

Viticultura de precisión, integración de sensores en vendimiadoras

Con un sensor inductivo podemos conocer la capacidad de trabajo de la máquina y su eficiencia

Desde hace casi un año, la empresa Intrac, Bodegas Torres y el Laboratorio de Propiedades Físicas y Técnicas Avanzadas en Agroalimentación, perteneciente a la Universidad Politécnica de Madrid, están trabajando en la implantación de sensores de calidad y de rendimiento en vendimiadoras. El principal objetivo es generar una herramienta para éstas, que permita incrementar el nivel de información y de datos que afectan a la producción y calidad final de la uva para mejorar el manejo del cultivo.

Rosa Bastida González. Ingeniera agrónoma.
Luis Ruiz García. Ingeniero agrónomo.

para crear mapas de fertilidad de la finca. Asimismo, se realizan observaciones y seguimientos del ciclo fenológico del cultivo con el fin de incluir cualquier información relativa al mismo que pueda influir en el rendimiento y calidad final de la cosecha, en la base de datos del viñedo. Estas técnicas presentan bastantes problemas de sesgo, ya que los puntos de muestreo se realizan en lugares convenientes para el recolector y se pueden sobre o subvalorar las áreas de influencia de factores que están afectando al cultivo. Sin embargo, la viticultura de precisión puede aportar mucho más al agricultor y al enólogo de lo que hoy en día aporta.

► Nuevas tecnologías aplicadas a la vendimia

Vendimiadora utilizada durante los ensayos.



La mecanización en la recolección de la uva para vinificación se está imponiendo en España desde la introducción de las primeras vendimiadoras a mediados de los años noventa. Por otra parte, las técnicas informáticas, electrónicas y de comunicación que se integran en la llamada "agricultura de precisión" hacen posible una gestión de insumos ajustada a las necesidades reales de cada subparcela dentro de una parcela. Existen sensores susceptibles de aportar información útil al viticultor (estado nutricional de la vid, incidencia de enfermedades, fertilidad del suelo, humedad, calidad de la uva), aunque requieren ser adaptados para poder integrarse en los monitores de rendimiento y así poder obtener los respectivos mapas. Desde hace casi un año, la empresa Intrac, Bodegas Torres y el Laboratorio de Propiedades Físicas y Técnicas Avanzadas en Agroalimentación (www.lpftag.upm.es), perteneciente a la Universidad Politécnica de Madrid, están trabajando en la implantación de sensores de calidad y de rendimiento en vendimiadoras. El principal objetivo es generar una herramienta para éstas que permita incrementar el nivel de información y de datos que afectan a la producción y calidad final de la uva para mejorar el manejo del cultivo.

Instalación de los sensores en la máquina

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco de un proyecto PETRI denominado "Integración de sensores de calidad de la uva en monitores de rendimiento para vendimiadoras". Durante el primer año del proyecto se han instalado tres sensores en una vendimiadora que trabajaba en la región del Alt Penedès (Barcelona). Los elementos que se instalaron fueron: un sensor inductivo que detectaba la presencia de las tuercas insertas en la noria motriz de la cadena de cestillas de la máquina, un inclinómetro de dos ejes (X e Y) y un sensor de temperatura NIR sin contacto.

La viticultura de precisión, como aplicación de la tecnología y la filosofía de la agricultura de precisión al cultivo de la vid, es un campo poco desarrollado. Hasta ahora la mayoría de las actividades que se han realizado en este contexto se limitan a dividir un viñedo en cuadrículas y a efectuar en cada una de ellas una toma de muestras relacionando posteriormente los datos obtenidos con la posición geográfica que determina el receptor de GPS. Las muestras que se toman suelen ser de suelo (y en él se analizan las características físico-químicas)

CUADRO I. RESUMEN DE LOS TIEMPOS Y CAPACIDADES DE TRABAJO EN LAS PARCELAS VENDIMIADAS

Parcela	Distancia entre líneas	Nº líneas	Duración viraje (s)	Duración descarga (s)	Tiempo útil (s)	Tiempo total (s)	η	Vmedia en líneas (km/h)	St (ha/h)	Se = St · η (ha/h)
1	2,8	27	8,6+3,9	115+29,5	3.137	3.884	0,80	7,39	2,07	1,65
2	2,4	14	6,27+4,5	195,5+137,8	1.693	2.153	0,78	5,56	1,33	1,04
3	2,4	24	6,70+3,8	98+66,5	2.928	3.356	0,87	6,04	1,45	1,26
4 (a)	2,2	8	7,7+1,0	132+0	1.602	1.780	0,90	4,74	1,04	0,93
4 (b)	2,2	17	5,85+2,1	333+312,5	2.859	3.607	0,79	6,47	1,42	1,12
5	2,6	53	12,45+10,8	210,8+105,7	10.547	13.178	0,80	5,55	1,44	1,15

La información obtenida con los trabajos de campo se puede dividir en tres grupos:

- 1) Registros de los sensores.
- 2) Notas tomadas directamente durante los trabajos de campo.
- 3) Ortofotos descargadas de los servicios SigPac (Sistema de Identificación de Parcelas Agrícolas) e ICC (Institut Cartogràfic de Catalunya).

Aplicaciones informáticas para interpretar la información

Se han desarrollado dos aplicaciones informáticas que permiten extraer e interpretar la información recogida por los sensores. El primer programa identifica el tiempo asociado a cada inicio y a cada final de línea basándose en los registros del sensor inductivo. Éste detecta las tuercas en la noria de cestillas, la cual únicamente se mueve cuando el conductor de la máquina activa de forma manual el sistema de vendimia. De esta manera es posible determinar los períodos en que dicho sistema de vendimia está funcionando y, por consiguiente, se pueden identificar las líneas de cultivo. Además, la cadena de cestillas (que recogen las uvas arrancadas de la cepa) se mueve de forma sincronizada con la velocidad de avance de la máquina, por lo que esta información también puede utilizarse para determinar la velocidad instantánea de la vendimiadora, así como la distancia cubierta durante un determinado período de tiempo (figura 1).

El segundo programa (Parcela virtual) crea un mapa virtual de la parcela vendimiada utilizando la longitud de las líneas (calculada utilizando los tiempos de trabajo y la velocidad de la máquina) y la distancia entre ellas (marco de plantación). El programa permite realizar un promedio de los datos obtenidos a lo largo de una línea. Además es posible cargar sobre dicha parcela virtual cada una de las variables medidas con los sensores como si fueran distintas capas de información que se van superponiendo.

Datos recogidos e interpretados

En el cuadro I podemos observar el número de líneas, así como el tiempo dedicado a virajes y descargas. Con estos datos podemos calcular la capacidad de trabajo teórica (St) y efectiva (Se). Un importante resultado del análisis de estos datos es que la capacidad de trabajo teórica está comprendida entre 1,07 y 2,04, mientras que las capacidades de trabajo reales permanecen entre 0,93 y 1,65. Estos valores son altos y revelan un buen comportamiento de la máquina.

La información que se obtiene de la utilización del programa Parcela virtual se representa en una serie de mapas de color, todos ellos con una forma aproximada a la parcela real.

Los dos primeros gráficos (figura 2) muestran la localización de los datos a lo largo de una línea, así como el número de registros promediados cada 10 m. Es importante destacar cómo el eje

Y abarca valores de 0 a 900 en el gráfico de la izquierda (sin promediar), mientras que el rango de este mismo eje para el gráfico de la derecha va desde 0 a 90 únicamente (datos promediados)

FIGURA 1.
Velocidad de la cadena de cestillas.

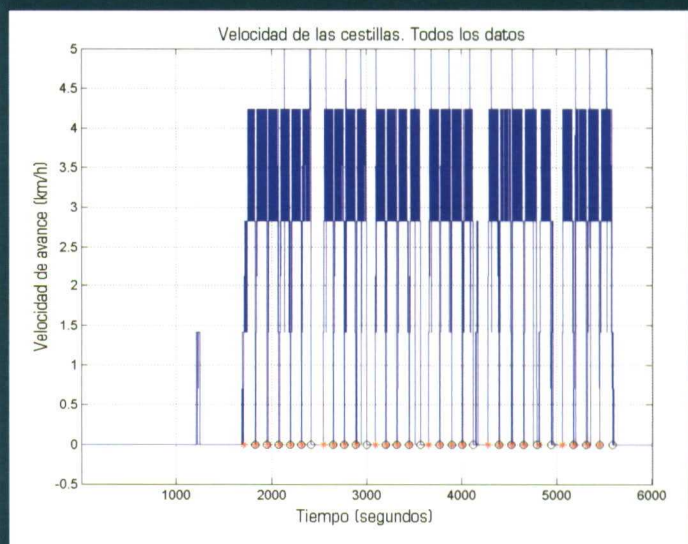
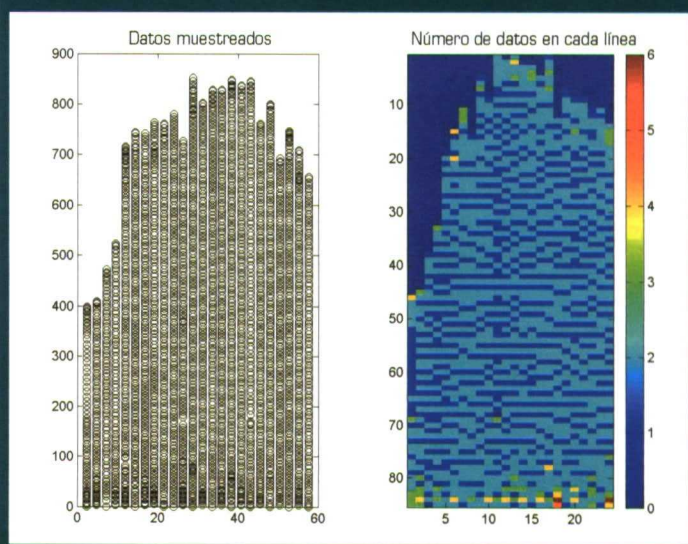


FIGURA 2.
Gráficos obtenidos con el programa *Parcela virtual* de la parcela Cal Lluís.



cada 10 m). El gráfico de la derecha indica que los valores de registros promediados para 10 m más frecuentes están entre 1 y 2. Este hecho revela que la frecuencia de muestreo no alcanza el valor esperado y debería incrementarse hasta 5 Hz (máximo posible con el sistema de registro de datos actual) con el fin de obtener una medida cada 2 m.

La **figura 3** muestra un mapa de velocidad de trabajo en el cual los valores varían entre 2-4 km/h al comienzo de las líneas, alcanzando los 6 km/h en la zona media de la línea. Asimismo, en esta figura también se muestra el mapa de temperaturas de la parcela, en el cual algunas zonas, como el centro de la parcela y las líneas que aparecen en el borde izquierdo del gráfico, tienen temperaturas mucho más altas que el resto. Las diferencias de temperatura en esta parcela se deben, seguramente, al efecto de la radiación solar que incide más directamente sobre racimos de plantas con poco desarrollo de hojas y en viñas de los laterales de la parcela (**figura 4**). La pendiente longitudinal aparece represen-

FIGURA 3.

Cuatro mapas de color con información de los sensores obtenida con el programa *Parcela virtual* en la parcela Cal Lluís.

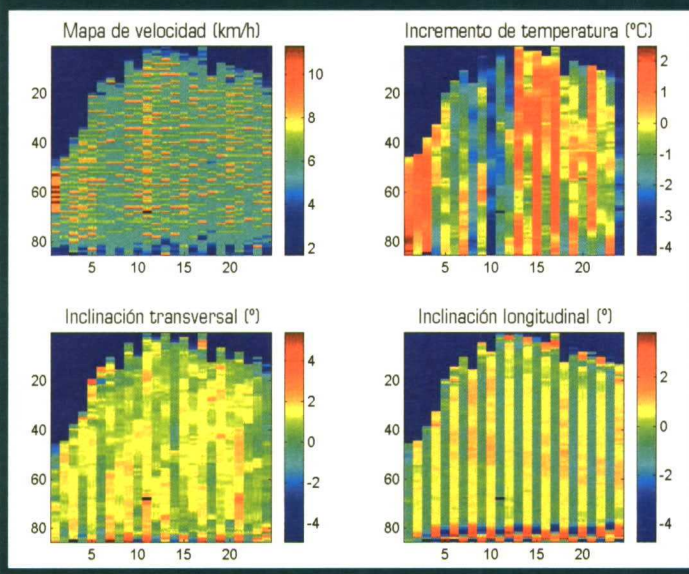


FIGURA 4.

Ortofoto de la parcela Cal Lluís.

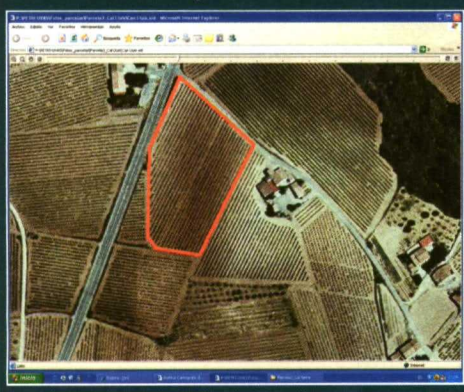
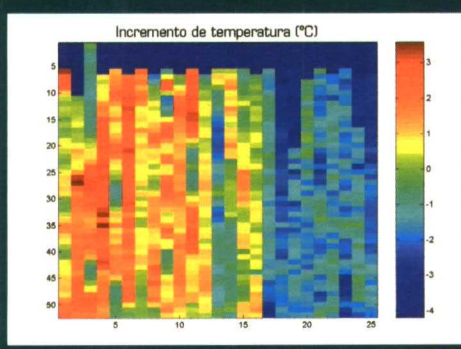


FIGURA 5.

Incremento de la temperatura de vendimia en la parcela Cal Tort.



tada como bandas de colores alternos. Esto se debe a que existen signos contrarios en los registros de inclinación de la máquina en las idas con respecto a las vueltas (a la ida subía una pendiente, a la vuelta la bajaba). Estos datos podrían utilizarse junto con la ortofoto de la parcela para construir una representación del viñedo en 3D.

Otro ejemplo de variación de temperatura es el que aparece en la **figura 5**. Se trata de un viñedo que comenzó a recogerse a primera hora de la mañana pero tan sólo se cosechó durante media hora y hubo que parar a causa del rocío. Una hora más tarde, la uva estaba más seca y se pudo continuar con la vendimia. La figura muestra cómo se produjo un calentamiento del viñedo mientras se paró el trabajo.

Conclusiones

La principal conclusión extraída de los trabajos de este año es que es posible conocer la capacidad de trabajo de la máquina y su eficiencia utilizando únicamente un sensor inductivo. Además, se pueden obtener mapas virtuales de las parcelas vendimiadas y en ellos se puede georreferenciar información con la ayuda de las ortofotos. Es necesario utilizar una antena GPS para conocer en todo momento la posición de la vendimiadora. Estos datos se compararán con los obtenidos por medio del sensor inductivo para corregir problemas en la identificación de finales de línea.

Con el fin de incrementar el número de datos recogidos y acercarnos a un sistema de información planta a planta, se va a aumentar la frecuencia de muestreo a 5 Hz.

Los viñedos analizados muestran gran variedad en sus características topográficas (pendientes transversal y longitudinal); el conocimiento de este aspecto ha sido posible gracias al uso de un inclinómetro que funcionaba mientras la máquina realizaba su trabajo. Además, la medida de la temperatura de la uva es una importante información que, junto con los datos topográficos, permitirá desarrollar un patrón de cada parcela con vistas a identificar zonas de erosión, ya que muestra aquellas partes de la misma en que las cepas están menos desarrolladas. La temperatura de los racimos también muestra variaciones relacionadas con patrones espaciales que indican recursos importantes para el cultivo, más relevantes que la pendiente del terreno. Este aspecto se estudiará con más profundidad en las próximas campañas.

A pesar del alto grado de innovación y de las ventajas que supone la monitorización de la vendimia mecanizada, ya se han detectado nuevas necesidades, entre otras, la obtención de información acerca del contenido en azúcares del mosto y de un conocimiento más preciso del rendimiento del cultivo. Desde hace tiempo se ha especulado sobre la posibilidad de aplicar los refractómetros en las máquinas vendimiadoras junto a otras tecnologías del ámbito de la agricultura de precisión (GPS, GIS, células de carga, monitor de rendimiento, etc.). Su uso haría posible trazar mapas de °Brix y mapas de rendimiento de los viñedos, ejerciendo *a posteriori* una viticultura diferencial a cada zona de la parcela ('terroir' o 'pago'). El control que se podría ejercer sobre vides individuales sería mucho mayor que el actual, lo que repercutiría también en la calidad del vino final. ■