

Sistema de monitoreo de la cosecha de caña de azúcar para elaborar mapas de rendimiento

*Autores: Natasha Biagi Pagnano y Paulo Sérgio G. Magalhaes
Facultad de Ingeniería Agrícola – Unicamp – Campinas – SP
Traducción: Ing. Agr. Daniel R. Fernández – EEA Salta - INTA*

Resumen:

Para la implementación de Agricultura de Precisión, que permite la aplicación de un sistema de gerenciamiento eficiente, un requisito básico es la elaboración de mapas de productividad. El proyecto de investigación descrito aquí, trata sobre un sistema automático de medición de productividad de caña de azúcar cuando es cosechada por cosechadoras autopropulsadas. Este sistema consiste en la utilización de traductores de peso y acelerómetros, instalados en el elevador de la cosechadora y un DGPS ("Diferencial Global Positioning System"), ambos acoplados a un microcomputador portátil. Sensores instalados en las ruedas y en la cinta del elevador de la cosechadora serán utilizados para enviar una señal de control de inicio de la adquisición de datos. Lo que se pretende es que este sistema pese la masa de caña después de la limpieza en forma directa y en tiempo real, y almacene los datos. Esos datos, juntamente con la información obtenida del DGPS permitirá la elaboración de un mapa digital que representa una superficie de producción para un área cosechada.

INTRODUCCIÓN:

Con la llegada de la mecanización y la producción en gran escala, los campos cultivados pasaron a ser tratados de forma uniforme. Las tasas de aplicación de fertilizantes pasaron a ser calculadas en base a valores medios de fertilidad y la aplicación hecha uniformemente en toda la extensión del campo. Este tratamiento uniforme puede generar pérdidas económicas para el agricultor y puede causar daños ambientales importantes.

Para revertir esta situación surgió la posibilidad de aplicar una nueva tecnología llamada agricultura de precisión, que puede ser descripta como un desarrollo tecnológico que incorpora nuevas técnicas o modifica las ya existentes, para producir un conjunto de herramientas para aumentar la eficiencia del gerenciamiento agrícola, permitiendo la aplicación de insumos agrícolas en el lugar correcto y en las cantidades requeridas. Esta nueva tecnología se basa en que mayores y mejores informaciones sobre el lugar donde será implantado el cultivo y una producción histórica de este sean conocidas a lo largo de varios años. Para obtener esta información que no se puede basar más en medias y con representación en pequeñas celdas (algo en torno a 25 a 100 m²) dentro de la tierra cultivada con el uso del GPS (Global Positioning System), que permite coleccionar datos georeferenciados.

Una importante etapa de este proceso de levantamiento de información es la obtención de mapas de productividad. Para los cultivos tradicionales producidos en gran escala en países desarrollados, como por ejemplo el trigo o la soja, ya fueron desarrollados varios tipos de sensores que son capaces de medir las cantidades de granos cosechados a medida que la cosechadora avanza en el campo, posibilitando así que asociado con información localizada de la cosechadora provista por el GPS, pueda generar un mapa de productividad permitiendo identificar áreas de diferentes productividades.

La exigencia de reducción de costos y aumento de productividad hace que la aplicación de estas nuevas tecnologías se extienda a otros cultivos, como por ejemplo a la caña de azúcar, que en Brasil tiene gran importancia económica, con 4,2 millones de hectáreas plantadas. Como se trata de un cultivo con características propias y bien distinta de los granos, es necesario desarrollar un sistema de monitoreo de producción específico, que aliado a la información del GPS permita generar mapas de rendimiento para este cultivo, siendo este el principal objetivo del trabajo. Se espera con esto, contribuir para el control y consiguiente economía de los productos aplicados, reduciendo el riesgo de polución ambiental, disminuyendo el costo de producción, y consolidando el liderazgo del país en este sector.

Revisión bibliográfica:

La mayoría de los trabajos publicados relacionados a sistemas de determinación de producción de productos agrícolas para la elaboración de mapas de rendimiento están en el área de granos, donde empresas como JOHN DEERE (1998), CASE (1999) y AGCO (1999) desarrollaron sensores de flujo de masa específicos para determinar la producción y la humedad de granos y software para manejar estos datos y generar los mapas de rendimiento.

En Brasil, algunos trabajos importantes relacionados a Agricultura de Precisión también fueron realizados. Entre ellos podemos destacar ELIAS (1997) que relato el desarrollo, construcción y uso a campo, de un sistema de instrumental y adquisición de datos para el mapeo de producción en granos. El sistema consistía en la medición automática de peso de los granos cosechados utilizando una sub-tolva granelera apoyada sobre cuatro células de carga dentro de la tolva de la cosechadora, sin ninguna modificación estructural de la misma, obteniendo un error máximo de 3,99 N para una capacidad de la sub-tolva de 4.905 N. La principal ventaja del sistema de pesaje automático, desarrollado por ELIAS, está en permitir la obtención directa del peso de los granos cosechados, sin necesidad de sensores para la medición del flujo de granos y calibración para cada cultivo.

Otro importante trabajo fue publicado por BALASTREIRE (1998) que presenta el potencial de utilización de los conceptos de AP en el cultivo de la caña de azúcar. En su artículo el autor resalta entre los principales beneficios que la aplicación de este concepto puede ofrecer, como: a) posibilidad de reducción de polución ambiental; b) beneficios económicos, donde la reducción del costo final del producto puede ser obtenida reduciendo los insumos en los puntos de bajo potencial de producción y redireccionandolo a los puntos de mayor potencial; c) ganancia de productividad, con aumento de producción y un aumento de la cantidad de azúcar de caña disponible. Además según BALASTREIRE el potencial de aplicar los conceptos de AP en el cultivo de la caña de azúcar se divide en cuatro puntos:

1. Mapa de suelo – este mostrará el potencial de fertilidad del suelo, y permitirá establecer las estrategias de aplicación de fertilizantes.

2. Mapa de cultivo – permitirá obtener mapas georeferenciados de los tabloneros del cultivo en sus diferentes estadios.
3. Mapa de cosecha – se puede obtener un mapa de producción de cada celda dentro de un tablón. Con la georeferenciación se tiene la localización exacta de cada celda, entonces, se puede verificar en el lugar cual fue el motivo de la baja de producción.
4. Aplicación localizada de insumos – la decisión sobre el mejor método de gerenciamiento del área puede ser hecho por medio de programas de computación específicamente realizados para la agricultura que proporcionan mapas de aplicación localizada de insumos. Con el auxilio de equipamientos especiales para el control de aplicación se puede aplicar la cantidad requerida en cada celda para así utilizar el máximo potencial de producción.

Dentro de los trabajos en cultivos que no sean granos, se destaca EARL et. al. (1996). Según los autores MASSEY FERGUSON en conjunto con el Colegio Silsoe de Inglaterra desarrollaron un carro con un sistema de pesaje para trabajar en la cosecha de remolacha. El carro acompaña a la cosechadora, por lo tanto no es necesario alterar los equipamientos de la cosechadora. La desventaja de este método es que en la mayoría de los casos son necesarios como mínimos tres carros para maximizar la operación, el uso de un solo carro significa una tasa de trabajo reducida, o todo el campo no es monitoreado en cuyo caso es necesario el uso de un software para interpolar los datos que fueron registrados.

SCHNEIDER et. al. (1996) desarrollaron un sistema de monitoreo de producción de papa que consistía en un acondicionador de señales y una unidad de control (SCCU), sensor para medir la velocidad de la correa transportadora de las celdas de carga, DGPS, computadora a bordo y un modem con frecuencia de radio (RF). El sensor de masa (celda de carga) fue montado en una barra con una escala de fondo de 225 kg. El sensor de velocidad de la correa transportadora fue fijado al lado del eje en el cual fue montado un magneto. Los tiempos registrados en un archivo fueron ajustados para corregir la diferencia de tiempo entre el momento de cosecha y el momento de pesaje, "lag time". Fue usado un algoritmo para determinar la media de las medidas de peso dentro de una distancia fija de 15 m. En este método es preferible usar un número de fijo de puntos, considerando la posibilidad de inicio y fin de las operaciones de la máquina.

Usando un principio muy parecido con el anterior WALTER et al. (1996) describen un sistema de monitoreo de producción de remolacha. Los autores testaron dos configuraciones diferentes de sensores de peso. Las dos configuraciones usaron celdas de carga debajo de la correa transportadora para convertir información de peso en señales eléctricas para posterior procesamiento. La primera configuración consistía en colocar a cada lado de la correa, un rolo de 152 mm de diámetro a una celda de carga. La segunda configuración consistía en una placa de 50,8 mm de largo por 609,6 mm de ancho cubierta por un plástico de 9,53 mm de espesor. Una de las extremidades de la placa era fijada en una barra pivotante pegada a la correa en tanto la otra era enganchada verticalmente a una celda de carga. Este dispositivo sustituía dos rolos a cada lado de la correa. En los test de campo se utilizaron la configuración de la placa de peso que fue instalada en la parte externa de la correa de la cosechadora, durante la zafra de 1995. Los datos de producción georeferenciados fueron utilizados para elaborar los mapas de rendimiento. Los autores concluyeron que la configuración de rolo de peso producía un error de 3,5% del peso real y en cuanto a la placa presentaba un error de 2,3%.

COX et. al. (1996) presentaron un trabajo de desarrollo de un sensor de flujo de masa para el cultivo de la caña de azúcar, basado en la determinación de

presiones hidráulicas, flujo de aceite y velocidad de desplazamiento de la máquina. Con las señales obtenidas con estos sensores determinaban la demanda de potencia tanto del elevador como del picador, relacionando esta cantidad con el flujo de caña. Como las medidas de flujo no eran obtenidas de forma directa y sabiendo que las presiones hidráulicas sufren grandes alteraciones con el desgaste de la máquina y con la viscosidad del fluido hidráulico, no se puede saber si las variaciones de valores obtenidos fueron debido a errores del sistema o diferencias de producciones.

Un trabajo similar de EARL et. al. (1996) fue realizado por PIEROSI & HASSUANI (1997), en el intento de realizar mapas de rendimiento del cultivo de caña de azúcar. Los autores montaron sobre cuatro celdas de carga de compresión, una báscula de cadena superior, permitiendo, de esta forma, la lectura de carga total de la cadena independiente de la distribución de esta en su interior.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Debido a falta de confiabilidad del sistema arriba descrito por COX et. al. (1996), para medir flujo de masa de caña de azúcar, y para atender los objetivos del proyecto de investigación, el sistema propuesta consiste en equipar una cosechadora con un sistema de medición, utilizando celdas de carga y acelerómetros como instrumento de determinación de peso de la materia prima cosechada. Este sistema de pesaje fue instalado en la cinta transportadora del elevador de la cosechadora como se muestra en la Figura 1.

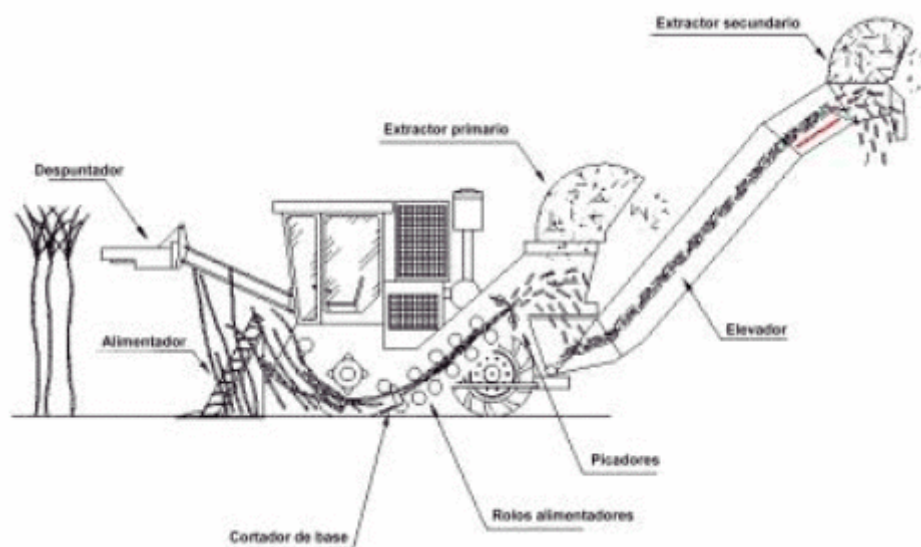


Figura 1: Esquema de la cosechadora con la localización del sistema de pesaje de trozos

El sistema propuesto consiste de una balanza compuesta de celdas de carga independientes de manera que no sufran esfuerzos de flexión, y de acelerómetros. La cinta de la cosechadora, que esta compuesta por una chapa fija donde los trozos de caña son conducidos por extensiones atornilladas a cadenas que se mueven a una velocidad de 2,3 m/s. Así, en el lugar de la balanza, la chapa fija

fue sustituida por una placa de pesaje donde están acopladas las celdas de carga, como muestra el esquema presentada en la Figura 2. Los valores de salidas de las celdas de carga están ligados a acondicionadores de señales distintos y transferidos a un banco de datos sano filtrados y sumados por un sumador digital.

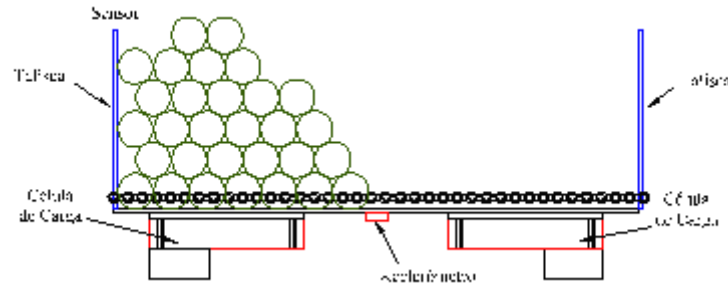


Figura 2: Esquema de montaje de las celdas de carga

Preliminarmente fue realizado un estudio de frecuencia de vibraciones de la cinta de la cosechadora. Para eso, fueron usados acelerómetros acoplados en varios puntos de la cinta. Con la Transformada Rápida de Fourier (Fast Fourier Transform- FFT) estos datos permitirán la determinación del espectro de frecuencia de vibración, como se muestra en la Figura 3. Esta figura representa el espectro de frecuencia de dos ensayos, donde para cada uno fueron utilizados 2.500 puntos para la realización del análisis. A partir del gráfico se puede observar que los principales modos de vibración de la cinta de la cosechadora ocurren en frecuencias de 40, 60, 80, 180 y 200 Hz, justificando de esta forma, la tasa de muestreo utilizada inferior a 40 Hz.

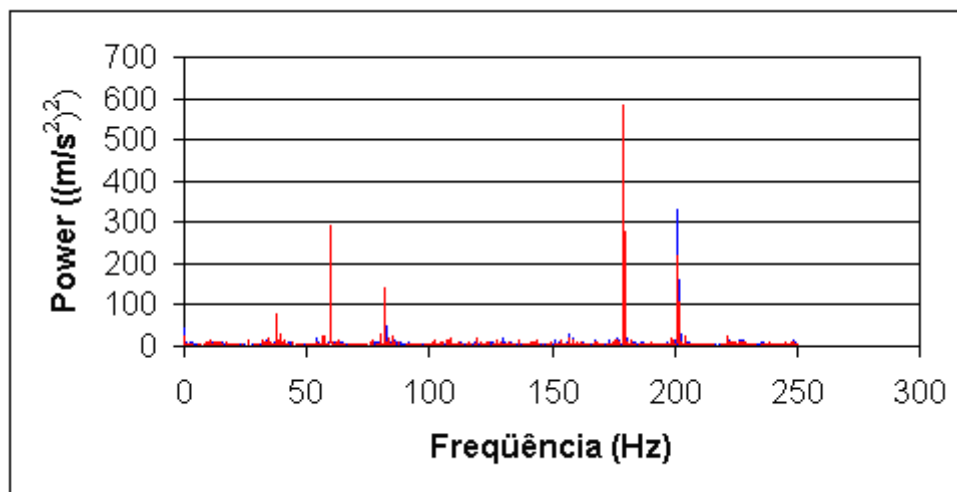


Figura 3: Espectro de frecuencia de la cinta de la cosechadora CAMECOCH2500

La escala de la celda de carga fue hecha en base a la productividad del cañaveral y la velocidad de la cinta de la cosechadora, siendo posible hacer una estimación de la cantidad máxima y mínima de caña que estará siendo pesada en un tiempo determinado. Como la velocidad de la cosechadora es del orden de los 4 km/h y la productividad de un cañaveral puede variar de 70 a 120 t/ha, se sabe que la cantidad cosechada por este tipo de cosechadora puede variar de 8,5 a 14,5 kg/s

que corresponde a una variación de 7,7 a 13,2 kg/m de la cinta. Como la balanza posee un tamaño de 0,5 m, entonces la variación media de peso será de 1,9 a 3,2 kg, lo que implica el uso de una celda de carga con fondo de escala de 10 kgf. Estaremos de esta forma evitando posibles daños del equipamiento en caso de sobrecarga proveniente de la acumulación de material cosechado en maniobras al final de las líneas de trabajo o debido a fuerzas inerciales de la masa de la caña.

Pruebas preliminares fueron realizadas en laboratorio utilizando una cinta de una cosechadora estacionaria. La idea era obtener, en laboratorio, la mayor cantidad posible de información sobre el sistema, de modo de poner a instalar en campo al inicio de la zafra del 2000 para el levantamiento final de datos.

La calibración del sistema fue realizada en base al pesaje de masas conocidas medidas en simulaciones de condiciones reales durante los ensayos de laboratorio. A campo, con la cosechadora en movimiento, se debe proceder a una calibración semejante, utilizándose pesos conocidos, para evaluar la influencia de las vibraciones en los datos medidos.

Los test de campos serán realizados en un terreno plano para que la inclinación de este no altere la inclinación de la cinta, de esta forma no hay necesidad de utilizar equipamientos para compensar estas diferencias.

Con la instalación del sistema de monitoreo de masa cosechada en la parte final de la cinta recolectora de masa (caña troceada), la información obtenida por el sistema no se refiere a tiempo real medido sino a un tiempo anterior, debido al tiempo transcurrido por la caña de azúcar desde el corte de base hasta llegar a la cinta, que por lo tanto deberá ser corregido, en base a la velocidad de avance de la cosechadora y de la masa de caña en el interior de la misma.

Otras dificultades en la adquisición de datos de masa referidos al funcionamiento de la cosechadora, que puede estar parada pero manteniendo la cinta en movimiento, o en maniobras, donde la cosechadora estará en movimiento y la cinta parada. Sensores deberán ser instalados para solucionar este problema, en el primer caso, ningún material estará siendo cosechado, necesitando instalar sensores en la rueda de la cosechadora para que el sistema de adquisición de datos sea desactivado, y en el segundo caso, el sensor deberá ser colocado en la cinta, pues el material cosechado estará siendo almacenado para ser lanzado cuando la cinta sea accionada, y así la productividad encontrada es corregida y distribuida a lo largo de los dos últimos puntos de la línea anterior cosechada.

Durante el experimento la cosechadora estará equipada con un aparato GPS, que almacenará posiciones a un intervalo de tiempo de 1 segundo. Al mismo tiempo los datos de corrección diferencial serán almacenados en una Estación Base GPS.

Los archivos del GPS de la cosechadora y de la estación base serán posteriormente comparados con el software Trimble Pfinder para realización de corrección diferencial, lo que posibilitará reducir los errores de posicionamiento para un intervalo submétrico.

Los archivos corregidos serán transformados al formato AutoCAD DXF y exportados para un sistema de información geográfica (SIG) Idrisi para Windows 2.0, y serán tratados como archivos del tipo XYZ, donde X e Y son los posicionamientos dados por el GPS y Z representa el peso medido. Estos datos serán interpolados digitalmente, utilizándose técnicas de geoestadística, como Krigagem. El resultado será un mapa digital, representando una superficie continua de producción para el área cosechada.

RESULTADOS ESPERADOS:

Con este trabajo se presente obtener un sistema confiable para el monitoreo de la masa de caña de azúcar cosechada, en forma directa, en tiempo real, generando datos dentro de un margen de error indicado, y con esto obtener mapas de producción del cultivo de caña de azúcar. Venciendo de esta forma una importante etapa no disponible de Agricultura de Precisión para el sector cañero.

Bibliografía:

AGCO, Fieldstar - the science of agriculture, 1998.

BALASTREIRE, L.A. Potencial de utilização dos conceitos de agricultura de precisão na cultura da cana-de-açúcar. S.T.A.B., Piracicaba, v.16, n.4, p.22-26, 1998.

CASE IH AGRICULTURE EQUIPMENT, Advanced Farming Systems, www.casecorp.com/agricultural/afs/index.html, janeiro de 1999.

COX, G., HARRIS, H., PAX, R. Development and testing of a prototype yield mapping system. In: PROCEEDINGS OF AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1997.

EARL, R., WHEELER, P.N., BLACKMORE, B.S., GODWIN, R.J., Precision farming – the management of variability. The Journal of the Institution of Agricultural Engineers, Inglaterra, v. 51, n.4, p.18-23, 1996.

ELIAS, A. I., Mapeamento da colheita mecanizada de grãos utilizando um sistema de posicionamento global. Piracicaba, 1997. 37p. Exame de Qualificação – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós, USP.

JOHN DEERE, Precision Farming, www.deere.com/greenstar, agosto de 1998.

PIERROSSI, M.A., HASSUANI, S.J. Caçamba instrumentada para pesagem de cana picada. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7, 1997, Piracicaba.

RIPOLI, T.C., OMETTO, D.A., Techniques implications in the adoption of the raw sugar cane, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 1996, Madri. Anais...European Society of Agricultural Engineers, 1996. v.2, p.309-310.

SARFAS, B. Eletronics: The importance in world food production. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 1996, Madri. Anais...European Society of Agricultural Engineers, 1996. v.1, p.5-12

SCHNEIDER, S. M., RAWLINGS, S. L., HAN, S. EVANS, R. G., CAMPBELL, R. H., Precision agriculture for potatoes in the Pacific Northwest. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL

ENGINEERING, 1996, Madri. Anais...European Society of Agricultural Engineers, 1996. p.443-452

WALTER, J. D., HOFMAN, V. L., BACKER, L. F., Site-Specific Sugarbeet Yield Monitoring. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 1996, Madri. Anais...European Society of Agricultural Engineers, 1996. v.2, p.834-844.