



**Departamento de Investigación y Extensión de la
Caña de Azúcar**

DIECA

FERTILIZACIÓN FOLIAR EN LA CAÑA DE AZÚCAR

Avances en Investigación



Ing. Agr. Roberto Alfaro P.

Grecia, Alajuela, Costa Rica

ENERO 2017

INDICE

Título	Página
Fertilización foliar en caña de azúcar	1
Presentación	1
Introducción	2-3
1. Composición de la hoja	5
1.1. Cutícula	5
1.2. Cutina	5
1.3. Pectina	6
1.4. Tricomas y Estomas	7
1.5. Ectodesmos	7
1.6. Plasmalema o Membrana Celular	8
2. Absorción y transporte mineral	9
3. Factores Limitantes de la absorción foliar	12
3.1 La presencia de Tricomas	13
3.2 La estructura y grosor de la cutícula	13
3.3 La hidratación de las plantas	13
3.4 El estado nutricional de la planta	14
3.5 Las condiciones climáticas.....	14
3.6 El pH de la fuente mineral empleada y la calidad del agua	15
3.7 Las relaciones inter iónicas	15
4. Fertilización foliar	16
4.1 Fertilización foliar correctiva	17
4.2 Fertilización foliar preventiva	17
4.3 Fertilización foliar sustitutiva	17
4.4 Fertilización foliar complementaria	17
4.5 Fertilización foliar estimulante	17
5. Compuestos y factores determinantes en la fertilización foliar	18
5.1 Coadyuvantes	18
5.2 Sustancias activadoras	18
5.3 Iones acompañantes	18
5.4 Concentración de la solución	18
5.5 Movilidad de los nutrientes	19
6. Respuesta de la caña de azúcar a la fertilización foliar	20
6.1 Evaluación del Zinc y Boro en la caña de azúcar en un Suelo Andisol en la Región del Valle Central	20
6.2 Efecto de la aplicación de Zinc en el cultivo de la caña de azúcar en Higuito, San Mateo, Alajuela. Primera Cosecha.	23

6.3 Evaluación de micronutrientes quelatados sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar en dos localidades del Valle Central occidental 1994.	25
6.4 Evaluación de fertilizaciones foliares en el desarrollo inicial de la caña de azúcar en condiciones de invernadero.	28
7. Fertilizantes foliares y adyuvantes	35
7.1 Evaluación de diferentes adyuvantes con fertilizantes foliares fosforados en el desarrollo inicial de la caña de azúcar en condiciones de invernadero.	36
	41
7.2 Evaluación de diferentes productos adyuvantes (encapsuladores) agregados a la fertilización foliar fosfórica y nitrogenada en los brotes iniciales de la caña de azúcar en condiciones de invernadero.	
8. Efecto de diferentes productos foliares y de suelo recomendados por diferentes casas comerciales en Turrialba, Cartago. Durante Tres Cosechas.	47
9. Estudios foliares en otros países	51
9.1 Evaluación de fertilizantes foliares comerciales en Ingenio Serra Grande, Brasil 9 C.P. Figueredo Filho 2014.	51
10. Respuesta a Bioestimulantes foliares	54
10.1 Evaluación del efecto de la Hormona Citoquinina en la producción agroindustrial de dos variedades de caña de azúcar en la Región Sur. Primera cosecha	54
10.2 Evaluación del efecto de seis dosis de Ácido Ciberelico sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar en la Región del Valle Central Occidental	58
11. Conclusiones	60
12. Literatura	61

FERTILIZACIÓN FOLIAR EN LA CAÑA DE AZÚCAR

I. Presentación.

La fertilización foliar es una práctica efectiva para la corrección de deficiencias nutricionales en plantas que se encuentran bajo condiciones de estrés o en suelos con baja disponibilidad de nutrientes. En la caña de azúcar la aplicación de soluciones nutritivas sobre el follaje no ha sido una práctica común, pero hoy en día, debido a la presión comercial de muchos fabricantes y distribuidores de este tipo de productos, han inducido a muchos productores a realizar aplicaciones sin ningún estudio o investigación previa que garanticen productiva y económicamente su uso. A diferencia de otros cultivos como café, hortalizas y frutales entre otros, donde se ha comprobado los beneficios de esta práctica, la caña de azúcar con pocas excepciones no ha manifestado una respuesta clara y convincente y se cataloga como una gramínea de difícil absorción foliar, al ser muchos los obstáculos estructurales y fisiológicos a los que se enfrentan los nutrimentos para llegar a los puntos de acción.

En el mercado de los fertilizantes foliares, existe una amplia gama de productos muy diversos en calidad, composición y formulación, generando muchas dudas sobre dosis, frecuencia y momento de aplicación óptimas a las necesidades reales del cultivo.

También las características físico-químicas del nutriente, tales como tamaño y polaridad influyen directamente sobre la tasa de absorción.

El presente artículo provee primero una descripción detallada de las estructuras involucradas en el proceso de absorción foliar de nutrientes y los factores internos y externos que impiden o favorecen la asimilación de los nutrientes aplicados sobre las hojas. Además se recopilan resultados de investigaciones con diversos productos foliares realizadas en diferentes localidades del país.

II. Introducción.

Para suplir las necesidades nutricionales de los cultivos intervienen el suelo, el aire, el agua, los fertilizantes y los abonos orgánicos, entre ellos el suelo es el factor enlasante y su condición físico-química es determinante para lograr el máximo aprovechamiento del entorno productivo.

Debido a la sobreexplotación del suelo por la agricultura intensiva en la mayoría de los casos el suelo no es capaz de suplir en cantidad y tiempo los nutrientes necesarios a los cultivos, habiendo necesidad de aplicarlos al suelo y/o al follaje a través de fertilizantes. La gran mayoría de los fertilizantes aplicados al suelo solo suplen los macro nutrimentos dejando de lado los micro nutrimentos que por sus pequeñas cantidades resulta más factible aplicarlos vía foliar.

La nutrición vía foliar se conceptualiza como un medio para contrarrestar las condiciones de suelo que posibilitan la inmovilización e indisponibilidad de nutrimentos a las raíces al permitir una rápida absorción de aquellos elementos que son pobremente absorbidos y movilizados en la planta. Esta práctica se ha convertido en una alternativa más para los productores porque corrige deficiencias nutrimentales en las plantas, favorece el buen desarrollo de los cultivos y mejora el rendimiento y la calidad de las cosechas, pero debe quedar claro que no sustituye a la fertilización tradicional y por el contrario es un suplemento importante de los requerimientos nutricionales de los cultivos que no se pueden abastecer mediante la fertilización común al suelo.

Se reconoce que la absorción de los nutrimentos a través de las hojas no es la forma normal, la hoja tiene una función específica de ser la fábrica de los carbohidratos, pero por sus características anatómicas presenta condiciones ventajosas para una incorporación inmediata de los nutrimentos a los fotosintatos y la transformación de estos a los lugares de la planta de mayor demanda. (Trinidad y Aguilar 1999).

Por lo tanto, la fertilización foliar debe aplicarse como una práctica especial de manejo, para complementar los requerimientos nutrimentales o corregir deficiencias de aquellos nutrimentos que no se pueden aprovechar eficientemente mediante la fertilización al suelo. (Trinidad y Aguilar 1999).

La absorción y la translocación foliar de los nutrimentos está sujeta a impedimentos biofísicos y químicos en la estructura de la planta que limitan la velocidad de penetración dependiendo de la naturaleza del nutriente aplicado. Como ejemplo en el siguiente Cuadro 1 donde se presenta la velocidad de absorción de varios nutrientes por los tejidos.

Cuadro 1.
Tiempo de absorción de nutrientes en los tejidos.

Nutriente	Tiempo necesario se absorva 50%
N (UREA)	0,5 - 2 Horas
Fósforo	5 - 10 días
Potasio	10 - 24 horas
Calcio	1 - 2 días
Magnesio	2 - 5 horas
Zinc	1 - 2 días
Manganeso	1 - 2 días

Ronhelb y Fonly 1999.

Durante la década pasada se multiplicaron algunos estudios de los micronutrientes o elementos menores como: Boro, Cloruro, Cobre, Hierro, Manganeso, Molibdeno y Zinc. La importancia y el empleo acrecentado de micronutrientes, ha promovido la fabricación de diversos productos foliares con nuevas formulaciones capaces de acelerar la absorción y la penetración en los tejidos, esta situación ha exigido un mayor conocimiento de su impacto y aporte en las funciones vitales de las plantas. Sin embargo es difícil realizar conclusiones

generales en virtud de que no existe suficiente información por lo que la nutrición foliar debe ser mejor estudiada para ser mejor aplicada.

En el contexto de la agricultura costarricense y debido al aumento constante en disponibilidad de abonos foliares en el mercado se hace necesario realizar algunas consideraciones sobre las barreras y mecanismos de absorción foliar, con énfasis especial en aquellos factores que determinan la eficacia de las misma

1. Composición de la hoja.

1.1 Cutícula.

La hoja está cubierta por una capa cerosa o lipofílica , llamada *cutícula* que forma una película discontinua compuesta por un polímero de ácidos grasos hidroxilados entrecruzados, la cual es impermeable y repelente al agua, y que juega un papel central en las relaciones hídricas de la planta y la interacción de la hoja con elementos externos.

Esta protección se logra por las propiedades hidrofóbicas (Capacidad de repelar el agua) de la cutícula y la cera, las cuales están constituidas de largas cadenas de alcoholes, cetonas y ésteres de ácidos grasos. Estas cadenas se encuentran unidas mediante fuerzas intermoleculares, incluidos puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua dentro de la estructura y los grupos polares. Sin embargo, cuando la cutícula seca se humedece, las moléculas de agua que se internan, establecen nuevos enlaces de hidrógeno y provocan que la estructura de la cutícula se abra o se hinche; lo cual incrementa su permeabilidad al generar canales, poros y cavidades de diversos tamaños en su estructura con grupos aniónicos que permiten el transporte y penetración de los nutrientes hacia las células (Murillo, C.R et al.2013).

1.2 Cutina.

El segundo componente de la cutícula es la cutina, la cual está compuesta por polímeros, ácidos grasos hidroxilados y algunos ácidos grasos hidroxiepóxicos, que en conjunto, poseen propiedades semihidrofílicas. Dentro de este grupo de ácidos grasos esterificados aparecen grupos hidroxilos y carboxilos libres, por lo que se establece una relación

hidrofílico/lipofílico en la capa de la cutina, la cual influye en el proceso de absorción, al permitir que tanto solutos polares como no polares puedan penetrar la capa cuticular. En el Cuadro 2, por ejemplo se presentan diferencias morfológicas de las láminas foliares de dos especies de plantas, con características determinantes para inducir diferencias en la absorción y penetración de las aspersiones foliares. (Baur *et al.* 1997; Hess *et al.* 2000; Marschner. 1986; Mengel y Kirkby. 1987; Radosevich *et al.* 1997; Tyree *et al.* 1990; Wójcik. 2004) citados por (Murillo, C.R et al.2013).

Cuadro 2.
Características de la lámina foliar de dos especies de Ipomoeas.

	Ipomoea grandifolia	Ipomoea purpurea
Cera epicutilar (ug/cm ²)	22,1	53,2
Fracción apolar (%)	22,9	36,3
Fracción polar (%)	77,1	63,7

1.3 Pectina.

La pared externa de las células epidérmicas que se encuentran debajo de la cutícula se llama pectina, la cual está conformada por una estructura de fibras entrelazadas, que a la vez presentan espacios interfibrilares de unas 100 Å y con características de ser permeable al agua y a las sustancias disueltas en ella. Una parte importante de la pectina se encuentra conformada por polímeros de ácido galacturónico responsables de que adquiera una carga negativa. (Yamada *et al.*, 1964, citado por Hess *et al.*, 2000; Marschner, 1986; Meléndez y Molina, 2002; Wójcik, 2004). Citados por (Murillo, C.R et al.2013).

1.4 Tricomas y Estomas.

Las hojas de las plantas contienen también estructuras especializadas conocidas como tricomas y estomas que pueden influir en la absorción de los nutrientes foliares. Los estomas por su parte son pequeños poros localizados en la superficie de las hojas; se consideran parte de la epidermis y están compuestos por células modificadas que tienen la capacidad de abrirse y cerrarse para regular el intercambio gaseoso. Por ejemplo, a través de los estomas ocurre la entrada de dióxido de carbono y la salida de oxígeno como subproductos de la fotosíntesis, así como la salida de vapor de agua en la transpiración.

Cuando se presentan condiciones de estrés hídrico, las plantas responden cerrando los estomas, lo cual evita el intercambio de gases con el medio ambiente y por lo tanto no se logra dar la posible penetración de nutrientes por esta vía foliar. (Romheld y Fouly, 1999).

Contrario a la creencia popular, la absorción de nutrientes a través de los estomas es poco probable, se le atribuye la mayoría de la absorción a la cutícula. Se considera que la absorción por estomas es difícil porque el contacto gota-estoma es mínimo, debido a que las gotas son más grandes que la apertura estomática, y porque el agua tiene alta tensión superficial. (Schönherr y Bukovac, 1972 citados por (Murillo, C.R et al.2013).

1.5 Ectodesmos.

Los ectodesmos son prolongaciones de cordones lipídicos que facilitan la penetración de los nutrimentos. (García y Peña 1995 citado por Trinidad y Aguilar 1999).

En el pasado se ha sugerido que los ectodesmos son canales perpendiculares a la cutícula, y son también posibles zonas de absorción de nutrientes. Tales estructuras se encuentran ubicadas entre la cutícula y la membrana celular de las células epidérmicas donde la deposición de ceras como: la cutina, pectina, celulosa, etc., ha sido limitada, lo que forma una especie de canal conector entre la superficie de la cutícula y la célula, por donde se facilita el flujo de solutos (Trejos *et al.* 2007a; citado por Trinidad y Aguilar. 1999). Sin embargo, la importancia de los ectodesmos en el proceso de absorción foliar no ha sido confirmada.

Recientemente, se han descubierto poros acuosos que se forman producto de la hidratación de dipolos permanentes de grupos funcionales iónicos que se encuentran en la base de tricomas y en las paredes anticlinales de la epidermis. Estos poros acuosos, aparentemente, tienen la capacidad de facilitar la absorción de solutos a través de la cutícula y el movimiento del soluto hasta la pared celular de las células epidermales (Schönherr, 2006 citados por Murillo, C.R et al.2013).



Figura 1. Estructura de una hoja en corte transversal. (www.intagriwordpress.com).

1.6 Plasmalema o Membrana celular.

La membrana celular está formada en su mayor parte por proteínas y lípidos, los cuales tienen un esqueleto de glicerol tricarbonado, al que se le esterifican dos ácidos grasos de cadena larga. Como los ácidos grasos son de naturaleza hidrofóbica y el esqueleto de glicerol es hidrofílico, los lípidos son considerados anfipáticos: una parte de su estructura es de naturaleza polar (la cabeza) y la otra parte de su molécula es no polar (la cola). En la membrana celular, las zonas hidrofóbicas de los lípidos se orientan hacia el interior de la misma (Salisbury y Ross, 2000, citado por Murillo, C.R et al.2013).

La membrana plasmática o plasmalema es el límite más externo del citoplasma de la célula y es una película biomolecular compuesta de una película de lipoides y cubierta total o parcial de una capa de proteína. Una de las principales funciones de la membrana es de regular la entrada y salida de moléculas a las células de la planta, utilizando para ello proteínas catalíticas para bombear protones, y crear un gradiente protónico por la diferencia de pH y de cargas a ambos lados de esta. Las diferencias de pH oscilan entre 5 y 8, donde el valor más alto corresponde al de la parte interna de la membrana. Consecuentemente, si los solutos son ácidos, el pH del medio puede afectar directamente su movimiento a través de la membrana, ya que se altera su solubilidad en los lípidos, debido a la ionización (Hess *et al.* 2000; Salisbury y Ross. 2000, citados por Murillo, C.R et al. 2013).

Otras proteínas de la membrana forman canales por los cuales se transportan los solutos y en los mismos, la mayor parte del transporte ocurre por difusión o movimiento pasivo; los solutos hidrofóbicos penetran con mayor rapidez dependiendo de su la solubilidad. Por otra parte, el movimiento de las sustancias hidrofílicas a través de la membrana está condicionado por el *tamaño de la molécula* y por el *coeficiente de partición aceite/agua* de la misma, el cual puede ser influido por el pH celular. Las moléculas e iones hidrofílicos, cuya solubilidad lipídica es similar, penetran la membrana a una velocidad inversamente proporcional a su tamaño (Hess *et al.* 2000; Salisbury y Ross. 2000 citados por Murillo, C.R et al.2013).

2. Absorción y Transporte Mineral.

La fisiología del suministro de nutrimentos vía foliar es un tema poco mencionado en los textos clásicos y el mecanismo de absorción por este medio no está descrito en forma detallada en las diferentes especies de plantas, y sobre todo en la caña de azúcar.

La velocidad en la absorción de los nutrientes por las células metabólicas y su translocación a los órganos donde estos son requeridos, dependerá de las características físico-químicas de los productos foliares aplicados y por las características de la superficie de la hoja, como son los efectos de rugosidad y composición química. Cuanto mayor sea el área de contacto

de las gotas de fertilizantes en la superficie de la planta, mayor será la probabilidad de que se absorban los nutrientes a través de la cutícula o poros de los estomas. (Fernández y Brown 2013).

Las hojas no son órganos especializados para la absorción de los nutrimentos como lo son las raíces; sin embargo, los estudios han demostrado que los nutrimentos en solución si son absorbidos, aunque no por toda la superficie de la cutícula foliar. La cutícula, constituye el primer obstáculo para la penetración foliar de solutos, debido a que su principal función consiste en disminuir la deshidratación de la planta. Esta barrera presenta una alta resistencia a la pérdida de agua, sin embargo dependiendo de las condiciones ambientales y el tipo de planta puede presentar variaciones importantes en su grosor y composición entre las diversas especies de plantas. (Mohammadian. et al. 2009, citado por Murillo, C.R et al.2013).Estas diferencias en la capacidad de la hoja de minimizar su riesgo de deshidratación, es un factor que afecta la absorción de los solutos a través de la cutícula, tanto hacia el interior como el exterior de la epidermis (Schnherr y Buchholz, 1997 citado por Murillo, C.R et al.2013).

Se ha propuesto dos posibles rutas de absorción de los nutrimentos, las cuales se muestran en la Figura 2. La primera ruta se denomina *acuosa* y en ella intervienen la cutina y la pectina, en tanto la segunda es considerada como *lipídica* e involucra a las porciones no polares de la cutícula.



Figura 2. Corte transversal de una hoja y las vías hidrofílicas (Xilema) y lipofílicas (Floema) por donde penetran los nutrimentos asperjados sobre las hojas de la planta.

De acuerdo con Radosevich y colaboradores (1997 citado por Murillo, C.R et al.2013 en la **ruta acuosa**, luego de atravesar la capa epicuticular en la superficie de la hoja, el nutriente se mueve por las secciones donde se encuentran los componentes polares, los cuales son poros ricos en pectina hidrofílica. La cantidad de estos poros cuticulares es mayor en las paredes celulares, entre las células guardianes, y las células subsidiarias de los estomas. Esto explica la correlación positiva que a menudo se observa entre el número de poros y la intensidad de absorción de nutrientes. Por el contrario, en la **ruta lipídica** los solutos no polares atraviesan la barrera cuticular por difusión molecular a través de los componentes lipofílicos; se cree que la difusión de las sustancias ocurre a través de las ceras que se encuentran en estado amorfo. Por lo general, las especies con mayor cantidad de ceras presentan menores tasas de movilidad de sustancias a través de la cutícula.

Las características de la cutícula varían con la edad de la hoja y esto afecta directamente procesos como la transpiración: las hojas jóvenes tienden a tener una alta transpiración que se reduce progresiva y proporcionalmente con respecto a la edad y al aumento en la acumulación de ceras en la cutícula. (Hauke y Schreiber, 1998 citados por Murillo et al 2013).

Con la aplicación de sales sobre la superficie de las hojas, se establece un gradiente de concentración que se establece entre la disolución aplicada sobre la superficie de la hoja y la concentración del soluto en las células, ayudando en su difusión.

Para comprender más claramente las propiedades lipofílicas /hidrofílicas de los solutos es importante conocer la solubilidad en agua del nutriente y determinar el coeficiente de partición octanol/agua (K_{ow}) para el soluto, con ello se podría tener una idea de la facilidad con que el nutriente se difunde a través de la hoja: un soluto lipofílico posee un valor de K_{ow} alto, en tanto que un soluto hidrofílico posee un K_{ow} bajo Paralelamente, los solutos que poseen grupos ionizables (-COOH,-OH) presentan coeficientes de partición que son directamente afectados por el estado en el que se encuentre el grupo ionizable, por ejemplo

en su forma protonada el soluto es más lipofílico, pero en su forma aniónica el soluto tiene un carácter más hidrofílico (Hess *et al.* 2000 citados por Murillo *et al.* 2013).

Es importante recordar que la absorción foliar de los nutrimentos se lleva a cabo por las células epidérmicas de las hojas y no exclusivamente por los estomas. Por este motivo se recomienda hidratar la cutícula de la hoja con surfactantes para facilitar la penetración del nutrimento.

En relación a su movilidad en el floema, los nutrientes esenciales se han clasificado como altamente móviles (N, P, K, Mg, S, Cl, Ni), intermedio o poco móvil (Fe, Zn, Cu, B, Mo), e inmóvil (Ca, Mn). Por lo tanto, las aplicaciones foliares de elementos con mayor movilidad, inducen a una mayor respuesta fisiológica que los nutrientes inmóviles. Es por ello que para aplicaciones foliares de Calcio se recomienda realizar aplicaciones constantes ya que una vez fijado ya no es posible su translocación. (Ronhelb y Fonly 1999).

Los elementos aplicados sobre el follaje de las plantas llegan al simplasto (Floema) y así puedan ser transportados a todos los órganos de la planta. Los nutrimentos se movilizan o difunden hasta el plasmalema por dos vías, por los espacios interfibrilares que hay entre las paredes de las células epidermales, o por la vía del intercambio iónico a través de los ectodesmos, lugar donde se lleva a cabo una absorción activa como acontece con la absorción de nutrimentos vía raíz. En la absorción activa participan los transportadores (sodio y potasio), los cuales se encargan de incorporar el nutrimento al citoplasma de la célula donde se forman los metabolitos que son posteriormente translocados a los sitios de mayor demanda de la planta.

3. Factores limitantes de la absorción foliar.

La tasa de absorción de micronutrientes a través del follaje por las plantas también es afectada por diversos factores vegetales y ambientales que tienen efectos significativos sobre la absorción. Factores internos y externos como la temperatura, la especie de la planta, la velocidad del viento, la humedad relativa, el área foliar, la naturaleza de las sustancias aplicadas, tales como las cargas eléctricas, el tamaño de las moléculas, o los iones, e el índice de salinidad, el pH, la solubilidad, la tensión de la superficie e iones acompañantes,

influyen en forma significativa por lo que merecen un mayor análisis como se detalla a continuación:

- 3.1) La presencia de tricomas**, pelos o pubescencias superficiales en las hojas, favorecen una mayor absorción siempre y cuando el soluto haga contacto con la lámina de la hoja, tanto por el menor desarrollo cuticular en ellas como por el aumento en la superficie de contacto con el líquido; sin embargo, esta característica favorece una mayor retención del producto en la hoja. Es recomendable que el nutriente se mantenga en contacto con la hoja el mayor tiempo posible, preferiblemente de 3 a 4 horas, lo que aumenta la probabilidad de ser absorbido por esta, por ello se debe realizar la aplicación con bastante antelación de las lluvias. (Fageria, Barbosa, Moreira y Guimarães. 2009 citados por Murillo et al 2013). El uso de agentes tensoactivos podrían ayudar a que la gota que contiene los nutrientes se mantenga por más tiempo en contacto con la superficie foliar.

- 3.2) La estructura y grosor de la cutícula** tiene una gran influencia en la penetración foliar de los iones, así como también de los factores asociados a los procesos energéticos del transporte selectivo de los mismos. El grosor de la cutícula se incrementa con la radiación solar y la exposición a la luz ultravioleta, esto es un factor que incide directamente en la permeabilidad de la misma. Este factor puede ser determinante en las variedades de la caña de azúcar cuya respuesta es diferenciada a la aplicación de foliares.

- 3.3) La hidratación de las plantas** es un factor importante ya que los componentes lipofílicos de la cutícula, especialmente las ceras se mantienen extendidas facilitando con ello la absorción de compuestos polares o viceversa.

3.4) El estado nutricional de la planta influye en la capacidad de la absorción foliar de uno o varios nutrimentos presentes en la planta. La absorción de nutrientes por las células de la hoja está regulada por el estado nutricional de la planta, así por ejemplo la absorción de fósforo (P) es regulada por el estado nutricional de la planta, es decir, la planta absorbe más nutriente si éste se encuentra en deficiencia, sin embargo y contrariamente la absorción de hierro (Fe) no está regulada por el estado nutricional de la planta porque la absorción de Fe en las células de las hojas requiere de un paso intermedio de reducción. Substancias reductoras en el apoplasto de la hoja y presumiblemente la luz directa juegan un papel más importante en la reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} en las hojas como un paso previo para la absorción. (Ronhelp y fonly 1999).

3.5) Las condiciones climáticas también son determinantes en la absorción de ciertos iones. En este sentido Bowen 1969 citado por Trinidad y Aguilar 1999, determinó que la absorción foliar de los iones Cu, Zn, Mn en caña de azúcar es un proceso activo, afectado por la exposición a bajas temperaturas. Por el contrario, bajo condiciones de alta temperatura y reducida humedad ambiental puede ocurrir una rápida evaporación de la solución aplicada, provocando a su vez una concentración de sales a niveles tóxicos y eventuales daños por quemas. También se podría dar el caso de pérdidas de elementos, cuando por ejemplo se mantiene una alta humedad y bajas temperaturas, bajo estas condiciones puede inducirse una condensación sobre la superficie de las hojas y con ello una inversión osmótica que generaría una salida de iones a la superficie. Bajo condiciones de una buena hidratación cuticular se facilita la difusión y absorción foliar, por ello es deseable realizar atomizaciones cuando predominan estas condiciones. La Luz, la humedad relativa y hasta la hora de aplicación, son factores que deben de tomarse en cuenta en la práctica de la fertilización foliar. La luz es un factor importante en la fotosíntesis y para que una planta pueda incorporar nutrimentos en los metabolitos se requiere de un proceso fotosintéticamente activo en la planta. La humedad relativa influye en la velocidad de evaporación del agua que se aplica. Por consiguiente, una alta humedad relativa

del medio favorece la penetración de los nutrimentos al mantener húmeda la hoja. Este último factor está relacionado con la hora de aplicación, la cual debe de practicarse o muy temprano o en las tardes, según las condiciones de la región (Swietlik y Faust, 1984, citado por Santos y Aguilar 2000).

3.6) El pH de la fuente mineral empleada y la calidad del agua utilizada tienen gran influencia sobre la capacidad de solubilización de una sustancia, así por ejemplo el ion H_2PO_4 que es la forma más fácilmente absorbida, predomina a pH ácidos, mientras que HPO_4 y PO_4 a pH mayores. También se ha reportado una dependencia aunque menor entre la absorción de nutrientes y el pH de los fluidos del xilema de toda la hoja. Al respecto se ha determinado que la acumulación preferencial de Fe a lo largo de las venas de las hojas, está relacionada con el incremento del pH del xilema y de los fluidos apoplásticos. Este incremento del pH es producido por estrés como sequía y salinidad. (Ronhelp y fonly 1999).

3.7) Las relaciones inter iónicas son un factor que influye mucho sobre la absorción de los nutrientes ya que las membranas celulares presentan mecanismos para permitir un paso preferencial de iones y cationes. En el proceso de absorción, se presentan relaciones antagónicas y sinérgicas que son determinantes para lograr un mayor aprovechamiento de los nutrimentos aplicados. Por ejemplo, un antagonismo iónico ocurre cuando por causa del acumulo de iones aportados por la solución aplicada, afectan la absorción y la permeabilidad al agua de los solutos sin carga eléctrica. Por otra parte el sinergismo se da cuando la presencia de un ion aumenta la absorción de otro nutrimento, por ejemplo el magnesio aumenta la absorción del H_2PO_4 y el calcio en bajas concentraciones estimula la absorción del potasio. Debido a que la absorción de cationes y aniones ocurre diferencialmente la presencia de ellos en la solución no significa necesariamente que interactúen. De esta manera en soluciones diluidas la absorción de cationes no es afectada por la de aniones y viceversa. En soluciones concentradas, la existencia de iones con baja capacidad de absorción como el ion

sulfato y el catión calcio reduce considerablemente la penetración de cationes y aniones monovalentes.

4. Fertilización foliar.

Un aspecto importante en este tipo de fertilización, es el escoger el apropiado compuesto foliar a utilizarse. El número de productos en el mercado es grande y es difícil para el agricultor el poder escoger el mejor o más apropiado para una etapa específica de crecimiento. Los rangos en las concentraciones de nutrientes de estos productos pueden variar considerablemente lo que hace aún más difícil la decisión final.

En la fertilización foliar, los nutrientes son asperjados sobre la superficie de las hojas. Esta técnica no substituye a la tradicional fertilización del suelo, más bien la complementa, pues permite abastecer a las plantas de nutrientes que por diversas razones no pueden obtenerse mediante la fertilización edáfica. En ciertas etapas del desarrollo de la planta y del medio, la aplicación foliar puede ser más ventajosa y a veces más eficiente en la corrección de deficiencias específicas que la fertilización edáfica (Trinidad y Aguilar, 1999). El suministro de nutrientes, a través del sistema radicular durante sequías o en suelos salinos, puede ser restringido, debido al efecto negativo que ejerce la ausencia de agua y la salinidad sobre la disponibilidad de los nutrientes. En estas condiciones, la eficacia de la fertilización foliar es mayor que la fertilización al suelo, pues por un lado el nutriente requerido es suministrado directamente sobre el sitio de demanda en las hojas, lo que permitiría una absorción relativamente más rápida. (Burucs y Schmidhalter, 2006, citados por Murillo et al 2013).

A la hora de preparar la formulación foliar se debe controlar el pH de la disolución, utilizar agentes tensoactivos y adherentes, en conjunto con el agroquímico, y regular el tamaño de la gota del fertilizante líquido (Trinidad y Aguilar, 1999). En general, si se fertiliza utilizando dosis altas del soluto, se favorecerá una mayor y más rápida absorción, al favorecerse el establecimiento del gradiente de concentraciones. Sin embargo, si se aplican concentraciones excesivamente altas de sales, se podría dañar la epidermis de la hoja, al

deshidratar sus células y causar necrosis foliar. En ese sentido, se hace muy importante determinar la dosis óptima para facilitar la absorción del soluto, sin dañar el tejido foliar como sucedió en la Figura 2. (Téllez *et al.*, 2007a citados por Murillo *et al* 2013).



Figura 2. Cañal intoxicado (derecha) por la aplicación de productos vía foliar.

De acuerdo al objetivo de la fertilización foliar, esta puede ser dividida en varias categorías:

- 4.1 Fertilización foliar Correctiva:** es aquella en la cual, se suministran nutrimentos específicos en un momento determinado, con el objetivo de superar deficiencias específicas.
- 4.2 Fertilización foliar preventiva:** se realiza cuando se conoce que un determinado nutrimento es deficiente en el suelo donde se va a plantar el cultivo.
- 4.3 Fertilización foliar sustitutiva:** es aquella en la cual se pretende suplir todas las necesidades del cultivo exclusivamente por vía foliar.
- 4.4 Fertilización foliar complementaria:** consiste en aplicar una fracción del abono al suelo y otra al follaje, generalmente en esta última se incluyen microelementos.
- 4.5 Fertilización foliar estimulante:** consiste en la aplicación de aminoácidos, hormonas y sustancias orgánicas, que inducen un efecto estimulador en las plantas.

5. Compuestos y factores determinantes en la Fertilización Foliar.

Hay diferentes compuestos que pueden intervenir favorablemente con los fertilizantes foliares. Algunos de estos productos son los siguientes:

5.1 Coadyuvantes: La adición de surfactantes y adherentes a la solución puede favorecer el aprovechamiento del fertilizante foliar. El mecanismo de acción de un surfactante consiste en reducir la tensión superficial de las moléculas de agua permitiendo una mayor superficie de contacto con la hoja y con ello una mayor penetración hacia los puntos de acción.

5.2 Sustancias activadoras: Estos compuestos actúan mejorando la absorción de los nutrimentos por la vía foliar. Los ácidos húmicos por ejemplo actúan como activadores y la urea desempeña la misma función en la absorción del fósforo. Parece que la urea dilata la cutícula y destruye las ceras sobre la superficie de la hoja facilitando la penetración del nutrimento. (Malavolta 1986, citado por Barbazan 1998).

5.3 Iones acompañantes: La absorción de los nutrimentos está relacionada con la capacidad de intercambio catiónico en la hoja y la valencia del ion influyente en este intercambio. Por ejemplo los iones K^+ y NH_4^+ , requieren solo de un H^+ en el intercambio, mientras que el Ca^{+2} Mg^{+2} , requieren de dos H^+ . Por lo tanto los iones monovalentes penetran con mayor facilidad que los iones con mayor número de valencia. (Fregoni 1986, citado por Santos Aguilar 2000).

5.4 Concentración de la solución: Entre especies de plantas hay diferencias y posiblemente estas diferencias estén fundamentalmente influenciadas por el grado de cutinización y/o lignificación de las hojas. A mayor cutinización, lignificación y presencia de ceras en la hoja, habrá menor factibilidad de absorción del nutrimento. En el Cuadro 3 se presentan las concentraciones óptimas de la urea en diferentes cultivos, y se observa como sobresale la caña de azúcar por la cantidad de urea foliar necesaria para obtener una respuesta productiva al nitrógeno con esta fuente. Como se observa en dicho cuadro la caña de azúcar es el cultivo que requiere más concentración de Urea, debido

posiblemente a las dificultades de penetración y transporte de solutos en este cultivo.

Cuadro 3.
Concentración de la Urea en la solución foliar aplicada a diferentes plantas de cultivo.

Cultivo	Concentración %	Cultivo	Concentración %
Manzano	0,6 - 1	Papa	0,6 - 1,6
Cerezo	0,6 - 2	Remolacha	1,5 - 2
Ciruela	0,6 - 3	Maiz	0,5 - 2,5
Durazno	0,6 - 4	Cereales	0,5 - 10
Toronja	0,4	Tabaco	0,3 - 1,2
Frijol	0,3 - 0,4	Cacao	5
Pepino	0,3 - 0,4	Platano	0,6 - 0,8
Tomate	0,4 - 0,6	Citricos	0,6 - 1
Apio	0,8 - 1	Algodón	5
Col	0,8 - 1,6	Caña de azúcar	10 - 20
Zanahoria	1,2 - 3		

Fuente: Fregoni 1986, citado por Santos Aguilar 2000.

5.5 Movilidad de los nutrimentos: es un factor intrínseco de los nutrientes aplicados, en el Cuadro 4 se presenta la capacidad de desplazamiento dentro de la planta por los nutrimentos comúnmente utilizados en las aplicaciones foliares.

Cuadro 4.
Clasificación de los nutrimentos de acuerdo a su movilidad en las plantas.

Muy Movil	Movil	Parcial movil	Inmovil
N	P	Zn	B
K	CL	Cu	Ca
Na	S	Mn	Sr
R		Fe	Ba
Rb		Mo	

Fuente (Fregoni 1986, citado por Santos Aguilar 2000).

6. Respuesta de la caña de azúcar a la Fertilización Foliar.

La fertilización foliar en la caña de azúcar no ha sido una práctica tradicional en el manejo del cultivo, sin embargo muchos son los productos que recientemente aparecen en el mercado de los agroquímicos dirigidos como complemento nutricional a satisfacer posibles deficiencias, principalmente en elementos menores. También se ofrecen a los productores activadores o bioestimulantes (productos hormonales, aminoácidos y ácidos orgánicos), dirigidos a incrementar sustancialmente el metabolismo de las plantas y lograr un aprovechamiento nutricional y con ello un incremento en los rendimientos agrícolas.

Esta condición, ha creado una importante necesidad de investigación, dirigida a identificar productos que después de ser aplicados, manifiesten una respuesta positiva suficientemente económica como para pagar el costo de las aplicaciones, también y más importante establecer el momento adecuado para las aplicaciones de los nutrientes estudiados.

En este campo el Departamento de Investigación de la Caña de Azúcar DIECA, tratando de dar respuesta a las consultas de los productores, ha programado y ejecutado varias investigaciones en esta área, atenuando las presiones ejercidas por algunas casas comerciales, que día a día han tratado sin estudios serios y confiables, que sus productos sean aplicados comercialmente en las plantaciones de caña de azúcar de todo el país. A continuación se presentaran resultados de dichas investigaciones, algunas realizadas varios años atrás.

6.1 Evaluación del Zinc y Boro foliar en la caña de azúcar en un suelo Andisol en la Región del Valle Ventral.

El Zinc en la caña de azúcar es un promotor importante en la síntesis de hormonas responsables del crecimiento y desarrollo del cultivo. En ausencia de este elemento la planta es incapaz de sintetizar el Triptófano, que es el aminoácido de donde se deriva el ácido Indol acético, el cual es considerado como la auxina de la caña de azúcar. La concentración total del Zinc en los suelos varía desde 10 hasta 300 ppm, y este se encuentra presente en forma combinada o en complejos orgánicos como catión, y en varios

compuestos minerales. Como las plantas solo absorben las formas solubles de este nutrimento, la mayoría de este elemento en la tierra no se encuentra disponible para ellas. (Ashmead, De Wayne. et al).

Las deficiencias de este elemento se observan comúnmente en tierras calcáreas y también en aquellas que contiene mucha materia orgánica, aunque en este caso es posible que la inmovilización del Zinc no sea por causa de la materia orgánica, sino debido a los organismos vivientes y al Fósforo que se encuentra en ella. (Ashmead, De Wayne. et al).

El Boro se encuentra en cantidades pequeñísimas en la mayoría de las tierras, variando generalmente desde unos 20 hasta 200 ppm. Existe por naturaleza en el suelo un boro silicato bastante insoluble y resistente al desgaste debido los agentes atmosféricos. Es importante reconocer que este nutrimento interviene en la formación de ácidos nucleicos y que su deficiencia afecta la formación de polisomas, también aumenta la actividad de la ribonucleasa y la desorganización de las membranas celulares. También la deficiencia de este elemento se ha asociado a una disminución de la incorporación de los fosfatos en los nucleótidos. Ashmead, De Wayne. et al ().

Metodología y Resultados.

Este ensayo se estableció a finales de la década de los 80 en la zona alta del Valle Central, específicamente en Hacienda La Luisa, Sarchi de Valverde Vega, provincia de Alajuela a una altitud de 1300 msnm. El suelo fue un Andisol profundo y con una alta acidez, bajo en bases cambiables y Fósforo. La variedad utilizada comercialmente en la época fue H 57-5174, cultivada en parcelas de 90 m² y utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Todas las parcelas recibieron una fertilización básica de 50 kg N, 150 kg P₂O₅ y 50 kg K₂O /ha a la siembra y en la fertilización de las socas 130 kg N, 10 kg P₂O₅ y 100 kg K₂O /ha. Como fuente de Zinc foliar se utilizó NUZ con un 52 % Zinc y en el caso del Boro foliar se aplicó Poliboro con un 20 % de Boro, ambas aplicaciones se realizaron a los 3 meses de edad en caña planta y en caña soca a los 2 meses posterior a la cosecha.

Los resultados obtenidos, como se visualizan en el Cuadro 5, indican que no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados y aplicados al suelo en forma foliar. Contrariamente todos los tratamientos fueron similares o inferiores al tratamiento testigo, el cual contaba solamente con la fertilización básica al suelo .La literatura reporta un beneficio a la adición de estos nutrimentos en la caña de azúcar, sin embargo con la variedad evaluada en esta investigación y con las fuentes y dosis aplicadas se logró concluir que no hubo una respuesta positiva en las dos cosechas realizadas.

Cuadro 5.
Resultados agroindustriales de la evaluación del Boro y Zinc en el cultivo de la caña de azúcar. Promedio de 2 cosechas variedad H 71-4441.

Tratamientos	% Brix	% Pureza	% Sacarosa	% Fibra	Kg azúcar/ t	toneladas caña /ha	toneladas azúcar/ha	Dif.%
25 kg Zinc /ha	17,41	82,92	13,03	13,83	95,51	122,51	11,73	101
15 kg Boro /ha	17,84	82,45	13,23	14,37	95,58	122,52	11,75	101
Testigo (0 Zinc ,0 kg Boro)	17,11	82,02	25,75	13,57	94,74	122,74	11,58	100
25 kg Zinc /ha + 15 kg Boro/ha	16,98	82,12	12,51	14,28	91,16	118	10,95	93
Zinc foliar (1 kg / 200 l)	17,05	85,52	12,74	13,82	92,97	122,48	11,38	98
Boro Foliar (0,5 kg /200 l)	17,06	83,44	12,96	13,32	95,64	117,77	11,26	97
Zinc + Boro foliar	17,26	82,42	12,84	13,71	93,96	111,93	10,57	91
Promedio	17,24	82,98	14,72	13,84	94,22	119,71	11,32	
CV %	5,47	2,9	6,49	8,3	7,67	13,45	15,35	
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

Los productos utilizados y recomendados en la época en que se ejecutó este ensayo Nuz como fuente de Zinc y Poliboro como fuente de boro posiblemente comparados con las nuevas fuentes de estos nutrientes que hoy día dispone el productor, presentan moléculas, formulaciones y adyuvantes que permiten una mayor penetración, un transporte dentro del cultivo más rápido y eficiente, logrando con ello una mejor respuesta productiva que lo logrado en este experimento.

6.2 Efecto de la aplicación de Zinc en el cultivo de la caña de azúcar en Higuito, San Mateo, Alajuela. Primera Cosecha.

El objetivo del presente estudio radicó en evaluar la respuesta productiva de la caña de azúcar a la aplicación del Zinc por dos vías de penetración foliar y raíz.

Metodología y Resultados.

El ensayo se estableció en el año 2014 en una finca administrada por Coopevictoria en la localidad de Higuito de San Mateo, provincia de Alajuela, a una altitud de 265 msnm, con una temperatura promedio anual de 23°C y una precipitación anual de 1.580 mm.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones y la variedad sembrada fue RB 86-7515, después de regada la semilla se fertilizo al fondo del surco con la fórmula 10-30-10 en la cantidad de 300 kg / ha. A los 3 meses se llevó a cabo la segunda fertilización con la fórmula 17-6-18-2,5 (CaO)-5 (MgO), aplicando 400 kg/ha.

Cuando la caña cumplió los 4 meses de edad, se hizo la aplicación al suelo y foliar de los tratamientos con Zinc como se indica el Cuadro 6, el tratamiento TESTIGO no se le aplicó Zinc pero si la fertilización comercial aplicada a los demás tratamientos. En el Cuadro 7 se presenta el resultado del análisis de varianza efectuado a los tratamientos y variables agroindustriales, y donde se observa que se presentaron diferencias significativas en las variables porcentaje de sacarosa, porcentaje de fibra, rendimiento industrial (kg azúcar/t caña) y producción de azúcar (t/ha).

Cuadro 6.
Tratamientos aplicados con zinc al suelo y foliar en este estudio.

Fertilizante	fuelle	Dosis comercial	Dosis ZnO	Aplicación
Zinc granulado	Sulfato de Zinc 35,5 %	14,9 kg /ha	5 kg /ha	Suelo
Zinc foliar	Zinctrac 70 %	1 l / ha	0,7 kg / ha	Foliar
Zinc foliar	Zinctrac 70 %	2 l / ha	1,4 kg / ha	Foliar

En el rendimiento industrial (Kg azúcar/t caña) los mejores tratamientos fueron tanto el Zinc granulado aplicado al suelo y el Zinc foliar en la dosis de 2 l/ha, superando en forma significativa al tratamiento TESTIGO (sin aplicación de Zinc). A pesar de no existir diferencias estadísticas con el tratamiento de Zinc foliar en la dosis de 1 l/ha, estos dos tratamientos lograron obtener 8 kg de azúcar por tonelada de caña de más, por lo que no deja de ser un valor despreciable desde el punto de vista económico.

En la variable producción de azúcar (t/ha), todos los tratamientos superaron al TESTIGO, siendo el mejor tratamiento con la aplicación al suelo de Zinc granulado en la dosis de 5 kg/ha, superando al tratamiento testigo en casi 2 toneladas de azúcar por hectárea.

Cuadro 7.
Resultados agroindustriales de la caña de azúcar en el promedio de dos cosechas al evaluar el efecto de la aplicación de zinc en San Mateo, Alajuela.

Tratamientos	% Brix	% Sacarosa	% Pureza	% fibra	Kg azúcar /t	t caña /ha	t azúcar/ha
Testigo	21,13	17,43	82,5	15,63	94,8	79,47	7,53
Zinc 1 L/ha	21,66	18,04	83,36	14,5	101,74	79,87	8,13
Zinc 2 L/ha	22,05	18,87	85,59	13,87	109,71	75,67	8,29
Zinc granulado	21,6	18,73	86,73	13,95	109,47	81,27	8,9
Promedio	21,61	18,27	84,55	14,49	103,93	79,07	8,21
% Cv	2,25	3,71	4,82	6,1	5,83	6,41	7,28
Significancia	ns	s	ns	s	s	ns	s

Esta respuesta positiva del zinc en la caña de azúcar, motiva a investigar más sobre este importante nutrimento, por lo que las cosechas sucesivas y aplicaciones constantes serán suficientes para determinar épocas, dosis y formas de aplicación tomando en cuenta el aspecto económico. Es importante señalar que el zinc es un elemento que interviene en el metabolismo del fósforo por lo que su respuesta será variada dependiendo de la disponibilidad de este nutrimento.

6.3 Evaluación de micronutrientes quelatados sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar en dos localidades del Valle Central occidental 1994.

Algunos micronutrientes catiónicos como el hierro, el manganeso y el cobre, son relativamente insolubles en solución, sobre todo cuando el pH de dicha solución es superior a 5, por lo tanto bajo condiciones moderadas o alta basicidad se forman precipitados. Una forma de evitar tales reacciones consiste en utilizar agentes quelatizantes, es decir moléculas solubles que se combinan con el ion a través de la donación de electrones al catión. La modificación diferencial del pH de la solución es una característica importante de los quelatos, así aquellos que generan acidez permiten no solo aumentar la solubilidad de ciertos cationes sino que también mantienen la estabilidad en la mayoría de los productos fitosanitarios que eventualmente se usen.

Por lo tanto un quelato es un compuesto orgánico que se combina y protege ciertos cationes metálicos, tales como Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre. La combinación de cationes y quelados forman anillos de estructura compleja y los metales así ligados esencialmente pierden sus características iónicas, reteniéndose en solución a niveles de pH mucho más altos que los de la forma iónica inorgánica.

El quelato ideal es el que presente la mayor y más estable constante de equilibrio con todos los cationes presentes, en otras palabras para lograr el máximo provecho de un quelatante deberá seleccionarse como los más apropiados y baja condición en que este actúe mejor. No se justifica utilizar agentes quelatizantes para cationes monovalentes (no forman quelatos estables) ni para otros cationes altamente solubles como el boro. Los elementos que pueden quelatarse son: Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn. (Ashmead, De Wayne . et al).

Algunos suelos del Valle Central por lo general, han sido explotados por muchos años bajo un manejo y sobre todo una fertilización inadecuada. Esta situación ha incidido negativamente sobre la fertilidad natural de los mismos, principalmente en lo relacionado con el contenido de micronutrientes necesarios para obtener mayores rendimientos agroindustriales.

Los micronutrientes juegan un papel preponderante en la producción de la caña de azúcar y si alguno de ellos se encuentra en cantidades bajas o indisponibles en el suelo la producción será consecuentemente baja. La respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones foliares de micronutrientes, no ha sido muy clara por lo que la evaluación de sustancias quelatantes podría cambiar dicha respuesta.

Por este motivo, se estableció este estudio en dos zonas donde la fertilidad de los suelos es baja al igual que las fertilizaciones. El objetivo del presente estudio fue valorar la respuesta del cultivo a la aplicación foliar de micronutrientes en forma de quelatos.

Metodología y Resultados.

Este estudio se estableció en dos localidades del Valle Central: Santa Eulalia de Atenas con una altitud de 750 msnm y en la localidad de Piedades Norte de San Ramón a una altitud de 1300 msnm, ambas de la provincia de Alajuela.

En el estudio de Atenas la variedad utilizada fue CR 6101 en condición de segunda soca y cada parcela estuvo constituida de 315 m², y la fertilización dirigida al suelo fue la recomendada en esta zona, 121 kg /ha de nitrógeno, 12 kg de P₂O₅ y 124 kg/ha de K₂O.

En el estudio ubicado en San Ramón la variedad cultivada fue SP 71 3149 en ciclo de caña planta y las parcelas evaluadas midieron 273 m². La fertilización aplicada fue de 152 kg /ha de nitrógeno, 162 kg /ha de P₂O₅ y 174 kg/ ha de K₂O.

En ambos casos la primera aplicación de los tratamientos se realizó cuando la caña tuvo 3 meses de edad y la segunda a los 4 meses.

Los resultados de Atenas presentes en el Cuadro 8, mostraron una respuesta positiva con el tratamiento de Croup 400 ml/ha + Zinc a 300 ml/ha, produciendo un 59 % más de azúcar (t/ha) que el tratamiento testigo sin aplicación. Todos los tratamientos con excepción del Croup multimineral, con 700 ml por el contrario disminuyó significativamente la producción de azúcar (t/ha), posiblemente por provocar desbalances entre los micronutrientes por altas cantidades.

En el Cuadro 9 se presentan los resultados obtenidos en la localidad de San Ramón de Alajuela, donde pese a utilizar los mismos tratamientos y dosis del ensayo de Atenas, la respuesta no fue la misma y por el contrario los rendimientos productivos obtenidos principalmente en la producción de caña y azúcar (t/ha) fueron muy inferiores respecto al tratamiento testigo sin ninguna aplicación.

Cuadro 8.

Resultados agroindustriales de la evaluación preliminar del efecto de metalosatos sobre el rendimiento de la caña de azúcar, variedad CR 6101 en Atenas. Primer cosecha.

Tratamientos **	Por ciento			Fibra	Rendimiento kg. azúcar/t	t/ha		P.R.T. *
	Brix	Pol	Pureza			Caña	Azúcar	
CROUP 400 ml/ha + Zinc 30 ml/ha	17,7	14,3	81,1	11,31	86,53	94,92	8,21	159
CROUP 500 ml/ha	18,8	14,1	74,9	12,76	77,37	80,48	6,23	121
CROUP 400 ml/ha + Boro 300 ml/ha	19,4	14,8	75,4	14,11	80,53	74,6	6,01	116
Testigo	19,4	14,8	76,2	14,11	80,04	64,44	5,16	100
CROUP 700 ml/ha	17,5	12,5	71,6	12,66	66,15	68,567	4,54	88
PROMEDIOS	18,56	14,10	76,04	13,00	78,12	76,60	6,03	

Por lo tanto la respuesta positiva obtenida en Atenas se debió posiblemente a que la variedad CR 61 01 en estado de retoño (mayor cantidad de raíces) y en un clima que favorece un mayor metabolismo favoreció en obtener una mejor respuesta que en San Ramón donde la condición de caña planta (pocas raíces) y un clima desfavorable contribuyeron en estos resultados.

Cuadro 9.

Prueba preliminar de aplicación de metalosatos en caña de azúcar en variedad SP 71-3149, Piedades Norte, San Ramón Norte. Alajuela. Primer Corte.

Tratamientos **	Por ciento			Fibra	Rendimiento kg. Azúcar/ t	t/ha		P.R.T. *
	Brix	Pol	Pureza			Caña	Azúcar	
TESTIGO	17,48	15,22	87,06	11,72	95,8	110,29	10,56	100
CROUP 700 ml/ha	16,88	14,3	84,74	12,45	87,09	105,12	9,15	86
CROUP 400 ml/ha + Boro 300 ml	17,78	15,69	88,22	11,93	99,2	87,64	8,69	82
CROUP 500 ml/ha	17,58	15,36	87,36	12,24	95,89	86,31	8,27	78
CROUP 400 ml/ha + Zinc 300 ml/ha	17,28	14,99	86,73	11,62	94,3	86,92	8,19	77
PROMEDIOS	17,4	15,11	86,82	12,00	94,45	95,25	8,97	

6.4 Evaluación de fertilizaciones foliares en el desarrollo inicial de la caña de azúcar en condiciones de invernadero.

Existe una amplia gama de fertilizantes foliares en el mercado de agroquímicos disponibles para ser adquiridos por los productores y aplicados en la caña de azúcar sin ninguna investigación previa que permita, primero valorar dosis, momento de aplicación y sobre todo la respuesta a la aplicación de estos productos. Es de esperar, que fertilizantes con altos contenidos de Nitrógeno y Fósforo en las primeras etapas de desarrollo, son esenciales para lograr un mayor encepamiento del cultivo y posteriormente un mayor desarrollo. El suplir al cultivo en una segunda aplicación con más Nitrógeno y acompañado de microelementos es esencial para obtener una respuesta en el crecimiento de las plantas aplicadas.

El objetivo de este estudio, consistió en evaluar diferentes fertilizantes foliares, aplicados en diferentes etapas de desarrollo y de acuerdo a las necesidades del cultivo en condiciones de invernadero.

Metodología y Resultados.

El experimento se estableció en un invernadero de 102 m² ubicado en las instalaciones de DIECA en Santa Gertrudis Sur del cantón de Grecia, Alajuela. El mismo se encuentra ubicado a 10° 05' 18' Latitud Norte y 84° 17' 09' Longitud Oeste, a una altitud de 1000 msnm, una temperatura media 23 °C. Cada unidad experimental, estuvo constituida por una bolsa plástica con capacidad de almacenar aproximadamente 2 kg de suelo, en estas bolsas se sembraron esquejes de una yema previamente pre germinados en una cama estéril y seleccionada para disminuir diferencias en crecimiento. El suelo utilizado fue un Ultisol para garantizar una respuesta de los fertilizantes evaluados.

Los tratamientos se estructuraron primeramente, seleccionando los productos foliares más altos en Fósforo cuya evaluación anterior había presentado una respuesta favorable, estos fueron: Tech spray hi K en la dosis de 4 l /ha, Potafos 0,5 /ha, Cafesa 15 g /l, Tech spray Zn PK a 4 l /ha, Tech flo alpha 4 l /ha, comparados con dos tratamientos testigos uno absoluto y otro con fertilización al suelo para suplir el fósforo y nitrógeno requeridos posterior la germinación de la caña. En el Cuadro 10 se observa la composición del resto de los tratamientos así como las épocas de aplicación basadas en el número de hojas presentes en las plántulas de caña de azúcar previo a su aplicación.

En el cuadro 11 se presenta la composición química nutricional de los diferentes productos aplicados al cultivo, observándose primero altos contenidos de fósforo y nitrógeno con las primeras aplicaciones, luego se realizaron aplicaciones con algunos microelementos y nutrientes secundarios, hasta que en la tercera aplicación se utilizaron fertilizantes con alta cantidades de nitrógeno y más microelementos.



Cuadro 10.

Tratamientos evaluados en el estudio de diferentes fertilizantes foliares a la caña de azúcar en condiciones de invernadero en tres etapas de crecimiento.

	4 hojas	6 hojas	8 hojas
#	Primera Aplicación	Segunda Aplicación	Tercera Aplicación
1	Tech spray hi K + Control N (2 l/ha)	Magi Green	Fert - 1
2	Tech spray hi K (4 l/ha) + Control N	Magi Green	Amino Grow PGR
3	Tech spray hi K + Control N	Metalosato Tropical	Fert - 1
4	Tech spray hi K + Control N	Metalosato Tropical	Amino Grow PGR
5	Potafos 45 (0,5 l/ha) + Control N	Magi Green	Fert - 1
6	Potafos 45 + Control N	Magi Green	Amino Grow PGR
7	Potafos 45 + Control N	Metalosato Tropical	Fert - 1
8	Potafos 45 + Control N	Metalosato Tropical	Amino Grow PGR
9	Cafesa (15 g/l) + Control N	Magi Green	Fert - 1
10	Cafesa + Control N	Magi Green	Amino Grow PGR
11	Cafesa + Control N	Metalosato Tropical	Fert - 1
12	Cafesa + Control N	Metalosato Tropical	Amino Grow PGR
13	Tech spray Zn P K (4 l/ha) + Control N	Magi Green	Amino Grow PGR
14	Tech spray Zn P K + Control N	Magi Green	Fert - 1
15	Tech spray Zn P K + Control N	Metalosato Tropical	Amino Grow PGR
16	Tech spray Zn P K + Control N	Metalosato Tropical	Fert - 1
17	Tech Flo Alpha (4 l/ha) + Control N	Magi Green	Amino Grow PGR
18	Tech Flo Alpha + Control N	Magi Green	Fert - 1
19	Tech Flo Alpha + Control N	Metalosato Tropical	Amino Grow PGR
20	Tech Flo Alpha + Control N	Metalosato Tropical	Fert - 1
21	Testigo absoluto		
22	Testigo fert comercial suelo 10-30-10 (350 kg/ha)		15- 3 -31 (350 kg /ha)

Cuadro 10.

Porcentaje de los nutrientes en cada fertilización y tratamiento en el estudio de diferentes fertilizantes foliares en la caña de azúcar en condiciones de invernadero.

Primera Fertilización							
%	Tech Spray hi K	Potafos	Cafesa	Tech spray Zn P K	Tech Flo Alfa	Control N	Hojas
Nitrogeno			12			35,29	25
Fósforo	43,32	34	61	20,32	13,42		
Potasio	46,65	45		11,43			
Calcio					15,02		0,6
Magnesio							0,3
Zn				1,27	6,71		
Boro							
Azufre					3,36		
Aminoácidos		2					
Segunda Fertilización							
%	Magi Green	Metalosato					
Nitrogeno	0,77	1,5					
Fósforo	0,34						
Potasio	1,11						
Calcio	0,64						
Magnesio	0,17	0,83					
Zn		2					
Boro		1					
Fe	184 ppm	0,66					
Mo	19,62	0,1					
Carbono. org	11,37						
Tercera Fertilización							
%	Fert 1	Amino Grow PGR					
Nitrogeno	12	10					
Fósforo	10	12					
Potasio	33	12					
Calcio							
Magnesio	0,8						
Zn	0,4						
Boro	0,8						
AZUFRE							
Fe	0,004						
Mn	0,02						
Cu	0,22						
Mo	0,02						
Aminoácidos		5					
Hormonas		0,045					
Carbono Org		6					
Carbohidratos		10					

Cuadro 11.
Resultado del análisis de varianza del estudio de diferentes fertilizantes foliares a la caña de azúcar en condiciones de invernadero.

Fuente de Variación	GL	Tamaño	P(f)	Grosor	P(f)
A	4	13,44	0,01	0,27	0,41
B	1	0,06	1	0,43	0,21
AxB	4	4,04	0,34	0,44	0,17
C	1	0,25	1	0,05	1
AxC	4	3,17	1	0,05	1
BxC	1	2,6	1	1,51	0,02
AxBxC	4	8,31	0,06	0,19	1
FACT vs NO FACT	2	143,69	0	1,67	0
Error	44	3,48		0,26	
Total	65	559,04		20,66	
CV %		5,9		8,64	
Tratamientos		FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP
Tech Spray Hi K + Control N		31,24	ab	5,65	
Potafos + Control N		32,55	a	5,93	
Cafesa + Control N		31,57	ab	6,04	
Tech Spray Hi K Zn P K + Control N		30,64	ab	5,89	
Tech Flo Alpha + Control N		29,71	b	5,96	
Tratamientos		FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP
Magi Green		31,11		5,81	
Metalosato Tropical		31,17		5,98	
Tratamientos		FACTOR C	SEP	FACTOR C	SEP
Fert 1		31,21		5,92	
Amino Grow PGR		31,08		5,86	
Tratamientos		INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP
Tech Spray Hi K x Magi Green		31,88		5,54	
Tech Spray Hi Kx Metalosato		30,6		5,75	
Potafos x Magi Green		32		5,85	
Potafos x Metalosato		33,1		6,01	
Cafesa x Magi Green		30,92		5,68	
Cafesa x Metalosato		32,22		6,41	
Tech Spray Hi K Zn P K x Magi Green		30,58		6,05	
Tech Spray Hi K Zn P K x Metalosato		30,7		5,72	
Tech Flo Alpha x Magi Green		30,17		5,93	
Tech Flo Alpha x Metalosato		29,25		6	
Tratamientos		INTER A*C	SEP	INTER A*C	SEP
Tech Spray Hi K x FERT 1		30,6		5,64	
Tech Spray Hi Kx Amino Grow		31,88		5,66	
Potafos x FERT1		33,35		5,87	
Potafos x Amino Grow		31,75		6	
Cafesa x FERT 1		31,72		6,11	
Cafesa x Amino Grow		31,42		5,98	
Tech Spray Hi K Zn P K x FERT1		30,62		5,95	
Tech Spray Hi K Zn P K x Amino grow		30,67		5,82	
Tech Flo Alpha x FERT1		29,75		6,05	
Tech Flo Alpha x Amino grow		29,67		5,87	
Tratamientos		INTER B*C	SEP	INTER B*C	SEP
Magi Green x FERT1		30,97		5,68	Aa
Magi Green x Amino grow		31,25		5,94	Aa
Metalosato x FERT1		31,45		6,17	Aa
Metalosato x Amino grow		30,9		5,79	Aa
Tratamientos Adicionales		ADIC	SEP	ADIC	SEP
Testigo Absoluto		31,33	=	5,6	=
Testigo Fertilizado		41,17	>	6,92	>
MG Factorial		31,14		5,89	

En el cuadro 11 se presenta el resultado del análisis de varianza aplicado a los diferentes tratamientos evaluados y sus respectivas interacciones, se observa cómo se lograron diferencias significativas en la variable tamaño de las plantas, donde el mejor fertilizante fue el POTAFOS en mezcla con CONTROL N como fuente de nitrógeno. Los demás interacciones no aportaron diferencias importantes al desarrollo inicial del cultivo valorado por el tamaño y grosor de los tallos. Respecto al tratamiento fertilizado al suelo este fue superior, así se observa en la figura 3 y figura 4 al comparar los tratamientos fosforados respecto a ambos testigos (absoluto y fertilizado) al suelo en ambas variables evaluadas.

En la figura 5 se observa como con el aporte de microelementos por vía foliar no se alcanzó un incremento importante respecto a los testigos evaluados. Por los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que en la aplicación foliar se evidencio una leve respuesta con los fertilizantes fosforados en el crecimiento de las plántulas, superados estos tratamientos en forma significativa con la fertilización al suelo.

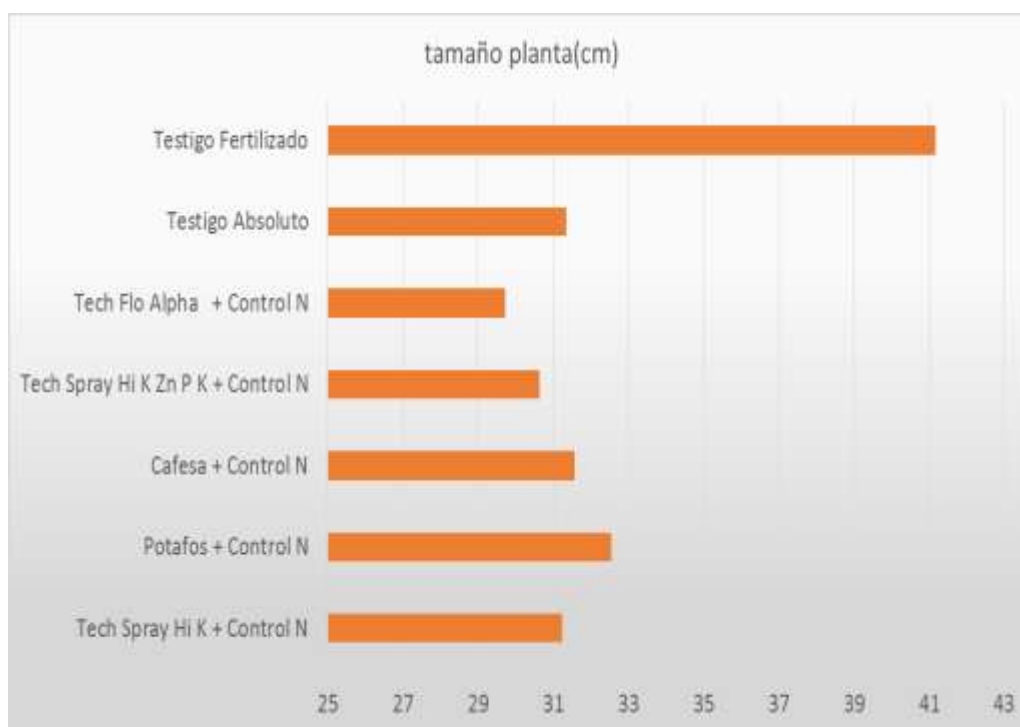


Figura 3. Efecto de los fertilizantes foliares fosforados sobre el crecimiento inicial del cultivo.



Figura 4. Efecto de los fertilizantes foliares fosforados sobre el grosor de los tallos.

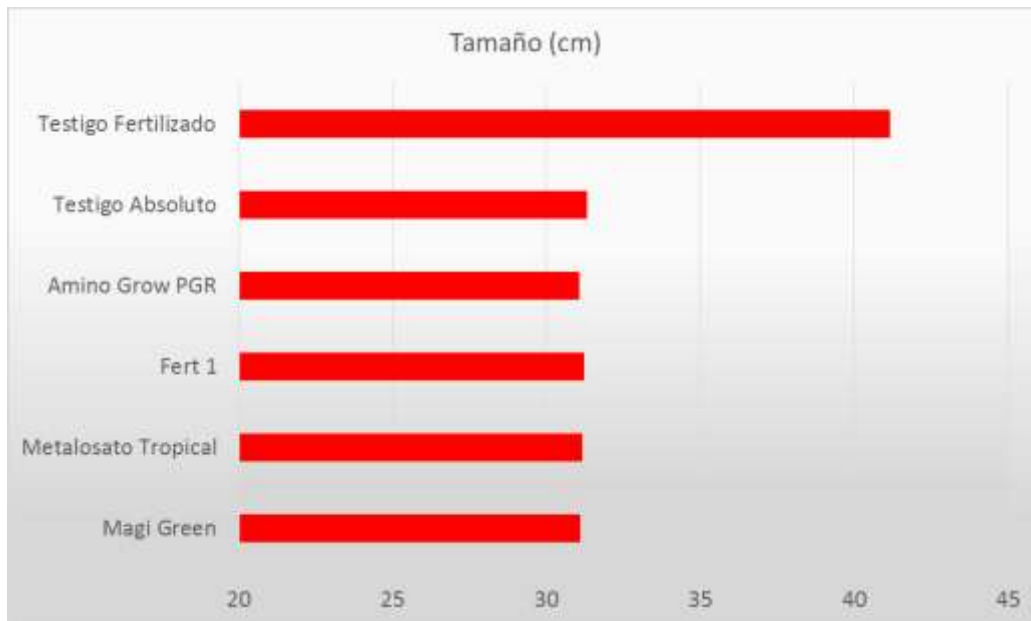


Figura 5. Resultado del efecto de los tratamientos con microelementos respecto al testigo absoluto y fertilizado al suelo.

7. Fertilizantes Foliare y adyuvantes.

Los coadyuvantes son compuestos químicos que se adicionan a los productos asperjados con la finalidad de mejorar su efectividad, al servir de intermediario o de enlace entre el foliar, el agua, y las estructuras de la planta.

Los coadyuvantes agregados a la disolución foliar con el agua, vienen a fortalecer la solubilidad de los mismos, la compatibilidad y sobre todo la dispersión y penetración en las plantas asperjadas venciendo barreras químicas, físicas y ambientales, hasta alcanzar en el menor tiempo posible los puntos de acción o sumideros.

Las hojas de la caña de azúcar presentan por lo general resistencia a la penetración de los productos asperjados, posiblemente debido a características físico-químicas particulares de las hojas de este cultivo y que no se han identificado y publicado hoy día. El acondicionamiento del medio (agua) es un aspecto que dependiendo de las cargas iónicas de las moléculas en la solución, podría favorecer que una mayor cantidad de moléculas lleguen a los puntos de acción. Los coadyuvantes con acción penetrante, también pueden ligarse a las moléculas nutritivas y acarrearlas a los sitios de destino con requerimientos nutricionales. Productos con contenidos de aminoácidos o ácidos húmicos y fúlvicos por ejemplo pueden encapsular a las moléculas que presentan mayor resistencia a la penetración y transporte dentro de la planta.

Con los resultados obtenidos en diversas pruebas con productos foliares principalmente con base en fósforo en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, se seleccionaron los mejores productos de este tipo para reevaluarlos y comparar su respuesta utilizando algunos coadyuvantes. A continuación se presentaran algunos de los trabajos de investigación realizados en esta línea y donde la respuesta no ha sido la esperada.

7.1 Evaluación de diferentes adyuvantes con fertilizantes foliares fosforados en el desarrollo inicial de la caña de azúcar en condiciones de invernadero.

El objetivo de este estudio consistió en evaluar diferentes adyuvantes que ayuden en el mayor aprovechamiento de diferentes fertilizantes foliares en el desarrollo inicial del cultivo en condiciones de invernadero.

El experimento se estableció en un invernadero de 102 m² ubicado en las instalaciones de DIECA en Santa Gertrudis Sur del cantón de Grecia, Alajuela. El mismo se encuentra ubicado a 10^o 05' 18' Latitud Norte y 84^o 17' 09' longitud oeste, a una altitud de 1.000 msnm, una temperatura media 23 °C. Cada unidad experimental estuvo constituida por una bolsa plástica con capacidad de almacenar aproximadamente 2 kg de suelo y a los cuales se sembraron esquejes de una yema previamente pre germinada y seleccionados antes de ser sembrados para disminuir diferencias en crecimiento. El suelo utilizado en este estudio preliminar fue un suelo Ultisol, el cual es un suelo nutricionalmente carente de los nutrientes básicos para tener un desarrollo adecuado del cultivo.

Cuando las plántulas de caña tuvieron 6 hojas verdaderas se le aplicó una solución provista de un producto foliar con alto contenido de fósforo y otro provisto de nitrógeno acompañado de un tratamiento adicional (adyuvante) que permitiera una mayor penetración del fertilizante a la planta. En el Cuadro 12 se presentan los productos utilizados en este estudio y las dosis, así como sus contenidos nutricionales y en el Cuadro 13 se presentan los tratamientos evaluados.

Las plántulas se evaluaron cuando cumplieron un mes posterior a su aplicación y se pesaron (peso seco) y midieron los hijos emergentes en cada bolsa y los resultados se presentan en el Cuadro 14.

Cuadro 12.
Características de los productos utilizados en la evaluación de diferentes productos foliares en condiciones de invernadero.

Producto	Dosis	Acción	Contenido mineral
Control N	10 ml / l	Nitrógeno lenta liberación	Nitrógeno Ureico 9,82 % + Nitrogeno soluble 25,42 % PV
Tech spray Hi K	1 - 4 l / ha	Fertilizante foliar	Fósforo (P ₂ O ₅) 43,32 % + Potasio (K ₂ O) 46,65 % + Inertes 10,03 %
Potafos 45	0,5 l / 200 l	Fertilizante foliar	Aminoácidos 2 % + fósforo (P ₂ O ₅) 34 % + Potasio (K ₂ O) 45 %, Azúcares invertidos 4 % + Acidos Fúlvicos 0,75 % + Inertes 14,25 %
Cafesa 12 -61 - 0	15 gr / l	Fertilizante foliar	Nitrógeno 12 % + Fósforo (P ₂ O ₅) 61 % + Inertes 27 %

Cuadro 13.
Tratamientos evaluados en la caña de azúcar tratada con diferentes productos foliares y adyuvantes en condiciones de invernadero.

#	tratamientos
1	Cafesa (15 g / l) + Control N (2 l / ha) + Testigo
2	Cafesa (15 g / l) + Control N (2 l / ha) + acidificante Indicate (20 gotas / l)
3	Cafesa (15 g / l) + Control N (2 l / ha) + Penetrante WK 1ml / l)
4	Cafesa (15 g / l) + Control N (2 l / ha) + Megafol (4 l / ha)
5	Tech spray hi k (4 l / ha) + Control N (2 l / ha) + Testigo
6	Tech spray hi k (4 l / ha) + Control N (2 l / ha) + acidificante Indicate (20 gotas / l)
7	Tech spray hi k (4 l / ha) + Control N (2 l / ha) + Penetrante WK (1 ml / l)
8	Tech spray hi k (4 l / ha) + Control N (2 l / ha) + Megafol (4 l / ha)
9	Potafos (0,5 l / ha) + Control N (2 l / ha) + Testigo
10	Potafos (0,5 l / ha) + Control N (2 l / ha) + Acidificante Indicate (20 gotas / L)
11	Potafos (0,5 l / ha) + Control N (2 l / ha) + Penetrante WK (1 ml / l)
12	Potafos (0,5 l / ha) + Control N (2 l / ha) + Megafol (4 l / Ha)
13	Testigo Absoluto
14	Testigo Fertilizado(400 kg/ha 10 - 30 - 10)

En el cuadro 14 se presenta el resultado de la evaluación de los diferentes tratamientos, observándose la ausencia de diferencias significativas tanto entre los tratamientos foliares, así como entre los adyuvantes utilizados para mejorar la penetración de los productos. En la figura 7 se observa como el mejor tratamiento fue el testigo fertilizado al suelo y entre los tratamientos foliares, la aplicación del producto **Tech spray hi k** con la acidificación del medio pareciera ser un tratamiento competitivo.

También con los coadyuvantes la acidificación del medio pareciera que ayuda en obtener una mejor efectividad. En general se observa que a pesar de no presentarse diferencias significativas con los resultados obtenidos dejan prever que con adyuvantes es posible mejorar la penetración y con ello obtener resultados más positivos con la fertilización foliar.



Figura.6. Plántulas de caña tratadas con los diferentes foliares en el invernadero.

Cuadro 14.

Análisis de varianza aplicado a los diferentes tratamientos evaluado en la caña de azúcar tratada con diferentes productos foliares y adyuvantes en condiciones de invernadero.

Fuente variacion	G.L.	CM	P(f)
Foliar	2	4,11	1
Adyuvante	3	15,15	1
Foliar vs Adyuvante	6	23,93	1
Factores vs no factores	2	32,21	0,36
Error	28	30,12	
Total	41	1.104,98	
Cv %		23,89	
Foliares		Grs / planta	SEP
Cafesa		23,33	
Tech spray hi K		22,17	
Potafos		22,67	
Adyuvantes		Grs / planta	SEP
Testigo		21	
Acidificante ph 5		24,11	
Penetrante		23,11	
Megafol		22,67	
Foliares vs Adyuvantes		Grs / planta	SEP
1		22,67	
2		23,33	
3		22	
4		25,33	
5		19	
6		27,33	
7		23,67	
8		18,67	
9		21,33	
10		21,67	
11		23,67	
12		24	
13		21,67	
14		27,33	

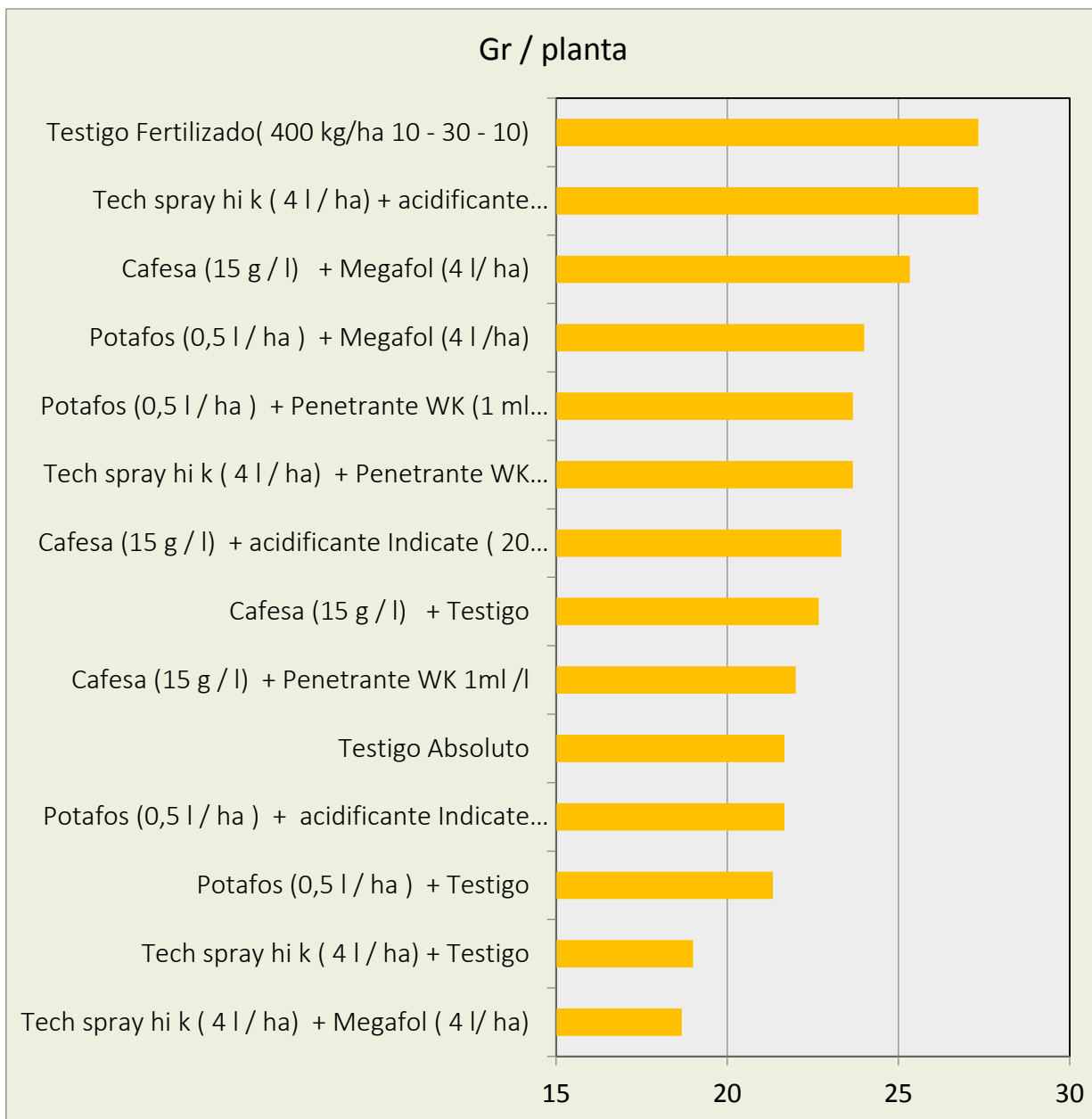


Figura 7. Peso promedio por planta de cada tratamiento evaluado en la caña de azúcar tratada con diferentes productos foliares y adyuvantes en condiciones de invernadero.

7.2. Evaluación de diferentes productos adyuvantes (encapsuladores) agregados a la fertilización foliar fosfórica y nitrogenada en los brotes iniciales de la caña de azúcar en condiciones de invernadero.

Existen en el mercado de agroquímicos una gran variedad de productos para la nutrición foliar de los cultivos en general, algunos de reconocidas marcas con garantía de calidad y otros posiblemente con contenidos de nutrientes, expresados en la etiqueta pero no en el producto a aplicar. Por otro lado las dosis recomendadas por los fabricantes están basadas en resultados obtenidos en cultivos que presentan una alta capacidad de absorción de nutrientes vía foliar como es el caso del café y algunas hortalizas. La presión del mercado se ejerce en todas direcciones por lo que es de esperar que la caña de azúcar por ser un cultivo extensivo se vuelva atractivo comercialmente para las compañías productoras de estos productos. La aplicación de productos foliares como complemento a la nutrición del cultivo es una alternativa importante, porque disminuiría pérdidas de los nutrientes al paso por la complejidad de reacciones del suelo y a la vez, permitiría también un rápido y eficiente aprovechamiento de los mismos por el cultivo. Sin embargo la caña de azúcar es catalogada como una planta de difícil adsorción de nutrientes vía foliar. Por este motivo DIECA ha desarrollado un proceso de investigación en esta línea a nivel de invernadero y en etapas iniciales de cultivo, donde la necesidad de fósforo y nitrógeno son vitales antes de agregar microelementos y bioestimulantes.

En este proceso la aplicación y evaluación de productos fosforados y nitrogenados ha culminado en la elección de Tech spray hi K de la compañía PCD, con un contenido de 43,32 % de P_2O_5 y 46,65 % K_2O y como complemento el producto control N de la compañía CASAGRI el cual contiene 9,82 % de nitrógeno ureico y un 25,42 % de nitrógeno soluble.

El objetivo de este estudio consistió en evaluar el aporte de diferentes adyuvantes en el aprovechamiento de dos fertilizantes foliares en el desarrollo de plántulas de caña de azúcar.

Los ácidos orgánicos (Húmicos y fúlvicos) y los aminoácidos tienen la capacidad de formar complejos o encapsular las diferentes moléculas de los nutrientes y favorecer en teoría la rápida y fácil penetración a través de la lámina de la hoja de la caña, por lo que es de esperar una mejor respuesta en el desarrollo de los brotes de iniciales necesitados de nitrógeno y fósforo.

En el Cuadro 15 se presenta el análisis químico realizado al suelo utilizado para el llenado de bolsas de 2 kg. Este suelo es del orden Ultisol con una alta acidez y sobre todo bajo en bases cambiables y con trazas de fósforo, por lo que es de esperar respuesta positiva con cualquier nutriente que se aplique.

Cuadro 15.
Composición química del suelo utilizado en la siembra de las plántulas de caña de azúcar.

PH	Acidez	% SA	Ca	Cmoles / L			Mg / L					M.O
				Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe	CICE	
5,4	0,3	9,37	2,5	0,2	0,2	3,3	2,8	1,7	3	60	3,2	3,64

La variedad utilizada en el estudio fue Mex 70 485 ampliamente cultivada comercialmente en diferentes regiones cañeras, las plántulas se reprodujeron por medio de cultivo de tejidos y fueron evaluadas después de haber cumplido la etapa de aclimatación en el invernadero. Dichas plantas fueron previamente seleccionadas por su tamaño y vigorosidad y la aplicación se realizó cuando las mismas presentaban 6 hojas completamente desarrolladas. La fumigación se realizó utilizando un aplicador mecánico equipado con boquilla 80 02 anti deriva y con una presión de 2,6 Bar, para una descarga de 480 l/ha.

Como se observa en el Cuadro 16 y 17 además de las dosis aplicadas en este experimento se agregaron diferentes productos calificados por sus características como adyuvantes con la finalidad de mejorar la penetración y transporte de estos nutrimentos en el cultivo.

En el Cuadro 18 se presenta el resultado del análisis de varianza y se observa que se presentaron diferencias significativas al 9 % en la variable peso de los hijos y según la prueba

de medias Tukey 5 % el tratamiento con el producto Pescagro presento diferencias significativas solamente con el acidificante Indicate y no con los demás tratamientos. Respecto al testigo este producto supero al testigo absoluto en un 37 % y al testigo fertilizado al suelo en un 30%, además cabe resaltar que este producto incremento el número de hijos superando en este parámetro a todos los demás tratamientos.

Cuadro 16.
Composición química de los diferentes tratamientos evaluados.

Producto	Composición
Indicate pH 5 (15 ml / l)	acidificante
Da Plus (1,5 ml / l)	coadyuvante
Pescagro (3 l / ha)	N total 6,28 %,N.orgánico 4,71 %, N. insoluble 1,57 %,P2O5 1,15%,K2O 1,23 %,Ca 0,225 %,Mg 0,155 %
Bionitrogen (2kg/ha)	Aminoácidos 85 % ,N total 13,4 % , K2O 4 % , inertes 11 %
Nutri Full 5 ml / l	Ácidos fúlvicos 26 % inertes 75 %
Pass 80 (1 ml / l)	coadyuvante
Sinergipron 5 ml / l	ácidos húmicos 21-22 %,fúlvicos 3-4 %,Boro 0,02 %,Cu 0,05 %,Fe 0,01 %,Mn 0,05 %,Mo 0,025 %,Zn 0,05 %
Megafol (2 l/200 l)	Aminoácidos 34,7 % pv + óxido de potasio (K2O) 3,7 % + Inertes 61,6 %
P Energetic (1 ml/ l)	Bioestimulante regenerativo
P Energetic (3 gr/ l)	Bioestimulante regenerativo
Protifert LMW (2 l / ha)	aminoácidos 64,5 %, aminoácidos libres 19,95 %,Nitrogeno 11 %,inertes 30 %
Protifert K (2 l/ha)	nitrógeno 5,24 %,potasio 20,96 %,aminoácidos total 32,7 %,amioácidos libres 4 %,inertes 41,05 %
Tech spray hi K	fósforo (P2O5) 43,32 % + potasio(K2O) 46,65 % + Inertes 10,03 %
Control N	nitrógeno ureíco 9,82 % PV + nitrógeno soluble 25,42 % PV

Cuadro 17.**Distribución de los diferentes tratamientos del estudio.**

Tratamiento Fósforo	Complemento	Adyuvante
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	Indicate pH 5 (15 ml / l)
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	Da Plus (1,5 ml / l)
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	Pescagro (3l / ha)
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	Bionitrogen (2kg/ha)
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	Nutri Full 5 cc/l
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	Pass 80 (1 cc / l)
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	Sinergipron 5 ml / l
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	Megafol (2 l/200 l)
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	P Energetic (1 ml/ l)
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	P Energetic (3 gr/ l)
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	testigo
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	Protifert LMW (2 l / ha)
Tech spray hi K (6l / ha)	Control N (2 l/ha)	Protifert K (2l/ha)
Testigo Fertilizado	10 - 30 - 10 (0,25g/kg)	
Testigo Absoluto		

Cuadro 18.**Resultado del análisis de varianza aplicado a las variables evaluadas en este estudio.**

Fuente de variación	G.L.	Peso gr hijos	P(f)	Número hijos	P(f)
tratamiento	14	1.790,49	0,09	3,21	0,22
Error	45	1.045,37		2,38	
total	59	72.108,72		151,93	
CV %		43,53		51,98	
DMS		82,61		82,61	
tratamientos		Peso gr hijos	SEP	Número hijos	SEP
Indicate ph 5 (15 ml / l)		48,9	b	2,75	
Da Plus (1,5 ml / l)		97,68	ab	2,75	
Pescagro (3 l / ha)		131,55	a	5	
Bionitrogen (2 kg /ha)		72,35	ab	3	
Nutri Full 5 ml / l		85,73	ab	3,75	
Pass 80 (1 ml / l)		60,45	ab	1,75	
Testigo		69,03	ab	2,25	
Sinergipron 5 ml / l		69,23	ab	1,75	
Megafol (2 l/200 l		50,23	ab	2	
P Energetic (1 ml/ l)		57,5	ab	3	
P Energetic (3 gr/ l)		64,4	ab	3	
Protifert LMW (2 L / ha)		70,03	ab	3,25	
Protifert K (2 l/ha)		64,15	ab	2,5	
10 - 30 - 10 (0,25g/kg)		91,05	ab	3,75	
Testigo Absoluto		81,8	ab	4	

En la figura 5 se presenta gráficamente la respuesta en el peso de las plántulas de caña de azúcar aplicadas con los diferentes adyuvantes, observándose el incremento provocado por el producto Pescagro el cual fue superior a los testigos absoluto y fertilizado.

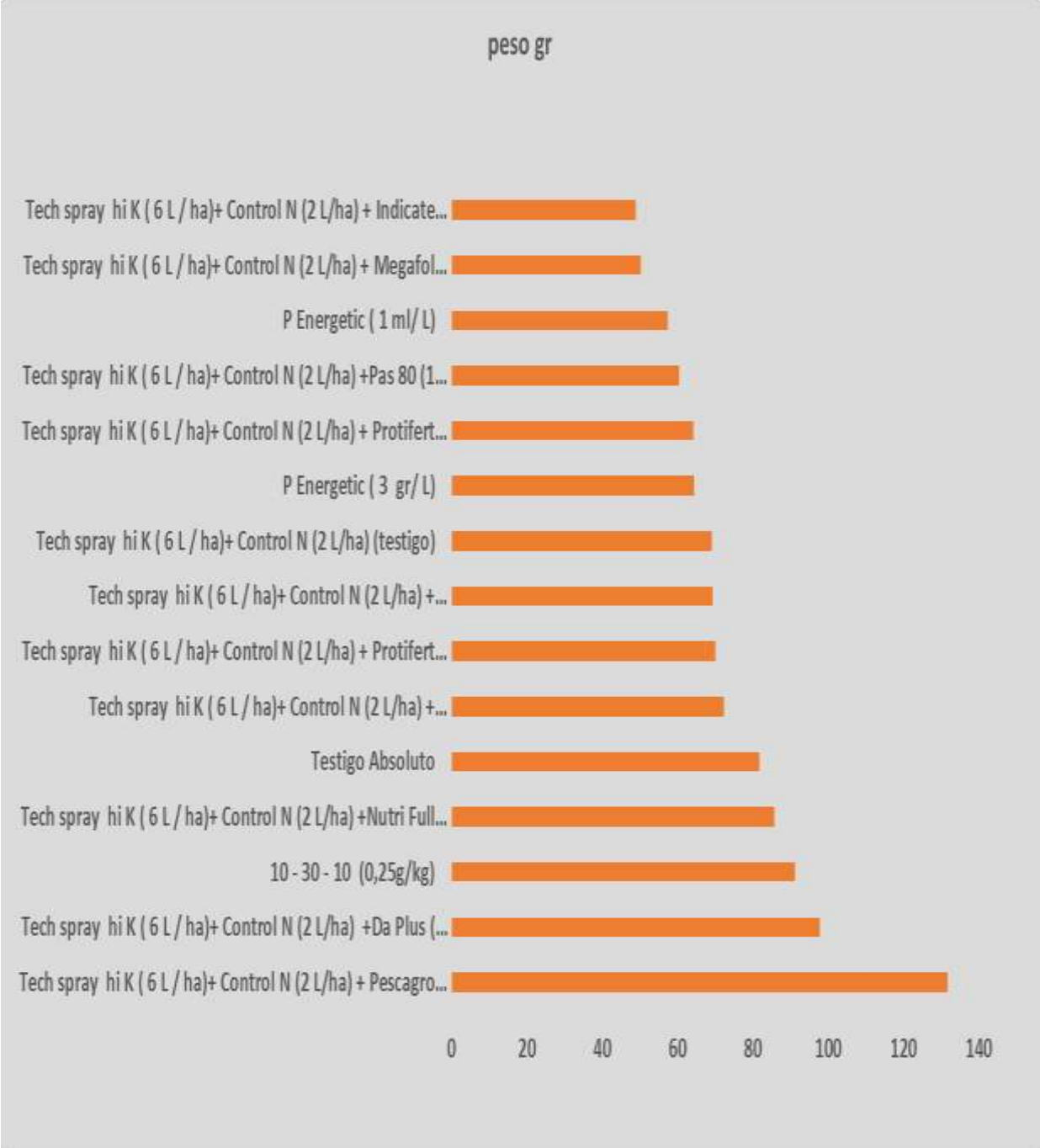


Figura 8. Respuesta de los diferentes tratamientos adyuvantes en el peso de las Plántulas aplicadas con el fertilizante foliar.

8. EFECTO DE DIFERENTES PRODUCTOS FOLIARES Y DE SUELO RECOMENDADOS POR DIFERENTES CASAS COMERCIALES EN TURRIALBA, CARTAGO. DURANTE TRES COSECHAS.

Hoy en día existen en el mercado de agroquímicos una diversa gama de productos foliares y de suelo, a base de aminoácidos, hormonas, ácidos húmicos y micro elementos, los cuales son promocionados con el objetivo de lograr un mayor desarrollo del cultivo mediante una mayor nutrición y estímulo al sistema radicular.

Las diferentes casas comerciales distribuidoras de estos productos de alguna forma ejercen algún tipo de presión al productor cañero para que utilicen los mismos, en algunos casos sin respaldo técnico en el cultivo, situación que ante consultas por parte de los productores, ha obligado a establecer investigaciones inmediatas con la finalidad de dar respuesta tecnológica a estas inquietudes que vienen a incrementar los costos del cultivo. Por este motivo se convocó a diferentes casas comerciales para evaluar los productos recomendados en su cartera comercial durante un periodo de cuatro años en el cultivo de la caña de azúcar. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta agroindustrial de la caña de azúcar aplicada con los productos recomendados por las casas comerciales en la zona de Turrialba.

El ensayo se estableció en la finca “*Canadá*” propiedad del Ingenio Atirro ubicado en el cantón de Turrialba, provincia de Cartago, a una altitud de 740 msnm, con una temperatura media anual de 26°C y una precipitación media anual de 2.613 mm

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 3 repeticiones en arreglo factorial de 2⁶. Los tratamientos se distribuyeron en forma aleatoria en el campo y la distancia entre bloques fue de 3 m y entre parcelas de 2 m.

Cada parcela experimental estuvo constituida de 5 surcos de 7 metros de largo sembrados a 1,5 metros entre sí, para un área total por parcela de 67,5 m² la cual fue evaluada y cosechada en su totalidad.

Se utilizaron dos variedades comerciales: B 77-95 y B 76-259 por su importancia comercial en la región Según las características químicas del suelo en los estratos de profundidad de

0-20 cm y 20-40 cm, se observaron en el mismo una alta acidez intercambiable y por el contrario los contenidos de bases cambiables (Ca, Mg, K) se encontraron relativamente bajos al igual que el Fósforo. Las aplicaciones se realizaron durante las fertilizaciones comerciales del cultivo, por tanto en el ciclo de planta la primera fertilización se hizo en el momento de la siembra, la siguiente entre 2 – 3 meses y la tercera a los 4 meses de edad del cultivo. Este patrón de fertilizaciones posteriores a la siembra de mantuvieron en el resto de las socas.

Cuadro 19.
Programa de aplicación de los diferentes tratamientos evaluados en el ensayo.

Tratamiento	Empresa	Primera aplicación	Segunda aplicación	Tercera aplicación
1	Ferba Ing Fredy Fernández	Protifert LMW 2 l Sulfato Zinc 22 % (1 kg) Sulfato Magnesio 4 kg Acido Borico 1 kg Ácido cítrico a pH 4,5 - 5 WK 150 ml Volumen agua 300 l altura caña 50 cm		
2	AGROCOSTA	Algasoil 100 kg / ha Siembra cultivo Fondo surco		
3	AGRIAL	Sinergipron 2 l / ha 30 días post siembra	Megafol 2 l / ha antes cierre	
4	MASADA SA	Trimat 3 l / ha dirigido semilla en surco a la siembra	con 5 - 6 hojas PGR 1,5 L / ha	30 días pos siembra el fert 12- 10 -2 + elementos menores
5	PCD	Bionitrogen 2 kg / ha Surco siembra	TECH spray Hik 2 l / ha momento por definir	
6	TESTIGO	10- 30 -10 400 kg / ha	NUTRAN 300 kg / ha	15- 3- 31 400 kg / ha

En el siguiente Cuadro 20 se presenta el análisis de varianza en las tres cosechas realizadas al estudio, observándose diferencias significativas solamente entre las dos variedades evaluadas, y donde la variedad B 76-259 supero a la variedad B 77-95 en el rendimiento

industrial y en las toneladas de caña por hectárea. En la figura 10 se observa la respuesta productiva de los diferentes tratamientos en el promedio de las tres cosechas, observándose que las diferencias entre las variedades fue mínima al compararse con el tratamiento testigo, sin embargo en la variedad B 7795 pareciera que los tratamientos de las compañías FERVA y AGROCOSTA presentaron un leve incremento productivo en esta variedad.

Cuadro 20.

Resultado del análisis de varianza en la variable producción de azúcar (t/ha) obtenido en cada una de las cosechas de la caña de azúcar durante 3 años del estudio.

Fuente variación	2014		2015		2016	
	CM	P(f)	CM	P(f)	CM	P(f)
Bloques	0,78	1	1,59	1	8,31	0,11
Variedades	109,17	0	139,16	0	25,07	0,02
Foliales	11,45	0,06	3,63	0,19	2,03	1
Variedades vs Foliales	8,52	0,15	2,05	1	0,1	1
Error	4,63		2,29		3,87	
Total	312,35		247,83		188,3	
CV %	11,79		10,44		16,97	



Figura 9. Parcelas tratadas con los diferentes tratamientos ubicadas en Finca Canadá Atirro Turrialba.

Cuadro 21.
Resultados del promedio de las tres cosechas en la producción de azúcar (t/ha) en el ensayo.

Paquetes Recomendación	t azúcar /ha			
	2014	2015	2016	Promedio
1 Ferba	20,4	15,23	12,25	15,96
2 Agrocosta	19,32	14,51	12,08	15,30
3 Agrial	17,58	14,07	11,63	14,43
4 Masada	17,89	15,03	11,4	14,77
5 PCD	16,54	13,39	10,84	13,59
6 Testigo	17,72	14,68	11,55	14,65
Variedad tratamiento				
B 76259 / 1	20,57	16,95	12,96	16,83
B 76259 / 2	19,66	15,51	12,85	16,01
B 76259 / 3	19,85	16,05	12,4	16,10
B 76259 / 4	20,14	17,01	12,01	16,39
B 76259 / 5	18,93	14,61	11,73	15,09
B 76259 / 6	20,77	17,01	12,14	16,64
B 77 95 / 1	20,24	13,51	11,54	15,10
B 77 95 / 2	18,98	13,52	11,32	14,61
B 77 95 / 3	15,31	12,09	10,86	12,75
B 77 95 / 4	15,65	13,06	10,8	13,17
B 77 95 / 5	14,16	12,17	9,95	12,09
B 77 95 / 6	14,67	12,35	10,96	12,66
Promedio	18,24	14,49	11,63	14,79
Significancia	ns	ns	ns	ns
CV %	11,79	10,44	16,92	13,05

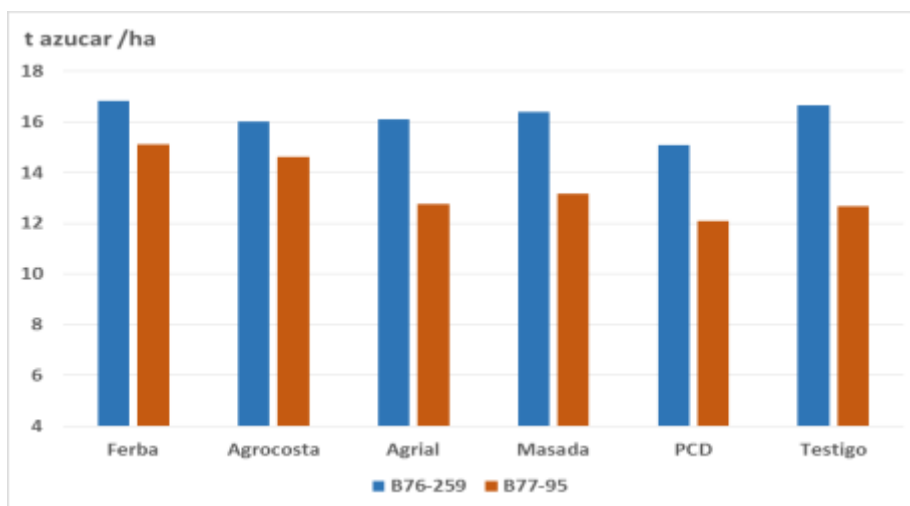


Figura 10. Respuesta productiva en la producción de azúcar (t/ha) de los diferentes tratamientos en el promedio de tres cosechas.

9. Estudios con foliares en otros países.

9.1 Evaluación de fertilizantes foliares comerciales en Ingenio Serra Grande, Brasil 9 C.P. Figueredo Filho 2014.

Mencionan los autores de esta publicación que la nutrición foliar es una práctica consolidada en los cañales del Ingenio Serra Grande y a través de los años ha garantizado importantes ganancias en la producción agrícola de este ingenio, y dada la amplia gama de productos comerciales y con diversos contenidos nutricionales ha motivado a realizar estos trabajos buscando con los resultados definir la mejor combinación de productos que mantengan un a mejor nutrición de las plantaciones de caña de azúcar.

Por este motivo el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos y las características de estos productos (foliares) sobre el aumento de la productividad de la caña de azúcar en el ingenio Serra Grande, en sus diferentes ambientes de producción y variedades, en su viabilidad económica.

Metodología y Resultados.

Seleccionaron diferentes productos fertilizantes foliares comerciales en Brasil con una amplia combinación de nutrientes como se observa en el Cuadro 22, y fueron aplicados en forma aérea sobre diferentes plantaciones comerciales de caña de azúcar y provistos de diferentes variedades. Algunos de los tratamientos fueron duplicados con pequeñas variantes en su composición nutricional como se aprecia en este cuadro.

Las evaluaciones en su gran mayoría fueron hechas dejando una parte del lote sin aplicar el abono foliar, como comparativo para las áreas aplicadas. Todas las áreas recibieron tratamiento convencional de la empresa, con la fertilización química completa, valiendo resaltar que la única diferencia entre los tratamientos fue el uso de los nutrientes foliares.

Algunas de las variedades aplicadas fueron: RB 92 579, SP 81 3250, RB 75 126, SP 79 1011 y RB 75 126.

Cuadro 22.
Composición química de los diferentes tratamientos (fertilizantes foliares) aplicados en el estudio.

Nutriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	12-2	13-2	14-2	15-2
N	60		360		135	90	90	90	90			90	375	440	540	140	90	375	440	540
P2O5		672	300	240	900					168	450		375		375			375		375
K2O	40	400	1180	400		60	60	60	60	184	300	50	1125		1125		50	1125		1125
Ca																				
Mg		4		4,8	45						4		37,5	600	262,5			37,5	600	262,5
S	360	154,7	360	122,8		360	360	360	287,5		123,4	300				133,5	300			
Mo	20	0,4	20	0,4	15	30	30	30	30	2,4	0,3	78				25	78			
Bo	150	40,4	150	30	150	150	150	150	112,5	8,8	148,6	75				100	75			
Fe	60	60	60	30		60	60	60	125		42,5	50				50	50			
Cu	150	17,5	150	15		150	150	150	87,5	79,8	21,87	125				37,5	125			
Zn	150	70	150	70,5	70	150	150	150	200	42	51,25	150				60	150			
Mn		118		119,5	110				250		91,87	250				80	250			
Co	115		115			172,5	172,5	172,5	172,5							2,5				
Carbono org												115					115			
Aminoacidos																210				
Micro complejo													311,25		311,25			311,25		311,25

Los resultados logrados en este estudio se presentan en el cuadro 23 y figura 8 y donde se observa que el mejor tratamiento 14-2 superó en un 45 % al testigo, contando únicamente Nitrógeno y Magnesio. Analizando la composición química de los demás tratamientos y su composición nutricional, no es posible asegurar que gracias al aporte de algún nutriente en especial fuera el causante principal de una respuesta positiva

Cuadro 23.**Producción de azúcar obtenida por los diferentes tratamientos evaluados en este estudio.**

Tratamientos	t.az/ha	t.az/ ha (testigo)	Diferencia	%
1	10,6	7,9	2,7	25,47
2	13	10,8	2,2	16,92
3	14,2	12,6	1,6	11,27
4	11,8	10,1	1,7	14,41
5	8,8	8	0,8	9,09
6	12,6	8,8	3,8	30,16
7	8,6	7,9	0,7	8,14
8	9,2	7,9	1,3	14,13
9	11,6	10,1	1,5	12,93
10	12,7	10,4	2,3	18,11
11	14,8	11,8	3	20,27
12	10,6	9,7	0,9	8,49
13	9,4	8,8	0,6	6,38
14	11,2	10,6	0,6	5,36
15	8,3	7,6	0,7	8,43
16	10,2	9,5	0,7	6,86
12-2	6,4	6,1	0,3	4,69
13-2	7,7	6,7	1	12,99
14-2	10,2	5,6	4,6	45,10
15-2	4,3	4,1	0,2	4,65
Promedio	10,31	8,75	1,56	14,19

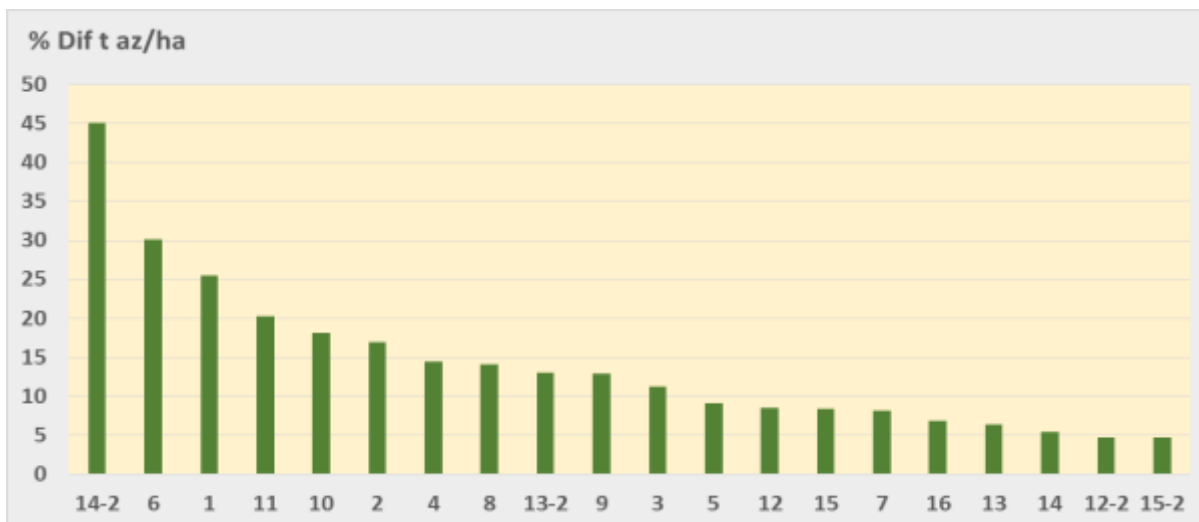


Figura 11. Distribución de los tratamientos de acuerdo al porcentaje de diferencia respecto a cada tratamiento testigo.

10. Respuesta a Bioestimulantes foliares.

10.1 Evaluación del efecto de la Hormona Citoquinina en la producción agroindustrial de dos variedades de caña de azúcar en la Región Sur. Primera cosecha.

La necesidad de prolongar una mayor vida productiva de la caña de azúcar a través de las socas para obtener rendimientos agrícolas satisfactorios y sostenibles obliga a buscar aspectos de manejo y entre ellos nutricionales que induzcan al cultivo a mantener por un mayor tiempo la normal caída de los rendimientos de campo.

Hoy día se encuentran en el mercado de agroquímicos una gran cantidad de productos nutricionales u hormonales dirigidos a incrementar la productividad y una mayor longevidad de las socas. Las variedades de caña responden diferentemente a la aplicación de nutrimentos foliares, ya que su estructura foliar y disposición de las hojas permiten una variada penetración de los mismos y con ello una diferente respuesta. Por este motivo el objetivo de este estudio consistió en evaluar tres productos bioestimulantes cuyo ingrediente común es la hormona del crecimiento llamada Citoquinina en dos variedades de caña de azúcar en un suelo Ultisol.

El ensayo se estableció en la finca “La Jungla”, propiedad de Coopeagri RL, ubicada en el distrito de San Pedro, cantón de Pérez Zeledón, provincia de San José. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, ordenado en un arreglo factorial de 2x4.

Cada parcela estuvo constituida por 4 surcos de 6 m para un área de 36 m², los tratamientos y su composición química se presentan en el Cuadro 24 y 25. El tratamiento con el herbicida TRICLOPIR 48 EC, en la dosis señalada, se está evaluando debido a la buena respuesta productiva obtenida en experimentos anteriores con la aplicación sobre el follaje de diferentes variedades de caña de azúcar. Las variedades fueron sembradas y fertilizadas al fondo del surco con la fórmula 11-52-0 en la dosis de 300 kg/ha, a los 2 meses se aplicó al voleo la fórmula 17-2-25 con la dosis de 350 kg/ha y finalmente se realizó una tercera fertilización con la misma fórmula y dosis que la anterior. La aplicación de los productos foliares se hizo aproximadamente a los 3 meses posteriores a la siembra.

Cuadro 24.
Composición química de los Productos Foliares aplicados en este estudio.

PRODUCTOS	DOSIS/HA	DESCRIPCIÓN	COMPOSICIÓN
TRICLOPYR 48 EC (TRIGGER)	1 l	Herbicida de acción hormonal	ÁCIDO 3,5,6 TRICLORO-2 PYRIDIN OXIACÉTICO: 48 %
ENERGER 30	10 gr	Concentrado de Bioactivadores Fisiológicos, Promotores de Crecimiento, Aminoácidos, ácidos Carboxílicos	NIACINA: 10000 PPM TIAMINA 10000 PPM GIBERELINAS: 10000 PPM CITOCININAS: 20000 PPM AUXINAS: 20000 PPM GLICINA: 20000 PPM ÁCIDO GLUTÁMICO: 10000 PPM ÁCIDOS CARBOXÍLICOS: 10%
MAXIM 800	225 ml	Biorregulador de Crecimiento natural	CITOQUININAS: 800 PPM AUXINAS: 35 PPM VITAMINAS 30 PPM ÁCIDO FÓLICO: 300 PPM AMINOÁCIDOS: 10% GIBERELINAS: 35 PPM N 1,76 %, P ₂ O ₅ 1,52 %, Boro 0,12 %, K ₂ O 1,57 %, MgO 0,73 %, Azufre 2 %, Fe 2,12 %, Zn 3,34 %, Mn 0,12 %, Co 0,39 %, Inertes 76 %

Cuadro 25.
Descripción de los tratamientos aplicados en dos variedades.

Tratamientos
LAICA 04-825 x ENERGER 30
LAICA 04-825 x Maxim 800 + ENERGER 30
LAICA 04-825 x TESTIGO
LAICA 04-825 x TRICLOPYR
LAICA 05-805 x ENERGER 30
LAICA 05-805 x Maxim 800 + ENERGER 30
LAICA 05-805 x TESTIGO
LAICA 05-805 x TRICLOPYR

En el Cuadro 26 se presenta el análisis de varianza sobre las variables evaluadas en el ensayo, observándose en el mismo que se presentaron diferencias significativas en las variables producción de caña y azúcar (t/ha) entre las variedades, destacando la variedad LAICA 05-805 respecto a la variedad LAICA 04-825, según la prueba de medias de Tukey 5%. Por otra parte no se obtuvo diferencias estadísticas significativas entre los productos Bio estimulantes en ninguna de las variables agroindustriales. En la interacción entre las variedades y los bioestimulantes se presentaron diferencias significativas solamente en las variables industriales porcentaje de Brix, porcentaje de Pol, porcentaje de Pureza y porcentaje de Fibra. En la Figura 12 se observa la respuesta en la producción de azúcar (t/ha) de los tratamientos evaluados, donde se presentó una mayor producción con el Bio estimulante ENERGER 30 en la variedad LAICA 04-825, variedad más afectada por el herbicida TRICLOPIR. Por otra parte con la variedad LAICA 05-805 su respuesta a los tratamientos fue totalmente nula desde el punto de vista productivo.

Cuadro 26.
Resultados del análisis de varianza aplicado a los diferentes tratamientos del estudio.

Fuente de Variación	G.L.	% Brix		% Pol		% Pureza		% Fibra		Rend Ind		t caña /ha		t az /ha	
		CM	P(f)	CM	P(f)	CM	P(f)	CM	P(f)	CM	P(f)	CM	P(f)	CM	P(f)
Repeticiones	3	1,05	0,38	2,08	0,28	7,93	0,21	0,41	0,12	94,84	0,36	16,14	1	0,76	1
Variedades	1	0,19	1	0,01	1	2,27	1	0,4	0,16	2,72	1	316,89	0,01	3,35	0,06
Productos	3	0,51	1	0,67	1	2,07	1	0,35	0,17	38,53	1	0,38	1	0,31	1
Interacción	3	2,89	0,05	4,6	0,05	12,09	0,08	1	0,01	207,15	0,09	90,88	0,14	1,51	0,2
Error	21	0,97		1,54		4,79		0,19		84,21		44,12		0,9	
Total	31	33,83		54,31		169,25		9,73		2.792,66		1.565,57		29,93	
% CV		5,07		7,21		2,48		3,05		8,24		6,9		8,84	
Variedades		FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP	FACTOR A	SEP
LAICA 04-825		19,31		17,16		88,74		14,29		111,69		93,17	b	10,38	a
LAICA 05-805		19,47		17,19		88,21		14,52		111,1		99,46	a	11,03	a
Productos		FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP	FACTOR B	SEP
ENERGER 30		19,66		17,45		88,63		14,61		112,42		96,13		10,81	
MAXIM 800 + ENERGER		19,35		17,25		89,05		14,24		112,8		96,25		10,81	
TESTIGO		19,48		17,24		88,38		14,21		112,25		96,63		10,8	
TRICLOPYR		19,06		16,76		87,83		14,56		108,12		96,25		10,41	
Interacción (var x Prod)		INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP	INTER A*B	SEP
LAICA 04-825 x ENERGER 30		20,01	Aa	18	Aa	89,94	Aa	14,59	Aa	116,9		94,69		11,08	
LAICA 04-825 x Maxim 800 + ENERGER 30		19,71	Aa	17,75	Aa	90,04	Aa	14,12	Aa	116,9		88,06		10,29	
LAICA 04-825 x TESTIGO		19,38	Aa	17,19	Aa	88,6	Aa	14,48	Aa	111,13		94,93		10,5	
LAICA 04-825 x TRICLOPYR		18,14	Aa	15,69	Aa	86,39	Aa	13,98	Ba	101,81		95		9,67	
LAICA 05-805 x ENERGER 30		19,31	Aa	16,89	Aa	87,32	Aa	14,63	Aab	107,93		97,57		10,54	
LAICA 05-805 x Maxim 800 + ENERGER 30		18,99	Aa	16,74	Aa	88,07	Aa	14,37	Aab	108,69		104,45		11,33	
LAICA 05-805 x TESTIGO		19,58	Aa	17,3	Aa	88,17	Aa	13,93	Ab	113,37		98,33		11,1	
LAICA 05-805 x TRICLOPYR		19,98	Aa	17,84	Aa	89,28	Aa	15,14	Aa	114,43		97,5		11,16	

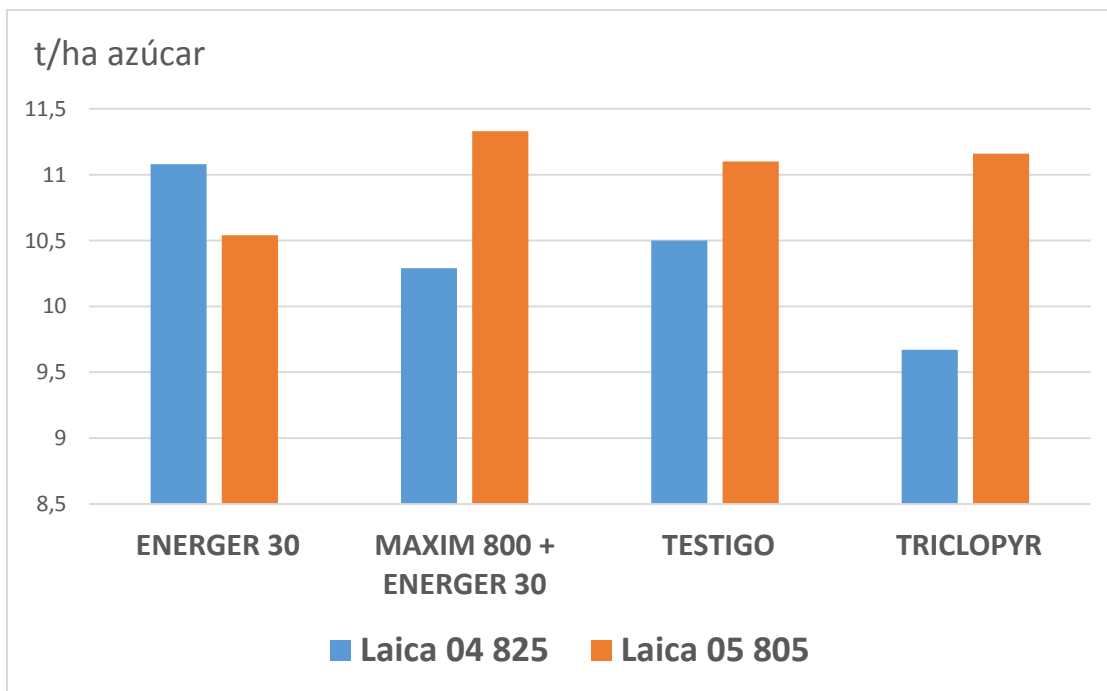


Figura 12. Resultados en la producción de azúcar (t/ha) obtenida con la aplicación de los tratamientos.

10.2 Evaluación del efecto de seis dosis de Ácido Ciberelico sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar en la Región del Valle Central Occidental.

Con el fin de identificar el grado de respuesta inducido por el ácido giberélico durante la fase de desarrollo de la caña de azúcar, se procedió a estudiar el efecto de seis dosis crecientes en la variedad comercial Q 96. El experimento se realizó en caña planta, sembrada en junio 1995 y se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental fue de 90 m². Se midieron las siguientes variables: altura de la planta, diámetro y número de tallos, rendimiento industrial, producción de caña y azúcar por hectárea; además se evaluó el porcentaje de floración. Los tratamientos se aplicaron vía foliar 130 días después de la siembra; las concentraciones de ácido giberélico usadas fueron: 5, 10, 15, 20, 25 y 50 ppm utilizando el producto comercial Progibb 4 SL (0.4%). Los resultados obtenidos se presentan en el siguiente Cuadro 27, donde únicamente

en la variable por ciento de brix se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Según la prueba Tuckey (5%) dichas diferencias fueron marcadas principalmente entre los tratamientos de 5 y 15 ppm. En el rendimiento industrial la dosis de 15 ppm superó al testigo en más de 10 kg de azúcar por tonelada de caña. Contrariamente en la producción de caña, el testigo fue superior a todos los tratamientos, situación que ya se había reflejado a los nueve meses de edad cuando se midieron las variables agronómicas, en las cuales, las diferencias respecto al testigo fueron mínimas. Como producto hormonal que es, el ácido giberélico influyó positivamente sobre la floración, aspecto indeseable en la caña comercial por las pérdidas que esta provoca. De los resultados de este trabajo se concluye que el ácido giberélico no mejoró la productividad de la caña de azúcar y por el contrario indujo a la presencia de flor.

Cuadro 27.
Resultados agroindustriales y algunas variables agronómicas obtenidas en la primera cosecha en este estudio

Dosis GA3 (ppm)	PORCIENTO				RENDIMIENTO INDUSTRIAL Kg/Az/t	t/ha		TALLOS / (m)	ALTURA TALLO (cm)	DIAM. TALLO (cm)	FLOR (%)
	BRIX	POL	PUREZA	FIBRA		CAÑA	AZUCAR				
0	20.35 ab	17.92	87.9	11.55	122.08	146.20	17.78	15.95	1.88	3.06	9.17
5	21.22 a	18.87	89.12	11.80	129.53	121.20	15.44	15.47	2.12	3.05	4.40
10	20.52 ab	18.17	89.22	11.82	125.97	130.45	16.58	14.97	2.07	3.03	19.62
15	17.17 b	17.90	94.75	11.87	132.81	136.85	17.81	16.07	1.89	3.10	16.52
20	19.15 ab	18.02	92.52	12.05	126.23	138.50	17.41	15.62	2.42	3.01	20.75
25	20.40 ab	17.80	87.32	11.87	117.78	145.80	17.19	16.62	2.18	2.99	17.55
50	19.72 ab	17.52	88.92	11.27	121.33	146.12	17.66	15.35	2.07	2.96	9.52
PROM.	19.79	18.03	89.96	11.75	125.10	137.87	17.12	15.72	2.09	3.03	13.98
SIGNIF.	1%	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	6.39	5,21	4.19	7.34	8.86	21.14	21.53	5.75	11.02	4.79	63.00

11. Conclusiones.

Como quedo expuesto en este documento, después de varias investigaciones realizadas con fertilizantes foliares y bioestimulantes en la caña de azúcar en condiciones de campo e invernadero, espaciadas en el tiempo, con diversas variedades, condiciones agroclimáticas, diferentes estados fenológicos y variados productos, fue posible, señalar algunas conclusiones.

- 1) Ante la poca o ninguna respuesta a la aplicación de los fertilizantes foliares en la caña de azúcar, es posible que presente limitaciones específicas de tipo fisiológico ligada a una limitada penetración y movilidad de los nutrientes por el floema
- 2) En las etapas tempranas de crecimiento, quedo demostrado que no existe superioridad entre la fertilización foliar y la aplicación al suelo, siempre y cuando se suplan los nutrientes adecuados en cantidad, época y balance.
- 3) La fertilización foliar debe considerarse por lo tanto como un suplemento de la fertilización al suelo y nunca como un sustituto de esta.
- 4) Existen etapas particulares en el crecimiento del cultivo durante las cuales la fertilización foliar complementaria tiene una ventaja clara, pero para ello es necesario conocer bien la fenología y la forma de lograr una mayor penetración foliar para que esta sea realmente efectiva.
- 5) Se debe tener en cuenta que la fertilización foliar es específica en términos de cultivo, nutriente, variedad y época de aplicación durante el ciclo de crecimiento. No es correcto generalizar, y aun en estas condiciones las técnicas de aplicación pueden variar.
- 6) Es importante tomar en cuenta que en los cultivos semi perennes la concentración de nutrientes en hojas y otros órganos fluctúan con la etapa de crecimiento y la presencia de los rebrotes estacionales. Por ejemplo la cepa actúa como un gran reservorio de nutrientes y salvo que el cultivo se encuentre en suelos de muy baja fertilidad, esta situación podría ser la causa de la baja respuesta a ciertos nutrimentos secundarios y terciarios.

- 7) Para mejorar la eficacia de los fertilizantes foliares se requiere de una sólida comprensión de los principios químicos, físicos, biológicos y ambientales que rigen la absorción, la translocación, y la utilización de los nutrientes de aplicación foliar por las plantas. Existen nuevas formulaciones y fuentes de fertilizantes con mayores eficiencias de absorción. Ejemplo de estos nuevos productos son las formas quelatadas de elementos menores, la combinación con adyuvantes como los órgano-siliconados e inclusive la aplicación foliar de péptidos de cadena corta y aminoácidos libres.

12. Literatura consultada.

- 1) ASMEHAD, De, W ; et al. 1982. Una nueva era en la alimentación vegetal. Albion laboratorios, inc. Clearfield, Utha, USA.284 p.
- 2) BARBAZAN, M. 1998. Análisis de plantas y Síntomas visibles de deficiencias de nutrimentos. Facultad de Agronomía. Universidad de la Republica Montevideo Uruguay.27p.Consultado en www.researchgate.net/.<https://www.researchgate.net/>.
- 3) CANTORAL, H. V. 2014. Incorporación de Zinc y Boro a fórmula de fertilización foliar en caña de azúcar. Ingenio Pantaleón, Tesis de grado Universidad Rafael Landívar Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícola. Escuincla, Guatemala. consultado en setiembre 2017 www.biblio3.url.eda.gt/teórico/2014/14.
- 4) DIRECCION INVESTIGACION Y EXTENCION DE LA CAÑA DE AZUCAR. 1991 Informe Anual de Labores 1990 .San José, Costa Rica. DIECA. 179 p.
- 5) DIRECCION INVESTIGACION Y EXTENSION DE LA CAÑA DE AZUCAR. 1994. Informe Anual de Labores 1993. San José, Costa Rica. DIECA. 245 p.
- 6) FIGUEROA, F; et al. 2014. Experiencia del Ingenio Serra Grande en Nutrición Foliar Memorias IX Congreso de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe ATALAC San José, Costa Rica 549 p.

- 7) FERNANDEZ. V; BROWN. P.H.2013. From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients. PLANT SCIENCE. Consultado en <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2013.../ful>.
- 8) MURILLO, C.R et al .2013. Absorción de nutrientes a través de las hojas .Revista Uniciencia. consultado en: www.revistas.una.ac.cr › Inicio › Vol. 27, Núm. 1 (2013) › Murillo Castillo.
- 9) QUINTERO, D. R. 2008. Efectos de la aplicación de elementos menores en caña de azúcar en suelos del valle del río Cauca Cenicaña. Revista Técnicaña. n20 p 18 - 26 consultado en www.tecnicaña.org/pdf/2008/tec_v12.
- 10) RONHELD, V y FONLY, E 1999. Aplicación foliar de nutrientes, Retos y límites en la producción agrícola. Información agronómica consultado www.ipni.net/ppi.web.
- 11) ROTTEMBERG, O; GALLARDO, A. El arte de la nutrición foliar, mecanismos de absorción. México. http://m.haifagroup.com/spanish/files/Articles/Articles_spanish/Nutricion_Foliar_oded.pdf.
- 12) SEGURA. M, A.1993. Aspectos de la fertilización foliar Memoria IX congreso Nacional Agronómico y de Recursos naturales. 18 al 22 de octubre. San José Costa Rica.
- 13) TRINIDAD, S. A ; AGUILAR, M,D. 1999. Fertilización Foliar un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. Foliar Fertilization, an Important Enhancing for the Crop Yield. Colegio Post graduados, Montecillo México. Terra volumen 17 numero 3 Consultado : octubre 2016 www.andoycia.com.ar/articulos/fertilizacion.
- 14) SANTOS, A. y AGUILAR, D. 2000. Fertilización Foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. Foliar fertilization, an important enhancing for the crop yield. (En Red). Fecha de consulta: octubre del 2016. Disponible en: www.fertilizando.com/articulos/fertilizacionfoliarrespaldoimportante.pdf.

file:///E:/Foliares/La%20Absorción%20de%20Nutrientes%20en%20Fertilización%20Foliar.html

12) ANEXOS

Cuadro A 1
Composición química de los principales fertilizantes Foliare que se encuentran en el mercado de agroquímicos

#	Producto	Nitrogeno	Fosforo	Potasio	Calcio	Mg	Zn	Boro	Azufre	Fe	Mn	Cu	Silicio	Molb
1	Alga Soil	2%	2%	2%										
2	MZ (Metalosatos)						3%				3%			
3	Control N	35,29%												
4	Magi Green	0,77%	0,34%	1,11%	0,64%	0,17%				184 ppm				19,62%
5	NAIAD	3,50%												
6	TECH SPRAY Zn P K		20,32%	11,43%			1,27%							
7	TECH FLO HI MAG					47,69								
8	TECH FLO ZETA						31,64%		3,60%					
9	TECH FLO ALPHA		13,42%		15,02%		6,71%		3,36%					
10	TECH SPRAY HI K		43,32%	46,65%										
11	TECH FLO ALL SEASON BLEND	2,71%	8,14%	2,71%	8,54%	1,13%	2,71%	0,34%	3,39%	1,36%	2,03%	0,68%		0,14%
12	TECH FLO SIGMA	3,95	7,91%	18,45%			6,60%							
13	Megafol			3,70%										
14	Amino Feed UV	1,80%		6,76%										
15	Radix 35 %													
16	Zifol		13%	4%	4%							0,01%	9,40%	
17	Hormovit Hortaliza													
18	Potafo 45		34%	45%										
19	Activador QF		1,63%											
20	Fert 1 (Quelatos)	12%	10%	33%		0,80%	0,40%	0,80%		0,004 %	0,02 %	0,22%		0,02%
21	Fert 2 (Quelatos)	13%		18%	14%			0,50%						
22	Hojas	25%			0,60%	0,30%								
23	Eclipse (Quelato EDTA)			0,50%		0,03%	0,80%	0,50%	0,70%	0,06%	0,06%	0,03%		
24	Nutriminox			0,40%		0,03%	0,10%			0,05%	0,05%	0,25%		
25	Biota Max													
26	Bionitrogen	13,40%		4%										
27	Armurox												8%	
28	Metalosato tropical	1,50%				0,83%	2%	1%		0,66%				0,10%
29	Terra Sorb	2,10%					0,07%	0,02%			0,04%			
30	Amino Grow Reg Crec PGR	10%	12%	12%										
31	Agrosuelo	2,50%												
32	Trimat	6%	9%	10%		0,06%	0,05%	0,10%	0,12%		0,02%			0,00%
33	ERGO SET 20 G	4,50%	0,75%	0,09%		4,15%	0,35%	0,05%		0,50%	0,20%			
34	ABIMGRA	2,00%	3,00%	2,00%										
35	CAFESA 12 - 61 - 0	12%	61%											
36	ON 55	1024 ppm	0,10%	1,25%	0,33%	0,30%	1444ppm	67ppm	0,27%	190 ppm	57ppm	32ppm		
37	Gadal 55	0,01%	2,38%						4,38%					
38	Sinergipron						0,05%	0,02%		0,01%	0,05%	0,05%		0,02%
39	Katabion						0,60%	0,40%		0,1	1,50%	0,58%		
40	Humate Cinc Boro						13%	4,5 %						
41	KEYPLEX Ca, mg boro plus				4,50%	2,25%		0,50%						
42	KEYPLEX Jumptar 5 - 20 - 4	5%	20%	4%		0,05%	0,03%			0,05%	0,20%			0,003 %
43	Humate K			30%										
44	RECOVERY													

#	Producto	Aminoácidos	Húmicos	Fulvicos	Citocininas	Giberelinas	Auxinas	Mat.org	Quelatos	Proteínas CR	Carboxílicos	Carbohidratos	Otros	Inertes %
1	Alga Soil							70%						
2	MZ (Metalosatos)								94%					
3	Control N													9400%
4	Magi Green							11,37%						
5	NAIAD		15,76%											80,74
6	TECH SPRAY Zn P K													67
7	TECH FLO HI MAG													52,31
8	TECH FLO ZETA													64,76
9	TECH FLO ALPHA													61,49
10	TECH SPRAY HI K													10,03
11	TECH FLO ALL SEASON BLEND													
12	TECH FLO SIGMA													
13	Megafol	34,70%												61,6
14	Amino Feed UV	10%								11,30%		22%		49,3
15	Radix 35 %													65%
16	Zifol													72,55
17	Hormovit Hortaliza	2000 ppm			1600 ppm	1000 ppm	200 ppm	19,80%						
18	Potafos 45	2%		0,75%								4%		14,25
19	Activador Q F			13,58%										84,79
20	Fert 1 (Quelatos)													
21	Fert 2 (Quelatos)													
22	Hojas													
23	Eclipse (Quelato EDTA)													
24	Nutriminox	0,50%												
25	Biota Max													
26	Bionitrogen	85%												11%
27	Armurox	4%												88
28	Metalosato tropical													
29	Terra Sorb	9,30%						14,80%						73,67
30	Amino Grow Reg Crec PGR	5%			0,015 %	0,015 %	0,015 %	6 %				10%		46
31	Agrosuelo		3,60%	3,15%										
32	Trimat	2%			0,015 %	0,015 %	0,015 %	6%						66,6
33	ERGO SET 20 G													89,52
34	ABIMGRA		16%	4%				24,00%						54,50%
35	CAFESA 12 - 61 - 0													27
36	ON 55													
37	Gadal 55													
38	Sinergipron		22%	4%										
39	Katabion													
40	Humate Cinc Boro											40%		
41	KEYPLEX Ca, mg boro plus		0,27%											
42	KEYPLEX Jumptar 5 - 20 - 4													
43	Humate K		5%	5%										
44	RECOVERY		22,40%											9,60%

#	Producto	Nitrogeno	Fosforo	Potasio	Calcio	Mg	Zn	Boro	AZUFRE	Fe	Mn	Cu	Silicio	Molb
45	Pescagro organo Fish	6,28%	1,15%	1,23%	0,22%	0,15%								
46	Fertienmienda				44,96%	6,86%			4,50%				12,00%	
47	BIOYODAL	2%	0,02%	7,05%	2,40%	5,40%	0,0074%	0,22%	11,30%	2,14%	0,04%			0,0008%
48	SILVER	0,17%	1,44%	5,18%	0,29%	0,0017%			0,35%	0,058%				
49	GREEN LEAF Potasio 0-0-20			27%										
50	GREEN LEAF 9-9-7	9%	9%											
51	Novag												40,76%	
54	Rooteex Forte	7%	47%	6%										
55	Nutri Humus 90			9%										
56	Nutri Full													
57	Nutri Humus Solucion acuosa													
58	Sagastim													
59	Liborex 85 5													
60	Agriful	4,60%	1,20%	1,10%										
61	Protifert L MW	11%												
62	Sephit K 42 / 28		42%	28%										
63	ERICINE 48 SL													
64	Phosfi K 0 30 40		30%	27,60%										
65	Phos Pro 0 25 20		34,50%	27,60%										
66	Indagro Ac hum y Fulv	12%	58%											
67	Indagro 20 20 20	19%	19%	19%			0,15%	0,02%		0,10%	0,05%	0,01%		0,01%
68	Protifert K	5,24%		20,96										
69	Gree leaf 6 14 4	6%	14%	4%										
70	Green Leaf Magnesio					4%								
71	Silver Plus	0,17%	1,40%	5,05%	0,280 5	0,22%	0,50%		0,34%	0,06%				
72	Bodine													
73	Fosfi Sil PK		18%	27%									4%	
74	PGR	10%	12%	12%										

#	Producto	Aminoacidos	Húmicos	Fúlvicos	Citocininas	Giberelinas	Auxinas	Mat.org	Quelatos	Proteinas CR	Carboxilicos	Carbohidratos	Otros	Inertes %
45	Pescagro organo Fish													
46	Fertiemienda													
47	BIOYODAL													
48	SILVER							0,0016%					0,0016%	
49	GREEN LEAF Potasio 0-0-20													
50	GREEN LEAF 9-9-7		1%											
51	Novag							30,93%						28,31%
54	Rooteex Forte	18.5 %												21,50%
55	Nutri Humus 90		47,38	42,62										1%
56	Nutri Full			26%										75%
57	Nutri Humus Solucion acuosa		12,50%											87,50%
58	Sagastim												5,20%	
59	Liberex 85 5							5%			50%			15%
60	Agriful		25,10%	25,10%				45,40%						22,60%
61	Protifert L MW	19,95%												35,50%
62	Sephit K 42 / 28													30%
63	ERICINE 48 SL													
64	Phosfi K 0 30 40													30%
65	Phos Pro 0 25 20													37,90%
66	Indagro Achum y Fulv		3%											27%
67	Indagro 20 20 20													
68	Protifert K	32,70%												41,05%
69	Gree leaf 6 14 4		3%											73%
70	Green Leaf Magnesio		3%											97%
71	Silver Plus				0,000			15,41%					2,80%	73%
72	Bodine												1x10-8	
73	Fosfi Sil PK							4%					6%	
74	PGR	5%			0,000	0,02%	0,02%	6%						44,95%

