

La recolección empleando técnicas de agricultura de precisión

El proceso de la recolección de cultivos es el que más ha estado asociado a la imagen tradicional de la agricultura de precisión (AP), debido a que en las primeras fases de desarrollo de la AP se hizo un mayor esfuerzo en dotar a la cosechadora de grano de los sensores necesari-

os para realizar mapas de productividad superficial. Por ello, en un contexto de ahorro energético, tiene sentido pensar si la cosecha es una oportunidad para el ahorro de insumos o sólo un medio para la toma de datos que se analizarán posteriormente.

Constantino Valero.
Universidad Politécnica de Madrid.

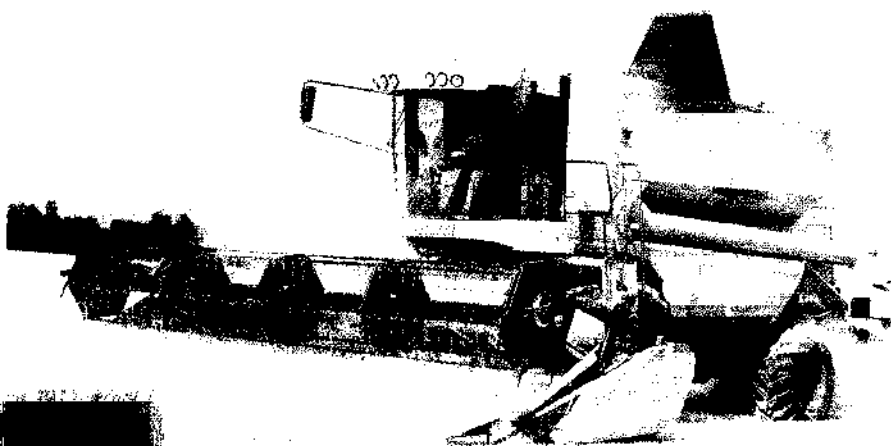
La imagen típica de la AP es la cosechadora integral de cereales, si bien cualquier cosechadora integral de cierto cultivo estaría dotada de los siguientes sistemas:

1. **Sensor de rendimiento**, situado normalmente en el final del elevador de producto limpio, sirve para cuantificar el caudal o flujo (kilogramos por segundo) de producto que va cayendo en la tolva. Existen varios tipos de sensores de producción:
 - ▶ Sensor de impacto: dotado de una placa metálica, el impacto de los granos contra ella es detectado por un transductor que aporta una señal proporcional a la fuerza

ejercida. En el caso de otros cultivos se han empleado placas de impacto para "pesar" patatas o remolachas al caer en la tolva.

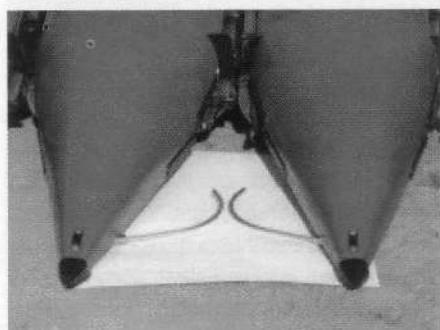
- ▶ Sensor de peine: en realidad es una adaptación del anterior, pues la placa se sustituye por unos dedos metálicos que se interponen en el recorrido del grano limpio. Ambos sistemas pueden ser empleados también para forraje picado, situados al final del tubo deflector de descarga.
- ▶ Sensor óptico: a los lados del canal de ascenso del producto recogido se sitúan unos emisores ópticos y unos detectores opuestos; la señal es proporcional al tiempo que los haces luminosos son interceptados por el producto. Aunque este sensor se ha utilizado para grano, resulta mucho más ventajoso para el algodón.

- ▶ Sensor radiométrico: similar al anterior, se basa en emitir una radiación (rayos gamma) en el elevador de grano, y medir en el lado opuesto su atenuación debida a la absorción de energía que sufre el producto que cae a la tolva. Su posible peligrosidad para la salud humana y animal genera problemas legales de uso.
 - ▶ Células de carga: en cosechadoras donde el producto se transporte mediante cintas transportadoras o superficies móviles, es común situar sensores de pesaje bajo las mismas, o bajo las tolvas directamente. También se emplean células de carga en el interior de sinfines elevadores de productos diversos en los que no existe una cosechadora instrumentada.
 - ▶ Sensores de deformación y torsión: cuando el producto genera pequeños desplazamientos o torsiones de las superficies que los sostienen, se pueden emplear sensores de microdeformación o de torsión, como es el caso de macroempacadoras que pueden llevar estos dispositivos bajo el final del canal de prensado.
2. **Sensor de actividad del cabezal** recolector, para detener la captura de datos al acabar una línea.
 3. **Sensor de anchura** real de trabajo en el cabezal, para ajustar el cálculo de productividad superficial en el caso de que la cosechadora pueda usar menos que su anchura útil máxima, como en las de grano o en las segadoras-picadoras.
 4. **Sensor de humedad**, normalmente de tipo capacitivo, para cuantificar en conte-





La mayoría de los fabricantes disponen de cosechadoras con sistema autonivelante del cabezal de recolección para evitar atascos de material.



Con el AutoTrac RowSense de John Deere, los sensores localizados en el cabezal de maíz proporcionan un perfecto seguimiento de la hilera.



La antena GPS debe estar situada sobre la cabina, en posición centrada y más alta que la tolva.

Cuadro I.

Ejemplo de programa de mantenimiento de una cosechadora de cereales (Basso y col. 2007)

Tarea	Tiempo empleado (h)
Calibración y limpieza de sensores	
Sensor de inclinación	250
Sensor de caudal	100
Sensor de humedad	60-70
Mantenimiento de los componentes	
Programas	500
Receptor GPS	300
Monitor/terminal	10
Reparación de los componentes	
Sensor de inclinación	1.500-1.800
Sensor de caudal	1.500-1.800
Sensor de humedad	2.500
GPS	1.500

nido en agua del producto cosechado y realizar correcciones de la productividad.

- 5. Antena para geoposicionamiento**, ya sea mediante dGPS (con corrección diferencial) o RTK (corrección cinemática en tiempo real).
- 6. Sensor de velocidad** real de avance: tradicionalmente se equipaba la cosechadora con un radar bajo el chasis, si bien hoy en día la precisión del GPS permite estimar la velocidad sin necesidad de este sensor.
- 7. Sensor de inclinación:** el inclinómetro sirve para corregir los errores que cometen otros sensores (GPS, rendimiento, anchura, etc.) cuando la cosechadora está en pendiente.
- 8. Sensores de calidad:** dependiendo del cultivo medirán un parámetro u otro (color, contenido en proteína, contenido en

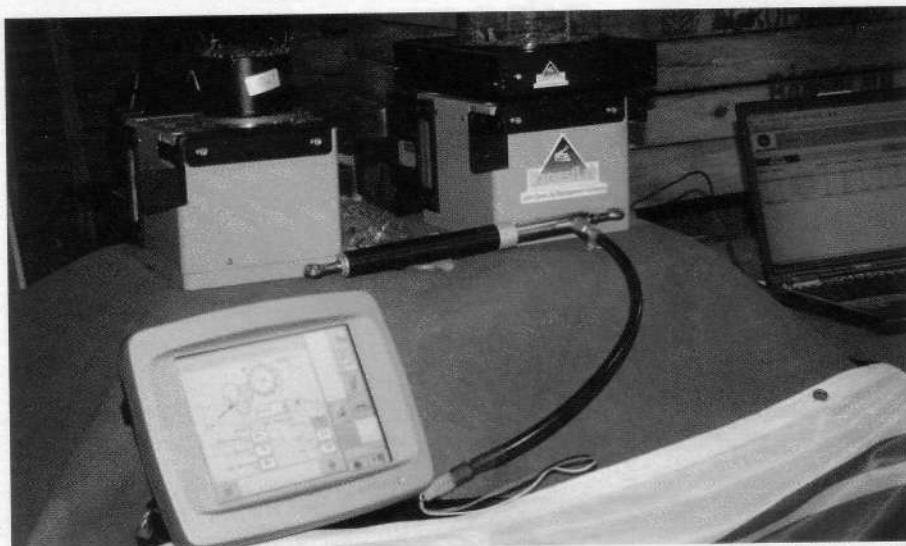
azúcar, pH, etc.). En general están en desarrollo y se basan en medidas químicas directas o estimaciones mediante otras tecnologías, como el infrarrojo.

- 9. Monitor de control** y grabación de datos, bien sea con un sistema no estándar o bien con un terminal virtual (compatible con Isobus), que integre la señal de todos los sensores y la almacene, para poder representarla y estudiarla posteriormente.

Calibración y mantenimiento, claves para un buen resultado

Para obtener un mapa con unos datos de calidad, representativos de la realidad en el campo, es imprescindible un buen mantenimiento de los sensores. Esto incluye dos aspectos: el mantenimiento en sí mismo, y la correcta calibración.

En cuanto al mantenimiento, en muchas ocasiones los manuales de uso no refieren el hecho de que estos sensores se desgastan, estropean o requieren unas tareas similares al entretenimiento de cualquier máquina. Antes de comenzar la campaña es necesario revisar conexiones, limpiar de polvo y restos de cultivo los sensores, y comprobar la lubricación en caso necesario. En muchos casos es incluso recomendable realizar una limpieza diaria de los sensores, o incluso antes de comenzar a recoger cada parcela para los sensores más delicados (sensores de calidad). En conversaciones recientes con maquileros que llevan años trabajando con estos equipos instalados en cosechadoras de grano, la placa del sensor de impacto se desgastó hasta su rotura tras cosechar maíz



Ubicado en el tubo de descarga al remolque, HarvestLab mide el contenido de materia seca del forraje. Este sensor puede también retirarse del tubo para ser empleado como laboratorio estático.

y trigo durante 7-8 años (1.500 ha/año, unas 7.000 horas totales de uso). El coste de reposición de este sensor en la cosechadora de cereal puede ascender a 3.000-4.000 € dependiendo de marca y modelo.

La calibración es fundamental y en la práctica conlleva los siguientes pasos:

1. Comprobar el funcionamiento del GPS: situar la antena sobre la cabina en posición centrada y más alta que la tolva, comprobar conexiones, comprobar que llega la corrección diferencial o la cinemática.
2. Programar en el monitor la anchura de trabajo, si no disponemos de sensor de anchura real. Los sistemas actuales de autoguiado pueden facilitar este punto, como se comenta más adelante.
3. Calibrar el inclinómetro, situando la cosechadora sobre una superficie perfectamente plana.
4. Calibrar el sensor de humedad, normalmente determinando en campo la humedad y densidad del grano con un equipo portátil e introducir esos valores en el monitor.
5. Calibrar el sensor de rendimiento: se

puede hacer cosechando una zona homogénea de la finca, a velocidad y anchura de trabajo constantes, para después comparar el peso descargado de la tolva con la medida en báscula.

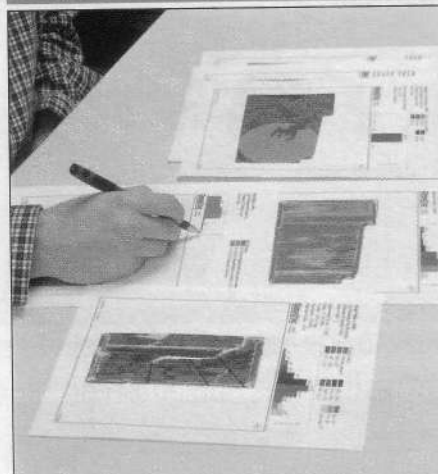
6. Calibrar otros sensores: si disponemos de sensores de calidad, se pueden calibrar usando patrones conocidos (p. ej. agua) o midiendo con otro instrumento portátil (¡y también calibrado!) el parámetro a estimar.
7. Calibrar el retraso en la medida de los sensores: desde que el producto es cortado por el cabezal y entra en la cosechadora, hasta que realmente es medido por el sensor, pasa un cierto tiempo (*lag*) que depende de su movimiento por el interior de la máquina; este valor ha de ser estimado e introducido en el monitor.

Errores a corregir en el mapa de producción

Un agricultor avanzado o una empresa de servicios que haya empleado estos equipos sabe bien que para conseguir que los datos recogidos durante la cosecha sir-

FIGURA 1.

Mapa de rendimientos.



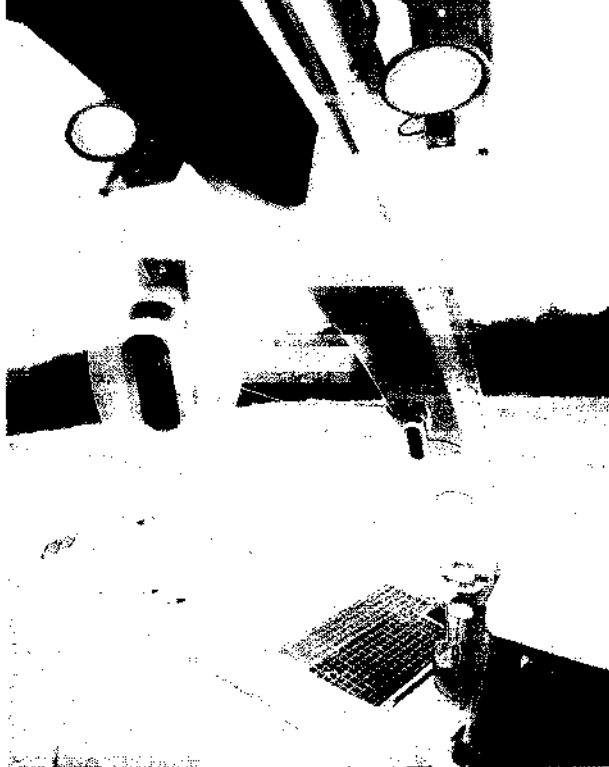
van para algo más que para hacer un "bonito mapa de colores" hay que trabajar sobre ellos, corregirlos y filtrar datos erróneos. En ocasiones los programas informáticos ofrecidos por las casas comerciales realizan parte de estas correcciones automáticamente, pero aún así el maquinista debería supervisar el resultado y contrastarlo con lo que había realmente en campo.

Los errores más comunes que pueden aparecer en un mapa de producción superficial son:

- ▶ Retraso en la medida de los sensores: como se ha comentado antes, el *lag* influye en que la estimación del parámetro medido por un sensor se asigne al área correcta donde se cosechó el producto, o a otra unos metros después. En cosechadoras diversas, este valor puede oscilar entre 10 y 20 segundos (de 10 a 30 m de avance de la máquina), si bien es necesario cuantificarlo en cada caso para que se corrija automáticamente.
- ▶ Mezcla de cosecha de diferentes localizaciones: en cosechadoras con sistemas de retrilla o similares (con diferentes caminos dentro de la máquina), cierta cantidad de producto puede estar dando vueltas interiormente y mezclarse con lo recién cosechado. Es difícil corregir este hecho, pero en todo caso se recomienda ir monitorizando el sensor/avisador de retrilla correspondiente para poder tenerlo en cuenta después a la vista del mapa (figura 1).



Nuevo sistema de pesaje de las pacas en las empacadoras BB9000 de New Holland.



Los sistemas de llenado automático de remolque de Claas (Auto Fill) y New Holland (Intellifill) han sido galardonados como Novedad Técnica Sobresaliente en el Concurso de Novedades Técnicas de la Feria Internacional de Maquinaria Agrícola, FIMA 2010.

- ▶ Variaciones de la anchura de trabajo: si no se dispone del sensor correspondiente, se pueden cometer errores de hasta el 10%. Esto puede ser crítico en pasadas solapadas o de cierre.
- ▶ Variaciones en la velocidad de cosecha: cambios no controlados en la velocidad de avance pueden suponer errores en el cálculo de la superficie cosechada.
- ▶ Pérdidas de producto: los sensores sólo miden el producto que llega a la tolva, pero no el perdido; los detectores de pérdidas de las cosechadoras de cereal pueden servir para realizar mapas de la calidad de trabajo del maquinista.

FIGURA 2.

Evolución del coste de elaboración de mapas de producción al variar la superficie anual mapeada (Basso y col. 2007).

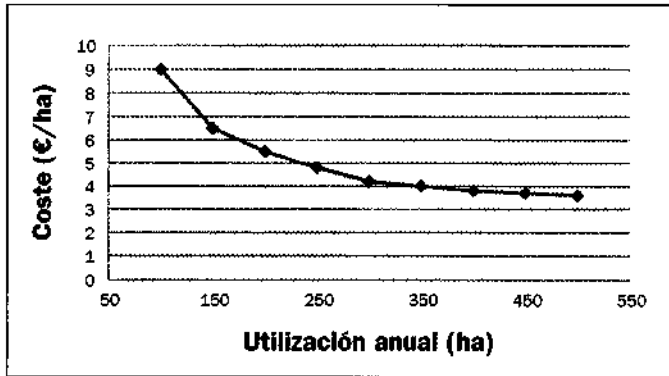
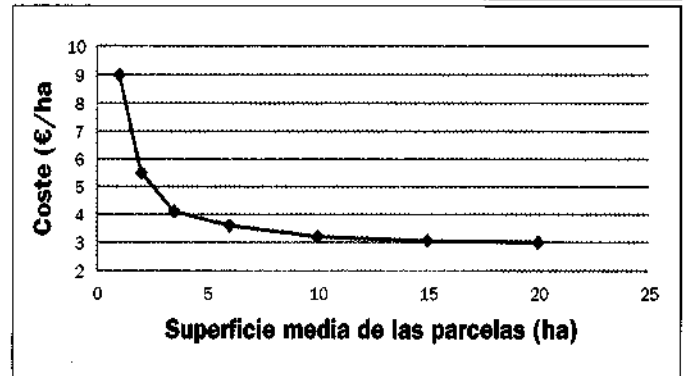


FIGURA 3.

Evolución del coste de elaboración de mapas de producción al variar el tamaño medio de las parcelas (Basso y col. 2007).



- Pérdida de señal del GPS: lamentablemente no es imposible que durante el trabajo se pierda temporalmente la señal de los satélites, la corrección diferencial o ambas; poco se puede hacer en estos casos más que almacenar datos sobre totales cosechados, excepto en algunos sistemas de guiado que pueden estimar la trayectoria de la máquina sin necesidad de GPS.

Costes de elaboración de mapas

Si bien se han hecho diversos estudios de costes y rentabilidad en todo el mundo (como el de R. Godwin en el Reino Unido, 2000) traemos aquí el presentado por los italianos B. Basso y colaboradores (2007), por ser más cercano a nuestras condiciones.

Para calcular el coste en el caso de la elaboración de mapas hay que tener en cuenta:

- Adquisición: el conjunto de sistemas necesarios para poder hacer mapas puede suponer un sobrecoste de un 3% en cosechadoras de cereal pequeñas, o estar incluido en el precio en las de gama alta.
- Formación de los empleados: contabilizando tanto el gasto en cursos de formación como el tiempo invertido, puede suponer un 10% del coste total.
- Reparaciones: en el **cuadro I** se muestra un ejemplo de horas de mantenimiento en una cosechadora de cereal, a lo largo de su vida útil (estimada en 5 años).
- Calibración y mantenimiento: se ha estimado un 5% de la mano de obra necesaria para el mantenimiento habitual de

Cuadro II.

Parámetros utilizados para calcular las curvas de costes de elaboración de mapas (Basso y col. 2007)

Parámetro	Valor asignado
Anchura de la barra de corte	7,2 m
Velocidad de avance	4-6 km/h
Rendimiento efectivo (*)	0,50-0,75
Vida útil	5 años
Capacidad de la tolva	10 t
Producción media	5-10 t/ha
Jornal de los operarios	11 €/h
Monorarios del responsable	12-20 €/h
Utilización anual	100-450 h/año
Superficie media de las parcelas	1-20 ha

* El rendimiento efectivo es la relación entre el tiempo efectivo de trabajo y el tiempo total, y es un indicador de la organización de las tareas que intervienen en la recolección.

- la máquina (60-80 h/año).
- Utilización: debe comprender tanto el tiempo empleado en la toma de datos como el necesario para generar el mapa; en el **cuadro II** se indica un rango de uso anual entre 100 y 450 h/año, junto con otros parámetros empleados para calcular los costes de las **figuras 2 y 3**.

¿Hay lugar para el ahorro?

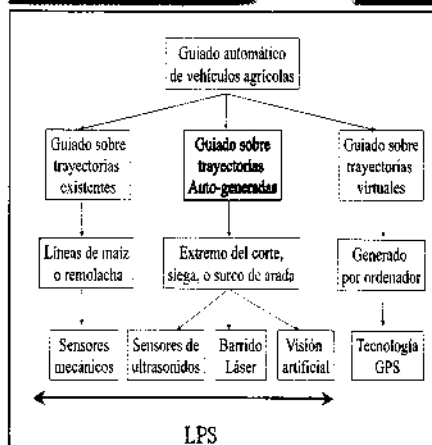
Varios de los componentes usados para hacer mapas (el monitor/terminal, el GPS) pueden ser desenganchados de la cosechadora y empleados en otras tareas a bordo del tractor o de otra cosechadora, con lo que sus horas de uso aumentarán y será más fácil amortizarlos.

Pero retomando la cuestión que planteábamos ¿es posible ahorrar costes empleando técnicas de agricultura de precisión en la cosecha? Una posibilidad actualmente son los sistemas de guiado. En otras labores agrícolas las ayudas al guiado o los sistemas de autoguiado, aparte de aumentar el confort del operario, permiten evitar solapamientos en pasadas consecutivas. En el caso de las cosechadoras, además es significativo el mejor uso de la anchura máxima de trabajo de la máquina que se consigue, con lo que aumenta la capacidad de trabajo efectiva y disminuye el tiempo de cosecha. Diversos estudios cuantifican este ahorro en un 5-10%.

Los sistemas empleados para autoguiado de cosechadoras se resumen en la **figura 4**. En general pueden ser de dos tipos: sistemas de posicionamiento global (GPS) o sistemas de posicionamiento local (LPS) que

FIGURA 4.

Tipos de sistemas de autoguiado en cosechadoras.





Uno de los elementos clave en la agricultura de precisión es el monitor de control y grabación de datos, bien sea con un sistema o estándar o bien con un terminal virtual, que integre la señal de todos los sensores y la almacene para poder representarla y estudiarla posteriormente.



aprovechen características del cultivo o del terreno para definir la trayectoria. En cosechadoras de grano es frecuente emplear sensores en los extremos del cabezal (láser, de ultrasonido, etc.) para detectar el límite entre lo segado y no segado, y corregir la dirección para que el extremo de la plataforma se ajuste siempre a la anchura máxima. En cosechadoras de forraje se emplean cámaras o sensores de barrido para ir detectando los cordones de heno. En cosechadoras trabajando en líneas es tradicional el uso de palpadores mecánicos que van "tocando" partes cercas del cultivo y ajustan la dirección.

La integración de señales y sistemas

Hoy en día las cosechadoras están dotadas de muchos más sistemas de control y sensores electrónicos, aparte del autoguiado. Además de todo el equipamiento para

monitorización de los parámetros de funcionamiento del motor, las cosechadoras cuentan con sistemas de autonivelación del cabezal, de los órganos de trilla y separación, sensores de esfuerzo de sus componentes (cilindro trillador, cabezal de picado, elevadores, sacudidores, transmisiones, ejes diversos, etc.), de regímenes de giro, sensores de pérdidas de grano, etc.

Hace tiempo que los fabricantes se dieron cuenta de que la integración de la información generada por todos estos sistemas podía conducir a un uso más inteligente de las máquinas, mejorando su eficiencia y permitiendo automatizar en gran medida su regulación durante la cosecha. Así, en algunos casos esto ya es una realidad y hay en el mercado cosechadoras que ofrecen sistemas capaces de monitorizar sobre la marcha la carga de trabajo de los órganos de cosecha

(corte, trilla, separación, etc.) y compararlos con la carga del motor. En cada instante se comprueba si la máquina está desperdiciando capacidad de trabajo, y se aumenta la velocidad de avance para optimizar la cosecha. Si se detecta que la máquina está sobrecargada, se vuelve a disminuir automáticamente la velocidad de avance para superar el punto crítico. En un caso ideal de funcionamiento, el operario debería poder programar el sistema para elegir el criterio de optimización que prefiere: disminuir el consumo en gasóleo, disminuir el tiempo empleado en cosecha o disminuir las pérdidas de producto.

Según datos obtenidos por la Universidad de Weihenstephan (2006) con cosechadoras John Deere dotadas de los sistemas Autotrac y HarvestSmart, se consiguen aumentos de la capacidad de trabajo efectiva (t/ha) de un 26%.