

Near infrared spectroscopy (NIRS) in following the maturity of cultivation of sugar cane (*Saccharum* spp.)

La espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) en el seguimiento de la madurez del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.)

López Hernández, Oscar¹; Salgado García, Sergio^{1*}; Hernández Nataren, Edith¹; Lagunes Espinoza, Luz del Carmen¹; Contreras Oliva, Adriana²; Córdova Sanchez, Samuel³; Romero, Eduardo R.⁴; Zossi, Silvia⁵

¹Estudiante 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. ²Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Km. 348, Córdoba - Veracruz, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, 94946, Veracruz, México. ³Universidad Popular de la Chontalpa, Carretera Cárdenas-Huimanguillo Km. 2, Ranchería Paso y Playa, 86500, Heroica Cárdenas, Tabasco, México. ⁴Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, William Cross 3150, Las Talitas, T4101XAC, Tucumán, Argentina.

*Autor por correspondencia: salgados@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: To determine the viability of the near infrared spectroscopy methodology to estimate the maturity of sugarcane (*Saccharum* spp.).

Design/methodology/approximation: The management of the parameters to evaluate the maturity were the total soluble solids (°Brix) and Pol (%). This work was carried out at the Obispo Colombres Agroindustrial Experimental Station in Tucumán, Argentina, where 1265 juice samples were collected from sugar cane in the laboratory, where the total soluble solids (°Brix) and Pol (%) were examined with the usual methods and to obtain the spectra of the juice samples, the near infrared spectrophotometer FOSS NIR Systems model 6500 for liquids was used. And 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 (derived, GAP and smoothed, respectively).

Results: The prediction models generated for °Brix and Pol (%) have standard calibration error values (SEC) of 0.126 and 0.296; standard prediction error (SEP) of 0.181 and 0.327; and calibration correlation coefficient (R^2) of 0.997 and 0.991, respectively.

Limitations/implications: The study was carried out at the Obispo Colombres Agroindustrial Experimental Station in Tucumán, Argentina, for reasons of logistics between Public and Private Institutions in Mexico.

Findings/Conclusions: These results indicate that the models developed for °Brix and Pol (%) can be used as a cheaper alternative to conventional procedures in the determination of maturity since it improves the speed in the determinations, does not use chemical reagents and requires less workforce.

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

RESUMEN

Objetivo: Fue determinar la viabilidad de la metodología de espectroscopía del infrarrojo cercano para estimar la madurez de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.).

Diseño/metodología/aproximación: El manejo de los parámetros para evaluar la madurez fueron los sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) y Pol (%). Este trabajo se realizó en la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres en Tucumán, Argentina, donde se colectaron 1265 muestras de jugos de caña de azúcar en laboratorio, donde se examinaron los sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) y Pol (%) con los métodos habituales y para la obtención de los espectros de las muestras de jugo se utilizó el espectrofotómetro de infrarrojo cercano FOSS NIR Systems modelo 6500 para líquidos. Y el modelo de predicción para $^{\circ}$ 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).

Resultados: Los modelos de predicción generados para $^{\circ}$ 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.

Limitaciones/implicaciones: El estudio se realizó en la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres en Tucumán, Argentina, por motivos de logística entre Instituciones Públicas y Privadas en México.

Hallazgos/Conclusiones: Estos resultados indican que los modelos desarrollados para $^{\circ}$ 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.

Infrarrojo Cercano, que optimizan la velocidad y el costo en las determinaciones de los análisis. La espectroscopía ve la interacción de la radiación electromagnética con la materia. NIRS distingue el segmento de luz de longitudes de ondas entre 800 y 2600 nm del espectro electromagnético y examina la absorción de energía en dicha región por los grupos funcionales de las moléculas de la muestra (Zossi et al., 2010).

Por medio de la espectroscopía es viable realizar el análisis cualitativo y cuantitativo de multicomponentes en muestras, con un mínimo de preparación. Esta metodología, se caracteriza por ser no destructiva, rápida, no emplear reactivos químicos, disminuir el error del operador y requerir menos mano de obra especializada 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). Con base en lo anterior, se evaluó la tecnología de espectroscopía del Infrarrojo Cercano NIRS para crear los modelos de predicción de la calidad del jugo de caña de azúcar (parámetros $^{\circ}$ Brix y Pol (%)), que logren suplir el procedimiento convencional, reducir el tiempo de obtención de resultados, y eliminar los reactivos tóxicos (desechos), tales como el subacetato de plomo, lo que permitirá contribuir al cuidado ambiental, además de incidir en la optimización sobre control de la calidad de la fase de madurez del cultivo de caña y hacer eficiente la recolección de la caña de azúcar.

INTRODUCCIÓN

Es importante conocer el proceso de la madurez para saber el momento óptimo de cosecha de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*), lo que permite al ingenio (fábrica de azúcar) producir o extraer al máximo la sacarosa. La revisión de la madurez es un factor muy importante en el proceso de la cosecha de la caña, que consiste en analizar muestras de tallos antes del inicio de la zafra. Para determinar el punto de madurez, los parámetros de calidad analizados en el jugo de caña son principalmente la cantidad de sólidos solubles suspendidos ($^{\circ}$ Brix) y sacarosa aparente (% Pol). Los lotes con calidades de jugo próximas a la madurez, son las que se proyectan para la cosecha; esto asegura la máxima explotación del contenido de sacarosa. Por ello, el control del 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.

Las metodologías analíticas usados actualmente para examinar los parámetros de calidad en el control de madurez se establecieron hace más de 70 años (Chen, 1991; Golcher et al., 1984), son pesados y consumen mucho tiempo. Hoy, se cuenta con métodos nuevos como la Espectroscopía de

MATERIALES Y MÉTODOS

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

Las variables determinadas en el laboratorio fueron: °Brix y Pol (%) en jugo. Los métodos de referencia empleados fueron:

Pol (%) en jugo: se midió utilizando un polarímetro automático modelo MCP 500, marca Anton Para, y mediante la metodología registrada en manual del azúcar de caña (Spencer & Meade, 1967). Los grados Brix refractométrico, se calcularon con 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 em-

pleando 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:

$$\begin{aligned} \text{Brix}(\%) &: b_0 + b_1X_{\lambda 1} + b_2X_{\lambda 2} + b_3X_{\lambda 3} + b_4X_{\lambda 4} + \dots + b_nX_{\lambda n} \\ \text{Pol}(\%) &= b_0 + b_1X_{\lambda 1} + b_2X_{\lambda 2} + b_3X_{\lambda 3} + b_4X_{\lambda 4} + \dots + b_nX_{\lambda n} \end{aligned}$$

Donde:

La ordenada al origen es b_0 , los coeficientes de regresión son b_1 a b_n , y $X_{\lambda 1}$ a $X_{\lambda n}$ son las absorbancias a las diferentes longitudes de onda. El software no facilita estas ecuaciones, sino que ejecuta los cálculos matriciales pertinentes, proporcionando solo los parámetros de las calibraciones obtenidas (coeficiente de correlación y errores).

El modelo matemático utilizado es el de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS), el cual usa toda la información espectral y la introduce en el modelo de calibración. También se emplean la primera y segunda derivada, para afinar los espectros en el infrarrojo cercano, y el método estadístico de Mínimos Cuadrados Parciales Modificados (MPLS) (Shenk & Westerhaus, 1991). Así mismo, para el proceso de los modelos de calibración y predicción se realizó la corrección de los espectros a través del tratamiento matemático de varianza normal estándar (SNV) y Detrend (Barnes et al., 1989).

Se desarrolló el modelo de predicción para °Brix y porcentaje de Pol en jugo, utilizando el procedimiento matemático SNV y Detrend y arreglo 1,4,4,1 (derivada, GAP y suavizados) para los espectros. De igual manera, se creó otro modelo de predicción para °Brix y para Pol (%) mediante el tratamiento matemático SNV y Detrend, y arreglo 2,4,4,1 (derivada, GAP y suavizados). Para ajustar 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 estimó como (Cozzolino, 2002):

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

Donde:

y_i =valores de laboratorio utilizados en la calibración.

\hat{y}_i =valores previstos por la ecuación NIRS.

n =número de muestras.

t =número de componentes principales (PCR).

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

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

Para comprobar la exactitud del modelo de calibración NIRS, se valoró el comportamiento de las ecuaciones obtenidas sobre otras muestras a las usadas en la calibración, con variabilidad para el parámetro en estudio (valores altos, medios y bajos) y examinadas bajo iguales 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 Y DISCUSIÓN

Los espectros NIR esencialmente

contienen información de la composición orgánica de cada una de las muestras de jugo de caña de azúcar. En la Figura 1, se presentan los espectros de 1083 muestras de jugo de caña de azúcar recogidas a través del software ISIScan 2.21, en el rango de longitudes de onda de 400 a 2500 nm, pertenecientes a las regiones Visible-NIR del espectro electromagnético. El patrón espectral es parecido en todas las muestras de la población, aunque se percibe una reducida diferencia en los valores de absorción al inicio de la región visible (400–700 nm). Se ven dos picos de absorción principales (alrededor de 1450 y 1970 nm) en la región de infrarrojo cercano, los cuales concuerdan con los reportados por Robert & Cadet (1998).

Modelos de predicción para °Brix y Pol (%)

En este trabajo se tomó 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.

Se generaron dos modelos de predicción para °Brix y dos para pol (%) en jugo (Cuadro 1). De las 1083 muestras usadas en la calibración, el software seleccionó 1020 (°Brix, 1ª derivada), 1014 (Pol (%), 1ª derivada), 1023 (°Brix, 2ª derivada), 1019 (Pol (%), 2ª 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 (Cuadro 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 en 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 porcentaje de Pol en 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. El

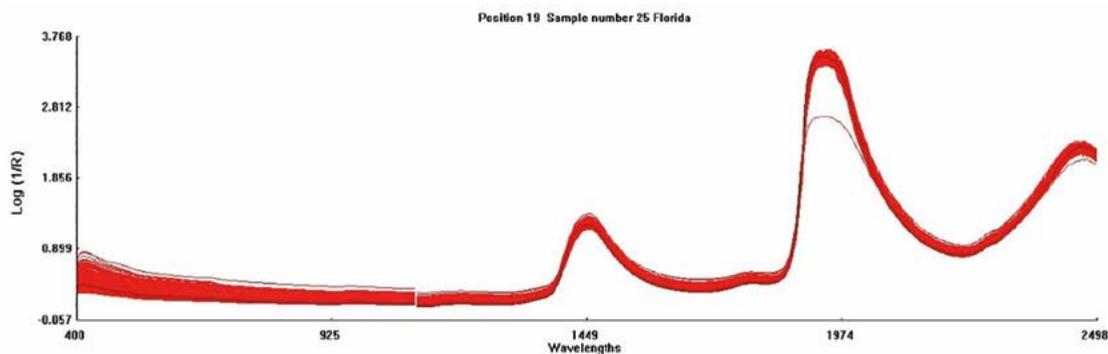


Figura 1. Espectros de las 1083 muestras de jugo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*).

Cuadro 1. Parámetros estadísticos de muestras seleccionadas para la calibración.

Parámetro	Tratamiento matemático	n	Media	SD	Rango	R ²	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.

R²=Coeficiente de determinación.

Cuadro 1, muestra también que las relaciones SECV/SD son menores a 0.33, por lo tanto, como lo establece Craig et al. (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 (Cuadro 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 en jugo, se puede ver que en los dos casos existe muy buena correlación. Así mismo, la Figura 3 muestra el comportamiento de los valores predichos por NIRS vs valores obtenidos con los métodos de referencia primario, correspondientes a la validación del modelo del porcentaje de Pol en jugo, estos también presentan buena correlación. En general, la correlación entre los datos reales y los predichos por NIRS fue buena; sin embargo, los modelos para °Brix presentaron mayor grado de predicción con respecto a los desarrollados para el porcentaje de Pol.

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 porcentaje de Pol, la confiabilidad se ve mejorada 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 porcentajes de 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 y Siesler, 2003; Valde-rama et al., 2007; Berding et al., 1991, Hernández et al., 2008).

CONCLUSIÓN

El mejor modelo de predicción para °Brix en jugo de *Saccharum* spp., es el que presenta un R² 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 del porcentaje de Pol en jugo corresponde al tratamiento matemático SNV y Detrend y arreglo 1,4,4,1, con un R² de 0.991 y SEC de 0.296. Estos resultados obtenidos

Cuadro 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. R²=Coeficiente de determinación. SEP=Error estándar de predicción.

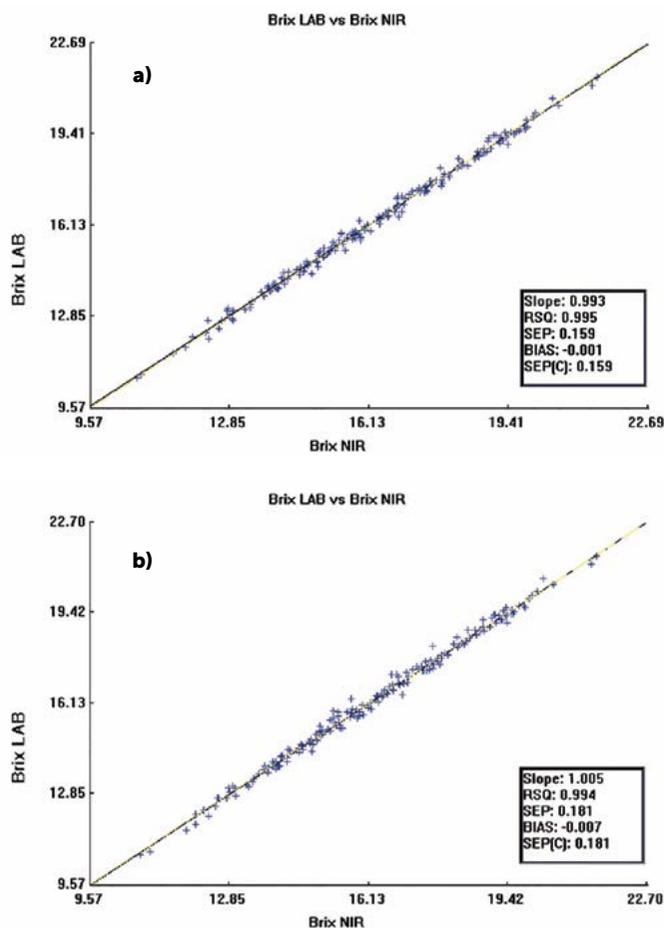


Figura 2. Validación externa del modelo para °Brix en jugo, valores predichos por NIRS vs valores del método de referencia primario. a) tratamiento matemático 1, 4, 4, 1. b) tratamiento matemático 2, 4, 4, 1.

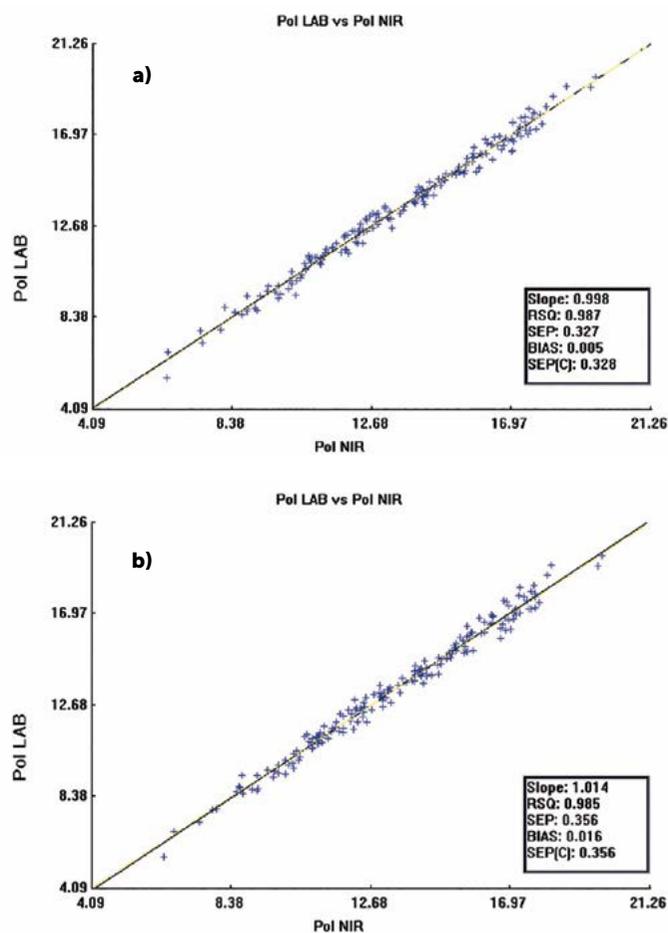


Figura 3. Validación externa del modelo para porcentaje de Pol en jugo, valores predichos por NIRS vs valores del método de referencia primario. a) tratamiento matemático 1, 4, 4, 1. b) tratamiento matemático 2, 4, 4, 1.

empleando la tecnología NIRS son muy satisfactorios, ya que permiten el reemplazo de las determinaciones convencionales de porcentaje de Pol y °Brix en jugo en las evaluaciones de calidad del jugo de caña de azúcar en la observación 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 impacta en el beneficio tanto de productores como del ingenio azucarero en la fabricación del azúcar.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Colegio de Postgraduados por el apoyo proporcionado para la realización de este proyecto. 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 recopilar datos y desarrollo de los modelos de calibración NIR.

LITERATURA CITADA

- Barnes, R.J., Dhanoa, M.S. & Lister, S.J. (1989). Standard normal variate transformation and detrending of near infrared diffuse reflectance spectra. *Applied Spectroscopy*, 43(5), 772-777.
- Berding, N., Brotherton, G.A., le Brocq, D.G. & Skinner, J.C. (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., Fassio, A. & Fernández, E. (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., Workman, Jr.J. & Reeves, J.B. (2004). *Near Infrared Spectroscopy in Agriculture*. ASA, CSSA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA, 785 p.
- Golcher, A.A., Hasbach, R.F. & Infante, M.J.J. (1984). Manual para analistas de laboratorio azucarero. Azúcar, S.A.-Geplacapan-NUD (ed.). México, 180 p.

- Hernández, M., Monroy, N. & Rodas, E. (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., Palau, F., Navarrete, A. & Ramírez, C. (2001). Applications of near infrared spectroscopy in the sugarcane industry of Colombia. *Proc. Int. Society of Sugar Cane Technologists*, 24, 163-165.
- Mehrotra, R. & Siesler, H.W. (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 & Cadet, F. 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. & Westerhaus, O.M. (1991). New standardization and calibration procedures for NIRS analytical systems. *Crop Science*, 31, 1694-1696.
- Spencer, G.L. & Meade, G.P. (1961). *Manual del Azúcar de Caña*. 9na ed. Montaner y Simón S.A (ed.) España. 940 p.
- Valderrama, P., Braga, J.W.B. & Poppi, R.J. (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., Ruiz, M.R., Sorol, N. & Sastre, M. (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.

