

EFECTO DE LA RELACIÓN RIEGO-NUTRICIÓN EN LA FIJACION DE DIOXIDO DE CARBONO Y SINTESIS DE SACAROSA EN CAÑA DE AZÚCAR. INGENIO PANTALEON GUATEMALA C.A.

Julio Francisco Barneond Azurdia

Grupo Pantaleón, Guatemala

francisco.barneond@pantaleon.com Guatemala C.A.

RESUMEN

Las labores culturales de una plantación de caña de azúcar, deben estar encaminadas hacia el aumento de la eficiencia cuántica de la fotosíntesis (ECF), representada por la relación entre el dióxido de carbono (CO₂) fijado y la radiación solar recibida en un periodo de tiempo determinado. Para ello, es vital comprender que las fases de la fotosíntesis son complementarias y que los compuestos elaborados en la fase luminosa representan los insumos de la fase oscura, por lo tanto resultaría contradictorio inducir una poderosa fase luminosa si la plantación realiza una fase oscura deficiente. Esta situación causaría daños fisiológicos en la planta que constituyen un tropiezo para nuestro objetivo principal de producir sacarosa.

Consientes de esta coordinación metabólica decimos que el agua (riego- lluvia) y la radiación solar actúan sobre la fase luminosa de la fotosíntesis propiciando la síntesis de ATP y NADPH⁺ que posteriormente se utilizarán en la fijación de CO₂, y representan procesos básicos que preceden a la síntesis de sacarosa, donde la adecuada nutrición vegetal será determinante para obtener la disponibilidad de los nutrientes que conforman y activan enzimas específicas que aumentan la eficiencia del ciclo de Krebs, cadena de transporte de electrones, fijación de CO₂, ciclo de Calvin, transporte de sacarosa y la disminución del estrés oxidativo, proceso muy importante ya que actualmente recibimos un 5% más de radiación UV tipo B dañino para las plantas.

Para demostrarlo se presentan los resultados de dos bloques manejados con las variedades CP-722086 y CP-881165 donde se aumentó la disponibilidad de ciertos nutrientes y se cubrió de manera eficaz la demanda hídrica, logrando incrementos superiores a las 20 toneladas de caña por hectárea (TCH), que modifican considerablemente las toneladas de azúcar por hectárea (TAH), además de crearnos expectativas para lograr incrementos en TAH vía kilogramos de azúcar por tonelada.

SUMMARY

The cultural work of a plantation of sugar cane should be directed towards increasing the quantum efficiency of photosynthesis (ECF), represented by the ratio of carbon dioxide (CO₂) fixed and solar radiation received in a period of time. It is therefore vital to understand that the phases of photosynthesis are complementary and that the compounds produced in the light phase represents the inputs of the light-independent reactions therefore be contradictory induce a powerful light phase if the plantation makes poor light-independent reactions. This situation would cause physiological damage to the plant that are a stumbling block to our goal of producing sucrose.

Aware of this metabolic coordination say that water (rain irrigation-) and solar radiation acting on the light phase of photosynthesis promoting the synthesis of ATP and NADPH⁺ subsequently be used in setting CO₂ and represent basic processes that precede the synthesis of sucrose, where proper nutrition plant will be decisive for the availability of the nutrients that make and activate specific enzymes that increase the efficiency of Krebs cycle, electron transport chain, fixing CO₂, Calvin cycle, transportation sucrose and reduced oxidative stress, a process very important because currently receive 5% more UV radiation harmful to plants type B. To demonstrate the results of two blocks handled with CP-722,086 and CP-881,165 varieties where the availability of certain nutrient is increased presented and covered more effectively water demand, achieving higher increases to 20 tons of cane per hectare (TCH), which

significantly modify tons of sugar per hectare (TAH) plus expectations created us to achieve increases in TAH via kilograms of sugar per ton.

PALABRAS CLAVE: Fotosíntesis, riego, nutrición, radiación.

KEYWORDS: Photosynthesis, irrigation, nutrition, radiation.

INTRODUCCION

Para mejorar la productividad de una plantación de caña de azúcar, es necesario inicialmente recordar la anatomía de la planta y los procesos fisiológicos involucrados en la síntesis de sacarosa, iniciando con la fijación de dióxido de carbono (CO_2). Por ser una planta C_4 , la caña de azúcar está equipada para fijar de 50 a 80 mg de CO_2 por decímetro cuadrado de superficie foliar por hora, gracias a que posee dos enzimas fijadoras, la Fosfoenolpiruvato Carboxilasa (PEPC) y la Ribulosa-1,5-bifosfato Carboxilasa Oxigenasa (RuBisCO). Es además una planta con alta eficiencia en el uso del agua, debido a modificaciones bioquímicas relacionadas con el aumento en cantidad y eficiencia de la Anhidrasa Carbonica (AC), aunado a un sistema de bombeo de CO_2 conseguido a través de la acción de PEPC. Por ello la caña de azúcar necesita únicamente 277 moléculas de agua para fijar una molécula de CO_2 . El poseer dos tipos de cloroplastos le permite realizar las fases de la fotosíntesis en lugares distintos, la fase luminosa en los cloroplastos del mesófilo y la fase oscura en los cloroplastos de la vaina, mecanismo esencial para eliminar la fotorrespiración, causante de la baja eficiencia del ciclo de Calvin en plantas C_3 y que se puede llevar a cabo gracias a una diferenciación anatómica, denominada anatomía de Kranz.

El presente trabajo pretende, reconocer y aprovechar las modificaciones morfológicas y fisiológicas que caracterizan a la caña de azúcar para aumentar la fijación de CO_2 , reconociendo a este proceso, como el proceso inicial que conduce a la síntesis de sacarosa, y mejorarlo representa la

posibilidad no solo de sintetizar más sacarosa, sino evitar daños fisiológicos en la planta como el estrés oxidativo.

FOTOSINTESIS

La fotosíntesis comprende una secuencia de procesos bioquímicos, que empiezan por los complejos de pigmentos y proteínas que operan a modo de antenas recolectoras y absorben la luz. Los fotones se canalizan, luego, hacia los centros de reacción de los fotosistemas, donde su energía se utiliza para crear un gradiente de electrones o cascada redox. Por último, mediante una serie de reacciones en cadena, se sintetizan nuevas biomoléculas necesarias para el mantenimiento de la planta y su crecimiento.

FIJACIÓN DE CO₂

La fijación del CO₂ es el proceso resultante de la fase oscura de la fotosíntesis, mediante el cual el dióxido de carbono es absorbido y transformado en material orgánico ó biomasa. En caña de azúcar, podemos decir que existe una doble fijación del CO₂, una en el mesofilo que da como resultado la síntesis de malato, y la que se da en el ciclo de Calvin con el CO₂ procedente de la descarboxilación del malato en las células de la vaina. Este proceso depende de ciertas metaloproteínas (enzimas) que son activadas por algunos nutrientes que determinan en gran medida el éxito del proceso. Por tanto se debe producir tanto ATP y NADPH⁺ en la fase luminosa, como capacidad de utilización tenga la fase oscura, lo contrario producirá daños fisiológicos e ineficiencia del proceso.

FASE LUMINOSA

La fase luminosa de la fotosíntesis es el proceso inicial que depende directamente de la energía lumínica, para poder obtener energía química en forma de ATP y NADPH⁺, a partir de la disociación de moléculas de agua, formando oxígeno e hidrógeno. La energía creada en esta fase, será utilizada durante la fase oscura, para de esta forma continuar con la fotosíntesis. Este proceso se realiza en la cadena de transporte de electrones del cloroplasto, en los complejos clorofila-proteína que se agrupan en unidades llamadas fotosistemas que están en los tilacoides de los cloroplastos, donde micronutrientes como el hierro (Fe), cobre (Cu), cloro (Cl) y manganeso (Mn) juegan un papel determinante para la síntesis de clorofila y el buen funcionamiento de la cadena de transporte de electrones.

Es importante mencionar que las reacciones de la fase luminosa, se dan en femtosegundos (milbillonésima parte de un segundo), por lo que se requiere que los complejos proteicos estén en el lugar adecuado en el momento adecuado, para que dichas reacciones sean exitosas.

FASE OSCURA

La fase oscura de la fotosíntesis, es un conjunto de reacciones independientes de la luz, que convierten el CO₂, el oxígeno y el hidrógeno en azúcares. Las reacciones oscuras son dos: la fijación del carbono y el ciclo de Calvin. En la fijación de CO₂ caña de azúcar utilizamos NADPH⁺ cuando se da la síntesis de oxalacetato, y ATP, cuando se da la conversión del piruvato a Fosfoenolpiruvato (PEP), reacciones necesarias para mantener activa la bomba de CO₂ que le provee de éste al ciclo de Calvin.

CICLO DE CALVIN

En caña de azúcar, el ciclo de Calvin se produce en las células de la vaina. Este ciclo es activado por la RuBisCO, proteína que representa el 30% de la proteína total de la hoja y responsable de convertir el CO₂ en compuestos orgánicos. Consta de tres etapas, carboxilación, reducción del carbono y regeneración. La carboxilación corresponde al proceso catalizado por la RuBisCO, donde el CO₂ se une a la Ribulosa-1,5-bifosfato. En la etapa de reducción se da el aporte de ATP y NADPH⁺ sintetizados en la fase luminosa de la fotosíntesis y por último la regeneración, donde dos tercios del producto de este ciclo se convierten en Ribulosa-1,5-bifosfato para el mantenimiento del ciclo, y únicamente un tercio puede ser utilizado para la síntesis de almidón en el cloroplasto, ó sacarosa en el citosol, dependiendo del estado nutricional de la planta.

MATERIALES Y METODOS

Para cuantificar el efecto de inducir mejoras en la fijación de CO₂, en el año 2013 se realizaron análisis foliares en dos bloques de producción, un bloque compuesto de cinco lotes (75.62 has.), cultivados con la variedad CP-722086 en finca Limoncitos y otro bloque compuesto de cuatro lotes (84.26 has.), cultivados con la variedad CP-881165 en finca La Agrícola ambas fincas ubicadas en el municipio de la Gomera Escuintla. En ambos bloques se tomó como estrategia la fabricación de tapas en los canales principales de drenaje en el mes de diciembre, para mejorar la disponibilidad de humedad y poder cumplir eficazmente con la demanda hídrica en los meses de diciembre, enero y febrero por ser fincas cosechadas en el tercer tercio de zafra, complementando de esta manera el riego aspersión diseñado para dichos bloques. (4 riegos promedio).

Para el efecto se realizó el muestreo foliar en ambos bloques a los 2 meses de edad, y se determinó la necesidad de aplicar zinc (Zn) y boro (B) en ambos bloques a razón de 3 lts/ha de cada elemento al 6%, para aumentar la disponibilidad de estos en la planta. Se aplicaron cuatro riegos por

aspersión en precosecha entre los meses de diciembre-febrero, y se almacenó agua en los canales para mantener el nivel friático alto hasta el momento de la aplicación de madurante, mejorando así la disponibilidad de agua en el bloque. Esperando que este manejo aumente la síntesis de ATP y NADPH⁺ debido a la buena disponibilidad de agua, y que la mejora en nutrición aumente la eficiencia y sincronización de los procesos involucrados en la fotosíntesis, debido a la activación de las metaloproteínas involucradas en este proceso.

Para analizar el efecto de las variantes, se tomó en cuenta la productividad de los bloques en tres zafras consecutivas. Los resultados de producción 12-13 corresponden al manejo tradicional, (Nitrógeno al suelo 110 Kgs/ha., y cuatro riegos precosecha por aspersión), en ambos bloques.

Para la zafra 13-14 en ambos bloques se realizaron tapas para manejar nivel friático, y se realizó el manejo tradicional de N y riego en el 100% del área, además de aplicar el 70% del área con zinc y boro de manera foliar a los 90 días después del corte.

En la zafra 14-15 en los dos bloques se realizaron tapas para mejorar nivel friático, y se realizó el tratamiento tradicional de N y riego en el 100% del área, y se aplicó el 100% del área con zinc y boro de manera foliar a los 90 días después del corte.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en las tres zafras consecutivas se detallan en el cuadro uno, donde se puede observar claramente el efecto de las variables manejadas, desde la zafra 13-14 cuando se trataron parcialmente los bloques con la variable nutrición. El número de corte corresponde a la zafra 12-13.

Cuadro I. Productividad de los bloques en las tres zafras consecutivas.

Finca	Variedad	Corte	Área	12-13			13-14			14-15		
				TC	TCH	TAH	TC	TCH	TAH	TC	TCH	TAH
LIMONCITOS	CP722086	1	75.62	6,534.75	86.42	8.81	8,427.79	111.45	11.15	9,354.44	123.70	12.13
AGRICOLA	CP881165	2	84.26	7,558.42	89.70	9.06	8,600.84	102.08	9.60	9,385.17	111.38	11.05

La figura tres permite visualizar el aumento de TCH obtenido en las zafras 13-14 y 14-15 en el bloque con la variedad CP-881165 conforme se fueron manejando las variables a través de los tres años consecutivos, alcanzando un incremento del 24.17% (21.68 TCH), comparado con el resultado 12-13. Mientras que la figura cuatro muestra el 43.14% (37.28 TCH) de incremento para el bloque con la variedad CP-722086. Las áreas testigo de cada bloque que representan el 30% del área respectivamente, no registraron los mismos incrementos, incluso la variedad CP881165 bajó un 0.67% con relación al año anterior, y la CP722086 aumento su TCH un 7.32%. Para la zafra 14-15 donde se trataron los dos bloques completos, se observan incrementos en las dos variedades.

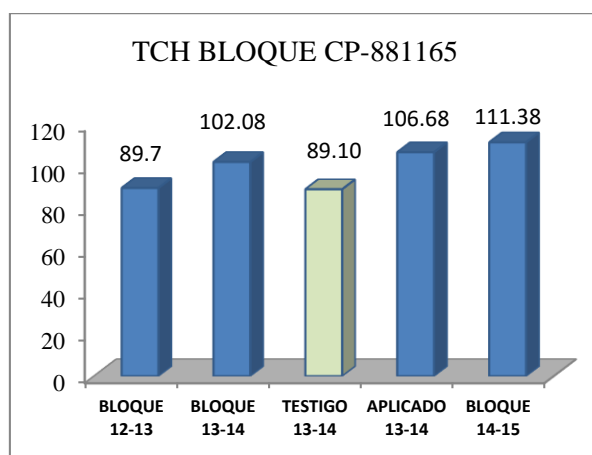


Figura 1. TCH del bloque de CP-881165.

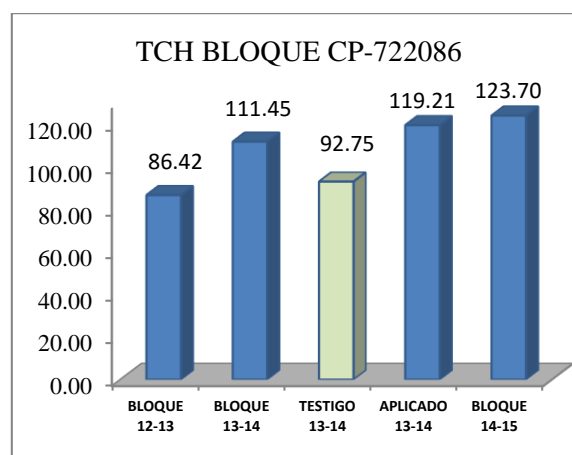


Figura 2. TCH del bloque de CP-722086.

El comportamiento de las TAH a lo largo de los tres ciclos de cultivo se puede observar en las figuras cinco y seis, para cada variedad respectivamente, donde el bloque con la variedad CP-881165 muestra aumento de 21.96% (1.99 TAH), y la variedad CP-722086 un 37.68% (3.32 TAH) para la zafra 14-15.

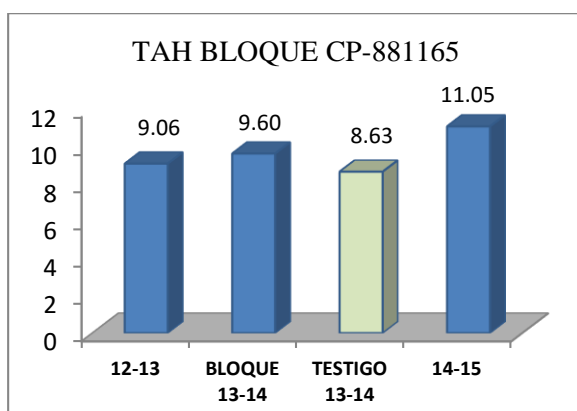


Figura 3. TAH del bloque de CP-881165.

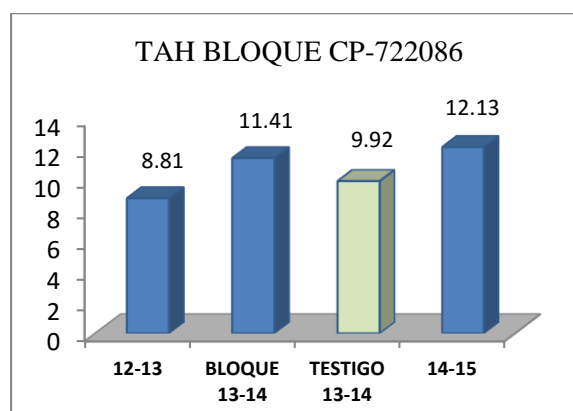


Figura 4. TAH del bloque de CP-722086.

Los datos lluvia y radiación solar que se presentaron en los tres ciclos de cultivo se pueden analizar en el cuadro dos, de donde podemos sacar algunas conclusiones de las interacciones de este con los tratamientos y el efecto de estos sobre la producción de cada ciclo.

Cuadro II. Datos climatológicos estación Tehuantepec- Cengicaña.

ETAPA	LLUVIA (mm)			RADIACION (Wt/m ² /hr)		
	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2012-2013	2013-2014	2014-2015
MACOLLAMIENTO	814.00	816.00	869.00	19,563.35	19,930.44	19,554.50
ELONGACION	751.40	1,157.60	1,012.00	19,058.56	18,633.49	18,739.46
MADURACION	57.40	131.60	103.40	19,954.18	19,559.29	19,438.83
	1,622.80	2,105.20	1,984.40	19,525.36	19,374.40	19,244.26

CONCLUSIONES

Analizando los datos obtenidos se concluye que el aumento en la disponibilidad de agua y nutrientes (zinc y boro), en los bloques tratados, produjo una mayor eficiencia en la fijación del CO₂, que se vio reflejada en la producción de caña de azúcar, además de producir un efecto protector ante una mayor o menor precipitación y/o radiación solar, sabiendo que cada una de estas variables afecta directamente la fisiología de la planta. Se evidencia la acción del boro como potencializador de las características genéticas de la caña de azúcar, que le dan la capacidad de interactuar de manera eficiente ante los efectos del clima. Y del zinc, primero como promotor de la síntesis de proteína en la planta y como elemento esencial en la fijación de CO₂, sin olvidar su actividad en la regulación de radicales libres de oxígeno que producen estrés oxidativo y de facilitar la síntesis de proteínas tipo Acuaporinas e Hidrofilinas que actúan en la planta mejorando de la eficiencia del uso del agua.

El costo del tratamiento de nutrientes por hectárea es de aproximadamente Q380.00 (\$49.67) incluyendo la aplicación aérea, y el manejo de los niveles freáticos tuvieron un costo aproximado de Q15,000 (\$1960) lo que representa un aumento en el costo de manejo por hectárea de Q473.62 (\$61.91).

REFERENCIAS

1. Zcon-Bieto, J. y Talón, M. (2000). Fundamentos de Fisiología Vegetal Interamericana-McGraw-Hill, Madrid.
2. Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). Plant Physiology Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
3. Sánchez Díaz, M.; Aparicio Tejo, P. y Peña Calvo, J.I. (1980): Prácticas de Fisiología Vegetal. Ediciones Universidad de Navarra, Pamplona.