

## ESPECTROSCOPIA DEL INFRARROJO CERCANO (NIRS) PARA CONTROL DE LA MADUREZ DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

### NEAR INFRARED SPECTROSCOPY (NIRS) TO CONTROL THE MATURITY OF THE SUGAR CANE CULTIVATION

Oscar López Hernández<sup>1</sup>, Sergio Salgado García<sup>1\*</sup>, Edith Hernández Nataren<sup>1</sup>, Luz del Carmen Lagunes Espinoza<sup>1</sup>, Adriana Contreras Oliva<sup>2</sup>, Samuel Córdova Sanchez.<sup>3</sup>, Eduardo R. Romero<sup>4</sup>, Silvia Zossi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de la Maestría en Ciencias Producción Agroalimentaria Tropical, Grupo MASCAÑA, Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina s/n carr. Cárdenas-Huimanguillo Km. 3.5, 86500, Heroica Cárdenas, Tabasco, México. \*Autor para correspondencia: [salgados@colpos.mx](mailto:salgados@colpos.mx)

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Km. 348, Córdoba - Veracruz, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, 94946, Veracruz, México.

<sup>3</sup>Universidad Popular de la Chontalpa, Grupo MASCAÑA, Carretera Cárdenas-Huimanguillo Km. 2, Ranchería Paso y Playa, 86500, Heroica Cárdenas, Tabasco, México.

<sup>4</sup>Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, William Cross 3150, Las Talitas, T4101XAC, Tucumán, Argentina.

#### ABSTRAC

The control of maturity is important in the sugarcane harvesting process, as this allows the mill to make the most of the sucrose content. The parameters used to evaluate maturity are Brix and Pol. The objective of this work was to determine the potential of the near infrared spectroscopy to evaluate the maturity of the sugarcane crop. The work was carried out at the Experimental Agricultural Station Obispo Colombes in Tucumán, Argentina, 1265 samples of sugar cane juice were collected, where they were analyzed Brix and Pol with routine methods and to obtain the spectra of the juice samples was used a near infrared spectrophotometer FOSS NIR Systems model 6500 for liquids. The prediction model for Brix% and Pol% in juices, was generated from the mathematical treatment SNV and Detrend and arrangements 1,4,4,1 and 2,4,4,1 (derivative, GAP and smoothed, respectively). The prediction models generated for Brix and Pol, have Standard Error of Calibration (SEC) values of 0.126 and 0.296; Standard Error of Prediction (SEP) of 0.181 and 0.327; and calibration correlation coefficient ( $R^2$ ) of 0.997 and 0.991, respectively. These results indicate that the models developed for Brix and Pol can be used as a more economical alternative to conventional procedures in the determination of the maturity since it improves the speed in the determinations, it does not use chemical reagents and requires of less labor.

**Keywords:** Brix, Chemical analysis, Maturity control, Pol, Quality of cane juice

#### RESUMEN

El control de la madurez es importante en el proceso de cosecha de la caña de azúcar, ya que esto permite al ingenio aprovechar al máximo el contenido de sacarosa. Los parámetros utilizados para evaluar la madurez son Brix y Pol. El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial de la espectroscopia del infrarrojo cercano para evaluar la madurez del cultivo de caña de azúcar. El trabajo se llevó a cabo en la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes en Tucumán, Argentina, se colectaron 1265 muestras de jugos de caña de azúcar, donde se analizaron Brix y Pol con los métodos rutinarios y para la obtención de los espectros de las muestras de jugo se utilizó un espectrofotómetro de infrarrojo cercano FOSS NIR Systems modelo 6500 para líquidos. El modelo de predicción para Brix % y Pol % en jugos, se generó a partir del tratamiento matemático SNV y Detrend y arreglos 1,4,4,1 y 2,4,4,1 (derivada, GAP y suavizados, respectivamente). Los modelos de predicción generados para Brix y Pol, tienen valores de

error estándar de calibración (SEC) de 0.126 y 0.296; error estándar de predicción (SEP) de 0.181 y 0.327; y coeficiente de correlación de la calibración ( $R^2$ ) de 0.997 y 0.991, respectivamente. Estos resultados indican que los modelos desarrollados para Brix y Pol se pueden utilizar como una alternativa más económica a los procedimientos convencionales en la determinación de la madurez ya que mejora la velocidad en las determinaciones, no emplea reactivos químicos y requiere de menor mano de obra.

**Palabras clave:** Análisis químico, Brix, calidad de jugo de caña, control de madurez, Pol.

## INTRODUCCIÓN

El control de la madurez es un factor muy importante en el proceso de cosecha de la caña de azúcar, consiste en analizar muestras de tallos de caña de azúcar por zafra. Para determinar el estado de madurez, los parámetros de calidad analizados en el jugo de caña son principalmente Brix % y Pol %, actualmente se colectan muestras de tallo de las parcelas en los meses previos al inicio de la cosecha por brigadas de muestreo. Las parcelas con calidades de jugo cercanas a la madurez, son las que se programan para la cosecha; esto asegura el máximo aprovechamiento del contenido de sacarosa. Por ello, el control sobre estado de maduración de la caña constituye una de las prácticas de campo y laboratorio más importantes que deben ser apoyadas por los agricultores e industriales, ya que influyen directamente en la cantidad de azúcar producida por hectárea. Los métodos analíticos usados actualmente para determinar los parámetros de calidad en el control de madurez se establecieron hace más de 70 años (Chen, 1991), son laboriosos y consumen tiempo. Actualmente, se cuenta con nuevos métodos como la Espectroscopia de Infrarrojo Cercano, que mejoran la velocidad en las determinaciones y reducen los costos de análisis.

La espectroscopia estudia la interacción de la radiación electromagnética con la materia. NIRS comprende el segmento de luz de longitudes de ondas entre 800 y 2600 nm del espectro electromagnético y analiza la absorción de energía en dicha región por los grupos funcionales de las moléculas de la muestra (Zossi *et al.*, 2010).

Mediante la espectroscopia es posible realizar análisis cualitativos y cuantitativos de multicomponentes en muestras, con un mínimo de preparación. Esta metodología, además, se caracteriza por ser no destructiva, rápida, no emplear reactivos químicos, disminuir el error del operador y requerir menos mano de obra que los métodos tradicionales empleados en el laboratorio. Sin embargo, se debe tener presente que es un método secundario, lo cual significa que debe ser calibrado con las metodologías convencionales y que sus respuestas no presentarán mayor exactitud que la de los métodos primarios empleados (Rein, 2007). En el presente trabajo se evaluó la capacidad de la tecnología de Espectroscopia del Infrarrojo Cercano NIRS para generar los modelos de predicción de la calidad del jugo de caña de azúcar (parámetros Brix y Pol), que puedan sustituir los procedimientos convencionales, reduciendo el tiempo de obtención de resultados, y la eliminación de reactivos químicos tóxicos (desechos) como el subacetato de plomo, para contribuir al cuidado ambiental, además de incidir en la optimización del control sobre calidad del estado de madurez de los cultivos de caña para la cosecha y fabricación del azúcar.

## MATERIALES Y METODOS

Durante la zafra 2017 en los meses de mayo, junio y julio, fueron procesadas muestras de jugo primario de caña de azúcar limpia, sin basura, en el Laboratorio de Investigaciones Azucareras de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). El jugo proveniente de las distintas variedades evaluadas, fue extraído en un trapiche de planta piloto, con un molino de tres rodillos y un nivel de extracción de jugo comprendido entre 57% y 65%.

### **Variables de estudio**

Las variables determinadas en el laboratorio fueron: Brix refractométrico y Pol % jugo. Los métodos de referencia primarios empleados fueron:

Pol% jugo: utilizando un polarímetro automático modelo MCP 500, marca Anton Paar. y mediante la metodología registrada en Manual del azúcar de caña (Spencer & Meade, 1967).

Brix refractométrico: utilizando un refractómetro modelo RA-620, marca KEM (Electronics Manufacturing CO., LTD.), y mediante la metodología registrada en Manual del azúcar de caña (Spencer & Meade, 1967).

### **Análisis mediante NIRS**

El análisis de las muestras de jugo de caña de azúcar para obtener los espectros de las variables de estudio mediante NIRS se realizó con un Espectrofotómetro de Infrarrojo Cercano FOSS NIR Systems modelo 6500, con detector de transmitancia, lámpara de tungsteno, en un intervalo de lectura de 400 a 2500 nm; para obtener el espectro se realizó una lectura cada 2 nm en cada una de las 1083 muestras (seleccionadas para la calibración) con el software ISIscan 2.21; los modelos de calibración se realizaron empleando el software WinISI III. Para el cálculo de los modelos de calibración, las muestras espectralmente parecidas fueron eliminadas por el software.

Las expresiones matemáticas de las ecuaciones de calibración pueden escribirse como:

$$\text{Brix}\% = \mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_1\mathbf{X}_{\lambda 1} + \mathbf{b}_2\mathbf{X}_{\lambda 2} + \mathbf{b}_3\mathbf{X}_{\lambda 3} + \mathbf{b}_4\mathbf{X}_{\lambda 4} + \dots + \mathbf{b}_n\mathbf{X}_{\lambda n}$$

$$\text{Pol}\% = \mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_1\mathbf{X}_{\lambda 1} + \mathbf{b}_2\mathbf{X}_{\lambda 2} + \mathbf{b}_3\mathbf{X}_{\lambda 3} + \mathbf{b}_4\mathbf{X}_{\lambda 4} + \dots + \mathbf{b}_n\mathbf{X}_{\lambda n}$$

Donde:

$\mathbf{b}_0$  es la ordenada al origen,  $\mathbf{b}_1$  a  $\mathbf{b}_n$  son los coeficientes de regresión, y  $\mathbf{X}_{\lambda 1}$  a  $\mathbf{X}_{\lambda n}$  son las absorbancias a las diferentes longitudes de onda. El software no proporciona estas ecuaciones, sino que realiza los cálculos matriciales pertinentes, brindando solo los parámetros de las calibraciones obtenidas (coeficiente de correlación y errores).

El modelo matemático empleado es el de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS), el cual utiliza toda la información espectral y la incorpora en el modelo de calibración. También se utilizan la primera y segunda derivada, para perfeccionar los espectros en el infrarrojo cercano, y el método estadístico de Mínimos Cuadrados Parciales Modificados (MPLS) (Shenk y Westerhaus, 1991). Así mismo, para el desarrollo de los modelos de calibración y predicción se llevó a cabo la corrección de los espectros mediante el tratamiento matemático varianza normal estándar (SNV) y Detrend (Barnes *et al.*, 1989).

Se generó un modelo de predicción para Brix % jugo y uno para Pol % jugo, utilizando el tratamiento matemático SNV y Detrend y arreglo 1,4,4,1 (derivada, GAP y suavizados) para los espectros. De igual manera, se desarrolló otro modelo de predicción para Brix % jugo y uno para Pol % mediante el tratamiento matemático SNV y Detrend, y arreglo 2,4,4,1 (derivada, GAP y suavizados).

Para evaluar la calibración, se determinan los siguientes parámetros estadísticos: error estándar de calibración (SEC), coeficiente de determinación en la calibración ( $R^2$ ) y error estándar de la validación cruzada (SECV).

El error estándar de calibración se calcula como (Cozzolino, 2002):

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum_i (y_i - Y_i)^2}{n - t - 1}}$$

Donde:

$y_i$ = valores de laboratorio usados en la calibración.

$Y_i$ = valores predichos por la ecuación NIRS.

$n$  = número de muestras.

$t$  = número de componentes principales (PCR).

De igual manera el software calcula el error estándar de validación cruzada.

Los modelos de calibración se seleccionaron buscando minimizar el error estándar de validación cruzada y el error estándar de calibración.

Para verificar la precisión del modelo de calibración NIRS, se evaluó el comportamiento de las ecuaciones obtenidas sobre muestras diferentes a las usadas en la calibración, con variabilidad para el parámetro en estudio (valores altos, medios y bajos) y analizadas bajo las mismas condiciones. Para la validación externa se utilizó un grupo de 182 muestras de jugo de caña de azúcar analizadas por métodos convencionales.

Para la validación se determinó el error estándar de predicción (SEP) según Valderrama *et al.* (2007):

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_i (y_i - Y_i)^2}{n}}$$

Donde:

$y_i$ = valores de laboratorio.

$Y_i$ = valores predichos por la ecuación NIRS.

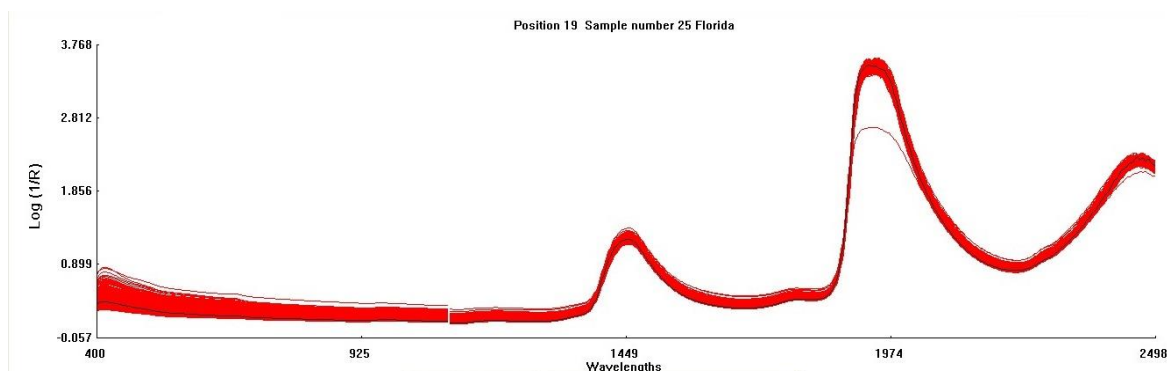
$n$  = número de muestras.

Otra forma de evaluar las ecuaciones NIRS con relación a su precisión y exactitud, es a través de la relación entre el error estándar de validación cruzada y el desvío estándar del análisis químico (SECV/SD). Si esta relación es mayor a 0.33, el modelo presenta un bajo poder de predicción (Craig *et al.*, 2004).

## RESULTADOS

### Espectros de los jugos de caña de azúcar

Los espectros NIR básicamente contienen información sobre la composición orgánica de cada muestra de jugo de caña de azúcar. En la Figura 1, se muestran los espectros de las 1083 muestras de jugo de caña de azúcar colectadas mediante el software ISIscan 2.21, en el rango de longitudes de onda de 400 a 2500 nm, correspondiente a las regiones Visible-NIR del espectro electromagnético. El patrón espectral es similar en todas las muestras de la población, aunque se observa una pequeña diferencia en los valores de absorción en el principio de la región visible (400–700 nm). Se observan 2 picos de absorción principales (alrededor de 1450 y 1970 nm) en la región de infrarrojo cercano, los cuales coinciden con los reportados por Robert & Cadet (1998).



**Figura 1. Espectros de las 1083 muestras de jugo de caña de azúcar.**

### Modelos de predicción para Brix y Pol

En este trabajo se utilizó todo el espectro Vis-NIR (400–2500 nm) para la calibración, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) en la creación de scores para detectar muestras fuera de rango, se utilizaron dos segmentos de longitudes de onda y se realizó tratamiento a los espectros cada 2 nm, obteniendo un total de 1050 puntos espectrales, muestras con  $t > 2.5$  y un H (H: distancia de Mahalanobis)  $> 3$  fueron consideradas como outliers (Cozzolino *et al.*, 2003) y eliminadas, se aplicó el tratamiento matemático de una corrección por dispersión de SNV y Detrend y dos diferentes arreglos para la derivada, GAP y suavizados (Tabla 1).

**Tabla 1. Parámetros estadísticos de muestras seleccionadas para la calibración.**

Parámetro	Tratamiento matemático	n	Media	SD	Rango	R <sup>2</sup>	SEC	SECV	SECV/SD
Brix % jugo	SNV y Detrend 1, 4, 4, 1	1020	16.20	2.49	8.74 – 23.67	0.9973	0.1292	0.1453	0.058
Brix % jugo	SNV y Detrend 2, 4, 4, 1	1023	16.21	2.48	8.77 – 23.64	0.9974	0.1265	0.1517	0.061
Pol % jugo	SNV y Detrend 1, 4, 4, 1	1014	13.36	3.13	3.97 – 22.75	0.9911	0.2960	0.3177	0.101
Pol % jugo	SNV y Detrend 2, 4, 4, 1	1019	13.40	3.11	4.06 – 22.73	0.9899	0.3123	0.3395	0.109

n = número de muestras.

SD = desviación estándar de los valores de referencia.

SEC = Error estándar de la calibración.

SECV = Error estándar de validación cruzada, estimado del error “real” de la predicción.

R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación.

Se generaron 2 modelos de predicción para Brix % jugo y 2 para pol % jugo (Tabla 1). De las 1083 muestras usadas en la calibración, el software seleccionó 1020 (Brix, 1<sup>a</sup> derivada), 1014 (Pol, 1<sup>a</sup> derivada), 1023 (Brix, 2<sup>a</sup> derivada), 1019 (Pol, 2<sup>a</sup> derivada) muestras espectralmente diferentes para construir los modelos de calibración, utilizando el tratamiento matemático SNV y Detrend y dos arreglos: 1,4,4,1 y 2,4,4,1 (derivada, GAP y suavizados) para los espectros.

La calibración de los dos parámetros fue adecuada (Tabla 1), lo que se refleja en un bajo error estándar de calibración (SEC) y un significativo coeficiente de correlación ( $R^2$ ). El mejor modelo de predicción para Brix % jugo es el que presenta un  $R^2$  de 0.997 y SEC de 0.126 corresponde al realizado con un tratamiento matemático SNV y Detrend, y arreglo 2,4,4,1. En el caso de Pol % jugo corresponde al realizado con un tratamiento matemático SNV y Detrend, y arreglo 1,4,4,1, con un  $R^2$  de 0.991 y SEC de 0.296. En la tabla 1, también se observa que las relaciones SECV/SD son menores a 0.33, por lo tanto, como lo establece Craig y colaboradores (2004), los modelos desarrollados presentan un alto poder de predicción.

### Validación de los modelos

Para validar externamente los modelos generados se usaron 182 muestras de jugo de caña de azúcar, estas se analizaron en las mismas condiciones que aquellas usadas para construir el modelo, las estadísticas de estas se muestran en la Tabla 2. En la Figura 2 se observa el comportamiento de los valores predichos por NIRS vs valores obtenidos con los métodos de referencia primario, correspondientes a la validación del modelo de Brix % jugo, se puede ver que en los dos casos existe muy buena correlación. Así mismo, en la Figuras 3 se muestra el comportamiento de los valores predichos por NIRS vs valores obtenidos con los métodos de referencia primario, correspondientes a la validación del modelo de Pol % jugo, estos también presentan buena correlación. En general, la correlación entre los datos reales y los predichos por NIRS es buena. Sin embargo, los modelos para Brix presentaron un mayor grado de predicción con respecto a los desarrollados para Pol.

**Tabla 2. Parámetros estadísticos de muestras seleccionadas para la validación de los modelos.**

Parámetro	Tratamiento matemático	n	$R^2$	SEP
Brix % jugo	SNV y Detrend 1, 4, 4, 1	182	0.995	0.159
Brix % jugo	SNV y Detrend 2, 4, 4, 1	182	0.994	0.181
Pol % jugo	SNV y Detrend 1, 4, 4, 1	182	0.987	0.327
Pol % jugo	SNV y Detrend 2, 4, 4, 1	182	0.985	0.356

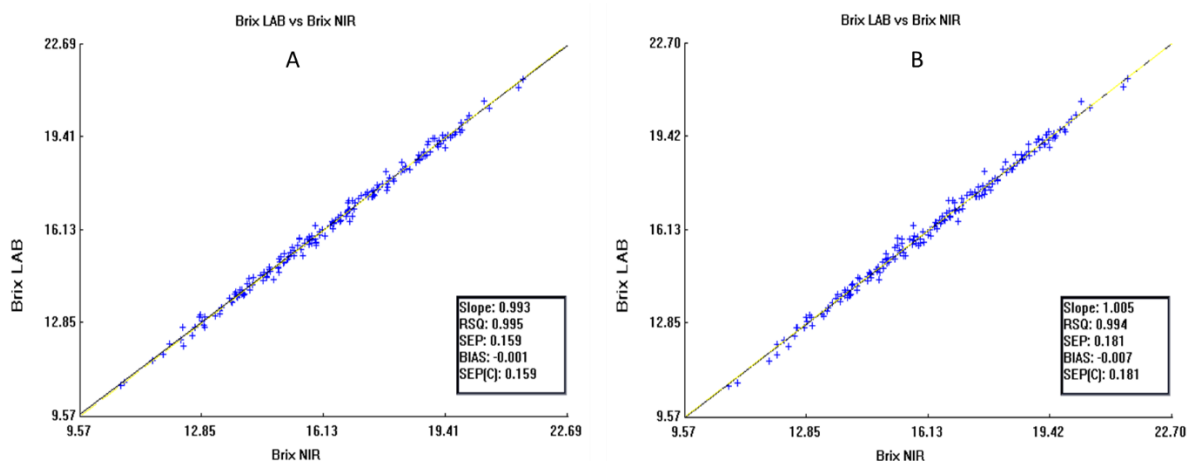
n = número de muestras.

$R^2$  = Coeficiente de determinación.

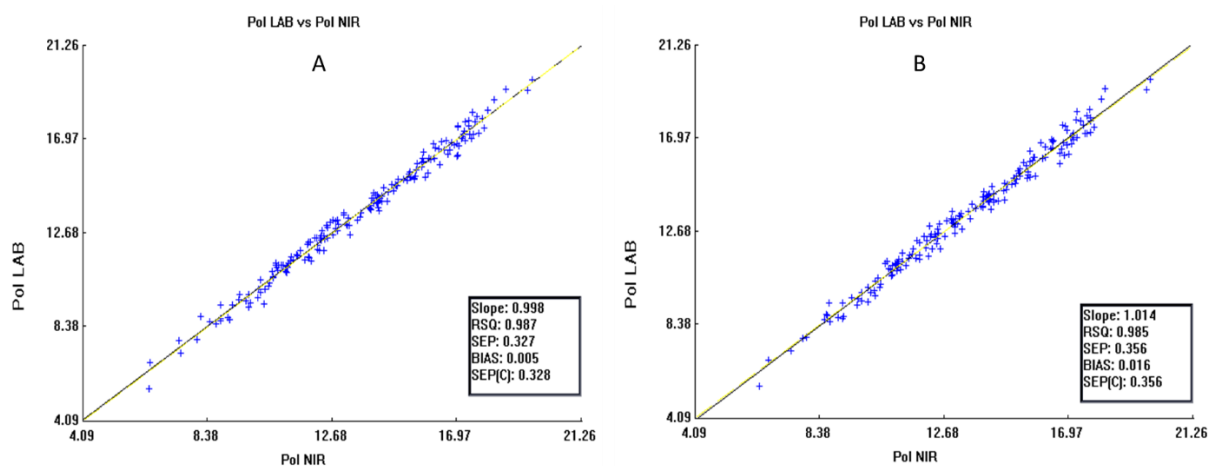
SEP = Error estándar de predicción.

Se destaca en este estudio la alta relación entre datos predichos por NIRS y los datos de referencia, lo que conlleva a elevar considerablemente la calidad de predicción de las ecuaciones para Brix y Pol, la confiabilidad se ve robustecida por el elevado número de muestras utilizadas en calibración y validación, así como el amplio rango de la composición química de las muestras, según los valores de Brix (8.77 – 23.64) y Pol (4.06 – 22.73). La amplia variación de la composición del set de calibración es una condición deseable para desarrollar ecuaciones de predicción, con alta representatividad de la realidad (Murray, 1988).

Los datos obtenidos en el presente estudio fueron concordantes con los obtenidos en países donde se recomienda el uso de la Espectrometría de Infrarrojo Cercano para estimar la calidad de la caña (Schaffler, 2001; Larrahondo *et al.*, 2001; Mehrotra and Siesler, 2003; Valderrama *et al.*, 2007; Berding *et al.*, 1991, Hernández *et al.*, 2008).



**Figura 2. Validación externa del modelo para Brix % jugo, valores predichos por NIRS vs valores del método de referencia primario. a) tratamiento matemático 1, 4, 4, 1. b) tratamiento matemático 2, 4, 4, 1.**



**Figura 3. Validación externa del modelo para Pol % jugo, valores predichos por NIRS vs valores del método de referencia primario. a) tratamiento matemático 1, 4, 4, 1. b) tratamiento matemático 2, 4, 4, 1.**

## CONCLUSIONES

El mejor modelo de predicción para Brix % jugo es el que presenta un  $R^2$  de 0.997 y SEC de 0.126, correspondiente al realizado con un tratamiento matemático SNV y Detrend, y arreglo 2,4,4,1. En el caso de Pol % jugo corresponde al tratamiento matemático SNV y Detrend, y arreglo 1,4,4,1, con un  $R^2$  de 0.991 y SEC de 0.296. Estos resultados obtenidos empleando la tecnología NIRS son muy satisfactorios, ya que permiten el reemplazo de las determinaciones convencionales de Pol % jugo y Brix % jugo en las evaluaciones de calidad del jugo de caña de azúcar para el control de la madurez.

Las características de esta metodología permiten establecer de manera eficaz el momento de idoneidad de la cosecha de la caña de azúcar, para obtener el máximo aprovechamiento de la sacarosa, lo cual redundará en el beneficio tanto de productores como de los ingenios azucareros encargados del proceso de fabricación del azúcar de caña.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo proporcionado para la realización de este proyecto al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados. Un agradecimiento especial al Laboratorio de la Sección Química y al área de Agronomía de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres de Tucumán, Argentina, por su apoyo técnico y ayuda en la recopilación de datos y desarrollo de los modelos de calibración NIR.

## REFERENCIAS

- Barnes, R.J., M.S. Dhanoa, and S.J. Lister. 1989. Standard normal variate transformation and detrending of near infrared diffuse reflectance spectra. *Applied Spectroscopy* 43(5):772-777.
- Berding, N., G. A. Brotherton, D. G. le Brocq, and J. C. Skinner. 1991. Near Infrared Reflectance Spectroscopy for Analysis of Sugarcane from Clonal Evaluation Trials: II. Expressed Juice, *Crop Science* 31:1024-1028.
- Chen, J. C. P. 1991. *Manual de Azúcar de Caña*. Limusa (ed.). México. 1200 p.
- Cozzolino, D. 2002. Uso de espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) en el análisis de alimentos para animales. *Agrociencia* 6(2):25-32.
- Cozzolino, D., A. Fassio, and E. Fernández. 2003. Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano para el análisis de calidad de ensilaje de maíz. *Agricultura Técnica* 63(4):387-393.
- Craig, A. R., J. Workman Jr., and J. B. Reeves III. 2004. *Near Infrared Spectroscopy in Agriculture*. ASA, CSSA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. 785 p.
- Hernández, M., N. Monroy, and E. Rodas. 2008. Análisis de fibra de caña con tecnología NIR. Trabajo presentado en el Congreso de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe, 7, Guatemala. [En línea] Disponible en <http://www.atagua.org/index.php?showpage> (consultado 17 septiembre 2008).
- Larrahondo, J. E., F. Palau, A. Navarrete, and C. Ramírez. 2001. Applications of near infrared spectroscopy in the sugarcane industry of Colombia. *Proc. Int. Society of Sugar Cane Technologists* 24:163-165
- Mehrotra, R. and H. W. Siesler. 2003. Application of Mid Infrared/Near Infrared Spectroscopy in Sugar Industry. *Applied Spectroscopy Reviews*, 38(3):307-354.
- Murray, I. 1988. Aspects of the interpretation of near infrared spectra. *Food Science Technology Today* 2:135-139.
- Rein, P. 2007. *Cane sugar engineering*. Bartens (ed.). Berlin, Germany. 752 p.
- Robert, C and F. Cadet. 1998. Analysis of Near-Infrared Spectra of Some Carbohydrates. *Applied Spectroscopy Reviews* 33(3):253-266.
- Schaffler, K. J. 2001. Automated routine analysis of quality parameters in sugar cane juices and molasses by NIR. En: *Proc. ISSCT Congress*, 24, Brisbane, Australia, p.143-146.



Shenk, J. S. and M. O. Westerhaus. 1991. New standardization and calibration procedures for NIRS analytical systems. *Crop Science* 31:1694–1696.

Spencer, G. L. and G. P. Meade. 1961. *Manual del Azúcar de Caña*. 9na ed. Montaner y Simón S.A (ed.) España. 940 p.

Valderrama, P., J. W. B. Braga, and R. J. Poppi. 2007. Validation of Multivariate Calibration Models in the Determination of Sugar Cane Quality Parameters by Near Infrared Spectroscopy. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 18(2):259-266.

Zossi, S., M. R. Ruiz, N. Sorol, and M. Sastre. 2010. Espectroscopia por infrarrojo cercano (NIRS). Su aplicación en análisis de jugos de caña de azúcar. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 87(1):1-6.