes y las entrevenas amarillas. Debido a que el hierro (Fe) no se transloca dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas jóvenes de la parte superior de la planta. Las deficiencias severas pueden volver toda la planta de color amarillo a blanquecino.

B. Manganeso (Mn): Los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas jóvenes, con un color amarillento entre las venas. A veces también aparecen series de pecas de color pardo.

C. Zinc (Zn): No es translocado en la planta, de ahí que sus síntomas de deficiencia aparezcan primero en las hojas más jóvenes y otras partes de la planta en crecimiento activo.

D. Cobre (Cu): En hojas jóvenes se aprecian manchas cloróticas (amarillas) poco específicas. Aparecen primero en las hojas jóvenes y activas. La tonalidad verde azulada de las hojas constituye el principal síntoma de su carencia.

E. Boro (B): Por lo general atrofia la planta, comenzando con el punto de crecimiento y las hojas nuevas. Esto indica que el boro (B) no es translocado en la planta.

F. Molibdeno (Mo): Los síntomas de deficiencia de Mo aparecen como un amarillamiento general y atrofia miento de las plantas (Kirkby E y Romheld V 2008).

3.6 Fertilizantes

Se considera Fertilizante a todo producto que incorporado al suelo o aplicado a los vegetales o sus partes, suministre en forma directa o indirecta sustancias requeridas por aquellos para su nutrición, estimular su crecimiento, aumentar su productividad o mejorar la calidad de la producción. Estos productos podrán ser de naturaleza inorgánica, orgánica o biológica (CASAFE s.f.).

3.7 Importancia del uso de fertilizantes

Según (ANFFE s f). El importante incremento de la población mundial en los últimos años viene exigiendo un constante reto a la agricultura para proporcionar un mayor número de alimentos, tanto en cantidad como en calidad. Desde el inicio del siglo XIX, la población mundial se ha incrementado un 550 por ciento, habiendo pasado de 1.000 millones a 6.500 millones en la actualidad, con unas previsiones de que se alcancen entre nueve y diez millones de habitantes en el año 2050.

Para alcanzar el reto de poder incrementar la producción agrícola para abastecer al crecimiento de la población, únicamente existen dos factores posibles:

- Aumentar las superficies de cultivo, posibilidad cada vez más limitada sobre todo en los países desarrollados, lo que iría en detrimento de las grandes masas forestales.

- Proporcionar a los suelos fuentes de nutrientes adicionales en formas asimilables por las plantas, para incrementar los rendimientos de los cultivos.

Esta opción es posible mediante la utilización de fertilizantes minerales, con cuya aplicación racional se ha demostrado, en los ensayos de larga duración, el gran efecto que ha tenido en el incremento de los rendimientos de las cosechas, obteniendo a su vez productos con mayor calidad. Los fertilizantes, utilizados de forma racional, contribuyen a reducir la erosión, acelerando la cubierta vegetal del suelo y protegiéndolo de los agentes climáticos (ANFFE s.f.).

3.8 Principales propiedades de los fertilizantes solubles

Una de las ventajas de utilizar los sistemas de fertirrigación son la de permitir aportar las formas solubles de nutrimentos (fertilizantes) que la planta requiera en forma conjunta con el agua de riego por esta razón y antes de entrar en detalle sobre especificaciones del manejo de la fertilización aplicada preparación de soluciones nutritivas, se considera pertinente efectuar una descripción general de cual y que características presentan los fertilizantes que comúnmente se emplean en fertirriego. Cadahia (1998) menciona que las principales propiedades de los fertilizantes con macro nutrientes más utilizados en fertirrigación son:

A. Nitrato de amonio (NH_4NO_3), es una sal muy soluble, que contiene la mitad del nitrógeno (N) en forma nítrica y la otra mitad en forma amoniacal. Su reacción es ligeramente ácida.

B. Nitrato de magnesio [$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$], incorpora además del N un 6 a 9.5 % de magnesio (Mg).

C. Sulfato de amonio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$. Suele emplearse en los casos en que es necesario aportar azufre, aunque es incompatible con sales cálcicas en soluciones concentradas.

D. Fosfato Mono amónico $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)$, proporciona una reacción ligeramente ácida, lo anterior disminuye el riesgo de obturaciones en el sistema.

E. Fosfato diamónico $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$, provoca una reacción alcalina, por lo que se debe utilizar conjuntamente con un ácido.

F. Ácido fosfórico (H_3PO_4) , fuente portadora de fósforo (P), puede utilizarse además como acidulante de la solución nutritiva. Sin embargo se debe manejar con especial cuidado.

G. Sulfato de potasio (K_2SO_4) . Fertilizante que incorpora azufre, sin embargo su solubilidad no es muy elevada y es incompatible con sales cálcicas en soluciones concentradas.

H. Nitrato de potasio (KNO_3) . Presenta una reacción neutra e incorpora dos nutrimentos potasio (K) y nitrógeno (N). Es un fertilizante muy empleado en fertirrigación.

I. Fosfato monopotásico (KH_2PO_4) . Tiene un alto contenido en (P) y gran movilidad.

3.9 Manejo de las soluciones nutritivas en fertirriego.

3.9.1 Aspectos básicos de las soluciones nutritivas (conductividad y pH).

La solución nutritiva está constituida por aniones y cationes, así mismo esta depende a su vez del control del contenido de bicarbonatos HCO_3^- , carbonatos CO_3^{2-} , el bióxido de carbono CO_2 y el oxígeno O_2 . Es importante mencionar que las soluciones nutritivas verdaderas presentan componentes en forma iónica libres del efecto de precipitación (Baca,

1998). Los cambios en las relaciones entre las especies químicas de la solución nutritiva se deben según Baca (1998) a:

- Al metabolismo de las plantas, a la modificación del pH de la solución nutritiva y a la forma de las especies químicas. La modificación de las especies químicas de la solución puede afectar la respuesta del crecimiento y rendimiento de la planta. Por lo anterior es importante considerar los anteriores factores en el manejo y preparación de dicha solución.
- La solución nutritiva debe tener un adecuado balance entre aniones y cationes, así como condiciones óptimas (conductividad eléctrica y pH) para el máximo aprovechamiento de la planta, el mismo autor propone una metodología de preparación que considera lo anterior, esta solución nutritiva se caracteriza por presentar una presión osmótica de 0.72 atm, la composición y concentración de esa solución incluye a los siguientes nutrientes 12 meq de nitrógeno/L; 1 mili equivalente de fósforo/L; 7 meq de azufre/L; 9 meq de potasio/L; 7 meq de calcio/L y 4 meq de magnesio/L.
- Es importante considerar que algunos nutrientes (calcio, magnesio y hierro entre otros) pueden tener acceso a la raíz y ser absorbidos por flujo de masas (mecanismo de absorción en el que interviene el transporte de nutrientes a través del agua en el sustrato y la transpiración de la planta).
- El pH de la solución nutritiva, afecta la disponibilidad del fósforo, ya que este elemento puede evolucionar y precipitarse en forma de complejos con el calcio $[Ca HPO_4]$ compuesto que se caracteriza por ser muy poco soluble. Por lo tanto este parámetro debe regularse en el rango de 5.5 a 6 para evitar además se precipiten compuestos de hierro férrico.

3.10 Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se expresa como el número de moles de iones con carga positiva adsorbidos, que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca de suelo. Se expresa en centimoles de carga positiva por kilogramo, cmol (+) kg^{-1} o bien $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, lo común es que se utiliza como unidad el meq/100g (Porta *et al.* 2003).

Por otra parte la capacidad de intercambio catiónico efectiva CICE, es la capacidad de intercambio catiónico que corresponde a las condiciones del suelo en el campo. Depende del tipo y cantidad de componentes inorgánicos y orgánicos del suelo. En suelos con pH inferiores a 5.5, puede haber aluminio intercambiable, al elevar el pH, el aluminio precipita en forma de Al(OH)_3 . Al precipitar, liberará cargas de intercambio que estaban bloqueadas, con lo que el valor de CIC determinado a pH 7.0 será más elevado que el efectivo al pH del suelo, que es el real en condiciones de campo (Porta *et al.* 2011).

3.11 Salinidad de los suelos

Los suelos salinos son aquellos que contienen en la fase líquida cantidades importantes de iones, procedentes de la disolución de sales más solubles que el yeso y, en mucha menor medida, de la meteorización. También la salinidad puede ser un proceso entrópico por el uso para riego de aguas de mala calidad depositando sales en la zona de enraizamiento en suelos donde no se ha previsto un drenaje artificial asociado al sistema de riego. (Porta J. *et al.* 2011).

Los suelos salinos tienen niveles altos de sales solubles, excepto el sodio. La salinidad del suelo puede medirse fácilmente pasando una corriente eléctrica a través de una solución extraída de una muestra de suelo. Cuanto mayor es el contenido en sal, más electricidad pasará.

La lectura de conductividad es directamente proporcional a la salinidad de la solución medida, expresada en mmhos/cm o unidades del Sistema Internacional como ds/m.

Un suelo salino está definido como un suelo con una conductividad de cuatro o más decisiemens por metro (ds/m). Sin embargo niveles de salinidad tan bajos como dos ds/m pueden perjudicar a las cosechas. La mayoría de las sales son cloruros o sulfatos. Diferentes factores influyen la concentración de iones en la solución del suelo entre ellos la solubilidad, adsorción y desorción e intercambio y la concentración de fertilizantes como sales solubles tal como el KCl, nitratos y sulfatos usados como fertilizantes. En suelos donde llueve poco no hay suficiente lavado de sales desde el perfil del suelo por lo que se acumula y alcanza niveles altos principalmente en el horizonte A (Barber, 1984).

La fase soluble representa la fase acuosa del suelo, en o debajo de la capacidad de campo en donde ocurren las reacciones químicas del suelo. La composición de la solución del suelo varía según el contenido de humedad y el método de obtención de muestras (Helmke, 2000).

Los nutrientes en la solución del suelo existen como iones hidrogenados y en cantidades menores como moléculas inorgánicas y compuestos quelatados. Los solutos vienen principalmente de reacciones de intercambio y desorción entre los sólidos y la fase acuosa (Faostat, 2002). La fase líquida se halla en cambio constante, tanto en cantidad como en composición. La lluvia, el riego y las filtraciones incorporan agua al sistema, el aporte de agua diluye el contenido iónico de la fase líquida y la evapotranspiración concentra la solución del suelo (Porta *et al.* 2003).

3.12 Efectos de la salinidad en el suelo y las plantas

Los efectos de la salinidad se podrían agrupar bajo tres aspectos diferentes: relaciones hídricas, balance de energía y nutrición (Martínez Raya, 1996).

3.12.1 Relaciones hídricas

El primer efecto es el estrés hídrico. La planta no puede extraer agua del suelo al presentar la disolución del suelo una alta concentración de sales. La piel de la raíz actúa como una membrana semipermeable que en condiciones normales deja entrar el agua del suelo (el agua pasa del medio más concentrado hacia el menos para tratar de buscar un equilibrio, pero en los suelo salinos no ocurre así, sino a veces el efecto contrario la planta cede su agua al suelo, efecto conocido como plasmólisis. Como resultado gran parte del agua de un suelo salino no es absorbible por las plantas.

Este efecto llevó a Espinoza (2006) a plantear la teoría de la sequedad fisiológica, en la que se postula que en medios salinos, aunque exista una humedad elevada, las plantas sufren estrés hídrico, se secan y acaban muriendo.

3.12.2 Balance energético

No obstante, esta teoría no describe completamente todos los efectos perjudiciales de la salinidad, ya que en ocasiones las plantas no sufren estrés hídrico sino que disminuyen considerablemente su altura. Para explicar este efecto, Argueta (1985) desarrollo la teoría del ajuste osmótico, la cual propone que las plantas, al aumentar la presión osmótica de la solución del suelo, se ven obligadas a una adaptación osmótica de sus células para poder seguir absorbiendo agua; adaptación que requiere un consumo de energía que se hace a costa de un menor crecimiento. El mismo autor Propone la teoría de la división y el crecimiento celular, en la cual la disminución del crecimiento se atribuye a que las sales afecta a la división celular, producen un engrosamiento prematuro de las paredes celulares y limitan el crecimiento de forma irreversible.

3.12.3 Manejo de aguas salinas

Según (Martínez, 1966) Siempre tenemos que tener en cuenta que el cultivo no se desarrolla en el agua de riego, sino en la solución del suelo, en la que las sales pueden estar mucho más concentradas. Cuando nos vemos obligados a usar agua con un nivel de salinidad relativamente alto, debemos evitar en lo posible la acumulación de sales en la zona radicular y manejar la fertirrigación de tal forma que se reduzca la absorción de elementos tóxicos.

Por sus características el riego por goteo es el más indicado para su uso con agua salina. El riego por goteo nos permite mantener en la zona radicular una humedad cercana a la capacidad de campo, lo que evita una concentración alta de sales. La zona del bulbo mojado que ocupan las raíces se lava continuamente, lo que previene la acumulación de sales. No se mojan las hojas con el agua de riego (las hojas de algunos cultivos absorben con facilidad las sales disueltas en el agua de riego).

Hay que tener en cuenta que comienzan las lluvias. Si no llueve lo suficiente como para desplazar las sales por debajo de la zona radicular, el agua de lluvia puede introducir a la zona radicular las sales acumuladas en la parte superior del bulbo mojado. Por esta razón se recomienda mantener el riego activo durante las primeras lluvias del otoño, si estas son débiles, para evitar la entrada de las sales a la zona radicular. Cuando se riega por goteo, el sistema radicular hay un lavado constante, por lo que es necesario fertilizar todo el tiempo para evitar carencias y desequilibrios.

3.13 Nutrición en caña de azúcar uso de análisis foliar

Un programa constante de análisis de suelo es una de las buenas prácticas de manejo (BMP) que permite que los productores de caña de azúcar tomen buenas decisiones económicas de fertilización. Sin embargo, los análisis de suelo tienen dos limitaciones. Primero, los análisis de suelo no están calibrados para el nitrógeno y algunos de los

micronutrientes. En segundo lugar, las muestras del suelo se recogen rutinariamente solo antes de que se plante la caña de azúcar y raramente se muestre el suelo entre las cosechas de caña soca (Possetto, 2011).

El uso del análisis foliares conjuntamente con la evaluación visual de los síntomas de desórdenes nutricionales puede complementar el programa de análisis de suelo y agrega la información adicional que mejorará decisiones de manejo de nutrientes. El análisis de hojas proporciona un cuadro del estado nutricional de la caña de azúcar al momento de muestrear, mientras que el análisis de suelo proporciona información sobre la posible provisión continua de nutrientes desde el suelo.

3.13.1 Interpretación de los análisis foliares

Hay dos métodos para evaluar el estado nutricional de la caña de azúcar: El criterio del Nivel Crítico de Nutrientes y el del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación, o DRIS (por sus siglas en inglés). El DRIS calcula índices nutrientes relativos a cero comparando las relaciones entre nutrientes foliares con los de una población de alto rendimiento. Este criterio incorpora una medida de la relación entre los nutrientes. También tiene la ventaja de no ser tan sensible al momento fenológico o etapa del crecimiento como en el caso del criterio del valor crítico, ya que los valores de la concentración de un elemento determinado varían rápidamente con la edad del tejido. Así, el método DRIS permite una ventana de tiempo más amplia para recoger las muestras para el análisis foliar.

3.13.2 Procedimiento de muestreo de hojas de caña para análisis foliar.

Para asegurar un buen muestreo, se debe prestar atención a la organización y preparación antes de ir al campo, consiguiendo todos los materiales necesarios, principalmente bolsas de papel de un tamaño suficientemente grande como para acomodar las hojas enteras, o diarios adonde intercalar las hojas muestreadas para secarlas; preferentemente pre-etiquetarlas. Establecer un protocolo de muestreo y de etiquetado que sea fácil de seguir en

el campo y en el laboratorio. El muestreo de hojas se realiza durante el período de máximo crecimiento de la caña de azúcar (entre Enero y abril), entre 4 y 6 meses desde el último corte.

Las muestras deben recogerse de plantas que estén al menos a 10 metros lejos del borde de la parcela o de la zanja de drenaje, y por lo menos a 20 m del extremo de la parcela, a menos que estas áreas en los límites sean motivo de alguna preocupación específica. Normalmente el suelo (pH, etc.) de los bordes de este perímetro se modifica con frecuencia por agregado de tierra removida de los canales y caminos, los que contienen materiales muy diferentes del resto del suelo del campo.

Luego del muestreo y antes del oreado o secado, deben removerse la nervadura central. Una vez removida la nervadura central, volver a colocar la hoja en la bolsa con su correspondiente identificación para enviar al laboratorio. Se recomienda enviar a un laboratorio reconocido solicitando análisis completo de macro y micronutrientes.

IV METODOLOGIA

4.1 Localización del ensayo

El trabajo de investigación se llevó a cabo en los lotes productivos del ingenio azucarero Tres Valles, ubicado en el municipio de San Juan de Flores Cantarranas, en el departamento de Francisco Morazán. Este ingenio se encuentra a 14° 15' latitud norte y 86° 59' longitud oeste, la altura es de 450 msnm y precipitación promedio de 1005 mm anuales aproximadamente el 90% se concentra en el periodo de julio hasta septiembre y octubre. La temperatura promedio anual donde está ubicada Tres Valles oscila entre los 18 y 31.1 °C, con una temperatura media de 24.5 °C y el promedio anual de humedad relativa es de 82%.

4.2 Materiales y equipo

Se utilizó: un conductímetro, peachimetro, una cámara, manómetro, Bolsas plásticas, piocha, pala, baldes, libreta de campo, botes plásticos, botellas para las tomas de muestra, cinta adhesiva, lápiz, marcadores, machete, cinta métrica, fertilizantes, marcadores, etiquetas u hojas para identificar las muestras, banderines.

4.3 Manejo del Ensayo

4.3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el lote productivo llamado La Legua donde actualmente cuenta con una área de 200 mz, en este lote se realizaron 5 turnos de riego donde hay un total de 58 válvulas, con un número de 12 válvulas por cada turno, de los cuales solo 4 turnos de riego

fueron muestreados y una válvula por cada turno, tomando las válvulas en base al tipo de suelo que se encuentra en lote bajo irrigación por dicha válvula.

4.3.2 Sistema de bombeo

El sistema de bombeo utilizado fue un motor eléctrico que se ha estandarizado por parte de la compañía en 500 M³/h, con una fuerza de 200 a 250 HP, y que posee una carga dinámica total (C.D.T) de 120 a 180 psi, con este motor se riegan actualmente 200 manzanas de caña de azúcar y de las cuales están divididas en 58 válvulas, donde cada turno tiene un promedio de 11 válvulas.

4.3.3 Riego

El sistema que utiliza la empresa es un sistema de riego por goteo, que actualmente abarca un 90 % del total de todas las fincas con que cuenta la empresa. El sistema de riego por goteo en caña ha sido implementado hace algunos años por parte de la empresa, es un sistema autocompensado donde las mangueras usadas de la marca Mexerplus, van enterradas a una profundidad de 20 cm y soportan una presión de 10 a 13 psi, la distancia de los goteros es 45 cm entre cada gotero, la descarga es de 1.6 L/h.

Las fertilizaciones se realizaron cada semana presentándose algunos inconvenientes ya que el río muchas veces no daba lugar a fertilizar porque el porcentaje de partículas suspendidas en el agua era muy elevado (3500 partículas en suspensión), cuando lo ideal para realizar el fertirriego es de (500 PS) para no provocar una obstrucción en los goteros de las mangueras del sistema.

4.3.4 Fertilizantes

El programa de fertilización que se aplica en la empresa abarca la mayoría de fertilizantes solubles como: Nitrato de Amonio (NH_4NO_3), Sulfato de Amonio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$], Fosfato monoamonico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), Ácido Fosfórico (H_3PO_4), Cloruro de potasio soluble (KCL), soluble, Poliquel Fierro, Poliquel Zinc, Sulfato de cobre (CuSO_4), Sulfato de Manganeseo (MnSO_4), para obtener una mayor respuesta en cuanto a producción del cultivo de caña de azúcar, facilitando la absorción por el medio en que es aplicado a las planta.

4.4 Muestreo de suelos

Para la selección de sitios donde se realizó la toma de muestra de suelo, se siguió el siguiente procedimiento: Se seleccionaron los suelos representativos del lote productivo de caña de azúcar en el área de estudio, para esto se siguió en zig zag sobre el área bajo estudio tomando un punto de referencia en el centro del lote productivo, y después caminando hacia diferentes direcciones.

En los puntos donde se sacó la muestra se marcó a través de banderines de color rojo para no volver a tomar muestras de ese mismo lugar, también se observó cual es la profundidad de la capa arable, y cuál es la profundidad del pie de arado o nivel compacto.

4.4.1 Análisis de suelo

Se tomaron las muestras de los diferentes puntos marcados con los banderines y se determinó mediante análisis de laboratorio los tipos de suelos de referencia, los parámetros que se analizaron fueron: porcentaje de saturación, textura de los suelos, cantidad de materia orgánica presente en el mismo, cantidad de nitrógeno total, la cantidad de nutrientes extractables dentro del suelo, y el pH en una proporción 1/1 suelo/agua.

4.5 Muestreo de agua

Para la muestra de agua fue preciso considerar diversos factores tales como la profundidad que fue de 89 cm en el río Choluteca con un caudal de 20,304 L/h y la distancia a la orilla que fue de 7 metros, procurando no remover el fondo y así evitándose los remansos y zonas de aguas estancadas. Una vez que ya se estuvo en el lugar propicio para la toma de muestra se sujetó el frasco por su base, el frasco estaba esterilizado evitando la contaminación de la muestra, el frasco se metió en posición invertida sumergiéndolo completamente y dándole vuelta en sentido contrario a la corriente una vez recolectada la muestra se procedió a enviarla al laboratorio para su respectivo análisis.

Los parámetros que se evaluaron fueron los siguientes:

Salinidad: El contenido de sales (conductividad eléctrica) y sólidos totales disueltos, además de los diferentes cationes y aniones como sodio, magnesio, calcio, carbonatos, cloruros, sulfato y boro.

Nutrientes: como el cobre, hierro, magnesio, fosfato, potasio y zinc.

Relación de absorción del sodio: se hizo referencia a la proporción relativa en que se encuentran el ion sodio y los iones calcio y magnesio.

pH: En el laboratorio se mide con el potenciómetro, mediante unos electrodos que se introducen en la muestra disuelta en el agua del suelo o sustrato que queremos determinar.

4.6 Muestreo de la solución nutritiva

Las muestras se tomaron en los lotes productivos bajo estudio agarrando tres mangueras por cada turno de riego, a cada una de ellas se les colocó tres recipientes en la parte

principal en el centro y al final, que sirvieron para la toma del agua de muestreo, una vez finalizado el riego se procedió a medir los parámetros de CE y pH tanto del agua y del suelo.

4.6.1 Variable para la medición de conductividad eléctrica (CE)

Se introdujo un conductímetro en los recipientes de toma de muestras de agua con fertilizante para obtener la conductividad eléctrica, este procedimiento se repitió cada vez que se realizó la aplicación de fertilizantes. Se realizó la medición de conductividad eléctrica en las mangueras en el comienzo en la parte intermedia y final de los laterales.

4.6.2 Variable para la medición de pH de la solución nutritiva

Esta variable se determinó haciendo uso de un potenciómetro. Introduciendo este aparato en la solución de fertilizantes y al mismo tiempo en el suelo, una vez se termine el fertirriego.

4.7 Muestreo foliar

La muestra de las hojas de las plantas de caña se realizó con el fin de determinar qué tantos nutrientes la planta fue absorbiendo y se realizó tomando la cuarta hoja empezando de arriba hacia abajo, teniéndose el cuidado que la hoja ya estuviera perfectamente desarrollada recolectando el total de 20 hojas por cada lote para homogenizar la muestra tomada de la finca.

Después de recolectada se usaron de 150 a 200 gramos de material vegetal y se empacaron en bolsas bien ventiladas de papel absorbente, y fueron enviadas al laboratorio siempre teniendo en cuenta de tener el cuidado de que la hoja no fuera contaminada con ningún

residuo de fertilizante o polvo, o cualquier otro contaminante que se pudo haber presentado por el manejo que se le da al cultivo.

En el caso específico del muestreo foliar en caña de azúcar se realizó con el fin de formular un plan balanceado de fertilización en caña de azúcar, es por eso que primero se realizó un muestreo de suelo y ya con el análisis foliar se podrán hacer ajustes y correcciones a la fertilización.

En el análisis foliar se pidió las once determinaciones analítica que fueron las siguientes:

Macronutrientes: Nitrógeno, se realizó bajo el método de kjeldahl, en el caso del fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, a través de digestión húmeda con H_2SO_4 y H_2O_2 , determinados por espectrofotometría (colorimetría), en el caso de los micronutrientes como el Boro, Ca a través de digestión seca con $MgNO_3$, determinados por espectrofotometría (colorimetría) en los lotes 3, 11, 8 y 2 de la finca la legua a los 6 meses de edad del cultivo de caña de azúcar.

4.8 Variables agronómicas evaluadas en la planta

4.8.1 Tallo por metro lineal

En lote productivo donde está establecido el cultivo de caña de azúcar, se tomaron puntos de medición al azar para la variable de tallo/metro lineal, para esto se seleccionaron cuatro lugares por cada turno de riego, a una distancia de 10 m, para hacer un conteo de tallos/metro lineal que se obtuvieron de cada punto de medición. Para esto se marcaron los 10 metros con banderines de color rojo para la identificación de los puntos y facilitar la toma de datos, con intervalos de medición de 2 fertilizaciones.

4.8.2 Número de hojas verdes

Esta variable se hizo contando las hojas verdes por cada tallo, en un metros lineal y después se sacó una media para tener un dato de medición general y así observar en cuál de los meses se observa un mayor número de hojas por tallo en el cultivo.

4.8.3 Número de hojas secas

Se realizó de la misma manera de cómo se realizó el conteo del número de hojas secas y se hizo de igual forma en las mismas plantas para tener un dato más preciso de crecimiento y elongación de la planta.

4.8.4 Longitud de entrenudos

La longitud de los entrenudos se tomó en los mismos puntos en donde se realizó la toma de tallos/metro lineal midiendo la longitud de los diferentes entrenudos en centímetros (Cm), con esto se pretende medir cuanto va creciendo el cultivo en los diferentes mediciones, que se hicieron cada dos fertilizaciones para saber cuál es el crecimiento de los entrenudos.

4.8.5 Número de nudos

Se realizó un conteo de los nudos de cada tallo siempre en los puntos de medición ya marcados para saber cuántos nudos posee la planta en sus diferentes fases de crecimiento.

4.8.6 Altura

Para la variable de altura de la planta se midió las plantas que estaban en un metro lineal para sacar un promedio de altura de las plantas en cada medición y tener cual es el

desarrollo del cultivo en el tiempo, se realizó desde el suelo hasta el lugar donde termina el área foliar del cultivo.

4.8.7 Diámetro de tallo

Estas mediciones se realizaron en los tallos de las plantas con la ayuda de un pie de amigo para saber cuál es el diámetro de los tallos para esto se midió los tallos que se encontraban en un metro lineal en el punto de medición ya marcado y después se sacó una media para observar cómo anda el grosor del diámetro en el crecimiento del cultivo.

4.8.8 Biomasa

Se tomó el peso fresco total de los tallos, para determinar la Producción de biomasa fresca por hectárea. Para determinar el rendimiento esperado y estimar la demanda de nutrimentos por el cultivo de caña de azúcar, se realizó el muestreo de biomasa a los 6 meses de edad, etapa en la cual el cultivo se encuentra en la gran fase crecimiento. En los sitios representativos en donde se realizó las mediciones agronómicas, se recolectaron una muestra por cada lote la cual fue de un metro lineal, después se procedió a pesar solamente los tallos para tener una biomasa final del producto por hectárea.

4.9 Uso de hojas de toma de datos

Se usó una hoja de tomas de datos que contenía todas las variables de las plantas que se tomaron para llevar un control de los datos que se estuvieron tomando en las mediciones realizadas durante todo el ensayo.

Se usó un formato de muestreo que abarca desde el lote que se fertilizó hasta los datos que se obtuvieron de conductividad eléctrica y pH, formato que utilizó la empresa para llevar un control sobre el ensayo realizado.

V RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados del diagnóstico efectuada en los lotes productivos de la finca La Legua se basan a que la empresa tienda a alcanzar el rendimiento máximo de sus lotes productivos, con un uso óptimo de recursos, evitando con estos costos inadecuados en el cultivo y una posible disminución de la contaminación de los mantos freáticos.

Lo anterior justifica el tratar de regular la contaminación inducida por prácticas de manejo agrícola no adecuadas. Una alternativa de solución a dicho problema, es lograr entre tantos otros, el mayor aprovechamiento y optimización del agua y del fertilizante suministrado al cultivo, a través del manejo eficiente del sistema de fertirrigación.

Haciendo uso de herramientas básicas, como lo es la información generada por el análisis de suelo y planta proveniente del laboratorio o por aquella que registren los instrumentos de campo, como el potenciómetro, conductímetro y otros equipos necesarios que ayudaron a sustentar el diagnóstico y recomendación del uso de recursos requeridos para lograr impactar eficazmente el rendimiento del cultivo de caña de azúcar.

El correcto diagnóstico nutricional del cultivo de la caña de azúcar y de la fertilidad del suelo, depende de la precisión de los resultados analíticos proporcionados por el laboratorio de fertilidad de suelos. Dichos diagnósticos fueron requeridos para evaluar entre otros el estado nutricional de la caña de azúcar.

5.1 Suelo y aporte de nutrientes

En el lote experimental se realizó una caracterización física del suelo mediante la descripción de cuatro perfiles en calicatas de 1 x 1 metro con 50 cm de profundidad. Se describieron, textura, resistencia a la penetración, tamaño de la capa arable. Las calicatas realizadas en los diferentes lotes presentaron diferentes tipos de suelo, en la calicata realizada en el lote 2 se presentó un tipo de suelo franco arcillo arenosa, en la realizada en el lote 8 presento un tipo de suelo franco, en la realizada en el lote 11 presentó un tipo de suelo arenoso franco, y en la calicata realizada en el lote 14 presento un suelo franco arenoso (Cuadro 1).

Cuadro 1. Datos obtenidos en las calicatas realizadas en los lotes bajo muestreo, finca la Legua.

Lote	Tipo de suelo	Válvula	Turno	Área/ válvula	Capa arable (cm)	observación
2	Franco Arenoso	50	5	2.08	10-25	Suelo compacto
8	Franco	29	4	1.92	14-22	Suelo húmedo
11	Franco arenoso	11	1	2.97	25-30	Suelo suelto
14	Franco arcillo arenoso	3	3	3.50	20-32	Presencia de piedras

Los datos obtenidos en el análisis de suelo (Anexo 1) muestran las diferentes texturas de suelos que se presentaron en los diferentes lotes bajo estudio, en donde las medidas de pH en los diferentes lotes se encuentran en promedios casi iguales (6.05) en todos los lotes.

Lo que nos dice que está en un intervalo óptimo para el cultivo de la caña de azúcar ya que este el nivel de pH aceptable es de 6.5, aunque es una planta que puede soportar niveles altos de acidez y alcalinidad (Cuadro 2). Observamos un nivel medio de materia orgánica en un promedio de 1.86 de todos los lotes lo que indica un aporte de nutrientes al cultivo por parte del suelo, en el caso del nitrógeno (N) total presente en el suelo tenemos un bajo

nivel de este elemento esencial en la producción de la caña de azúcar esto se observa en todos los lotes.

Además existe una gran cantidad de diferentes elementos en el suelo que se encuentra en formas extractables que la planta puede absorber para satisfacer sus requerimientos nutricionales además de las cantidades de fertilizantes que se le aplican al cultivo a través del fertirriego, cabe mencionar que la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) en esta muestra de suelo es demasiado baja por lo que quiere decir que es un suelo demasiado pobre necesita un aporte elevado de materia orgánica para elevar el C.I.C, ya que el suelo no tiene la capacidad de retener los elementos perdiéndose por lixiviación.

En el caso de porcentaje de saturación se observa un elevado nivel de calcio y este catión afecta negativamente la estructura del suelo al igual que el sodio (Na) causando la no formación de agregados, de forma que al disminuir la porosidad del suelo, este se vuelve muy impermeable al agua y al aire.

Cuadro 2. Tipos de suelo de acuerdo a los pH obtenidos.

pH (medida en agua en disolución 1/1)	Tipo	Observaciones
Menor de 5.5	Muy ácido	Dificultad de desarrollo de la mayoría de los cultivos dificultad de retención de muchos nutrientes.
5.5-6.5	Ácido	
6.5-7.5	Neutro o cercano a neutralidad	Intervalo óptimo para los cultivos.
7.5-8.5	Básico	
Mayor de 8.5	Muy básico	Dificultad de desarrollo de la mayoría de los cultivos posible aparición de clorosis férrica.

5.2 Análisis de agua

El análisis de agua se realizó con el fin de saber qué tipo de agua se le está aplicando al cultivo de la caña de azúcar, los datos mostrados en el (Anexo 2) corresponden a una muestra tomada en el río Choluteca en el municipio de Cantarranas, Francisco Morazán, puesto que es el agua que la empresa ocupa para la realización del fertirriego, los datos demuestran que la suma de aniones y cationes en meq/l es de un 0.01 % lo que indica una excelente fiabilidad analítica de la muestra.

El agua analizada tiene una conductividad eléctrica calificada como relativamente baja (0.47 ds/m). El sistema de riego localizado además ayudará a evitar problemas a corto y medio plazo. El índice de RAS (Relación de absorción de sodio en esta agua) es de 1.25 lo cual indica un bajo riesgo de sodificación, el contenido de sales es 0% por lo que se espera un escaso riesgo de daño estructural en el suelo. Existe un bajo riesgo de toxicidad por cloro ya que este elemento se encuentra en los límites aceptables.

La dureza de esta agua es de 148.6 por lo que se considera un agua demasiado dura, el pH de 6.70 es ligeramente alcalino, no es de los más propensos a obstrucciones, aunque pueden existir por el índice de bicarbonatos riesgo de obstrucción perjudicando la absorción radicular de los nutrientes por la planta. La clasificación según las normas Riverside es C₂S₁ es una agua apta para el riego, son normas que valoran de forma conjunta la conductividad y el sodio presente, muy difundidas pero muy restrictivas en la valoración de la conductividad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características principales de las diferentes clases de agua para el riego según normas Riverside.

CLASE	CARACTERISTICAS DEL AGUA DE RIEGO
C1S1	Excelente para riego
C1S2	Agua de muy buena salinidad, útil en suelos con buen drenaje
C1S4	Aguas con baja salinidad se necesita compensar la presencia de ion sodio. Útiles para preparar soluciones nutritivas (goteo y aspersión)
C2S1	Apta para riego
C2S2	apta en suelos con buen drenaje y ricos en materia orgánica
C2S3 y C2S4	Útiles en cultivos con cierta tolerancia a sales y para preparar soluciones nutritivas (goteo).
C3S1	Apta para riego de cultivos tolerantes a sales
C3S2	Aptas para riego en suelos con buen drenaje y cultivos tolerantes a sales
C3S3 y C3S4	Aguas peligrosas necesitan buen drenaje, cultivos tolerantes a sales y enmiendas químicas
C4S1	Aptas para riego en cultivos tolerantes a sales
C4S2	Aptas con técnicas especiales de riego y cultivos muy tolerantes a sales
C4S3 y C4S4	Aguas muy peligrosas para riegos. No aptas

5.3 Aplicación de fertilizantes

La planta de caña de azúcar posee altos requerimientos nutricionales en consideración a su elevada capacidad de extracción (Cuadro 5) y remoción de nutrientes del suelo y a su alta producción de materia verde y seca, por ende se ha demostrado que el cultivo de caña de azúcar agota los suelos rápidamente, siendo necesario un programa adecuado de fertilización.

Cuadro 4. Extracción de macronutrientes del suelo que realiza el cultivo de caña de azúcar para una elevada producción (Romero *et al.* 2009).

Macronutrientes	Kg/ha/año
Nitrógeno	130-200
Fosforo	80-100
Potasio	300-350
Azufre	20-30
Calcio	55-60
Magnesio	35-45

Para la aplicación de fertilizante se realizó un análisis de suelo (Cuadro 5), de la Finca la Legua para determinar la cantidad de fertilizantes que se utilizará durante el estudio y así mismo determinar la cantidad de nutrientes disponibles que se encuentran en el suelo para realizar un uso adecuado de los insumos.

Cuadro 5. Nutrientes disponibles en el suelo en los diferentes lotes, finca La Legua, Compañía Azucarera Tres Valles.

Lote	%		mg/Kg (extractable)										
	M.O	N total	P	K	Ca	Mg	Na	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
2	2.62	0.13	2	42	1270	160	28	10	4.0	131	107	1.7	0.3
14	1.18	0.06	2	190	960	140	30	4	3.1	58	50	0.4	0.2
14	1.57	0.08	2	50	1020	160	113	16	4.3	170	234	3.3	0.3
8	3	0.15	4	36	2000	340	238	25	2.5	288	103	1.0	0.1
11	0.98	0.05	2	16	760	80	188	24	1.7	384	6	0.4	0.1

El cultivo de caña de azúcar requiere de grandes cantidades de fertilizantes para obtener el mayor rendimiento (Cuadro 6) del cultivo y por ende mayores ingresos económicos, los fertilizantes van siendo requeridos según la curva de crecimiento o la fase de desarrollo (Figura 1) en que se encuentre el cultivo para lograr así satisfacer las necesidades en cada etapa y obtener un buen desarrollo del cultivo.

Cuadro 6. Demanda de fertilizantes según curva de crecimiento del cultivo en sus diferentes fases de desarrollo.

Días después de la plantación	Nutrientes (kg/ha/día)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1-30 Días	1.2	0.1	0.2
Formación de retoños (fase formativa)	1.5	0.4	0.24
Periodo del Gram crecimiento	2	1	0.4
	0.75	0.3	0.75
Maduración	--		1.5

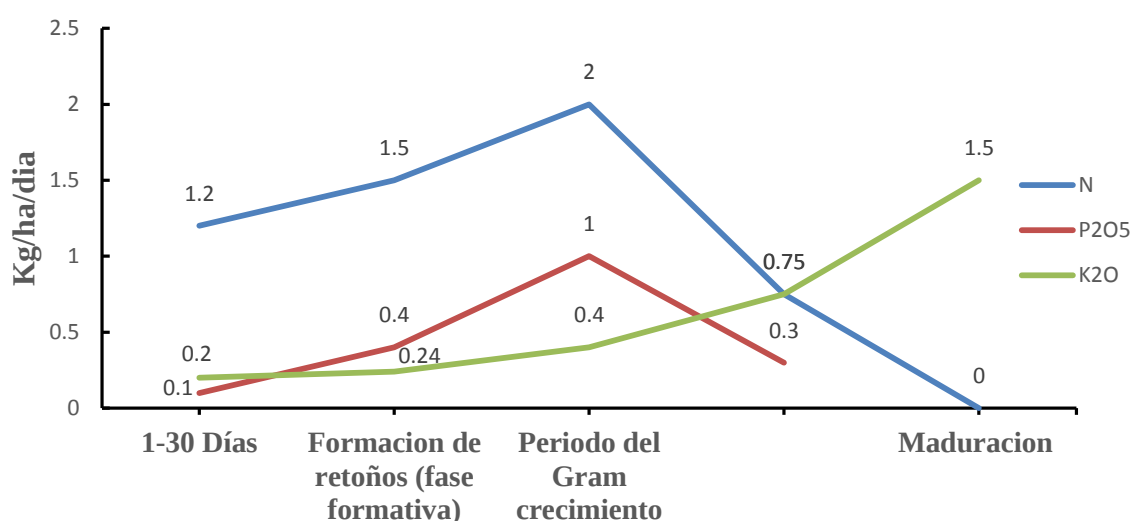


Figura 1. Curvas de crecimiento y demanda de fertilizantes por el cultivo de caña de azúcar en diferentes fases de desarrollo.

Los fertilizantes aplicados por la empresa son en su mayoría solubles, por el tipo de riego que utilizan (Cuadro 7), obteniéndose así un mayor aprovechamiento por parte del cultivo, las cantidades descritas hacen referencia a una ausencia en el nitrógeno aplicándose cantidades elevadas de este fertilizante para cumplir con los requerimientos del cultivo.

Cuadro 7. Descripción de los fertilizantes utilizados durante el ensayo en (Kg/ha).

FERTILIZANTE	UNIDAD	Fertilizante/ Hectárea (Kg/ha)
Nitrato de Amonio	Kg	115.80
Sulfato de Amonio	Kg	311.39
MAP	Kg	20.31
Ácido Fosfórico	Kg	28.20
KCL soluble	Kg	311.39
Poliquel Fierro	Lts	5.66
Poliquel Zinc	Lts	4.58
Sulfato de cobre	Kg	0.46
Sulfato de Manganeseo	Kg	0.76

En el primer fertirriego se realizó cuando el cultivo de caña de azúcar tenía 60 días después de la siembra, se utilizaron los fertilizantes mostrados en el (Cuadro 8), en diferentes cantidades Kg/ha según el turno y área de riego, aplicándose una cantidad promedio de 33.85 Kg/ha de nitrato de amonio y 29.42 Kg/ha de sulfato de amonio ambos fertilizantes son fuentes de nitrógeno, ya que el cultivo los requiere en mayor cantidades en esta fase de crecimiento, teniendo en cuenta que según el análisis de suelo (Cuadro 5) presenta un elevado índice de nitrógeno total disponible en el suelo.

En el caso del ácido fosfórico, se aplicó un promedio de 9 Kg/ha ya que es una fuente de fósforo (P) y además cumple un papel de acidulante de la solución nutritiva, en el caso del MAP la función que hace es aumentar la acidez de la solución de fertilizantes y por ende evita la obstrucción de los goteros del sistema de riego, el KCl es una fuente rica en potasio (K) y la planta lo puede absorber sin ningún problema.

Cuadro 8. Fertilizantes usados en el primer fertirriego en cantidades de (Kg/Ha) que se realizó en la finca la legua.

Turno	N de amonio Kg	S de amonio Kg	MAP kg	Ac. Fosfórico kg	KCl soluble Kg
1	31.61	27.34	9.0	8.7	12.82
2	32.41	28.03	9.2	8.9	13.14
3	34.02	29.42	9.7	9.4	13.79
4	35.78	30.95	10.2	9.9	14.51
5	35.26	30.49	10.1	9.7	14.29

Los mismos fertilizantes fueron aplicados una semana después a los 68 días del cultivo, en la segunda fertilización, el único cambio que se realizó fue el aumento de la cantidad de fertilizantes, ya que el cultivo se vuelve más exigente en la demanda de fertilizante en esta etapa fenológica (Figura 1), cabe mencionar que la caña de azúcar se produce en el campo no en la industria, es por eso que se debe de tener mucho cuidado con las cantidades y el tipo de fertilizantes que se está usando, para lograr un equilibrio entre el porcentaje de tallos por hectárea y porcentaje de azúcar, así obtener el máximo rendimiento del cultivo.

A los 77 días se realizó el tercer fertirriego, aumentando la cantidad de fertilizantes con respecto a las aplicaciones anteriores (Cuadro 9), en esta etapa hay una mayor cantidad de rebrotes y es cuando la planta se encuentra en la gran etapa de crecimiento (Figura 1), por ende las cantidades de fertilizantes ascienden, ya que se busca un equilibrio entre crecimiento de la planta y absorción de los mismos.

Además el uso de póliqueles de fierro y zinc, estos son microelementos quelatados que ayudan a rejuvenecer el cultivo de la caña de azúcar, están diseñados para cubrir las necesidades de los microelementos requeridos por el cultivo, y así poder satisfacer las necesidades del mismo en una sola aplicación a través del sistema de riego.

Cuadro 9. Fertilizantes usados en la tercera fertilización en cantidades (Kg/ha) que se realizó en finca La Legua.

Turno	S de amonio Kg	KCl soluble Kg	Poliquel Fierro Lts	Poliquel zinc Kg
1	100.0	19.7	55.5	4.2
2	102.5	20.1	54	4.2
3	107.6	21.1	51.5	4.2
4	113.2	22.2	49	4.2
5	111.5	21.9	50	4.2

Caso contrario en el cuarto fertirriego que las cantidades de sulfato de amonio presentan una descendencia, el ácido fosfórico presenta una disminución a 10.11 Kg/ha en comparación a la segunda fertilización, ya que en esta edad (75 días) del cultivo de la caña de azúcar presenta sus primeros nudos, por tanto existe una mayor demanda por parte de la planta, entonces al aumentar la cantidad de fósforo se está motivando a la planta a la producción de azúcares.

En la quinta fertilización que se realizó a los 90 días del cultivo lo que cambio fueron las cantidades de algunos fertilizantes (Cuadro 10) que van disminuyendo, otros como el KCl soluble se mantienen iguales que en la cuarta fertilización, porque el potasio debe ser aplicado antes de los 4 meses, aumentando considerablemente la cantidad de tallos procesables.

Cuadro 10. Fertilizantes usados en la quinta fertilización en cantidades (Kg/ha) que se realizó en finca La Legua.

Turno	S de amonio Kg	MAP kg	Ac. Fosfórico kg	KCl soluble Kg	Sulfato de Cu kg	sulfato de Mn kg
1	26.5	8.2	9.6	19.65	0.19	0.4
2	27.2	8.2	9.6	20.14	0.19	0.4
3	28.5	8.2	9.6	21.15	0.20	0.4
4	30.0	8.2	9.6	22.24	0.21	0.4
5	29.5	8.3	9.6	21.92	0.21	0.4

En el sexto fertirriego se realizó a los 95 días del cultivo disminuyendo la aplicación de fertilizantes a bases de nitrógeno pero aumentando los niveles de fósforo y potasio, ya que en esta etapa fenológica del cultivo (Figura 1), se requieren de mayores cantidades de potasio para obtener buenos rendimientos en el cultivo de la caña de azúcar y facilitar así la entrada en la maduración del cultivo.

A los 115 días se realizó el séptimo fertirriego, las cantidades de fertilizantes van disminuyendo considerablemente, esto se debe a que el cultivo se vuelve menos exigente a medida va desarrollando, pero siempre hay que tener presente como queremos el producto final, es por eso que en estas fases se interesa más por hacer que el cultivo produzca una mayor cantidad de azúcares para que se puedan almacenar en el tallo de las plantas.

Es por eso que se deben de manejar dosis óptimas ya que si se ejerce un efecto negativo sobre el porcentaje de sacarosa en la caña, habrá un aumento de ceniza y este repercute sobre la calidad del azúcar, la octava fertilización se realizó a los 126 días del cultivo (4 meses) volviendo a incrementar los niveles de nitratos y sulfatos en las aplicaciones como también los niveles de fósforo y potasio (Cuadro 11) importantes en estas fases de crecimiento del cultivo, para prepararlo para la etapa de maduración (Figura 1), se usaron cantidades elevadas del fosforo y potasio porque las cantidades presentes en el suelo son demasiadas bajas (Cuadro 5), y podrían estarse causando algunos problemas en las diferentes fases de crecimiento del cultivo de la caña de azúcar.

Cuadro 11. Fertilizantes usados en la octava fertilización (Kg/ha) que se realizó en finca La Legua.

Turno	N de amonio Kg	S de amonio Kg	Ac. Fosfórico kg	KCl soluble Kg	Sulfato de Cu kg
1	46.1	23.9	14	15.38	0.2
2	47.3	24.5	14	14.01	0.2
3	49.7	25.7	14	12.87	0.2
4	52.2	27.1	14	13.54	0.2
5	51.5	26.7	14	11.44	0.2

5.4 Relación de crecimiento del cultivo de caña de azúcar con la aplicación de nutrientes

En la (Figura 2) claramente se ve cual es la relación en cuanto a crecimiento del cultivo y la aplicación de fertilizantes, en la cual a medida se van aumentando los niveles de fertilizantes aumenta el crecimiento de las plantas de caña de azúcar, esto también está influenciado por la etapa fenológica del cultivo en donde el cultivo se va volviendo más exigentes de algunos fertilizantes según sea la edad de este. Es por eso que se debe de conocer bien cuál es la cantidad de nutrientes en el suelo para cubrir las necesidades requeridos, para obtener el máximo rendimiento del cultivo.

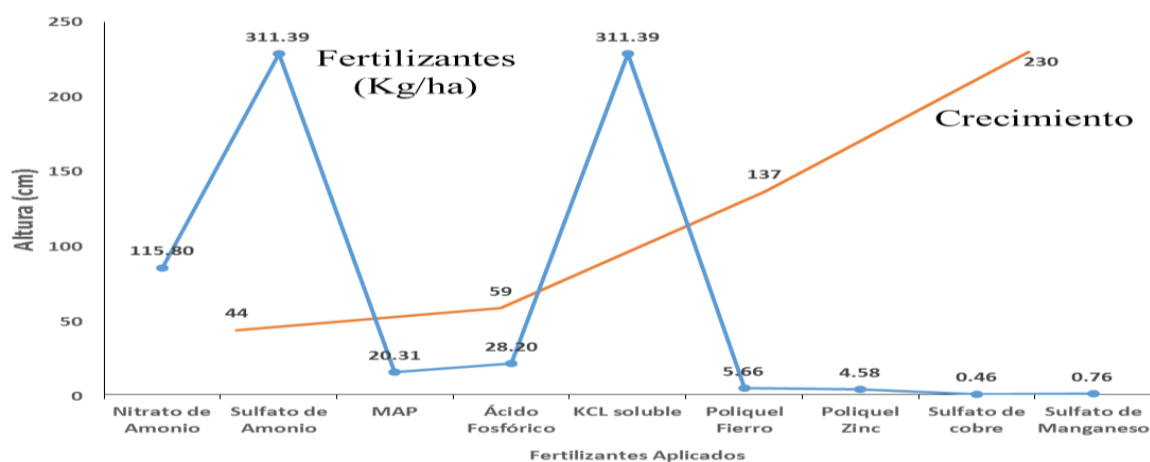


Figura 2. Relación de crecimiento (Cm) del cultivo de la caña de azúcar, con la cantidad de fertilizantes (Kg/ha) aplicados en las diferentes fertilizaciones.

5.5 Muestreo de la solución nutritiva

Según datos obtenidos en los análisis enviados al laboratorio de La Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano (Anexo 3) de las muestras que representan los fertirriegos dos y cinco de los turnos 1, 3, 4 y 5, se pueden observar los fertilizantes que llegaron a los recipientes que fueron colocados en los laterales en los diferentes lotes bajo estudio, la diferencia que se muestra entre los aniones y cationes es escasa lo que se puede decir que existe una fiabilidad analítica en el muestra.

El agua analizada (Anexo 4) tiene una conductividad eléctrica calificada como media pero por encima de los valores máximos definidos para este cultivo que es de 8 ds/m puede producir daños a corto y a mediano plazo, el sistema de riego por goteo ayuda a evitar problemas, es por eso que es importante medir la salinidad en el suelo para conocer en detalle la magnitud del riesgo y la evaluación de la salinidad. En el caso de la toxicidad por iones presentes en el agua como es el caso del cobre, hierro, manganeso y zinc el riesgo es relativamente bajo, sin embargo existe un riesgo medio de sodio (sales totales) que interesa observar a medio y largo plazo.

La dureza del agua analizada implica un alto contenido de calcio y magnesio esto puede ocasionar problemas de precipitación y obturaciones del sistema de riego. La dureza de esta agua dura lo que acompañado a pH relativamente ácidos puede indicar un riesgo bajo de obstrucción por carbonatos cálcico, el manganeso tiene una concentración media en el agua que con el tipo de pH puede tener precipitaciones por hidróxidos de manganeso es por eso la presencia de ácidos en el pH que disminuya el riesgo de obturación y optimizando la absorción radicular de los nutrientes por la planta.

Por otra parte en el Anexo 5 el índice de RAS (Relación de absorción de sodio en esta agua) es 0.95 por lo tanto podemos decir que el riesgo de sodificación es relativamente bajo. El RAS valora el efecto conjunto de los aportes de sodio, calcio y magnesio aportado por el agua de riego, sin embargo según la clasificación de las aguas para riego nos dice que estas aguas son muy peligrosas para realizar el riego ya que el sodio puede ser un peligro con lavados deficientes, en suelos de textura fina y sin la presencia de yesos.

5.6 Variable para la medición de conductividad eléctrica

Los análisis de varianza realizados para determinar la significancia (Anexo 6) de esta variable mostraron que no existe una diferencia estadísticamente significativa, lo que nos indica que todos puntos de muestreo de la finca La Legua tuvieron un comportamiento

similar durante toda la investigación, tanto en el agua como en el suelo y que las variaciones existentes no son lo suficientemente amplias para poder ocasionar efectos significantes.

A pesar de no existir diferencia estadísticamente significativa podemos observar que los valores de conductividad eléctrica son cambiantes pero al mismo tiempo nos indica que la distribución de los fertilizantes es uniforme en toda el área de fertilización (Figura 3). Por otra parte se observa también cambios en la conductividad eléctrica en el suelo, esto se debe a que el lugar bajo estudio presento diferentes tipos de texturas, dando lugar a un intercambio de cationes presentes en el suelo y el fertilizantes permitiendo así una mayor absorción de nutrientes por parte del cultivo de la caña de azúcar.

Es importante mencionar que la conductividad eléctrica adecuado en el suelo es de 3 ds/m, mientras que el agua de 5 ds/m, en el suelo no aumenta demasiado esto se debe a que la empresa inyecta ácido fosfórico en el fertirriego bajando así los niveles de conductividad eléctrica contribuyendo a una absorción segura de los fertilizantes aplicados por parte de la empresa, posteriormente en los muestreos siguientes dicha propiedad química iba disminuyendo hasta alcanzar niveles similares al resto.

Para el resto de los fertirriegos los niveles en la conductividad eléctrica tanto en el suelo como en el agua se mantienen casi similar en todos los muestreos en los distintos fertirriegos también cabe señalar que en la época de invierno que fue donde se realizó este estudio la lluvia podría estar aumentando la conductividad eléctrica tanto en el agua, por la cantidad de sólidos en suspensión del río, como el en suelo por la abnegación del mismo por demasiada humedad presentando leves fluctuaciones.

Esto nos indica que la distribución de fertilizantes es uniforme en toda el área, sin embargo si se observaron diferencias de pH y CE entre los distintos fertirriegos lo que era de esperarse ya que en cada fertirriego son cantidades diferentes de cada insumo, aumentos los niveles de sales en el contenido de la solución nutritiva.

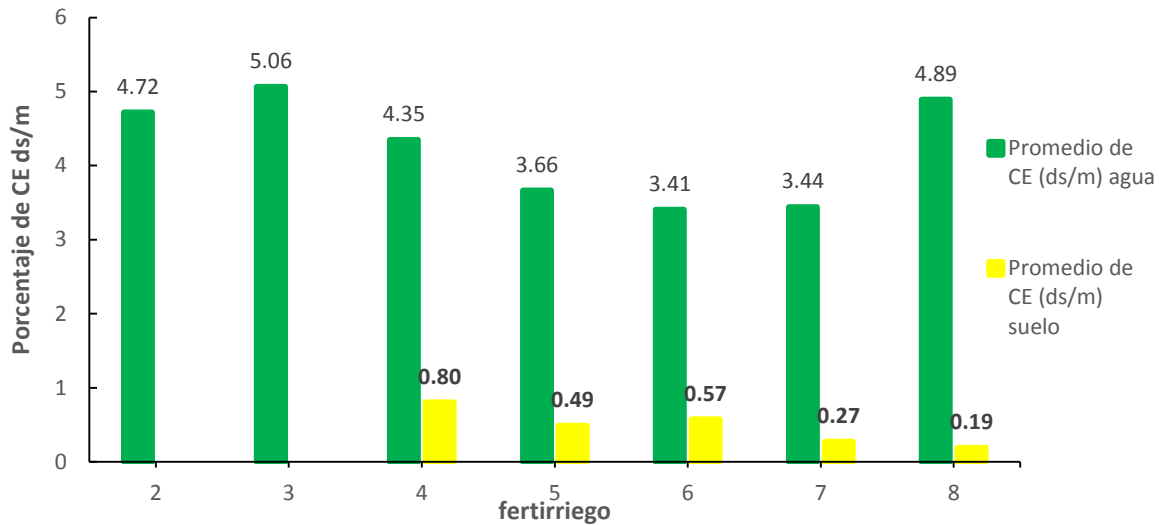


Figura 3. Porcentaje de conductividad eléctrica en el agua y el suelo en los diferentes fertirriegos aplicados.

5.7 Variable para la medición de pH del suelo y agua

Para la evaluación de esta variable los resultados que proporcionó el análisis de varianza (Anexo 7) indican que no hay diferencia estadísticamente significativa entre los diferentes fertirriegos lo que nos indica que todos los puntos de muestreo se observó un comportamiento similar durante el estudio por lo que las variaciones existentes no son lo suficientemente amplias para poder ocasionar efectos significantes.

En la (Figura 4) se puede observar las fluctuaciones del pH para cada uno de los fertirriegos y las diferentes media productos de las diferentes tomas de datos que se realizaron durante el periodo en que se duró el estudio en el caso de los fertirriegos 2, 3 y 4 no presentan datos de pH en el suelo puesto que estas variables no se estaban tomando en ese instante.

En el caso del pH que se tomó en el agua tiende a mantenerse neutro y ácido en algunos fertirriegos donde las fluctuaciones son menores, siempre se ve un claro aumento tal es el caso del fertirriego que se acerca a pH de 7 manteniéndose en un rango aceptable dentro del cultivo de la caña de azúcar, por lo tanto podemos decir que los niveles manejados en el

suelo por parte de la empresa se encuentran en el rango óptimo para el buen desarrollo del cultivo.

Es importante que la solución nutritiva y el suelo tengan un rango adecuado de pH de 6.5 para que las plantas puedan tomar del suelo más eficientemente los nutrientes esenciales para su desarrollo. En el caso totalmente diferente se encuentra el fertirriego dos que presenta un pH demasiado bajo (3.69), provocando una acidificación en el agua.

En el caso del pH del suelo se mantuvo en un rango intermedio durante casi toda la investigación la fluctuación del pH tuvo un comportamiento similar y las pequeñas variaciones existentes se realizaron en un aumento del pH, pasando a ser casi neutro, y a medida avanzamos con la aplicación de fertilizantes observamos en el fertirriego ocho una baja en el pH del agua (4.65), y a un aumento en el pH del suelo (5.43), esto se debe a que en estos meses de la toma de datos se encontraba la mayor cantidad de precipitación en la zona.

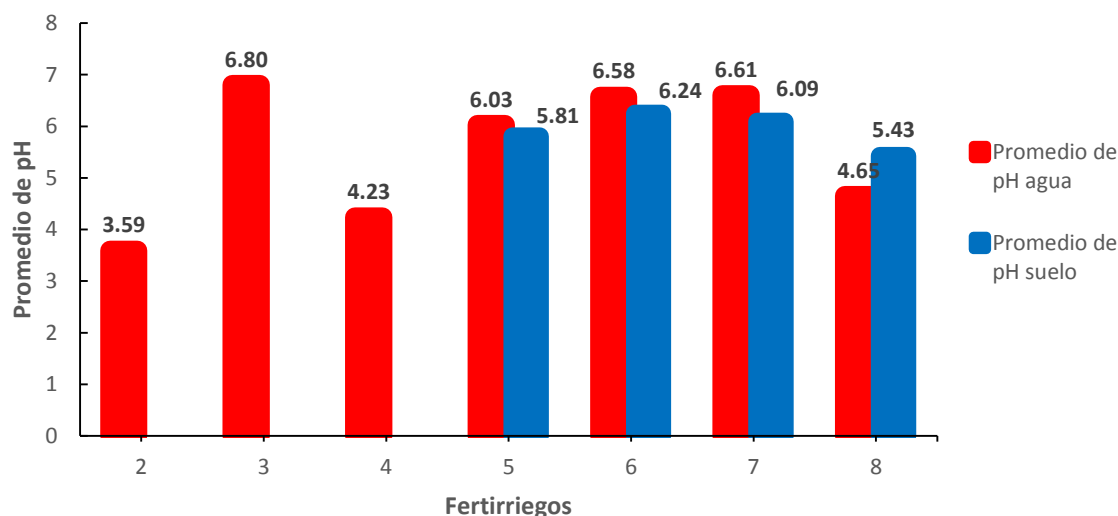


Figura 4. Promedio de pH en el agua y el suelo en los diferentes fertirriegos aplicados por la empresa.

5.8 Comportamiento del cultivo

5.8.1 Análisis foliar

En el (Anexo 8) se muestran los datos obtenidos en cuanto al contenido de nutrientes en el análisis foliar en la plantación de caña de azúcar de la finca La Legua en diferentes lotes, entre los cuales tenemos nitrógeno, fósforo, magnesio, calcio y potasio. De todas las anteriormente descritas la única que muestra efecto menor es el nitrógeno de ahí todos los demás fertilizantes se presentaron en un rango medio en el análisis.

5.8.2 Contenido de Nitrógeno en el análisis foliar

El contenido de nitrógeno en las hojas de caña de azúcar, muestra efectos en cuanto a su absorción en los diferentes lotes, esto se puede dar debido al área de cada lote o bien a la cantidad de fertilizante utilizada, puede haber una influencia directa en cuanto al número de aplicaciones utilizadas al igual que las dosis empleadas debido a que estos dos factores ocasionan que las diferencias en las concentraciones de este elemento muestren un comportamiento distinto entre un lote a otro (Figura 5).

Así mismo podemos observar que en promedio el lote que presentó una mayor absorción de nitrógeno por parte del cultivo fue el lote 2, seguido muy de cerca por el lote 11 en los cuales las plantas presentan mejor aprovechamiento de este nutriente, también se puede mirar que los niveles más bajos de nitrógenos se encontraron en el lote 3 y en el lote 8 donde las concentraciones están en niveles muy bajos esto podría estar causando problemas al cultivo, contrario a los demás lotes que presentaron un comportamiento similar en el aprovechamiento del nutriente.

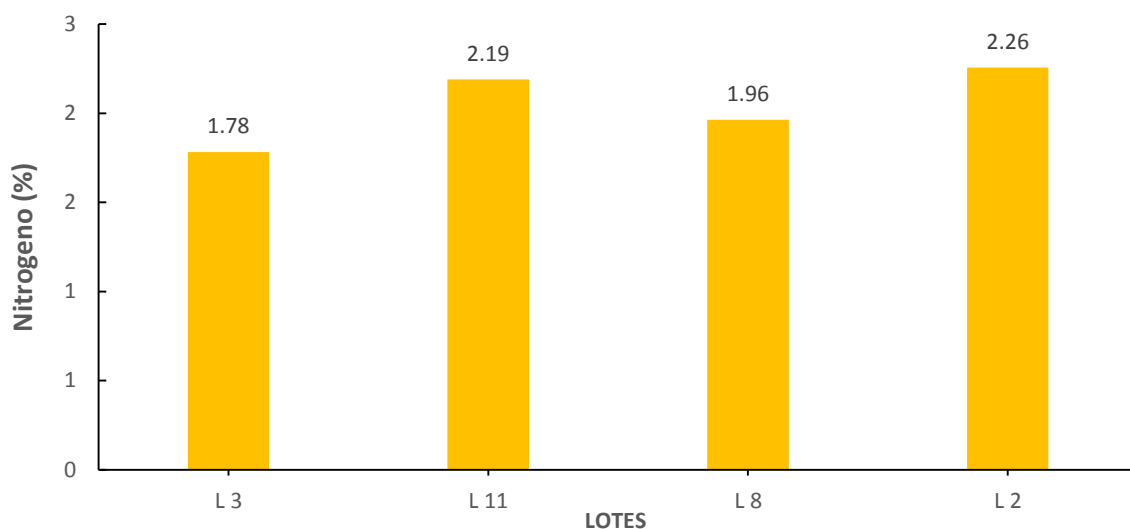


Figura 5. Porcentaje de absorción del nitrógeno en los diferentes lotes.

5.8.3 Contenido de fosforo en el análisis foliar

El contenido de fosforo (Figura 6) en el análisis foliar muestra que existe una poca absorción de este elemento por parte del cultivo, encontrándose niveles bajos en los lotes 3 y 11. En la figura se puede observar que el comportamiento de la absorción por parte de los otros lotes es similar presentándose de una manera levemente diferente entre sí, entre estos podemos mencionar el lote 8 y 2 que son los que presentan niveles considerados de absorción en las hojas, los otros poseen niveles más deficientes, pero se consideran en los niveles adecuados para el cultivo.

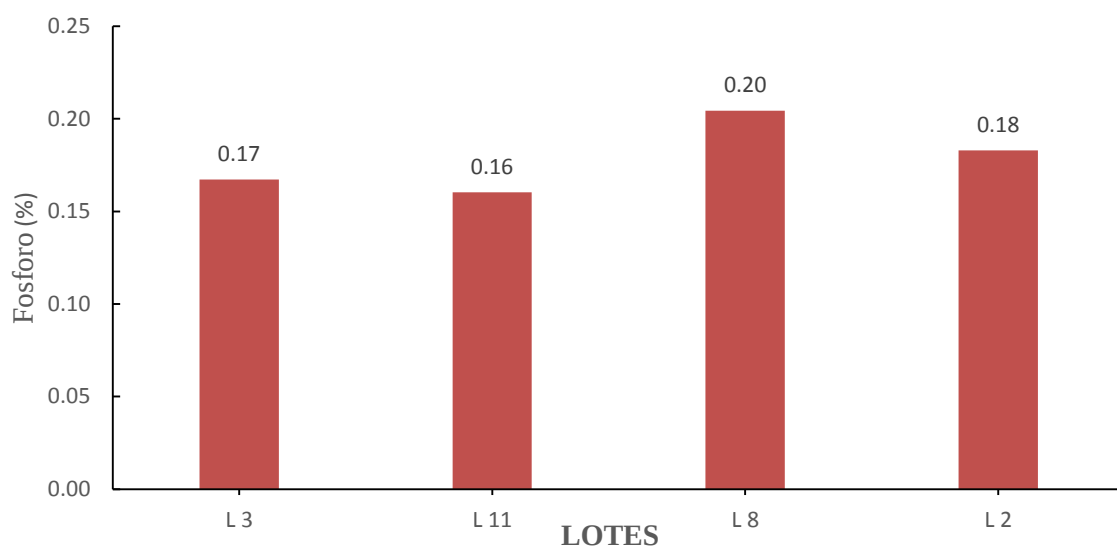


Figura 6. Porcentaje de la absorción del fosforo en los diferentes lotes.

5.8.4 Contenido de potasio en el análisis foliar

Para este elemento se observa niveles muy bajos de absorción por parte de la planta según datos obtenidos en el análisis foliar, se observa niveles demasiados bajos en los lotes 3, 8 y 2, sobresaliendo entre estos el lote 11 que presenta un adecuado equilibrio en la absorción de este elemento. En la (Figura 7) podemos observar estas grandes diferencias entre lotes muestreados, efectos que deben ser considerados porque se trata de un elemento que se está aplicando en grandes cantidades y que la planta no lo está asimilando de la manera correcta.

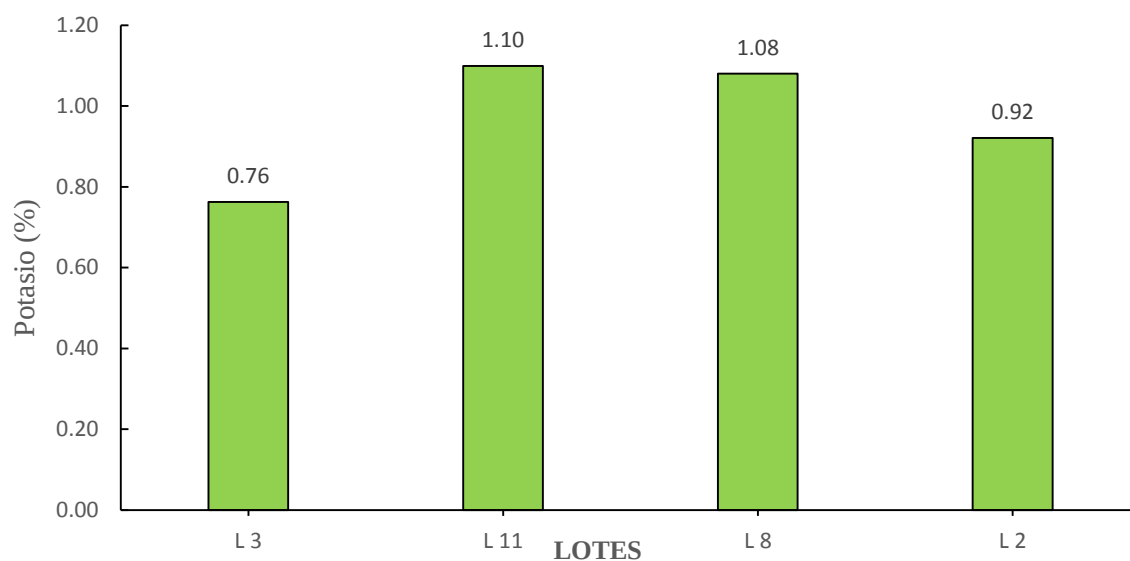


Figura 7. Porcentaje de la absorción de potasio en los diferentes lotes.

5.8.5 Contenido de calcio en el análisis foliar.

Para este nutriente podemos observar que la absorción de calcio tuvo un comportamiento alto en la mayoría de los lotes muestreados esto se pudo dar a las diversas dosis usadas y el número de aplicaciones de fertilizantes.

Pero al mismo tiempo se puede observar (Figura 8) que el lote donde se mostró con una absorción de este elemento es el lote 8, contrario es el caso de los otros lotes que la cantidad de absorción fue elevado, pero los rangos encontrados son ideales para todos ellos, debido a que presentan concentraciones optimas de este nutriente en la planta.

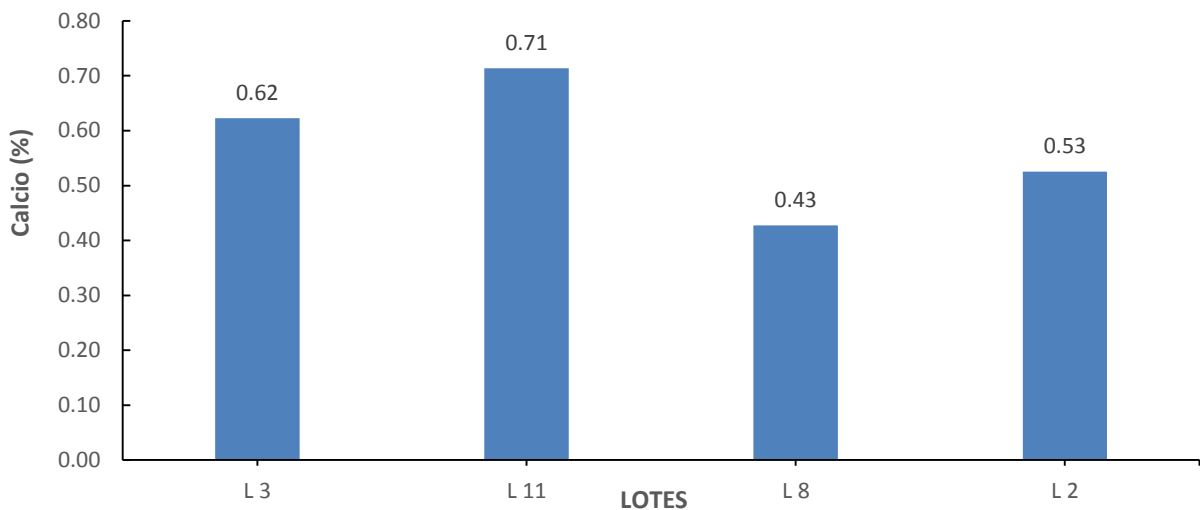


Figura 8. Porcentaje de la absorción de calcio en los diferentes lotes.

5.8.6 Contenido de magnesio en el análisis foliar

Para el contenido de magnesio en el análisis foliar en los diferente lotes nos dice que las diferencias mostradas se debe a la cantidad de área de donde fue tomado la muestra era mayor por eso la diferencia. Las plantas de caña de azúcar en cuanto a la absorción de magnesio se comportaron de manera similar sin importar el número de aplicaciones de fertilizantes y las respectivas dosis utilizadas de la misma en magnesio se encuentra en un rango óptimo, este nutriente en particular no se considera que limite la producción.

En la (Figura 9) podemos observar que a pesar de no existir una clara diferencia en cuanto a absorción, siempre se presentan diferentes comportamientos en la absorción del magnesio entre cada uno de los lotes, encontrándose en el lote 11 un nivel más alto de magnesio, así mismo el contenido más raquítrico se presenta en el lote 8, los dos faltantes muestran un rango aceptables debido a que sus datos son casi similares. Estos resultados de comportamiento en la absorción de magnesio se puede deber a cantidad de potasio ya que este tiene un fuerte efecto sobre el magnesio. Este efecto es uno de los más fuertes y más frecuentes encontrados en la nutrición de la caña.

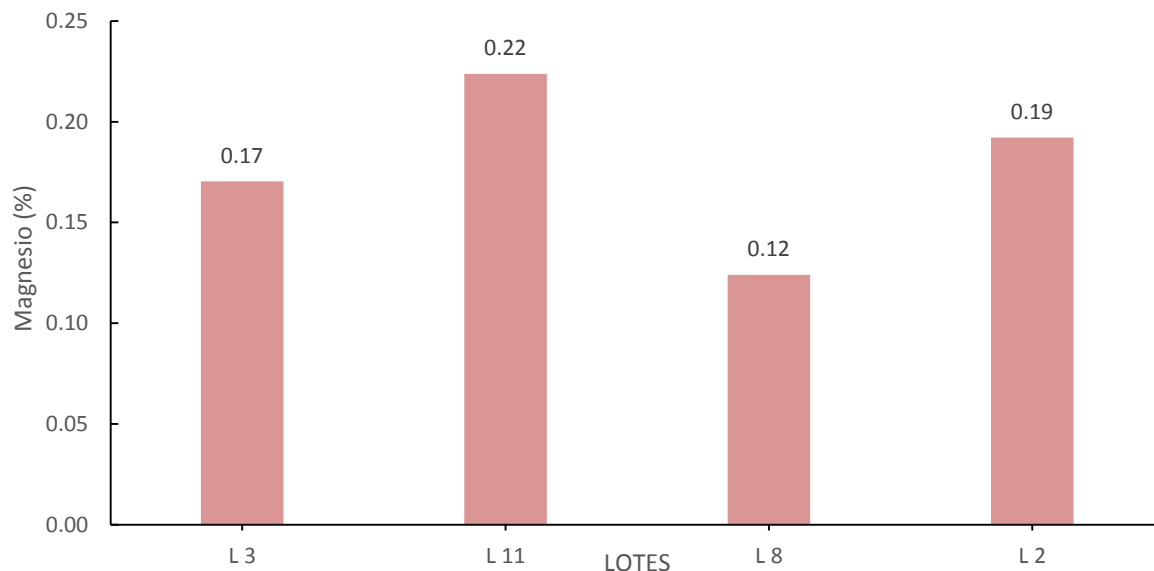


Figura 9. Porcentaje de la absorción del magnesio en los diferentes lotes.

5.8.7 Contenido de cobre, manganeso, hierro, zinc y boro en el análisis foliar.

La absorción de los elementos menores fue variable, siendo el de mayor absorción el hierro, después se encuentra el manganeso y seguidamente el cobre y el boro encontrándose niveles demasiados bajos de zinc, pero los demás se encuentran en un nivel medio obteniéndose una buena absorción de elementos menores por parte del cultivo (Figura 10).

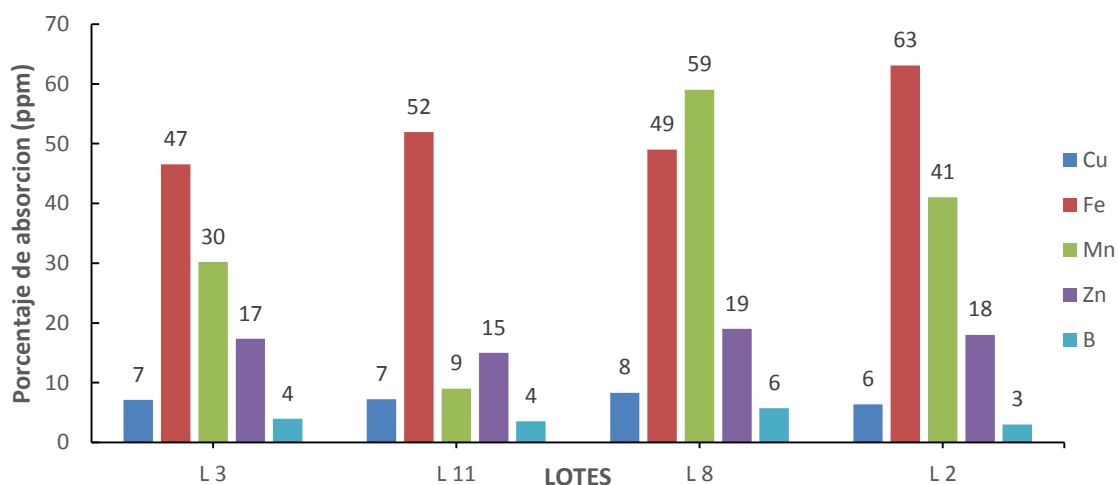


Figura 10. Comportamiento de la absorción del Cobre, manganeso, Hierro, Zinc y boro en los diferentes lotes.

5.9 Variables agronómicas evaluadas.

5.9.1 Tallos por metro lineal

La variación que presenta los tallos por metro lineal (Cuadro 11) a través del tiempo es elevado, esto se debe a que al cultivo se le suministra la cantidad de nutrientes necesarios para incrementar el número de tallos los puntos de medición fueron tomados en el surco del centro de los lotes bajo estudio (Figura 10).

Cuadro 12. Tallos por metro lineal tomadas en los lotes 11,14, 8 y 2, Finca la Legua.

Medición	Población promedio de tallos/m
1	8.0
2	10.5
3	12.7
4	16.8

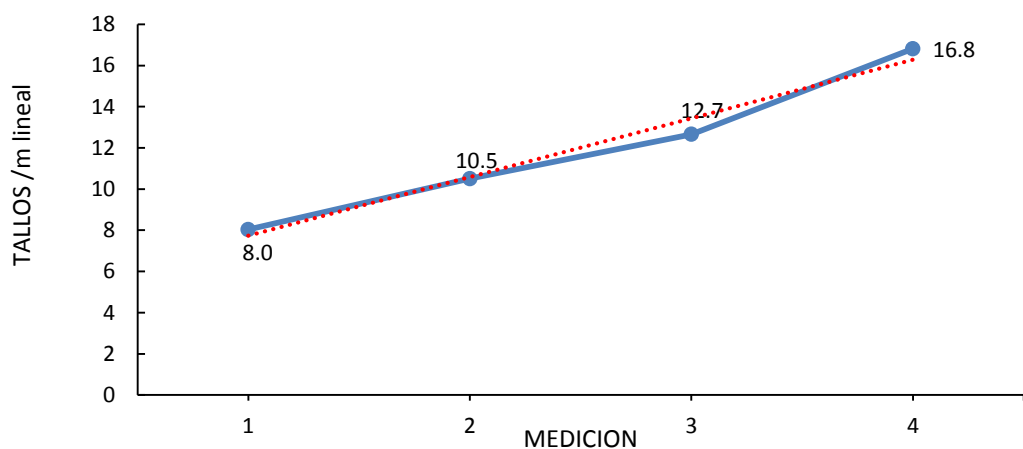


Figura 11. Número de tallos por metro lineal de caña de azúcar en las diferentes mediciones realizadas.

5.9.2 Número de hojas verdes

El número de hojas verdes (Figura 12) fue constante a partir de la segunda medición hasta el final de la evaluación que se le llevo a cabo al cultivo con 7 a 10 hojas verdes/tallo, incrementando así el porcentaje de captación de energía solar importante para la fase fotosintética del cultivo favoreciendo así la producción de azúcares acumulándose en el tallo de la planta.

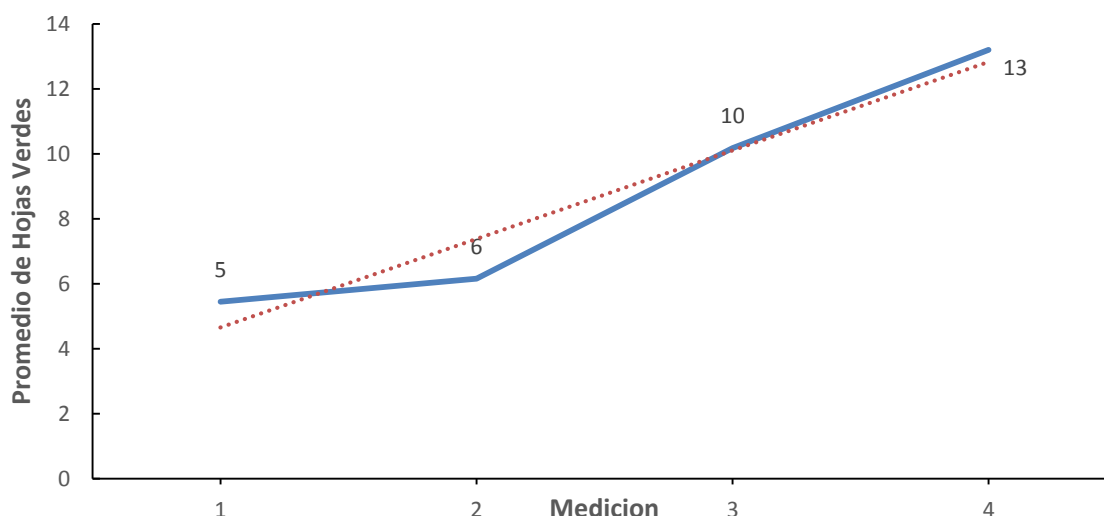


Figura 12. Promedio de hojas verdes en el cultivo de caña de azúcar en los Lotes 14, 11, 8 y 2, Finca La Legua.

5.9.3 Número de hojas secas

En los primeros meses del cultivo la cantidad de hojas secas es muy baja ya que la cantidad de hojas verdes es mayor dado a la capacidad que tiene la planta de ir creciendo considerada mente rápida comparado con otras cultivos, pero al mismo tiempo ocurre un aumento de la cantidad de hojas secas en la tercera y cuarta medición que se realizó dado en que la etapa de este cultivo de 4 meses en adelante ocurre un cambio de hojas continuos en el cultivo como forma de protección de los azúcares contenidos en el tallos de la caña (Figura 13).

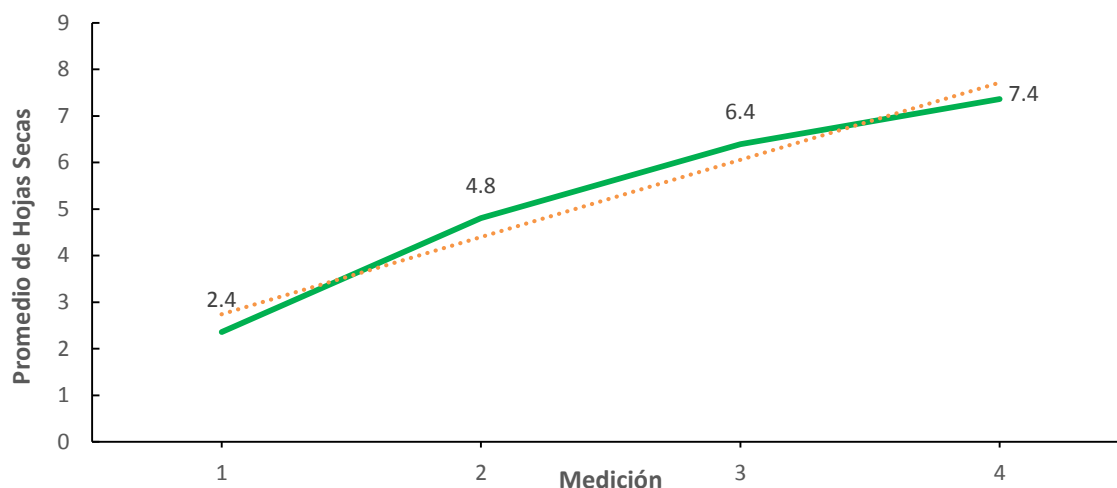


Figura 13. Promedio de hojas secas en el cultivo de caña de azúcar en los Lotes 11,14, 8 y 2 de la Finca La Legua.

5.9.4 Longitud de entrenudo

La longitud de los entrenudos es similar desde el tercer mes de edad del cultivo a medida que este va creciendo aumenta a partir de la tercera medición que coincide con la época de lluvia. El tamaño es siempre menor en los entrenudos inferiores, esto se debe a competencia y disponibilidad de luz, un entrenudo pequeño indica que hubo mala iluminación, mucha competencia o falta de agua entre otros factores que pudieron estar afectando al cultivo en la etapa del gran crecimiento o desarrollo total de la caña de azúcar (Figura 14).

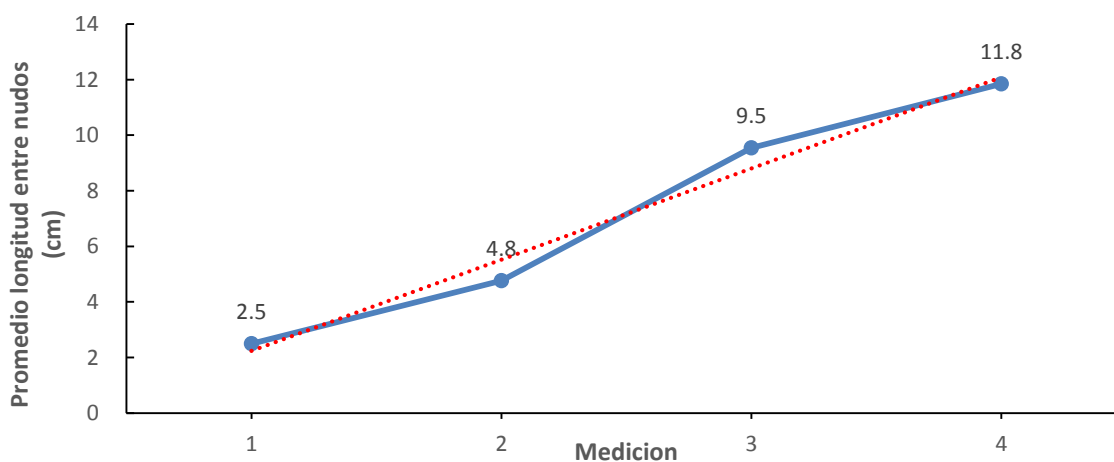


Figura 14. Promedio de longitud de entrenudos de caña de azúcar en los Lotes 11, 14, 8 y 2, Finca La Legua

5.9.5 Numero de nudos

No hay nudos hasta el tercer mes, a partir del cual inicia su formación, y claramente se observa en la gráfica (Figura 15), un aumento en la tercera medición que corresponde a los 5 meses de edad del cultivo y se observa un aumento en la cuarta medición y esto siempre continuarán creciendo hasta el mes 11. A partir de este tiempo no hay formación de nudos nuevos. La disminución en la formación de los nudos se puede deber a la presencia de alguna enfermedad o algún factor ambiental que esté afectando al cultivo en alguna etapa de crecimiento del cultivo.

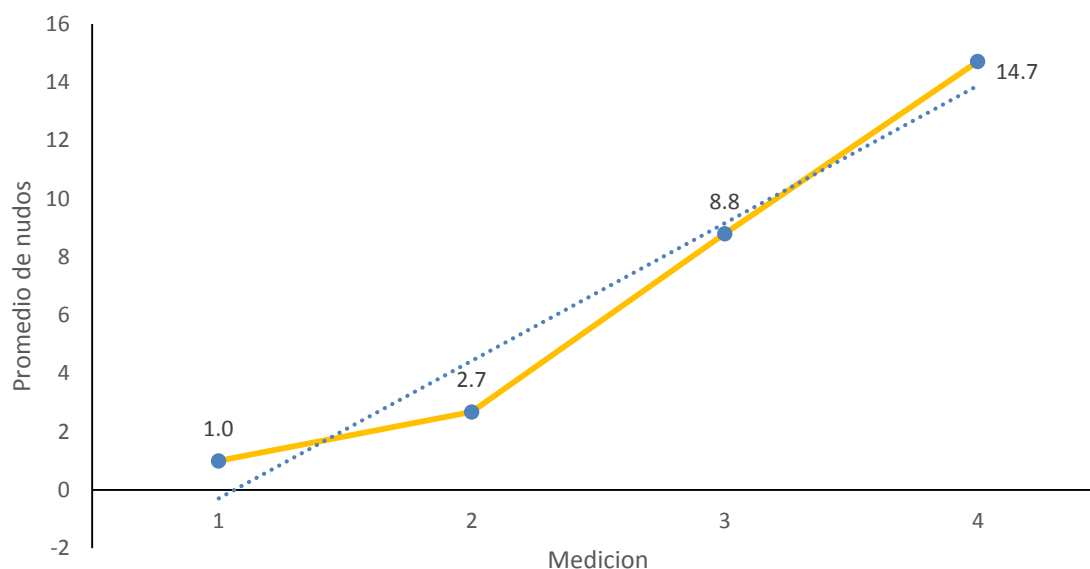


Figura 15. Promedio de nudos en el cultivo de caña de azúcar en los diferentes lotes bajo estudio.

5.9.6 Altura

Durante los tres primeros meses de cultivo el crecimiento fue lento (Figura 16), a partir del cuarto mes el crecimiento fue mayor y permanente. En el último mes que se estuvo observando el cultivo se constató un crecimiento acelerado, logrando en el séptimo mes una altura promedio de 230 cm.

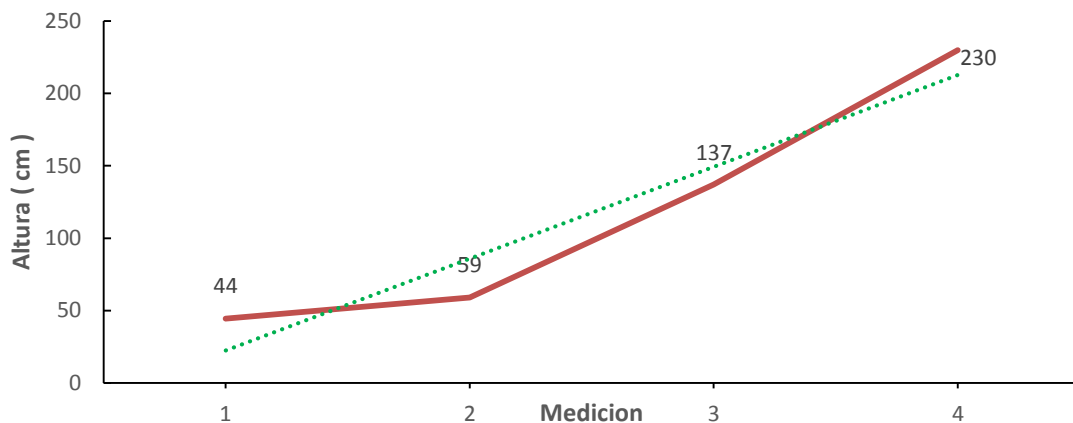


Figura 16. Altura en el cultivo de caña de azúcar en los Lotes productivos de la Finca La Legua.

5.9.7 Diámetro del tallo

El diámetro indica que el grosor del tallo de caña de azúcar es muy similar en las tres partes del tallo y aumenta considerablemente entre el tercero y sexto mes del cultivo (Figura 17), en los primeros meses el diámetro del tallo es pequeño. La elongación se da entre los tres y seis meses de edad del cultivo puesto que es en esta etapa en donde el cultivo tiene que alcanzar el máximo tamaño del tallo para poder sintetizar y almacenar la azúcar que va obtener del proceso fotosintético en sus próximos meses de vida.

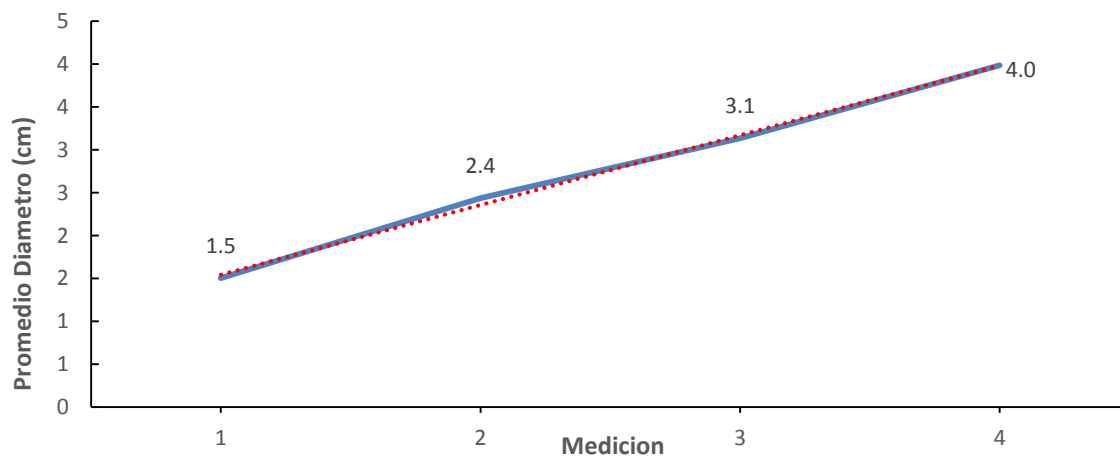


Figura 17. Promedio de los diámetro de los tallos de caña de azúcar de los lotes productivos de la Finca La Legua.

5.9.8 Biomasa

El peso fresco total de los tallos, se tomó para determinar la Producción de biomasa fresca por hectárea (Figura 18). Pero este dato no fue preciso aproximarlos porque al momento de la toma de muestra del peso de los tallos la plantación se encontraba demasiada pequeña para estimar su producción por hectárea, pero de igual forma se observa (Figura 16) que el lote que presentó mayor peso de los tallos fue el lote 14 (25 kg), seguido del lote 2 (23 kg) que fueron los lotes que más peso presentaron.

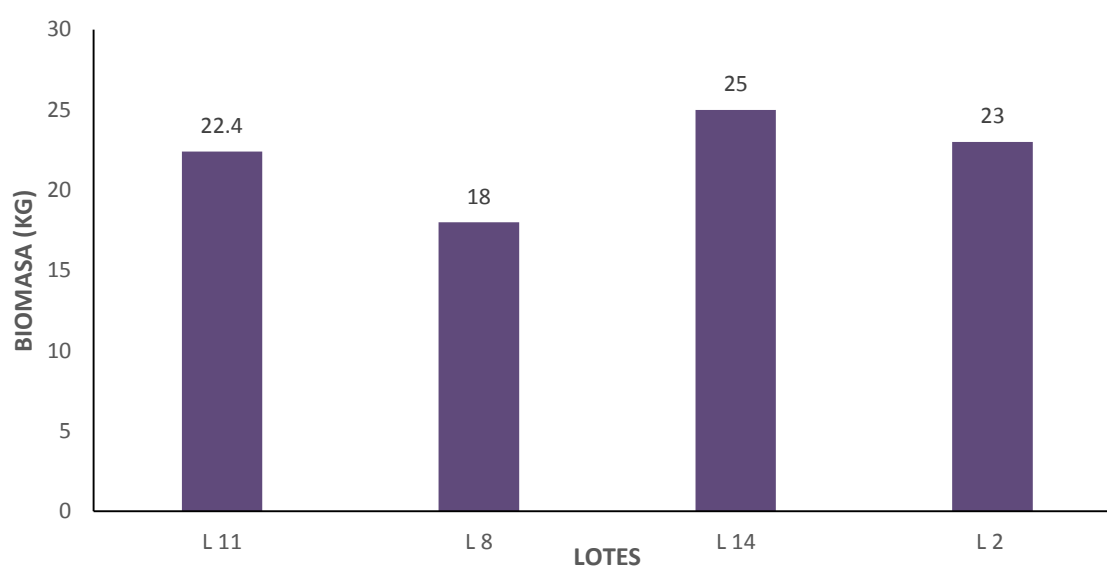


Figura 18. Cantidad de biomasa (Kg) en los diferentes lotes bajo estudio.

5.10 Análisis económico.

Se realizó un análisis económico en base a cantidad de fertilizantes aplicado, precio de cada uno de los fertilizantes, toneladas esperadas por manzana y cantidad estimada de quintales por manzana en la finca la Legua de igual manera el precio que la empresa vende actualmente el quintal de azúcar.

Cuadro 13. Total de fertilizantes usados en las diferentes fertilizaciones y el precio de cada uno de ellos.

FERTILIZANTE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO/UNIDAD	PRECIO TOTAL
Nitrato de Amonio	qq	315	376.7	118,660.50
Sulfato de Amonio	qq	847	261.5	221,490.50
MAP	kg	5524.52	24	132,588.48
Ácido Fosfórico	kg	7672	25.75	197,554.00
KCL soluble	qq	847	448.8	380,133.60
Poliquel Fierro	Lts	700	69	48,300.00
Poliquel Zinc	Lts	566	67	37,922.00
Sulfato de cobre	Kg	125.02	57.9	7,238.66
Sulfato de Manganeseo	kg	205.7	18.7	3,846.59
TOTAL (LPS)				1147,734.33

Cuadro 14. Estimado en la producción y total de producción en Finca la Legua compañía azucarera tres valles, Cantarranas, Honduras 2013.

AREA TOTAL (MZ)	CANTIDAD ESPERADA (TM/MZ)	QUINTALES/MZ	PRECIO/QUINTAL (LPS)	TOTAL PRODUCCION (LPS)
178.63	65	2.3	600	16023,111.00

Cuadro 15. Utilidad esperada de los gastos de fertilizantes menos total de producción.

GASTOS EN FERTILIZANTES (LPS)	TOTAL PRODUCCION (LPS)	UTILIDAD (LPS)
1147,734.33	16023,111.00	14875,376.67

Según el análisis económico realizado en la estimación de producción se consideran ingresos muy buenos en la producción se caña de azúcar, pero aún faltan algunos datos para que el análisis sea más concreto pero si se observa que se puede sacar la inversión que hace la empresa en cuanto a fertilizantes.

VI CONCLUSIONES

Existe una uniformidad en la aplicación de fertilizantes solubles en el cultivo de la caña de azúcar a través del sistema de riego por goteo, pero no se están absorbiendo los nutrientes necesarios para alcanzar el máximo rendimiento.

Cuando se realiza un buen manejo de pH y CE en el suelo y en el agua, se previene de muchos problemas que se pueden dar tanto por la acidificación en el suelo o por la cantidad de sales que se pueden encontrar en el agua.

Según el análisis foliar y las cantidades de fertilizantes aplicadas por la empresa, claramente se ve reflejado el aprovechamiento de los nutrientes por este cultivo obteniéndose cantidades elevadas de producción de caña de azúcar.

Los gastos por fertilizantes son demasiados elevados pero este costo es necesario porque el suelo es demasiado pobre en nutrientes, las cantidades que se usan son para realizar un equilibrio entre el suelo y la planta.

VII RECOMENDACIONES

Manejar un estricto cronograma de fertilizaciones y respetar condiciones desfavorables en las cuales no se puede realizar una fertilización para evitar pérdidas económicas a la empresa en cuanto a costos de los insumos.

Tener cuidado con el acúmulo de sales en los laterales de riego realizar limpieza más seguido, ya que por ser un sistema que riego que va enterrado 25 cm en el suelo corre más riesgos de obstrucción causando que no llegue fertilizantes a varios surcos o aun lote completo.

Capacitaciones a las personas encargadas de realizar la fertilización para saber qué tipos de fertilizantes pueden mezclar y cuáles no, asegurando así una buena fertilización y por ende una excelente absorción por parte del cultivo.

Realizar más estudios relacionados con el tema en otras parcelas de la empresa para tener una base de datos y así conocer a ciencia cierta cuál es el cambio que se puede dar según sea el tipo de suelo, agua y/o condiciones ambientales en las que se realiza la fertilización al cultivo de la caña de azúcar.

VIII BIBLIOGRAFIA

ANFFE (asociación nacional de fabricantes de fertilizante) s.f. La importancia de los fertilizantes en una agricultura actual productiva y sostenible (en línea). Consultado el 10 de septiembre del 2013. Disponible en: <http://www.anffe.com/noticias/2008/2008-06-02%20la%20importancia%20de%20los%20fertilizantes%20en%20una%20agricultura%20actual%20productiva%20y%20sostenible/la%20importancia%20de%20los%20fertilizantes.pdf>.

Argueta, A. 1985. La energía alternativa de la azúcar Series No. 6. Elsevier. USA, 530 p.

Baca, C. G. 1998. Cultivos Hidropónicos. Apuntes del curso. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Montecillos. México.

Barber, R. 1984. Manejo de suelos y cultivos en zonas de ladera de América Central. Servicio de Gestión y Conservación de los Recursos de Suelos, FAO. 82 p.

Cadahia, L.C. 1998. Fertirrigación “cultivos hortícolas y ornamentales”. Diagnóstico de nutrición y recomendaciones de abonado. Ediciones Mundi-Prensa. Primera edición. Madrid, España. pp. 173-243.

Casafe sf. Fertilizantes. (En línea). Consultado el 15 de agosto del 2013. Disponible en: <http://www.casafe.org/usep/Fertilizantes.pdf>.

Cepeda Dovala, J.M. 2002. Química de Suelos. México D.F. editorial Trillas S.A. 167 p. España, 423 p.

Enciclopedia Virtual s.f. Fertilización del Suelo y de las Plantas (en línea). Consultado 18 de septiembre del 2013. Disponible en http://www.peruecologico.com.pe/lib_c18_t08.htm.

Espinoza, L; Slaton, N; Mozaffari, M. 2006. Interpretar los resultados de análisis del suelo. Calculo de capacidad de intercambio catiónico. Arkansas, Estados Unidos. 2007. Impreso por los servicios de impresión del servicio de extensión cooperativa de la Universidad de Arkansas. FSA21185p.

Faostat, It. 2002. Datos agrícolas: cultivos primarios caña de azúcar (en línea). Roma, It. Consultado el 22 de septiembre del 2013. Disponible en <http://apps.fao.org/page/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&language=ES&hostname=apps.fao.org&version=default>.

Fauconnier, R. y Basseereau, D. 1975. La caña de azúcar, Editorial Blume, Barcelona.

Forzza 2010. Lista de especies Flora de Brasil (En línea) consultado el 9 de abril 2013. Disponible en <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/>.

Helmke, P.A. 2000. El estudio y composición de los suelos *In:* E. Malcom (ed) Handbook of Soil Science. Sumer RCC press LLC. United State of America. pB22 - B23. Intercambio catiónico en el suelo (En línea), consultado el 9 de agosto 2013. Disponible en <http://www.smart-fertilizer.com/articulos/Capacidad-Intercambio-Cationico>.

Kirkby, E; Romheld, V. 2008. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad (en línea). Consultado el 22 de septiembre del 2013. Disponible en: [http://www.oilpalm.info/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/D1D0D5E5D341DA6A052573FC00575706/\\$file/Inf-agro.+68.pdf](http://www.oilpalm.info/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/D1D0D5E5D341DA6A052573FC00575706/$file/Inf-agro.+68.pdf).

Martínez Raya, 1966. Manejo de aguas salinas (En línea) consultado el 18 de mayo del 2013. Disponible en: <http://www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/Manuales/Salinidadsuelos.asp>.

Martínez Raya, 1966. Manejo de aguas salinas (En línea) consultado el 18 de mayo del 2013. Disponible en: <http://www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/Manuales/Salinidadsuelos.asp>.

Pablo Possetto, 2011.N° 11. Nutrición en caña de azúcar (en línea). Fertilizar asociación civil. Consultado 30 noviembre 2013. Disponible en <http://www.fertilizar.org.ar/2011/ediciones/FERTILIZARN21>.

Porta J., M. López Acevedo y C. Roquero. 2003. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. 3era. edición. Mundi Prensa. Madrid, España. 960 p.

Porta J., M. López Acevedo y R., Poch Claret. 2011. Introducción a la Edafología, uso y protección de suelos. 2da edición. Mundi prensa. Madrid, España. 535 p. San José, Costa Rica, EUNED, 448 p. Sociedad Costarricense de la Ciencia del Suelo, 307 p.

Quijano, J (2010). Técnica DRENCH 70 “fertilización innovadora” (en línea). Consultado el 12 de septiembre del 2013. Disponible en http://www.ipipotash.org/udocs/Landaverde_tecnica_drench_70_fertilizacion_innovadora_coffee.pdf.

Romero E.R. 2009. Manual del cañero. 1era edición ISBN 978-987-21283-7-1. Editado por Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) Tucuman Argentina 232 p.

Subirós, F. 2000, El cultivo de la caña de azúcar, 1era reimpresión de la 1era edición.

Sugarcane, 2010. Fertirriego en caña de azúcar. (En línea). Consultado el 15 de octubre del 2013. Disponible en http://www.sugarcanecrops.com/s/agronomic_practices/fertigation/.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de suelo realizado en finca la legua, compañía azucarera tres valles.

ZAMORANO _____ **LABORATORIO DE SUELOS** CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Zamorano tels. (504) 2287-2000 ext. 2316/2327 Fax: (504) 2287-6242 Cel. 9969-6846

Fecha: 26 de Agosto de 2013
Resultado de análisis de suelos

Procedencia de la muestra: Cantarranas, Francisco Morazan
Solicitante: Azucarera Tres Valles

Finca	Lote	Area (Mz)	% Area	Textura	%			pH (H ₂ O)	%	
					Arena	Limo	Arcilla		M.O.	N _{total}
La Legua	2.0	9.6	0.1	Franco Arenoso	58	36	6	6.02	2.62	0.13
La Legua	14.0	7.5	0.1	Franco arcillo arenoso	58	22	20	6.04	1.18	0.06
La Legua	14.0	7.5	0.1	Franco arcillo arenoso	52	26	22	6.44	1.57	0.08
La Legua	8.0	10.7	0.1	Franco arcillo arenoso	46	22	32	6.16	3.00	0.15
La Legua	11.0	7.6	0.1	Franco Arenoso	60	24	16	5.62	0.98	0.05

Lote	Area (Mz)	mg/Kg (extractable)										
		P	K	Ca	Mg	Na	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
2.0	9.6	2	42	1270	160	28	10	4.0	131	107	1.7	0.3
14.0	7.5	2	190	960	140	30	4	3.1	58	50	0.4	0.2
14.0	7.5	2	50	1020	160	113	16	4.3	170	234	3.3	0.3
8.0	10.7	4	36	2000	340	238	25	2.5	288	103	1.0	0.1
11.0	7.6	2	16	760	80	188	24	1.7	384	6	0.4	0.1

Lote	Area (Mz)	cmol/kg				CIC	% Sat.			
		K	Ca	Mg	Na		K	Ca	Mg	Na
2.0	9.6	0.11	6.35	1.33	0.12	7.91	1%	80%	17%	2%
14.0	7.5	0.49	4.80	1.17	0.13	6.58	7%	73%	18%	2%
14.0	7.5	0.13	5.10	1.33	0.49	7.05	2%	72%	19%	7%
8.0	10.7	0.09	10.00	2.83	1.03	13.96	1%	72%	20%	7%
11.0	7.6	0.04	3.80	0.67	0.82	5.32	1%	71%	13%	15%

Anexo 2. Análisis de agua del rio Choluteca compañía azucarera tres valles.

ZAMORANO **LABORATORIO DE SUELOS** **CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

Zamorano tels. (504) 2287-2000 ext. 2316/2327 Fax: (504) 2287-6242 Cel. 9969-6846

Fecha: 26 de Agosto de 2013
Resultado de análisis de Aguas para Riego

Procedencia de la muestra: Cantarranas, Francisco Morazan
Solicitante: Azucarera Tres Valles

Metodología:
Dureza: CaCO₃ temporal

# Lab.	Muestra	meq-g/L												
		K	Ca	Mg	Na	NH ₄ ⁺	B	Cl ⁻	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻³
13-AR-3381	Rio Choluteca Puente Cantarranas 9/8/13 9:50 Am	2.33	0.65	0.24	1.53	0.10	<0.01	0.10	0.00	1.95	1.37	0.59	0.04	0.01

# Lab.	Muestra	pH	C.E.	ppm							
			ds/m	P _{total}	Cu	Fe	Mn	Zn	Sales totales	Dureza	
13-AR-3381	Rio Choluteca Puente Cantarranas 9/8/13 9:50 Am	6.70	0.47		<0.03	0.47	0.05	<0.01	0	148.6	Agua dura

NOTA:

1. No existe riesgo por alcalinización (SAR<12).

# Lab.	Muestra	Problemas de Toxicidad	SAR	Clase por salinidad y sodio
13-AR-3381	Rio Choluteca Puente Cantarranas 9/8/13 9:50 Am	Na:Problema creciente por sodio en riego por superficie. B: No hay problema	1.25	C2S1

	Agua de buena calidad, apta para riego
	Agua utilizable para riego pero con precauciones.

Responsable: _____
Ing. Moisés Sánchez Amaya

Vo.Bo.: _____
M. Sc. Gloria de Gauggel

Anexo 3. Cantidad de fertilizantes que llegaron a los recipientes en los diferentes fertirriegos

ZAMORANO _____ **LABORATORIO DE SUELOS**
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Zamorano tels. (504) 2287-2000 ext. 2316/2327 Fax: (504) 2287-6242 Cel. 9969-6846

Fecha: 26 de Agosto de 2013

Resultado de análisis de Aguas para Riego

Procedencia de la muestra: Cantarranas, Francisco Morazan

Solicitante: Azucarera Tres Valles

Metodología:

Cl⁻, CO₃⁻², HCO₃⁻: Volumetría

Ca, Mg, K, Na, Cu, Fe, Mn, Zn: Digestión húmeda y determinación por Espectrometría de Absorción Atómica

P_{total}: Digestión húmeda y determinación por colorimetría

B-BO₃, N-NO₂⁻, S-SO₄⁻², N-NO₃⁻, P-PO₄⁻³: Determinación por colorimetría

N-NH₄⁺: Kjeldahl

CE, pH: Potenciometría

Dureza: CaCO₃ temporal

# Lab.	Muestra	meq-g/L												
		K	Ca	Mg	Na	NH ₄ ⁺	B	Cl ⁻	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻³
13-AR-3373	Turno 3 lote 14 valvula 3 Segunda Fertilización	1.83	0.69	6.99	1.04	25.70	0.41	NS	NS	NS	0.67	10.26	<0.01	1.48
13-AR-3374	Turno 5 lote 2 valvula 50 Segunda Fertilización	1.65	0.69	6.22	0.82	33.60	0.55	NS	NS	NS	15.75	13.36	<0.01	1.48
13-AR-3375	Turno 4 lote 8 valvula 29 Segunda Fertilización	2.68	1.04	5.33	1.16	18.60	0.36	NS	NS	NS	9.99	9.26	0.03	1.19
13-AR-3376	Turno 1 lote 11 valvula 11 Segunda Fertilización	2.04	0.71	7.38	0.94	25.60	0.59	NS	NS	NS	11.48	10.26	<0.01	1.62
13-AR-3377	Turno 5 lote 2 valvula 50 Quinta Fertilización	2.67	0.69	11.99	1.56	15.00	0.07	NS	NS	NS	14.34	0.71	0.02	1.49
13-AR-3378	Turno 4 lote 8 valvula 29 Quinta Fertilización	2.96	0.98	6.22	1.73	9.40	0.04	NS	NS	NS	9.04	0.56	0.02	1.06
13-AR-3379	Turno 1 lote 11 valvula 11 Quinta Fertilización	3.02	0.77	7.57	1.82	12.70	0.02	NS	NS	NS	11.79	0.41	0.02	1.19
13-AR-3380	Turno 3 lote 14 valvula 14 Quinta Fertilización	2.48	0.67	5.71	1.53	11.20	0.04	NS	NS	NS	10.31	0.50	0.02	1.23

NS: Análisis no solicitado.

Anexo 4. Análisis de pH, CE y sales totales en la solución nutritiva.

ZAMORANO **LABORATORIO DE SUELOS**
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Zamorano tels. (504) 2287-2000 ext. 2316/2327 Fax: (504) 2287-6242 Cel. 9969-6846

Fecha: 26 de Agosto de 2013

Resultado de análisis de Aguas para Riego

Procedencia de la muestra: Cantarranas, Francisco Morazan

Solicitante: Azucarera Tres Valles

# Lab.	Muestra	pH	C.E.	ppm							
			ds/m	P _{total}	Cu	Fe	Mn	Zn	Sales totales	Dureza	
13-AR-3373	Turno 3 lote 14 valvula 3 Segunda Fertilización	3.11	4.16	140.6	<0.03	2.07	0.42	0.04	3	125.3	Agua dura
13-AR-3374	Turno 5 lote 2 valvula 50 Segunda Fertilización	3.06	5.18	136.9	<0.03	3.08	0.49	0.07	3	116.6	Agua moderadamente dura
13-AR-3375	Turno 4 lote 8 valvula 29 Segunda Fertilización	3.56	3.45	112.6	<0.03	4.63	0.49	0.04	2	185.4	Agua muy dura
13-AR-3376	Turno 1 lote 11 valvula 11 Segunda Fertilización	3.06	4.60	154.8	0.03	9.43	0.77	0.11	3	137.1	Agua dura
13-AR-3377	Turno 5 lote 2 valvula 50 Quinta Fertilización	3.33	1.92	141.0	2.10	1.01	5.41	0.08	1	167.3	Agua dura
13-AR-3378	Turno 4 lote 8 valvula 29 Quinta Fertilización	5.40	2.4	95.1	0.90	2.39	3.01	0.06	2	196.2	Agua muy dura
13-AR-3379	Turno 1 lote 11 valvula 11 Quinta Fertilización	5.82	2.59	112.3	1.08	0.77	4.21	0.14	2	189.4	Agua muy dura
13-AR-3380	Turno 3 lote 14 valvula 14 Quinta Fertilización	5.33	2.30	110.6	0.95	0.41	3.31	0.03	1	157.1	Agua dura

NOTA:

1. Fósforo total y N-Nitroso son análisis de cortesía.
2. NS: Análisis no solicitado.
3. El laboratorio no se hace responsable por la forma de la toma de la muestra.
4. No existe riesgo por alcalinización (SAR<12).

Anexo 5. Análisis de problemas con el contenido de sales presentes en la solución nutritiva finca la legua.

ZAMORANO _____ LABORATORIO DE SUELOS

# Lab.	Muestra	Problemas de Toxicidad	SAR	Clase por salinidad y sodio
13-AR-3373	Turno 3 lote 14 valvula 3 Segunda Fertilización	Na:Problema creciente por sodio en riego por superficie. B: Problema creciente	0.93	C5S3
13-AR-3374	Turno 5 lote 2 valvula 50 Segunda Fertilización	Na:Problema creciente por sodio en riego por superficie. B: Problema creciente	0.76	C5S3
13-AR-3375	Turno 4 lote 8 valvula 29 Segunda Fertilización	Na:Problema creciente por sodio en riego por superficie. B: Problema creciente	0.12	C4S1
13-AR-3376	Turno 1 lote 11 valvula 11 Segunda Fertilización	Na:Problema creciente por sodio en riego por superficie. B: Problema Grave	0.80	C5S1
13-AR-3377	Turno 5 lote 2 valvula 50 Quinta Fertilización	Na:Problema creciente por sodio en riego por superficie. B: No hay problema	1.20	C3S1
13-AR-3378	Turno 4 lote 8 valvula 29 Quinta Fertilización	Na:Problema creciente por sodio en riego por superficie. B: No hay problema	1.23	C4S1
13-AR-3379	Turno 1 lote 11 valvula 11 Quinta Fertilización	Na:Problema creciente por sodio en riego por superficie. B: No hay problema	1.32	C4S1
13-AR-3380	Turno 3 lote 14 valvula 14 Quinta Fertilización	Na:Problema creciente por sodio en riego por superficie. B: No hay problema	1.22	C4S1

	Agua de buena calidad, apta para riego
	Agua utilizable para riego pero con precauciones.

Responsable: _____
Ing. Moisés Sánchez Amaya

Vo.Bo.: _____
M. Sc. Gloria de Gauggel

Anexo 6. ANAVA para los valores de conductividad eléctrica en el agua y en el suelo.

FERTIRRIEGO			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CE (ds/m) agua	Inter-grupos	2	9.460	3	3.153	4.016	.016
		3	28.963	3	9.654	9.054	.000
		4	72.495	3	24.165	41.617	.000
		5	26.297	3	8.766	14.645	.000
		6	5.475	2	2.738	3.711	.039
		7	72.712	3	24.237	78.474	.000
		8	8.924	3	2.975	10.692	.000
CE (ds/m) suelo	Inter-grupos	2	.000	3	.000	.	.
		3	.000	3	.000	.	.
		4	3.225	3	1.075	1.577	.214
		5	.553	3	.184	2.736	.060
		6	.974	2	.487	7.045	.004
		7	.790	3	.263	7.836	.000
		8	.035	3	.012	1.803	.166

Anexo 7. ANAVA para los valores de pH en el suelo y en el agua.

FERTIRRIEGO			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH agua	Inter-grupos	2	1.919	3	.640	1.394	.263
		3	.094	3	.031	10.504	.000
		4	.832	3	.277	.411	.746
		5	1.943	3	.648	8.197	.000
		6	1.007	2	.503	20.828	.000
		7	.514	3	.171	6.280	.002
		8	3.977	3	1.326	3.710	.021
pH suelo	Inter-grupos	2	.000	3	.000	.	.
		3	.000	3	.000	.	.
		4	.000	3	.000	.	.
		5	3.201	3	1.067	3.335	.032
		6	.320	2	.160	1.330	.283
		7	.083	3	.028	.520	.672
		8	.286	3	.095	.408	.748

Anexo 8. Análisis foliar realizado en el cultivo de caña de azúcar finca la legua compañía azucarera tres valles.

ZAMORANO LABORATORIO DE SUELOS

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Zamorano tels. (504) 2287-2000 ext. 2316/2327 Fax: (504) 2287-6242 Cel. 9969-6846

Fecha: 10 de octubre 2013

Resultado de análisis foliar de Caña

Procedencia de la muestra: Cantarranas, Francisco Morazán

Solicitante: Azucarera Tres Valles

Metodos:

N: Metodo de Kjeldahl

K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn: Digestion humeda con H_2SO_4 y H_2O_2 , determinados por Absorcion atomica

P: Digestion humeda con H_2SO_4 y H_2O_2 , determinado por espectrofotometria (colorimetria)

B,S: digestion seca con $MgNO_3$, determinados por espectrofotometria (colorimetria)

Simbología

	Alto
	Medio
	Bajo

# Lab.	Muestra	%						ppm					
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	
13-T-3850	Finca la Legua lote # 3 var: cp 72 20 86 edad 120 días	1.78	0.17	0.76	0.62	0.17	0.17	7	47	30	17	4	
13-T-3851	Finca la Legua lote # 11 var: mex 69290 edad 120 días	2.19	0.16	1.10	0.71	0.22	0.14	7	52	9	15	4	
13-T-3852	Finca la Legua lote # 8 var: cp 80 15 57 edad 120 días	1.96	0.20	1.08	0.43	0.12	0.14	8	49	59	19	6	
13-T-3853	Finca la Legua lote # 2 var: cp 72 20 86 edad 120 días	2.26	0.18	0.92	0.53	0.19	0.17	6	63	41	18	3	

Rango Medio	2.00-2.6	0.18-0.3	1.10-1.8	0.20-0.5	0.10-0.35	0.14-0.2	5-15	40-250	25-400	20-100	4-30
-------------	----------	----------	----------	----------	-----------	----------	------	--------	--------	--------	------

Responsable del análisis:

Ing. Moisés Sánchez Amaya



Vo.Bo

Ing. Gloria Arévalo de Gauggel M.Sc.
Directora Unidad de suelos