

Un futuro, no muy lejano, de brazos robotizados y espectrofotómetros NIR para la recolección selectiva de cada cepa

De la vendimia mecanizada a la mecanización total del viñedo

En este artículo se realiza una breve revisión de la evolución de las vendimiadoras desde su aparición en Estados Unidos en 1963; ofreciendo un histórico del parque de vendimiadoras automotrices en España desde su incorporación en la década de 1990, así como las claves para la selección de la vendimiadora más ade-

cuada y el ajuste de sus parámetros de trabajo. Además, se muestra el concepto de mecanización total del viñedo de acuerdo con el procedimiento Morris-Oltridge y su efecto sobre el territorio, para terminar con una especulación sobre el aspecto que podrían presentar los viñedos en los próximos cincuenta años.

Pilar Barreiro.

Profesora Titular
Dpto. Ingeniería Rural. ETSI Agrónomos
Universidad Politécnica de Madrid

El desarrollo de la vendimia mecanizada ha implicado desde sus comienzos el desarrollo de nuevos sistemas de entutorado y de manejo de la masa foliar de la vid, así como la evaluación de la idoneidad de las variedades en función de las propiedades de desprendimiento de los racimos y bayas. Los primeros esfuerzos organizados orientados a la mecanización de la vendimia comenzaron en la Universidad de California Davis en 1953 con un propuesta de máquina acoplada al lateral del tractor materializada finalmente en 1963 y consistente en una barra de corte para recoger racimos enteros en una configuración de vid en espaldera en T (T-trellis) en la que la zona de fructificación se encontraba inmediatamente por debajo de del primer cable de sujeción de la vid, empleado como guía para el corte. En 1957, en cambio, la

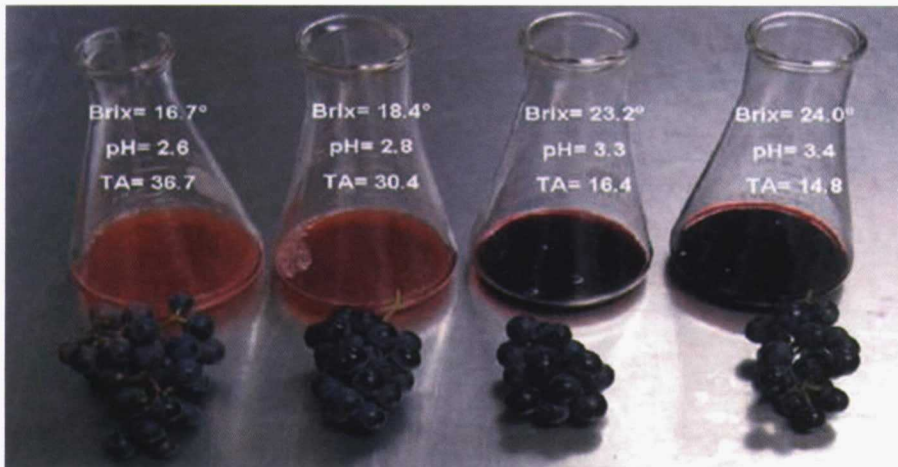
Universidad de Cornell puso en funcionamiento el primer sistema de recolección basado en vibraciones verticales de baja amplitud y alta frecuencia aplicadas en la parte baja del cordón de sujeción de la vid en espaldera siguiendo un proceso de entutorado denominado GDC (Geneva Double Curtain).

En 1964, de nuevo la Universidad de California Davis propone un nuevo sistema de entutorado denominado genéricamente Duplex que divide la vid en dos zonas: una vegetativa en la parte alta y otra de producción en

la parte inferior colocada paralela al cable de sujeción de la vid, y sobre él propone el empleo de un sistema de impacto hipocicloidal que permitía la recolección de racimos completos y fragmentos de racimo al provocar la rotura del pedúnculo del racimo en variedades de pedúnculo frágil. En 1967 la compañía Chisholm-Ryder propone la primera máquina autopropulsada sobre las vides, basada en vibraciones horizontales que permitía su utilización en la mayor parte de los sistemas de entutorado existentes en la época.



La vendimia mecanizada provoca el desprendimiento de las bayas individuales.



Calidad de los racimos de segunda cosecha (dos primeros a la izquierda) comparado con los racimos en sazón de la primera vendimia (dos últimos por la derecha). Fuente: Iowa State.

Los primeros análisis mostraron que los sistemas de impacto vertical no ofrecían grandes ventajas sobre los sistemas de vibrado horizontal, mientras que estos últimos minimizaban el desprendimiento de racimos y favorecían el desprendimiento de bayas aisladas.

La necesidad siempre lidera la mecanización y así, en la década de 1979 la crisis de mano de obra que experimentó Francia aceleró la importación de tecnología desde Estados Unidos, convirtiéndose en un nuevo polo de desarrollo con la aparición de máquinas vendimiadoras de empresas emblemáticas en el sector Braud (primer modelo comercializado en 1975, actualmente New Holland) y Gregoire (primer modelo en 1978), incorporándose en vendimiadoras Pellenc más tardíamente (inicios de los 90).

Las vendimiadoras se han empleado desde sus inicios tanto para uva para vinificación como para pasificación, desarrollándose conjuntamente en este último caso los sistemas de secado en la viña (DOV, *dried-on-vine*, naturalmente dry on the vine, NDOV). Además de los mencionados procedimientos de vibrado vertical y horizontal sobre el cordón, una cuarta tipología de máquinas propone el vibrado de troncos de las viñas entutoradas. De todos estos procedimientos, el que en la actualidad es mayoritariamente empleado es el vibrado horizontal de los sarmientos.

Adaptación del cultivo a la mecanización

Tal y como se ha mencionado, la mecanización exige la adaptación del cultivo alterando las operaciones agrícolas y su calen-

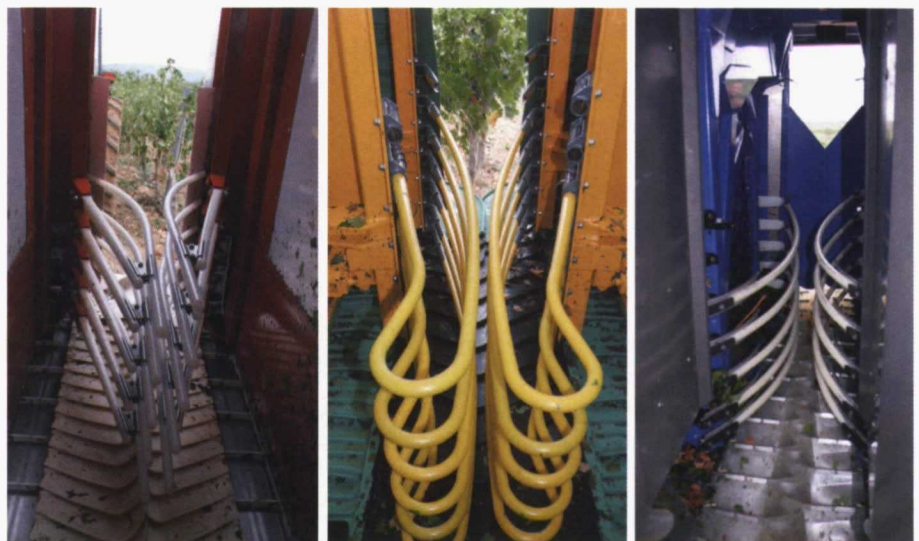
dario especialmente en lo que atañe a la poda, atado, posicionamiento de yemas, eliminación de hojas y manejo de la masa foliar en general. Se presta especial atención al espaciado de las viñas (entre y dentro de las líneas, así como su alineación), altura de las viñas, presencia de obstáculos en la parcela y condiciones del suelo (exceso de humedad, exceso de polvo).

Una vez más resulta imprescindible atender a la morfología de los racimos y la fuerza de adhesión de las bayas a éste, el desprendimiento de materiales distintos de las bayas (MOG, *Material Other than Grapes*) como peciolos, hojas, escobajos, e incluso elementos metálicos de atado; existencia de madurez agrupada y ausencia o eliminación de segundas cosechas (racimos con una

madurez retardada tres ó más semanas respecto al conjunto) y ausencia de podredumbres, aspectos de extrema importancia en la calidad final de la cosecha considerando una recolección indiscriminada por parte de las cosechadoras.

Situación actual de la vendimia mecanizada

Según Guerra (2008), la vendimia mecanizada supone un 100% del total en Australia, un 75% en Francia y apenas un 8% en Italia. En España, la mecanización de la vendimia comienza en los inicios de la década de 1990, tras la necesaria adaptación del sistema de cultivo. La evolución del censo de vendimiadoras automotrices muestra el comportamiento típico en la introducción de nuevo equipamiento, lento en sus inicios y en plena expansión en la actualidad, con un censo automotriz en 2008 de 1.156 unidades según el Anuario de Estadística agroalimentaria de 2008. Si ajustamos estos datos a una función logística (99,9% de fiabilidad), el parque de vendimiadoras podría estabilizarse ligeramente por encima de 1.500 unidades para 2015; el valor máximo esperable según el modelo de elaboración propia se situaría en torno a 1.542 unidades con un intervalo de confianza entre 1.431 y 1.653 (figura 1). Según datos no oficiales, en las comunidades autónomas españolas donde se ha iniciado la mecanización, la vendimia mecanizada supone entre un 15% y un 60% del total.



Conjuntos de varillas empleados en sistemas de vibrado horizontal.



Sistemas de despaillado: lineal (izda.) y rotativo (arriba).

Selección de la vendimiadora más adecuada

La gran mayoría de las vendimiadoras comercializadas trabajan sobre la base del vibrado horizontal del cordón, por tanto serán las más detalladas en este artículo. Estas máquinas pueden, en primer lugar, clasificarse en: arrastradas, autopulsadas y multifunción. Las primeras suponen el menor coste de adquisición y mantenimiento (en términos generales la mitad de las autopulsadas), están especialmente indicadas para superficies cultivadas inferiores a 25 ha (esta consideración depende del coste de la mano de obra local) pero tiene tres grandes inconvenientes:

- 1) El radio de giro que es muy superior a las máquinas autopulsadas debido a la mayor longitud del conjunto tractor-vendimiadora.
- 2) La dificultad de mantener correctamente alineada la máquina detrás del tractor en parcelas con pendientes transversales pronunciadas dado que la máquina tiende a deslizar lateralmente y puede provocar daños en el sistema de conducción de las viñas.
- 3) La mayor compactación del terreno cerca de las raíces de las cepas dado que el

análisis de costes (euro/ha) adecuado para el que se recomienda acotar el número de horas de utilización al año y considerar un periodo de amortización de la máquina de cinco años; su adquisición para los modelos más sencillos puede justificarse a partir de 50 ha (una vez más dependiendo del coste de la mano de obra local).

En este análisis, en todo caso se debe considerar asimismo el beneficio que se deriva de poder cosechar en el momento óptimo de maduración de la uva dada la elevada capacidad de trabajo de estas máquinas (1 h de trabajo mecanizado equivale al trabajo de una cuadrilla de diez personas en una jornada completa), la mejora en la logística de entrada de la uva en bodega dado que el flujo de uva se hace más constante, así como la menor dependencia de la disponibilidad de mano de obra estacional.

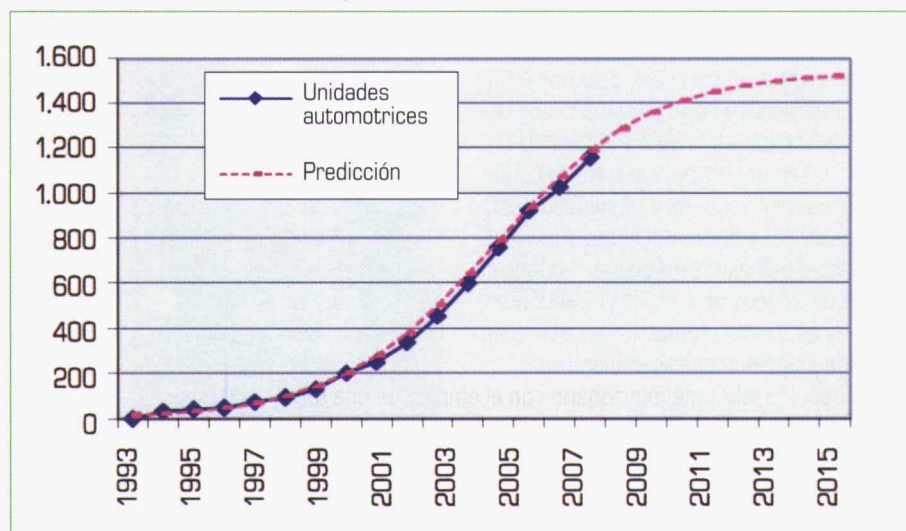
Un aspecto relevante en la selección de máquinas autopulsadas es la disponibilidad de tolva en la propia máquina (1.000 a 3.000 litros de capacidad) o la descarga lateral en un remolque que circule en paralelo con la vendimiadora. En general el primer tipo está especialmente recomendado para parcelas de reducido tamaño, mientras que el segundo se adapta mejor a parcelas de grandes dimensiones de manera que no hay que plantearse cuántas líneas son necesarias

tractor circula por el espacio intercepa con las ruedas próximas a las viñas. Se deben considerar además las restricciones derivadas de una elevada potencia a la toma de fuerza del tractor (al menos 75 CV, 56 kW).

Las máquinas autopulsadas (se ofertan en un rango de 100 a 175 CV, 75 kW-131 kW, en muchos casos de la generación de motores Tier III para el control de emisiones) tienen un coste adquisición sustancialmente superior que las arrastradas (más del doble) y por tanto resulta imprescindible realizar un

FIGURA 1.

Censo de vendimiadoras automotrices en España. Fuente: Anuario de Estadística Agroalimentaria 2008.



La línea discontinua indica las predicciones de crecimiento obtenidas empleando un modelo logístico (ajuste 99,9% de los datos experimentales). Fuente: elaboración propia.



Vendimiadora automotriz Pellenc.



Vendimiadora New Holland para distancias inter-cepa estrechas.

para llenar la tolva, ni la colocación del remolque de descarga ó incluso la necesidad de dos remolques en caso de que el número de líneas necesarias para llenar la tolva sea impar; en este caso es imprescindible que la distancia entre líneas permita la circulación del conjunto tractor-remolque para la descarga. Algunas marcas (Pellenc, New Holland) ofrecen para el caso de vendimiadoras sin tolva, un pequeño receptáculo de reciclado para el caso de que exista un obstáculo durante la circulación de la vendimiadora (un árbol, por ejemplo) de manera que la uva se almacena a bordo durante ese pequeño espacio de tiempo.

Un aspecto relevante relacionado con el empleo de una tolva en la vendimiadora es la elevación del centro de gravedad de la máquina (más sensible al vuelco) según las tolvas se van llenando. Esto es especialmente relevante en parcelas con elevadas pendientes, y en este sentido los sistemas de autonivelado de las máquinas son fundamentales.

Las máquinas multifunción son capaces de llevar a cabo una gran variedad de tareas: prepoda, pulverización, deshojado, ajuste



INDUSTRIAS DAVID S.L

Alta tecnología para sus viñedos y frutales



**azufradoras, deshojadoras, intercepas
alineadoras de leña, despuntadoras
distribuidores estiércol,
prepodadoras de viña en espaldera
prepodadora de árboles, cultivadores
tritadoras...**

P.I. Urbayecla II. Parcelas 28-30
C.P: 30510 Yecla-Murcia-España
tfn. (+34) 968 71 81 19 :: fax (+34) 968 79 58 51
e-mail: industriasdavid@industriasdavid.com

de la productividad (reducción del número de bayas por cepa), trabajo del suelo (pase de cultivador) cuando se dispone de los accesorios adecuados. En todos los sentidos estas máquinas son equivalentes a un tractor. En estos equipos es muy relevante que las conexiones hidráulicas y mecánicas estén centralizadas de manera que la operación de acoplamiento y desacoplamiento pueda ser llevada a cabo por una sola persona en tiempo reducido (10 minutos). Recientemente han aparecido en el mercado vendimiadoras multifunción autopropulsadas para distancia intercepas reducidas (hasta 1,2 m). Por otra parte, en máquinas a emplear en la aplicación de tratamientos fitosanitarios, las características de los filtros de aire de cabina son de especial relevancia.

Otros aspectos decisivos en la selección de las máquinas autopropulsadas y multifunción son la capacidad de auto-alineación del cabezal de vibración, la existencia de transmisión continua, control de velocidad de cruce, el tipo de neumáticos y el control de deslizamiento de las ruedas (mediante sensores de velocidad de avance real), máximo ángulo de giro de la dirección y frenado individual de las ruedas para reducir el ángulo de giro, sistemas de engrasados centralizados (automatizados en altas gamas), limpieza semiautomática de la máquina, facilidad de acceso a filtros de aire, calidad del acero inoxidable de las tolvas para reducir residuos, existencia de tomas de fuerza adicionales, y otros accesorios como despalladoras.

De acuerdo con Marc Paisel (Pellenc America, 2008) la siguientes generaciones de vendimiadoras mejorarán los sistemas de clasificación en la máquina empleando sistemas de visión y procedimientos robotizados.

Ajuste de los parámetros de la vendimiadora

Los ajustes principales de las vendimiadoras refieren al número y disposición de las varillas de vibrado, la apertura del cabezal de vibración para adaptarse al desarrollo foliar de la planta (manual o automático, según los modelos), la amplitud y la frecuencia de vibrado y la velocidad de avance. Especialistas en el uso de estas máquinas indican que el resultado final es un 35-40% achacable a la máquina propiamente dicha, mientras que el restante 65-60% es debido, a partes iguales, al operador y la buena disposición de las viñas para la mecanización. En general, a la hora de ajustar estos parámetros se recomienda prestar más atención a las cepas que a los racimos, dado que es fundamental para no comprometer producciones en años sucesivos.

El número de varillas de fibra de vidrio que se emplean en los sistemas de vibración horizontal oscila entre cuatro y seis y han de ajustarse en altura justo por encima de la zona de producción, se trata de vibrar sin golpear.

Cuando se emplea baja amplitud y alta frecuencia la recolección de bayas es total, si existen problemas de podredumbre avanzada (muy bajo peso de las bayas) puede ser interesante aumentar la amplitud y disminuir la frecuencia de manera que sólo las bayas más pesadas e incluso racimos completos se desprendan, aunque esta recomendación es incapaz de evitar frutos con *Botrytis* en sus estados iniciales. En variedades como blancas y otras como Pinot Noir donde una cierta cantidad de escobajos es importante en la fermentación, estas recomendaciones pueden también ser tenidas en cuenta. El ajuste adecuado de las máquinas puede también reducir, aunque no evitar, los problemas de segundas cosechas basándose en las diferencias en fuerzas de desprendimiento en las uvas de racimos de primera y segunda cosecha.

Conviene establecer la diferencia entre los sistemas de vibrado con varillas horizontales revisado hasta el momento y el procedimiento de vibrado de troncos que en algunas compañías (AIM, AGH y Vinestar) se ofrece combinado con el anterior para viñedos con cepas viejas en las que el tronco de mayor consistencia ofrece una mayor oposición en el procedimiento de vibrado horizontal.



Foto izquierda: Vendimiadora Gregoire arrastrada.

Abajo: Primer modelo comercializado por Deutz-Fahr para la vendimia mecanizada.



Por otra parte, conviene recordar que aunque marginales se comercializan también máquinas para la recolección de uva en emparrado (Pasquali), y vendimia con procedimiento de vibrado vertical (Trinova, aún en proceso de mejora en Italia).

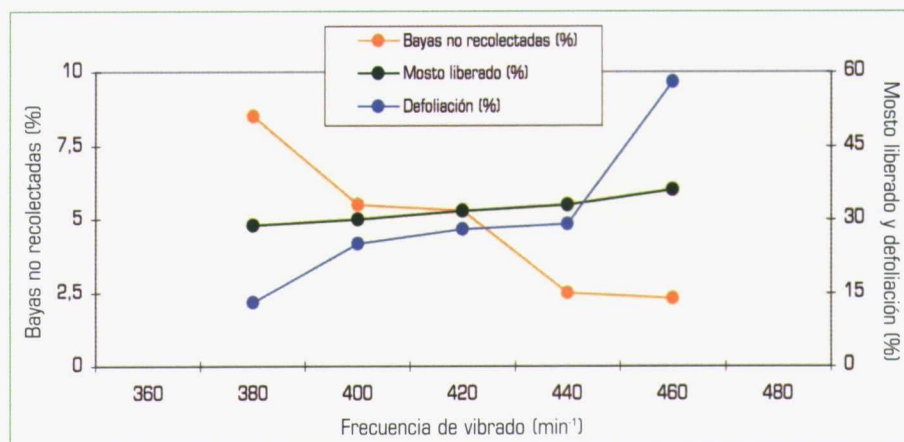
La posibilidad de cosechar por la noche cuando la temperatura de la uva está más controlada es otra de las ventajas de la vendimia mecanizada que en variedades como Bordeaux roja puede ser fundamental.

En abril de 2009 se ha publicado en la revista científica Biosystems Engineering un interesante estudio sobre la transmisión de vibraciones en cepas de la variedad Lambrusco Grasparossa recolectadas con una New Holland VL6060, así como el análisis de pérdidas (bayas no recogidas, mosto liberado y retenido en la vegetación, o expulsado por el sistema de limpieza) en función de los parámetros de ajuste de la vendimiadora (frecuencias de vibración de 380 a 460 min^{-1}). Los principales resultados indican que la transmisión de vibración a la planta solo alcanza el 100% para las frecuencias más altas, y que las pérdidas de bayas en el suelo no están influenciadas por la frecuencia de vibración sino por las características de constitución de la máquina y de la viña. A mayor frecuencia de vibrado disminuye el número de frutos no recolectados mientras que aumenta el mosto liberado y sus pérdidas, así como el número de hojas desprendidas (**figura 2**). La mejor regulación por tanto es aquella en que se minimizan ambos aspectos que en este estudio se correspondió con 440 min^{-1} . Los autores advierten que las pérdidas debidas a fruto no recolectado fácilmente visualizadas, tienden a favorecer el uso de frecuencias excesivas dado que las pérdidas de mosto no son evidentes.

En máquinas a emplear en un gran número de viñedos con distintas variedades y densidades de follaje, conviene disponer de ven-

FIGURA 2.

Pérdidas en vendimia mecanizada en función de la frecuencia de vibración.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Pezzi y Caprara, 2009.



dimiadoras capaces de almacenar una variedad de programas ajustados a las distintas configuraciones. Algunas de las máquinas que están en el mercado permiten almacenar más de veinte y son ideales para casos de servicios a terceros o propiedad por parte de la bodega.

Mecanización total de los viñedos

Desde hace 35 años la Universidad de Arkansas ha estado trabajando en el concepto de mecanización total del viñedo que reduce al mínimo las necesidades de mano de obra durante todo el proceso productivo en campo (22% comparado con el procedimiento habitual). En 2002 ha obtenido la patente para el sistema Morris-Oltridge de mecanización total, que detalla la maquinaria apropiada y su calendario de utilización para hasta doce sistemas de entutorado distintos. El sistema hace uso de hasta cuarenta máquinas y accesorios y está basado en procedimiento de ajuste y ba-





Izquierda: Maquinaria empleada en el sistema vMECH para reducir la carga de frutos y ajustar la productividad superficial deseada (fruit thinning).

Fuente: Oxbo International.

Derecha: Robot de poda comercializado por la empresa Vision Robotics de California.

Fuente: (<http://visionrobotics.com>).



lance de la producción de manera que se eviten los problemas de pérdidas de producción debido a heladas primaverales y otros agentes meteorológicos inesperados. Los tres pasos fundamentales para obtener el balance de producción son la poda mecanizada (dejando hasta un 200% de la producción final esperada), la reducción mecanizada de exceso de brotes (hasta alcanzar un 130% de la producción esperada) y el ajuste final de la producción mediante eliminación controlada de frutos (hasta 100% de la producción deseada). La empresa Oxbo ha adquirido la licencia para comercializar el sistema Morris-Oldridge con la denominación vMech. Este procedimiento ha demostrado en experimentos controlados en Estados Unidos sobre más de 750 ha que es capaz de ajustar la producción con más exactitud que los procedimientos tradicionales.

Efecto de la mecanización sobre el territorio

Un aspecto que se ha discutido recientemente es hasta qué punto la mecanización total del viñedo modifica el territorio y la ecología del vino, es decir, hasta qué punto la calidad final del vino que ha dado lugar a las denominaciones de origen y que es el resultado de la interrelación del cultivo, suelo, clima, localización de las viñas, densidad de plantación, sistema de cultivo y manejo, filosofía de poda, medio cultural y social, se ve afectada por el proceso de mecanización total. En un artículo publicado en 2007 en la revista Internet Jour-

nal of Enology and Viticulture (www.infowine.com), Stefano Poni explica con detalle cómo el proceso de mecanización total, lejos de degradar el territorio, puede fortalecerlo; favorecer sus peculiaridades al permitir adaptar de forma diferencial las prácticas culturales según el potencial productivo de las distintas áreas.

El autor defiende que una poda reducida durante la parada vegetativa corregida posteriormente en verde de forma diferencial, según la fenología y las particularidades de la campaña, junto con una adaptación de la cuantía de hojas eliminadas, puede ser particularmente efectiva en el mantenimiento de las características del territorio y en la calidad de la uva final especialmente en lo que refiere a la acidez.

En este estudio se compara la calidad de la uva final en viñas que se han mantenido con siete u once hojas principales (de manera que se garantice la deseada relación de 1 m² de superficie foliar por cada kg de uva), comparadas con masa foliares intactas. Se describe el efecto de la eliminación de las hojas sobre la exposición solar de los racimos, la circulación de aire, y la actividad fotosintética, y más que conclusiones finales se indica la posibilidad de controlar y registrar las prácticas mecanizadas para su posterior interrelación con mapas de rendimiento. El autor concluye que el sistema de entutorado y la mecanización lejos de debilitar el territorio pueden favorecer sus peculiaridades mediante un manejo adaptado a cada entorno.

Cómo serán los viñedos mecanizados dentro de cincuenta años

En 2006, Richard Smart (Smart Viticulture, Tasmania, www.smartvit.com.au) presentó en el VI Simposio Internacional de Viticultura y Enología ICCS en Nueva Zelanda, una inspira-

dora ponencia en la que especuló sobre un posible escenario para la viticultura mecanizada en el año 2056.

Según este autor, la viticultura se estaría desplazando paulatinamente desde su emplazamiento actual a zonas más frescas, incorporándose nuevas variedades. La amplia difusión de los sistemas GPS/GIS habría permitido incorporar máquinas inteligentes con capacidad de toma de decisiones a nivel local, empleando para ello una batería de sensores y actuadores. Las grandes máquinas serían sustituidas por unidades de reducido tamaño con elementos robotizados tanto para la configuración de la planta, como para la poda, el deshojado y el manejo del suelo y vegetación arvense. El concepto de recolección selectiva sería retomado a nivel de cepa empleándose espectrofotómetros NIR para la toma de decisiones sobre la idoneidad de la recolección, empleándose brazos robotizados y múltiples receptáculos para clasificar las uvas en campo según su calidad. El autor especula con la existencia de vinos varietales de hasta cincuenta variedades distintas alcanzándose una diversidad superior a la existente en 1850. Indica unas necesidades de mano de obra de 65 h/ha y una maquinaria adaptada a las cepas en lugar de unas cepas adaptadas a las máquinas. ¿Podemos imaginarlo? La empresa visión robotics en California (<http://visionrobotics.com>) presentó en marzo de 2009 una primera versión de un robot de poda cuyo funcionamiento puede ser observado en youtube.com. ●

Referencias

Existe una amplia bibliografía a disposición del lector a solicitar vía correo electrónico de la autora: pilar.barreiro@upm.es