

## La Aplicación de la Agricultura de Precisión en Cultivos de Caña de Azúcar en Brasil

*Autores: Domingos G.P. Cerri - Facultad de ingeniería agrícola - UNICAMP -  
Campinas - SP, Brasil 13083-970 -*

*E mail: [dgpcerri@terra.com.br](mailto:dgpcerri@terra.com.br)*

*Paulo S.Graziano Magalhães - Facultad de ingeniería agrícola - UNICAMP -  
Campinas - SP, Brasil 13083-970 -*

*E mail: [paulo@agr.unicamp.br](mailto:paulo@agr.unicamp.br)*

### Fuente

ASAE paper number: 0311041  
2003 ASAE Annual Internacional Meeting – Las Vegas, Nevada, USA – 27 – 30 de julio de 2003  
Traducido por: Prof. Valeria Elpeza e Ing. Agr. (Dr.) Mario De Simone  
Corregido por: Ing. Agr. (Dr.) Mario De Simone

### Resumen

Con el propósito de contribuir a la aplicación de la agricultura de precisión en los cultivos de caña de azúcar en el Brasil, este proyecto incluye 2 procesos fundamentales: 1) diseñar un monitor de rendimiento para la caña de azúcar; 2) hacer el mapa de las características físicas y químicas del terreno. El objetivo fundamental es lograr una correlación entre los datos de rendimiento obtenidos y las características del suelo. El sistema diseñado utiliza celdas de carga como plataformas de pesaje, instaladas en la cinta transportadora de la cosechadora antes que la caña de azúcar sea descargada al remolque. Esta información junto con la posición geo-referenciada obtenida con un *Sistema Diferencial de Posicionamiento Global* (DGPS) instalado en la cosechadora permitirá elaborar un mapa digital del área de producción. El sistema es evaluado en condiciones de laboratorio antes de realizar las pruebas en el campo. Los mapas de las características físicas y químicas del terreno fueron obtenidos utilizando un método de muestreo de cuadrícula de 50x50 m y un instrumento que recoge las muestras de suelo sin disturbarlo. El área experimental del cultivo de caña de azúcar tiene de 43 ha y se ubica en Sao Joao, Aranas, San Pablo, Brasil. Las técnicas geo-estáticas serán utilizadas para la elaboración de un mapa con las propiedades del suelo.

**Palabras clave:** instrumental, cosechadora de caña de azúcar, mapa de rendimiento.

### INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es un cultivo importante en muchos países incluyendo Brasil. Con un total aproximado de 5,4 millones de hectáreas (FAO, 2001), la caña de azúcar genera, tanto en forma directa como indirecta, alrededor de U\$S 4,3 millones al año, lo que corresponde al 2,3% del producto bruto interno de Brasil

(Pagano y Magalhães, 2001). Sin embargo, en este cultivo aún no se aplican las técnicas de agricultura de precisión.

La agricultura de precisión, según Balastreire (1998) se define como un grupo de técnicas que permiten el manejo de un cultivo según cada sitio específico en que puede dividirse una parcela de terreno. Para la utilización de esta tecnología, es necesaria una gran cantidad de información de la parcela como: el mapa de las características físicas y químicas del suelo y el mapa de rendimiento. Para obtener dicha información, se necesita: 1) el uso de *Sistema Diferencial de Posicionamiento Global* para ubicar la posición (longitud y latitud) de los datos recogidos sobre el terreno; 2) el uso de un sistema de información geográfica para el tratamiento de los datos recolectados (Star & Estes, 1990) y; 3) una cosechadora equipada con un monitor y sensores capaces de medir los rendimientos.

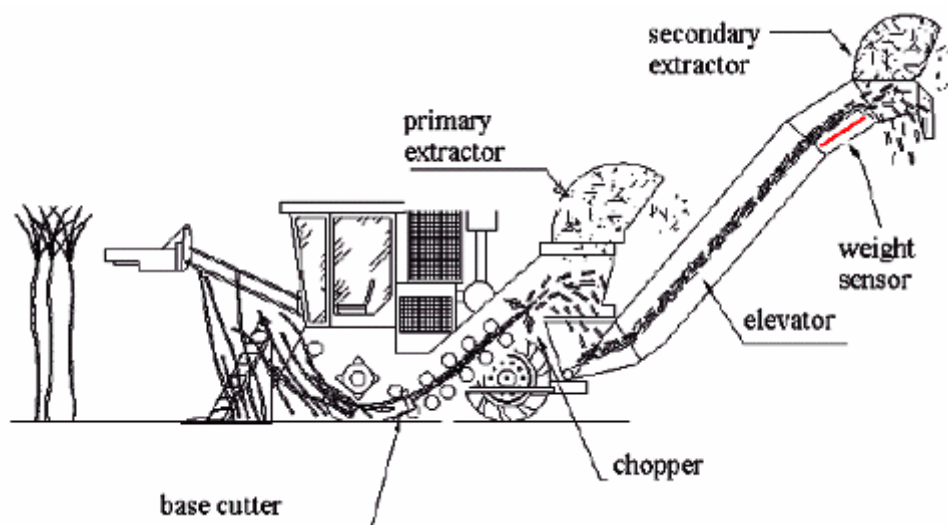
El principal objetivo de este trabajo es demostrar que es posible equipar una cosechadora de caña de azúcar para elaborar mapas de rendimiento, a fin de verificar el nivel de correlación entre la información de productividad obtenida y el mapa de las características físicas y químicas del terreno.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Sistema de monitoreo del rendimiento de caña de azúcar**

El sistema diseñado cuantifica y almacena, en tiempo real, la cantidad de caña de azúcar limpia cosechada. Como se ilustra en la figura 1 una vez cortada la planta entera, el tallo de la caña de azúcar es cortado en partes más pequeñas y limpiado en el extractor primario donde el 90% del material sobrante es removido. Luego, el material cosechado (y trozado) es colocado en un remolque o camión a través de un elevador instalado en el extremo final del extractor secundario.

El primer equipo de medición del rendimiento, usado en la temporada de cosecha del 2000, poseía una estructura de pesaje, celdas de carga, un sensor de velocidad y un instrumental para la adquisición de datos. El mismo fue desarrollado y evaluado en laboratorio y en el campo. La estructura de pesaje y las celdas de carga fueron instaladas en el extremo final del elevador (Figura 1). Un sensor magnético fue montado en un costado del elevador para medir la velocidad. (Pagano & Magalhaes, 2001).



**Figura 1:** componentes de la cosechadora de caña de azúcar y ubicación del sensor de rendimiento.

(*base cutter*: sistema de corte; *chopper*: picador; *elevator*: elevador; *weight sensor*: sensor de peso; *primary and secondary* extractor: extractor primario y secundario)

Un software basado en *LabView* <sup>(1)</sup> fue desarrollado para registrar las lecturas del transductor. Se calculó el flujo de la masa de la caña de azúcar sobre el elevador en base a las curvas de calibración y a la velocidad del material (velocidad del elevador). Se dio a la información recolectada una ubicación en el terreno en base a la información provista por el DGPS, así fue posible elaborar un mapa digital que representa la superficie de rendimiento del área cosechada (Wagner & Schrock, 1989). Toda la información fue obtenida, almacenada y procesada en una PC portátil.

Para mejorar la exactitud y para reducir los problemas encontrados en el primer sistema, el segundo equipo de medición de rendimiento que será utilizado en la temporada de cosecha del 2003 incluirá los siguientes cambios:

- Utiliza un plato de pesaje de 425 mm x 850 mm con cuatro celdas de carga en cada una de las esquinas para reducir los problemas de vibración del plato.
- Utiliza un mecanismo magnético para determinar cuando los cangilones pasan el sistema de pesaje.
- Utiliza un sensor de inclinación para compensar el peso. Ello es necesario en razón de que las celdas de carga se ubicaban en ángulo respecto de la horizontal y, en consecuencia, las lecturas del sistema son inferiores al peso real.
- Utiliza un radar para calcular la velocidad de avance de la cosechadora de caña de azúcar.
- Utiliza técnicas de pre-filtrado como el filtro análogo o el filtro digital para eliminar las frecuencias dominantes previamente determinadas.
- Un sistema data-logging. El data-logger elegido es un Advantech PPC-A120T. Este instrumental tiene un procesador NS Geode GX1 300 MHz, 128 Mb SRRAM, una pantalla sensible al tacto de 12", una interfase para adquirir datos PC1-1710 HGL 12 bit, un convertidor A/D, conversión D/A, entrada digital, salida digital, y counter/timer con un porcentaje de muestreo de hasta 100 KHz.
- Un software basado en C++ para Windows fue desarrollado para registrar las lecturas y calcular la producción de caña de azúcar.

Con todas éstas mejoras y con más pruebas en el campo, éste mecanismo debería ser un sistema de monitoreo del rendimiento confiable y exacto.

Las pruebas en el campo del 2003 serán llevadas a cabo en el ingenio azucarero de Sao Joao en Aranas, SP, Brasil sobre la variedad de caña de azúcar SP 80-1816.

### **Mapeo del rendimiento de caña de azúcar**

El área a mapear será dividida en pequeñas secciones llamadas células. Para Han et al. (1994) las dimensiones de dichas células deberían seguir ciertos valores,

acordes con la velocidad y el tamaño de la cosechadora, la capacidad de lectura y la tasa de adquisición de los datos del sistema de monitoreo de rendimiento de caña de azúcar. Por tales razones, el tamaño ideal de la célula será de aproximadamente 20 m<sup>2</sup> toda vez que la velocidad de la cosechadora sea de 1,38 m.s<sup>-1</sup>, la distancia entre las líneas de caña de azúcar es de 1,5 m. y la tasa de adquisición es de 10 s. Luego de instalar el instrumental en la cosechadora, el rendimiento de la caña de azúcar será medida en cada una de estas células, generando un archivo con las variables de latitud, longitud y peso. Luego de la interpolación de los datos, se dibujará un mapa digital de rendimiento.

### **Muestreo del suelo**

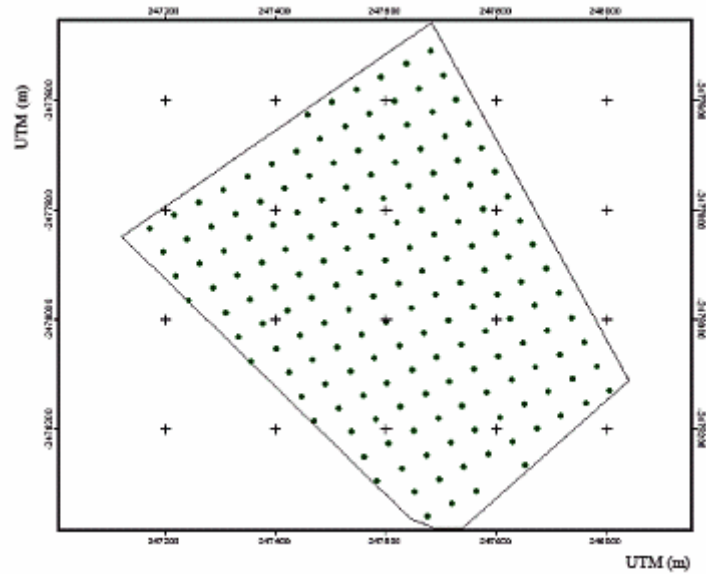
El diseño de muestreo del suelo se practicó de acuerdo con una grilla de 50x50 m y un total de 169 muestras en un área de 42,7 hectáreas. Las muestras fueron recogidas con un equipo (Figura 2) diseñado y construido para tomar muestras de suelo sin disturbar de 75 mm de diámetro y 600 mm de profundidad (Magalhães et al 2003).

Las muestras fueron sub-divididas en el laboratorio en 4 sub-muestras en un rango de: 0-100, 100-200, 200-300 y del 300-600 mm de profundidad. Cada muestra de suelo fue geo- referenciada como se muestra en la figura 3.



**Figura 2:** equipo para la toma de muestras de suelo.

En cada submuestra se determinó: textura, densidad, pH, P, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, C, N total y micro nutrientes.



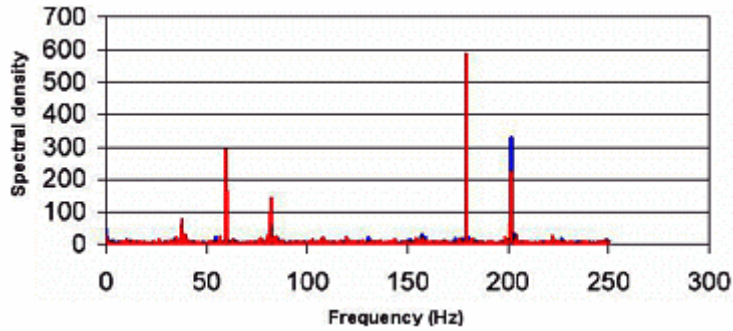
**Figura 3:** grilla de 50x50 m en un área de 42,7 ha.

### **Correlación entre los atributos del suelo y el rendimiento de la caña de azúcar**

El sistema de información geográfica (SIG) "Arcview" y sus extensiones "Spatial Analyst" y "Geo-statistic Analyst", serán utilizados para generar mapas para cada una de las variables de las propiedades del suelo y del rendimiento de caña de azúcar. Estos mapas serán sobrepuestos y los resultados serán analizados utilizando índices de auto correlación espacial de acuerdo a la metodología propuesta por Goodchild (1993). Dichos índices junto con otras herramientas disponibles en SIG, deberán facilitar la evaluación de las posibles interacciones entre las variables de suelo y el rendimiento del cultivo en el área de estudio.

### **RESULTADOS**

Las pruebas de laboratorio se concentraron en la calibración del sistema de medida y en el análisis de la calidad de los datos. Los resultados del primer equipo de medición de rendimiento muestran la necesidad de filtrar la información a fin de eliminar los problemas de vibración de elevador. En razón de ello se instalaron acelerómetros en diversos puntos del elevador y así realizar un análisis de FFT. Los resultados mostraron frecuencias de vibración relevantes de 30 Hz a 200 Hz (Figura 4).



**Figura 4:** espectro de frecuencia del elevador de la cosechadora CAMECO CHT 2500B.

En base a estos resultados, la adquisición de datos se restringió a un rango de 400 Hz a fin de evitar errores.

Con el propósito de verificar la exactitud de la escala desarrollada, se llevaron a cabo 5 pruebas utilizando tres pesas cilíndricas de 1,5 kg. La tabla 1 muestra los resultados de la prueba y que el error del sistema no fue mayor al 4%.

**Tabla 1:** pruebas de laboratorio para verificar la exactitud del sistema

Test	Real mass	Calculte mass	Error
	------(N)-----		(%)
1	4.5	4.4	2.15
2	4.5	4.48	0.35
3	4.5	4.46	0.78
4	4.5	4.61	2.49
5	4.5	4.68	4.02

Un filtro digital de bajo paso "Butterworth" fue instalado en el programa LabView con un corte de frecuencia de 7 Hz. Luego, la información procesada mostró una exactitud alta con un margen de error menor al 2%.

**Tabla 2:** resultados parciales de las medidas individuales realizadas por el sistema de medición automático (AMS) y el remolque (IT).

Row	I. T. mass (kg)	AMS mass (kg)	Error (%)
1	1315	1320	0.38
2	3915	3198	-22.42
3	4940	6356	22.28
4	4675	4111	-13.72
5	4665	4685	0.43
6	5410	5928	8.74
7	5370	4240	-26.65
8	5675	4657	-21.86
9	4905	4515	-8.64
10	4915	5269	6.72
11	5055	5265	3.99
12	4395	3990	-10.15
<b>TOTAL</b>	<b>55235</b>	<b>53534</b>	<b>-3.18</b>

El sistema fue luego adaptado a la cosechadora de caña de azúcar y recién se llevaron a cabo las pruebas en el campo. Con el propósito de chequear la exactitud del sistema diseñado, el material cosechado que pasaba a través del instrumental de medición era recogido por un remolque equipado con un sistema de adquisición de los datos del peso que se descargaba dentro de él. Cuando éste se llenaba, la masa era transferida a un camión que se pesaba en una balanza electrónica una vez que llegaba al ingenio.

La tabla 2 muestra el resultado de uno de éstas pruebas. Es posible observar que aunque el sistema de medición parece ser exacto en términos de la masa total del material cosechadora (margen de error menor al 3,2%) la exactitud individual de cada prueba está lejos de ser la ideal. Estos errores pueden originarse en la falta de sincronización entre el operador de la cosechadora, el operador del remolque y el operador del sistema de medición automático (AMS).

## CONCLUSION

El primer sistema de medición del rendimiento de caña de azúcar muestra su potencial para ser usado en la agricultura de precisión. Aunque el margen de error total es aceptable, la exactitud instantánea del sistema sensor del flujo necesita ser chequeada.

Los resultados iniciales muestran que el AMS es lo suficientemente sensible para mostrar la variabilidad espacial del rendimiento de caña de azúcar.

Esta temporada el sistema será mejorado a fin de disminuir el margen de error.

## REFERENCIAS

Balastreire, L.A. 1998. Agricultura de precisão. L.A. BALASTREIRE, Piracicaba, SP, 72 p.

Blackmore, L.A. y Marshall, C.J. 1996. Yield Mapping; errors and algorithms. In Proc. 3th International Conference on Precision Farming., 403-415. Minneapolis.

FAO. 2001. Agricultural Production. <http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>, Accessed May 2001.

Goodchild, M.F. 1993. The state of GIS for environmental problem-solving. In: Goodchild, M.F. Parks, B.O.; Steyaert, L.T., (Ed.) Environmental modeling with GIS. New York: Oxford University Press, p. 8-15.

Han, S.; Hummel, J.W.; Goering, C.E.; Cahn, M.D. 1994. Cell size selection for site specific crop management. Trans. ASAE 37 (1):19-26.

Magalhães, P.S.G.; Braubeck, O.A.; Cerri, D.G.P. Automacao de amostragem: novas tecnologias e equipamentos para avaliação física do solo. A ser apresentado no Congresso Brasileiro de Ciência do solo. Julho 2003.

Pagnano, N.B. and Magalhães, P.S.G. 2001. Sugar Cane Yield Measurement In. Third European Conferenca on Precision Agriculture., 839-843. Montpellier Proceedings of ECPA 2001, Montpellier Agro Montpellier, v.2.

Star, J. and Estes, J. Geographic information system: an introduction. New Jersey: Prentice Hall, 1990. 303p.

Wagner, L.E. and Schrock, M.D. 1989. Yield determination using a pivoted auger flow sensor. Trans. ASAE 32 (2): 409-413.