

Diagnóstico nutrimental y de unidades SPAD en cuatro variedades de caña de azúcar

L. A. Solano-Rodríguez¹, M. C. Pastelín-Solano², M. E. Márquez López², J. E. Bulbarela-Marin², O. Castañeda-Castro²

¹Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Maestría en Manejo y Explotación de los Agrosistemas de la Caña de Azúcar. Camino Peñuela-Amatlán de los Reyes S/N, C. P. 94945. Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

²Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Prolongación de Oriente 6-# 1009, Colonia Rafael Alvarado, C.P. 94340, Orizaba, Veracruz, México.

*odcastaneda@uv.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) se produce en más de 130 países y territorios. La cuantificación del contenido de clorofila en plantas, permite estimar el estado nutrimental del cultivo, principalmente de los minerales nitrógeno, magnesio y hierro. La cantidad de clorofila y nitrógeno total determinados por los métodos tradicionales en gramíneas presenta una alta correlación con las unidades SPAD medidas con el detector de clorofila Minolta-501 y la absorbancia es cuantificada en valores dimensionales de 0 a 199, por lo que las unidades SPAD serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas. El contenido de clorofila y la absorción de nutrimentos se han correlacionado con las unidades SPAD en diversas condiciones ambientales, no obstante la presencia de un elemento en particular en un cultivo determinado no es una prueba para considerarlo esencial en el desarrollo de dicho cultivo.

Palabras clave: clorofila, minerales, *Saccharum*.

Abstract

Sugarcane (Saccharum spp.) is produced in more than 130 countries and territories. The quantification of the chlorophyll content in plants allows estimating the nutritional status of the crop, mainly of the minerals nitrogen, magnesium and iron. The amount of chlorophyll and total nitrogen determined by traditional methods in grasses has a high correlation with the SPAD units measured with the Minolta-501 chlorophyll detector and the absorbance is quantified in dimensional values from 0 to 199, so the SPAD units they will always be the same according to the green tone of the leaves. Chlorophyll content and nutrient absorption have been correlated with SPAD units under various environmental conditions; however, the presence of a particular element in a given crop is not a test to consider it essential in the development of that crop.

Keywords: chlorophyll, minerals, *Saccharum*.

Introducción

A nivel mundial, la producción anual de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es de aproximadamente 1,700 millones de toneladas que se cultivan en 100 países sobre un área de 26 millones de hectáreas, principalmente en zonas tropicales y subtropicales [1].

La caña de azúcar se cultiva en 22 entidades de la república y se ubica como el décimo cultivo más consumido por las familias mexicanas [2], y se proyectan para el año 2026 precios de 367 USD por ton[3]. En la zafra

2018/2019 la producción de azúcar fue de 6'425,919 toneladas, de una molienda de caña de 57'036,700 toneladas y una superficie industrializada de 804,060 ha [4].

Mediante el proceso de la fotosíntesis, la caña de azúcar produce carbohidratos, celulosa y otros materiales, siendo el más importante el jugo de sacarosa [5]. El índice SPAD (Soil Plant Analysis Development) obtenido por el clorofilómetro portátil SPAD-502 es proporcional a la cantidad de clorofila presente en la hoja [6]. El medidor de clorofila Minolta SPAD-502 se ha utilizado para la evaluación del estado nutricional de una planta con relación al nitrógeno, en especies como grama esmeralda [7] y maíz [8].

La molécula de clorofila, es la determinante del proceso fotosintético, cuando hay suficiente nitrógeno se producen efectos como mayor cantidad de clorofila y asimilación y síntesis de productos orgánicos de los cuales se deduce mayor vigor vegetativo que se manifiesta por el aumento de la velocidad de crecimiento determinado por un aumento de volumen y peso, color verde intenso de la masa foliar y mayor cantidad de hojas de buena sanidad y calidad [9]. En la mayoría de los ecosistemas naturales se presenta un expresivo incremento en la productividad después de la fertilización con nitrógeno inorgánico, demostrando la importancia del metabolismo de este elemento [10].

Se ha demostrado que las deficiencias de Nitrógeno provocan bajos rendimiento, débil amacollamiento, madurez prematura, hojas amarillentas, desecación y necrosis a partir del ápice y borde de las hojas. Un exceso de este elemento provoca acumulación de agua y bajo contenido de sacarosa en la caña de azúcar, lo que provoca menor resistencia frente a plagas y enfermedades [11].

Los nutrientes que requiere el cultivo de la caña de azúcar tienen funciones específicas para mejorar sus rendimientos y se agrupan en tres grupos: elementos no minerales (C, H y O), macronutrientes (N, P, K, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Zn, B, Cu, Cl, Mn, Ni, Na y Mo); los cuales tienen una extracción nutricional de 800 a 1500 kg por hectárea al año [11]. La presente investigación tuvo como objetivo diagnosticar la correlación entre los índices SPAD y de nutrimentos en cuatro variedades de caña de azúcar.

Metodología

El material vegetal utilizado consistió en tejido del área foliar de plantas de las variedades CP 72-2086, Mex 69-290, ITV 921424 y RD 75-11 caña de azúcar (*Saccharum* spp.) con siete meses de edad y que fueron proporcionadas por el Ingenio San Miguelito ubicado en Córdoba, Veracruz, en los 18° 51'50 latitud norte y 96° 55'02 longitud oeste, Central San Miguelito recibe su materia prima de 3,292 productores cañeros, de los cuales 1,455 son ejidatarios, 1,837 son pequeños propietarios conformando una superficie de 6,183.79 hectáreas.

Unidades SPAD

Las lecturas de los valores en unidades SPAD se realizaron en la parte media del área foliar, a través de un equipo portátil Minolta SPAD-502 Plus®.

Análisis de minerales en tejido foliar

Para el análisis nutricional, se siguió la metodología descrita por [13], las muestras de tejido foliar se lavaron perfectamente con la finalidad de remover por completo residuos que pudieran existir, se secaron en estufa de aire forzado a temperatura de 70 °C durante 72 h, transcurrido el tiempo las muestras se molieron y se determinó la concentración de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Na, por espectrofotometría de gases de absorción atómica de plasma acoplado (ICP-AES Liberty II) en tanto que el contenido de nitrógeno se realizó por el método micro-Kjeldahl [14].

Análisis de datos

Se realizó un experimento factorial 52, utilizando un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS [15].

Resultados

Unidades SPAD

Hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamamientos, cuando se realizó la cuantificación de las unidades SPAD en cuatro variedades de caña de azúcar, cultivadas en la misma zona y bajo las mismas condiciones de nutrición y edafoclimáticas, la variedad CP 72-2086 de caña de azúcar presentó los valores mas altos d unidades SPAD (Tabla 1).

Tabla 1. Unidades SPAD cuantificadas en cuatro variedades de caña de azúcar cultivadas en la zona de influencia del Ingenio San Miguelito.

Variedad	SPAD (Unidades)
CP 72-2086	25.00 ± 0.54a
Mex 69-290	21.22 ± 0.46b
ITV 92-1424	19.54 ± 0.61c
RD 75-11	18.04 ± 0.78d

En base a referencias de diversos investigadores [16], [17] mencionan que la clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con la concentración de N y por lo tanto, refleja el estado nutricional con respecto a este importante nutriente. El N es necesario para la síntesis de la clorofila y como parte de esta molécula, está involucrado en el proceso de la fotosíntesis. Dichos resultados son bastante similares a los obtenidos mediante la presente investigación.

Contenido de macronutrientos

El análisis estadístico de las medias de los datos relacionados con la nutrición de las plantas muestra que existen diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$) ya que la mayor concentración de nitrógeno, fósforo y potasio se encontró en la variedad CP 72-2086, siendo estadísticamente diferentes al resto de las variedades analizadas, mientras que la variedad Mex 69-290 presentó los mayores contenidos de fósforo, calcio y magnesio, en tanto que la variedad RD 75-11 tuvo los contenidos más altos de sodio (Tabla 2).

Tabla 2. Contenido de macronutrientes en cuatro variedades de caña de azúcar cultivadas en la zona de influencia del Ingenio San Miguelito.

Variedad	N	P	K	Ca	Mg	Na
g/kg						
CP 72-2086	18.00±0.500a	1.99±0.091a	8.12±0.100a	3.56±0.060d	1.50±0.010d	0.21±0.003b
Mex 69-290	17.13±0.513c	1.91±0.012a	6.43±0.030c	6.41±0.010a	2.42±0.020a	0.18±0.005d
ITV 92-1424	15.06±0.503ab	1.73±0.031b	7.18±0.100b	4.65±0.050c	1.83±0.030c	0.19±0.001c
RD 75-11	15.93±0.513bc	1.67±0.071b	4.03±0.100d	5.93±0.030b	1.96±0.020b	0.23±0.005a

Medias ± DE con letra distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

El nitrógeno es un nutriente esencial determinante para el logro de máximos rendimientos y la caña de azúcar absorbe N en cantidades más altas que cualquier otro nutriente debido a que este elemento mineral es un componente crucial de todas las enzimas y moléculas vitales como las clorofilas y los ácidos nucleicos [17]. El fósforo es esencial para la fotosíntesis y los ajustes en las relaciones entre la red de intercambio de gases en hoja explica la alta tolerancia de caña de azúcar a la sequía, estos ajustes hacen posible la homeostasis de la fotosíntesis y el crecimiento vegetal en condiciones de deficiencia de agua además, el suministro de P mejora la capacidad de aclimatación de la caña de azúcar al afectar las características de la planta relacionadas con el estatus de agua y el desempeño fotosintético [19]. El K desempeña una función determinante en el mejoramiento de la tolerancia de las plantas al estrés hídrico. Este elemento modula muchos procesos fisiológicos como la fotosíntesis [20]. El calcio es un elemento esencial en la integridad estructural y funcional de las membranas vegetales y de otros componentes celulares [21].

Contenido de micronutrientes

El análisis estadístico de las medias de los datos relacionados con la nutrición de las plantas muestra que existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$), con respecto a la concentración de micronutrientes, la variedad RD 75-11 tuvo las concentraciones más altas de hierro, cobre, boro y aluminio, mientras que la variedad Mex 69-290 presentó la concentración más alta de zinc, manganeso y boro, mientras que la variedad CP 72-2086 tuvo los niveles más altos en el contenido de cobre (Tabla 3).

Tabla 3. Contenido de micronutrientes en cuatro variedades de caña de azúcar cultivadas en la zona de influencia del Ingenio San Miguelito.

Variedad	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Al
mg/kg						
CP 72-2086	87.1±0.100c	4.5±0.010a	22.6±0.200c	17.7±0.200d	79.8±0.252c	33.1±0.105d
ITV 92-1424	76.5±0.200d	3.1±0.010c	18.3±0.300d	176.9±0.200b	84.0±0.300b	40.5±0.200c
RD 75-11	114.7±0.200a	4.5±0.010a	25.2±0.200b	164.8±0.205c	85.5±0.252a	99.8±0.100a
Mex 69-290	89.6±0.200b	3.5±0.010b	27.3±0.300a	292.2±0.195a	85.3±0.261a	68.5±0.200b

Medias ± DE con letra distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

El hierro es un activador enzimático en la síntesis de clorofila, componente de los citocromos y de algunas flavoproteínas que intervienen en los procesos de oxidaciones y reducciones biológicas, participa en la fijación del nitrógeno y en la asimilación de azufre, proceso de fotosíntesis y síntesis de clorofila, actividad enzimática, como citocromos, catalasas y peroxidasas [22]. El cobre forma parte de proteínas presentes los cloroplastos y

participa en la formación de la clorofila, es esencial para la activación de varias enzimas vinculadas con la respiración y la fotosíntesis, actividad enzimática (citocromo coxidasa, fenolasa, etc.), reacciones de oxidaciónreducción [22].

El zinc es parte importante en el proceso de fotosíntesis y desarrollo de cloroplastos, síntesis de auxinas, actividad enzimática (NADHdeshidrogenada, anhidrasas, carbónicas, alcohol-deshidrogenasa, superóxido dismutasa, RNA-polimerasa, etc.), síntesis de ácido indol acético (regulador del crecimiento), participa en la formación de clorofila, uso eficiente del agua, síntesis proteica y equilibrio ácido-base [22]. El manganeso activa las enzimas vinculadas a la respiración y al metabolismo del nitrógeno tiene un activo papel en la fase oscura de la fotosíntesis y en la producción de clorofila además participa en la síntesis proteica, la formación del ácido ascórbico, absorción iónica y la fijación de dióxido de carbono, actividad enzimática de superóxido dismutasa, arginasa, descarboxilasa, deshidrogenadas, etc. [22].

Trabajo a futuro

Se recomienda generar una base de datos con los resultados obtenidos, además de realizar pruebas futuras, que relacionen el estado nutrimental de los suelos con plantas, además de los rendimientos agroindustriales de caña de la caña de azúcar.

Conclusiones

El análisis de unidades SPAD es un proceso rápido que puede determinar una correlación entre los contenidos de clorofilas y el estado nutrimental de las plantas de caña de azúcar, impactando de manera positiva en aspectos productivos.

La variedad CP 72-2086 presenta los valores altos de unidades SPAD y de los macronutrientes que son esenciales en los procesos fotosintéticos y síntesis de clorofilas, mientras que la variedad Mex 69 290 de caña de azúcar presentó los niveles más altos de micronutrientes.

Agradecimientos

A CONACYT por el apoyo de beca 659821 a la Maestría en Manejo y Explotación de los Agrosistemas de la Caña de Azúcar, por la Universidad Veracruzana y al Ingenio Azucarero San Miguelito S. A., de C. V., por el material vegetal proporcionado.

Referencias

- [1] Portal Caña, Área cultivada en el mundo con caña de azúcar y principales productores, 2018, Consultado: enero 2020. <http://www.portalcania.com.ar>.
- [2] SIAP, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola: Caña de azúcar 2017, Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México, Consultado: enero 2020, <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- [3] FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017, Consultado: julio 2020. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-9-es
- [4] INFOCAÑA, Cierre de Zafra 2015-2016, 2017, <http://www.campomexicano.gob.mx>
- [5] CONADESUCA (Comité Nacional para el Desarrollo sustentable de la Caña de Azúcar), Ficha técnica del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), Gobierno de México, MEX., Consultado: sept. 2019, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_T_cnica_Ca_a_de_Az_car.pdf
- [6] Minolta Camera Co. Manual for chlorophyll meter SPAD-502. Minolta Camera Co., Ltd., Japan, pp 22, 1989.

- [7] C. Backes, R. L. Villas Bôas, C. P. Lima, L. J. G. Godoy, L. T. Büll, A. J. M. Santos, "Estado nutricional em nitrogênio da grama esmeralda avaliado por meio do teor foliar, clorofilômetro e imagem digital, em área adubada com lodo de esgoto," *Bragantia*, vol. 69, no. 3, pp 661-668, 2010.
- [8] S. M. C. Hurtado, C. A. Silva, A. V. Resende, E. J. Corazza, L. S. Shiratsuchi, F. S. Higashikawa, "Sensibilidad de do clorofilômetro para diagnóstico nutricional de nitrogênio no milho. Ciência e Agrotecnologia," vol. 34, no. 3, pp 688-697, 2010.
- [9] K. Mengel and E. Kirkby, *Principios de Nutrición Vegetal*, Basel, Switzerland, Internacional Potash Institute, 2002.
- [10] L. Taiz, E. Zeiger, *Fisiología Vegetal*, Porto Alegre: Artmed, FAO, pp 719. 2004. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-9-es
- [11] E. R. Romero, I. Olea, A. J. Scandalariis, P. Dignonzelli, J. Tonatto and N. M. Leggio, "Recomendaciones para la fertilización de la caña de azúcar," *Gacetilla Agroindustrial de la EEAOC N*, pp 61, 2004.
- [12] G. G. Alcántar and M. V. Sandoval, *Manual de análisis químico de tejido vegetal*, Chapingo, Texcoco, Estado de México, SMCS 1999.
- [13] J. M. Bremner, "Inorganic forms of nitrogen," In *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and microbiological properties*, A. G. Norman Ed. USA: the American Society of Agronomy, Inc., 1965.
- [14] SAS Institute. *The SAS system for windows. Release 9.1.* SAS Institute. Cary, NC, USA, 2003.
- [15] F. B. Salisbury and C. W. Ross, *Fisiología vegetal*, México D. F.: Editorial Iberoamérica, 1992.
- [16] Potash and Phosphate Institute. *Manual Internacional de fertilidad de suelos.* Norcross, USA. 1997.
- [17] McCray, J. M., R. W. Rice, I. V. Ezenwa, T. A. Land, and L. Baucum. *Sugarcane plant nutrient diagnosis.* University of Florida, IFAS Extension, SS-AGR-128. 2013. Available at: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/SC/SC07500.pdf>.
- [18] A. M. Sato, T. A. Catuchi, R. V. Ribeiro and G. M. Souza. "The use of network analysis to uncover homeostatic responses of a drought-tolerant sugarcane cultivar under severe water deficit and phosphorus supply". *Acta Physiol. Plant*, vol. 32, no. 1, pp 1145-1151, 2010.
- [19] D. V. Yadov, "Potassium nutrition of sugarcane," in *Balanced Fertilization for Sustaining Crop Productivity*, D. K. Benbi, M. S. Brar and S. K. Bansal, Eds. Horgen, Switzerland: International Potash Institute, 2006, pp 275-288.
- [20] S. Y. S. Lisar, R. Motafakkerazad, M. M. Hossain and I. M. N. Rahman, "Water stress in plants: causes, effects and responses," in *Water Stress*, I. M. N. Rahman and H. Hasegawa, Eds. Croatia: InTech, 2012, ISBN: 978-953-307-963-9.
- [21] A. I. A. Cuellar, R. Villegas, M. E. De León and H. Pérez, *Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba*, La Habana, CU: PUBLINICA, 2002.