

Mediciones topográficas en viticultura de precisión: sistemas de navegación por satélite (GNSS) y metodologías de trabajo en tiempo real (RTK)

En los trabajos de viticultura de precisión tan importante es realizar correctamente las mediciones topográficas que procedan, como utilizar un procedimiento de transformación de coordenadas lo más preciso posible. El presente trabajo tiene un doble objetivo: mostrar la mejora de precisión que se obtiene mediante la utilización de las redes terrestres de estaciones permanentes GNSS (Global Navigation Satellite System) para aquellas mediciones que requieren una precisión inferior a 0,5 m, y por otra parte, se aborda la conveniencia de utilizar el método de transformación de coordenadas de modelado de distorsión para evitar errores.



Ana García de Vicuña⁽¹⁾,
María Isabel Miguel⁽¹⁾,
Gonzalo López⁽¹⁾, M^a Paz Diago⁽²⁾,
Javier Baluja⁽²⁾, Javier Tardáguila⁽²⁾

⁽¹⁾ Consejería de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial. Gobierno de La Rioja ⁽²⁾ ICCV (Universidad de la Rioja, CSIC, Gobierno de La Rioja).

Durante la década de los años setenta se desarrollaron los primeros sistemas de navegación por satélite. En la actualidad, la densificación de las constelaciones y la evolución tecnológica tanto del propio sistema como de los métodos y algoritmos utilizados, permiten emplear técnicas de medición mucho más precisas y económicas.

Paralelamente a este desarrollo, la expansión geográfica de las redes de telefonía móvil y los modernos protocolos utilizados en éstas para la transmisión de datos, han reducido drásticamente los tiempos de latencia. Esto hace posible utilizar la telefonía como un vehículo para la transmisión de las señales GNSS desde el centro de producción hasta el receptor de medición en campo, con objeto de obtener una medición topográfica de gran precisión.

Esta disponibilidad tecnológica ha propiciado muy recientemente la aparición de redes terrestres de estaciones permanentes de recepción GNSS-GPS, que a partir de las señales recibidas de los satélites de navegación y mediante telefonía móvil, sirven los datos necesarios para realizar trabajos topográficos de precisión en cualquier punto de la geografía.

La consecuencia inmediata de la existencia de estas infraestructuras de medición, es

Figura 1

Localización de las estaciones permanentes GNSS en La Rioja ubicadas en Calahorra (CALH), Casalarreina (CASO), Cervera (CERV), San Román (SROM), Ventrosa (VTRO) y Logroño (RIOJ).



Foto 1. Levantamiento de los puntos de muestreo en el viñedo mediante un receptor Trimble 5700 (Trimble, California), y corregidos en tiempo real con la red GNSS de La Rioja.

un ahorro de equipamiento y tiempo además de una más que evidente mejora de precisión, ya que para realizar mediciones topográficas centimétricas en tiempo real, ya no es preciso realizar ningún trabajo previo, ni utilizar dos equipos receptores. Basta tan sólo con un receptor y un teléfono móvil.

Este desarrollo tecnológico y metodológico, así como el abaratamiento de costes que lleva parejo, ha favorecido el uso de este tipo herramientas de localización y posicionamiento en aplicaciones muy diversas, tales como la viticultura de precisión, que consiste en la gestión agronómica diferenciada del viñedo, considerando la variabilidad espacial del suelo, y por tanto del desarrollo vegetativo y productivo del viñedo (Tardáguila y Diago, 2008). Este nuevo concepto de agricultura representa nuevas estrategias de manejo orientadas a la obtención de mayor productividad y calidad minimizando el impacto ambiental (Proffitt *et al.*, 2006).

Herramientas de localización y posicionamiento

Metodologías de observación

La estimación de la posición mediante los sistemas de navegación por satélite (GNSS) realizada de forma autónoma y sin ningún

procesamiento posterior ofrece generalmente precisiones entre 5 y 15 metros (Kaplan y Hegarty, 2006). Dicha estimación depende tanto del número de satélites observados como de la posición geométrica de éstos en el espacio. Por otra parte no hay que olvidar que la precisión también puede verse incrementada por la denominada disponibilidad selectiva (S/A en su acrónimo inglés), que consiste en una degradación intencionada de la señal con el fin de evitar una elevada precisión de los receptores. La disponibilidad selectiva fue desactivada por EE.UU. el 2 de mayo de 2000, pero no existen garantías suficientes de que este error intencionado no pueda ser activado en determinadas circunstancias.

Dado que estas precisiones (entre 5 y 15 metros) resultan inadmisibles en determinadas aplicaciones, se han desarrollado procedimientos y metodologías de observación para mejorarlas, siendo posible alcanzar valores de precisión centimétricos mediante el empleo de equipos receptores de doble frecuencia y técnicas de medición diferencial.

Hasta hace algunos años las metodologías de mejora de precisiones, consistían en un posicionamiento relativo (respecto a una estación base) en modo postproceso, basado en la aplicación de un conjunto de correccio-

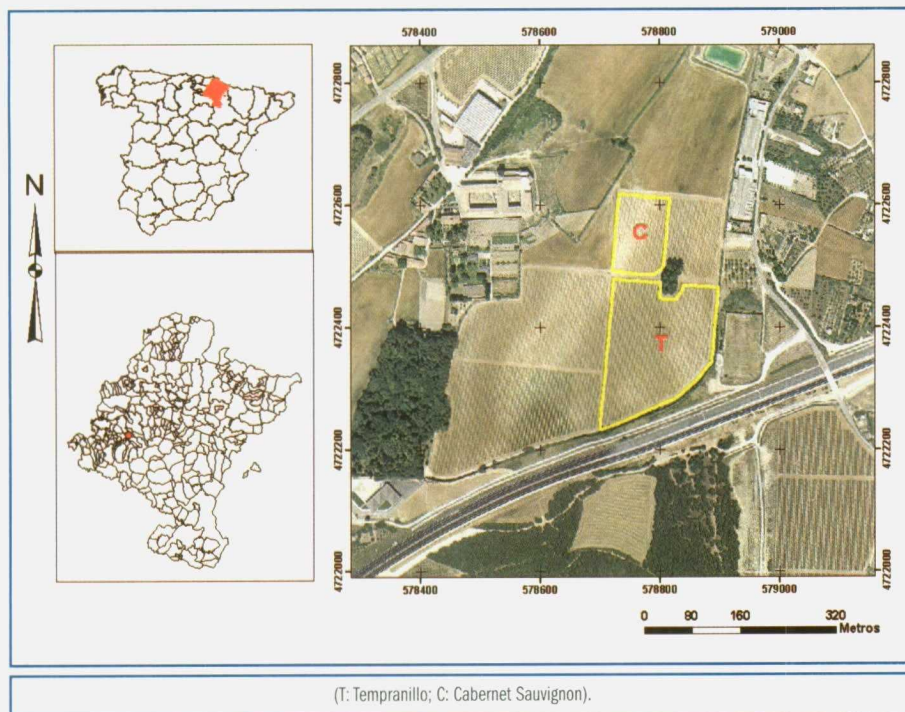
nes a las medidas ya realizadas en campo. Este tipo de procedimientos presentan ciertas limitaciones debido a la falta de homogeneidad en las mediciones y a la falta de cobertura global, siendo la precisión obtenida muy heterogénea ya que ésta varía en función de la distancia a la estación de referencia, siendo la distancia máxima de corrección para mediciones precisas en torno a los 25 km.

Para poder trabajar en tiempo real con precisión centimétrica en un ámbito determinado es necesario ubicar previamente en el entorno de trabajo una estación base con coordenadas precisas, capaz de conectarse mediante un radio-enlace con el equipo que realiza la medición. Por este motivo, este procedimiento requiere realizar un trabajo topográfico previo muy importante, suponiendo un gran coste de tiempo, equipamiento y personal.

Para poder superar las limitaciones en cuanto a la precisión que presentan los sistemas autónomos o el trabajo que supone tener que instalar una estación de referencia propia en el entorno de trabajo, recientemente se están poniendo en marcha en muchas áreas del territorio unas infraestructuras permanentes, dotadas de equipos receptores GNSS-GPS de doble frecuencia. Este tipo de

Figura 2

Localización del viñedo ubicado en Ayegui (Navarra).



infraestructuras, denominadas redes de estaciones GNSS de referencia son generalmente puestas en marcha por la Administración pública, siendo su misión proporcionar a los usuarios a través de telefonía móvil, un servicio de correcciones en tiempo real homogéneo y con cobertura global en grandes áreas.

En este tipo de infraestructuras, además se han diseñado diferentes metodologías de observación y de corrección en tiempo real, que consisten básicamente en la comparación entre las posiciones observadas y la posición de un punto de coordenadas conocidas (Valero, 2009). Estos procedimientos se denominan método de corrección diferencial DGPS (Differential GPS) y método de observación en tiempo real RTK (Real Time Kinematic).

El posicionamiento DGPS se basa en la transmisión de correcciones diferenciales desde las estaciones de referencia al receptor móvil, en el que se realizan los cálculos para la corrección de las observaciones, con el fin de mejorar la exactitud y precisión de la posición.

En el posicionamiento RTK clásico, las estaciones de referencia, ubicadas en el mis-

mo entorno de trabajo, envían al receptor móvil a través de un radio-enlace las observaciones originales junto con su posición. En el caso de las redes de estaciones de referencia, es un centro de control el que utilizando diferentes mecanismos de compensación para el conjunto de las estaciones que lo componen, ofrece diferentes tipos de soluciones locales y de red para crear, parametrizar y difundir las correcciones, lo que redundará en una mayor precisión y productividad.

En estos últimos años se han puesto en marcha a lo largo de todo el territorio nacional diferentes infraestructuras de redes GNSS, lo que ha permitido su difusión y utilización en múltiples campos de aplicación que van desde la ingeniería de obra civil, la cartografía, la geodesia y la minería hasta la agricultura y el control de maquinaria (Agüera *et al.*, 2007).

Red de estaciones permanentes GNSS del Gobierno de La Rioja

La Comunidad Autónoma de La Rioja dispone de una red de estaciones permanentes, puesta en marcha por el Gobierno autonómico, que permite realizar en todo su territorio posicionamientos de precisión

centimétrica en tiempo real o en postproceso, utilizando receptores GNSS y una conexión a internet a través de telefonía móvil.

La red está compuesta por cinco estaciones de referencia, distribuidas a lo largo de todo el territorio de La Rioja (figura 1). Las estaciones están distanciadas aproximadamente 30 km, unas de otras, asegurando un nivel de servicio adecuado. Además, la red ha sido densificada con la estación de recepción que el Instituto Geográfico Nacional (IGN) tiene ubicada en Logroño.

Los datos producidos por la red son accesibles en tiempo real, lo que permite realizar correcciones diferenciales de código (DGPS) y de fase (RTK). La difusión de correcciones se realiza desde el centro de control mediante un formato estándar según propuesta de la Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM).

La red de estaciones permanentes GNSS de La Rioja constituye un marco de referencia geodésico activo del sistema ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989), habiendo sido compensada y supervisada por el Instituto Geográfico Nacional. El centro de control distribuye por tanto correcciones en el sistema ETRS89.

El equipamiento necesario para realizar este tipo de mediciones consiste en un receptor compatible con el estándar RTCM capaz de conectarse a internet, bien directamente o a través de un teléfono móvil unido al receptor mediante, cable o bluetooth.

Hay que tener en cuenta que la inmediatez de la difusión de las correcciones para soluciones en tiempo real es crítica, la latencia de los datos, esto es, el tiempo que media entre el momento en que un dato se produce y su disponibilidad en el punto de consumo, debe ser lo suficientemente pequeña como para no afectar a la precisión del posicionamiento, de manera que las correcciones generadas se correspondan con las aplicadas. La aparición de los modernos protocolos telefónicos de transmisión de datos han logrado ofrecer un ancho de banda y unos tiempos de latencia suficientes para hacer realidad estos servicios.

Los datos relativos a la red de estaciones permanente GNSS del Gobierno de La Rioja se pueden obtener en la siguiente dirección de internet: <http://www.iderioja.org>.

En ella se pueden consultar las caracterís-

ticas técnicas de la red, así como los distintos productos ofrecidos y las metodologías utilizadas para la transmisión de correcciones y errores:

▶ Para los servicios en tiempo real se ofrecen productos individuales (estaciones simples) generados a partir de cada una de las estaciones receptoras, así como productos de solución de red que utilizan las correcciones del conjunto de todas las estaciones:

- Estaciones simples (Calahorra - CALH, Casalarreina - CASO, Cervera - CERV, San Román - SROM, Ventrosa - VTRO):
 - RTCM 2.3.
 - RTCM 3.0.
- Solución de red:
 - MAC (Concepto Master Auxiliary).
 - i-MAX (Correcciones Master Auxiliary individualizadas).

Para acceder al servicio es necesario conectarse a la dirección IP 195.55.164.9 por el puerto 2101, utilizando los datos de usuario y contraseña. Los datos de conexión se pueden solicitar gratuitamente a través de la página web citada anteriormente.

Próximamente a través del servicio ofrecido por la Comunidad Autónoma de La Rioja, se van a distribuir productos en el rango de mensajes 1021-1027 del estándar RTCM 3.1. capaces de transmitir en tiempo real los parámetros de transformación geodésica entre marcos de referencia distintos y de convertir las altitudes elipsoidales en ortométricas, sin necesidad de que los usuarios ten-

Las redes de estaciones GNSS de referencia son generalmente puestas en marcha por la Administración pública, siendo su misión proporcionar a los usuarios a través de telefonía móvil, un servicio de correcciones en tiempo real homogéneo y con cobertura global en grandes áreas

gan que implementar las transformaciones geodésicas en sus receptores.

Modelos de transformación entre los SGR ETRS89 y ED50

El posicionamiento por satélite en la toma de datos de campo y su integración con información geográfica de referencia establece un escenario expresado mediante distintos sistemas geodésicos de referencia (SGR).

Dado que para el correcto tratamiento de las mediciones es necesario utilizar un marco geodésico común, se hace preciso realizar una transformación entre los distintos sistemas utilizados, existiendo para ello diversos algoritmos de transformación de variada precisión y exactitud.

Por otra parte, el Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico oficial en España, establece el sistema ETRS89 como sistema de referencia geodésico oficial, fijando el 1 de enero de 2015 como límite del plazo para abandonar el sistema ED50, por lo que hasta entonces, necesariamente es preciso convivir con documentos geográficos referidos en ambos sistemas.

Por este motivo y por el hecho de que las mediciones topográficas realizadas a partir de sistemas de navegación por satélite son obtenidas en el sistema de referencia WGS84, los procedimientos de transformación entre sistemas de coordenadas cobran especial importancia.

Debido a que no existe un único método de transformación de coordenadas, con la variabilidad de precisiones que esto supone, es un caso habitual que distintos usuarios utilicen distintos métodos de transformación, por lo que a pesar de trabajar en un mismo sistema de referencia, las coordenadas resultantes pueden diferir entre ellas significativamente, generando incoherencias geométricas.

Adelantándose a la implantación del Real Decreto 1071/2007, el Consejo Superior Geográfico ha realizado comparativas de precisión entre ETRS89 y ED50, que han llevado a recomendar la utilización del método de interpolación bilineal entre los valores de los nodos de una rejilla, que modela la distorsión con el método de superficie de mínima curvatura (González-Matesanz et al., 2006).

ROTARY REVOLUTION
AXIAL-FLOW

CASE II
AGRICULTURE

CNH CAPITAL

MAX
Atención al cliente
00 800 / 22 73 44 00

La llamada es gratuita, pero algunos operadores pueden cobrar si ésta se efectúa desde un teléfono móvil. Consulte antes con su operador.

AXIAL-FLOW, PERFECTA PARA UN LÍDER.

CASE II
AGRICULTURE

www.caseih.com

Con este objetivo el Instituto Geográfico Nacional (IGN) distribuye a través de la página web del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) una rejilla de transformación en formato NTV2 (National Transformation versión 2), continua para todo el territorio, reversible e integrable en cualquier software comercial o libre.

Es necesario incidir una y otra vez en la importancia de utilizar procedimientos de transformación precisa que permitan trasladar la calidad técnica de la medición hasta los documentos cartográficos finales en los que ésta se va a utilizar, evitando realizar en su defecto operaciones de ajuste de coordenadas mediante traslaciones en dos dimensiones, por precisas que éstas puedan parecer.

Actualmente a través de las redes de estaciones permanentes es posible transmitir los parámetros de transformación en tiempo real entre los diferentes marcos de referencia (Jägner *et al.*, 2008). De esta manera, las mediciones realizadas en el marco de referencia de la red pueden ser expresadas en otro marco, no siendo necesaria la implementación de la transformación en el receptor GPS. Además, tiene la ventaja de que se proporcionan parámetros de transformación comunes a todos los usuarios y que están continuamente actualizados. Este tipo de transmisión presenta el inconveniente de realizarse mediante estándares no soportados por receptores GPS antiguos.

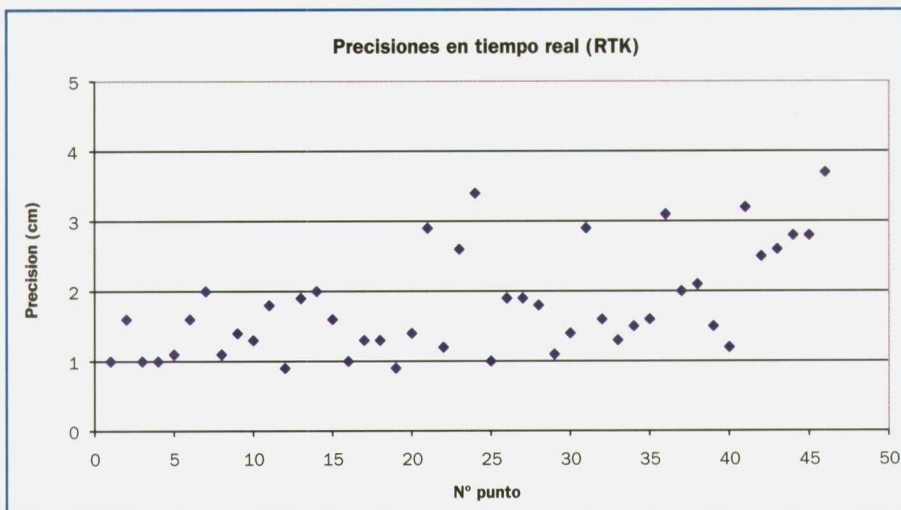
Aplicación práctica de medición y transformación

Los métodos de medición precisa y transformación comentados anteriormente han sido utilizados para la ejecución del siguiente trabajo aplicado a un caso de viticultura de precisión.

Área de estudio

El trabajo se ha llevado a cabo en un viñedo (*Vitis vinifera* L.), perteneciente a Bodegas Pago de Larrainzar, situado en Ayegui (Navarra). En dicho viñedo se han seleccionado dos parcelas, una correspondiente a la variedad Tempranillo, con una extensión de 3,2 hectáreas, y otra a la variedad Cabernet Sauvignon cuya superficie era de 1,2 hectáreas (figura 2), ambas con un marco de plantación de

Figura 3
Precisiones obtenidas en los puntos de muestreo medidos con el receptor modelo Trimble 5700 (Trimble, California).



Los resultados obtenidos han permitido comprobar las ventajas que ofrecen los sistemas RTK en red, como son las prestaciones de precisión y cobertura global del territorio que permiten trabajar de forma más cómoda y productiva

2,3 x 1,7 m. Se han definido 65 puntos de muestreo, de los cuales 45 pertenecen a la variedad Tempranillo y 20 a la variedad Cabernet Sauvignon, en los cuales se han medido diferentes parámetros biofísicos que permitirán caracterizar la variabilidad espacial del viñedo.

Levantamiento mediante técnicas de posicionamiento por satélite

Para el levantamiento de los puntos de muestreo y puntos de apoyo (foto 1) se ha utilizado un equipo receptor modelo Trimble 5700 (Trimble, California). El receptor disponía de doble frecuencia con veinticuatro canales y con tecnología Trimble Maxwell para lograr un rastreo superior de satélites, latencia inferior a 20 milisegundos y una inicialización RTK con una fiabilidad superior a 99% (estas propiedades confieren al sistema precisión centimétrica, una vez resueltas las ambigüedades). Se ha empleado posicionamiento RTK con corrección en tiempo real a través de la red de estaciones permanentes del Gobierno de La Rioja, cuya estación más

cercana se encontraba a 40 km de distancia de la zona de estudio.

Como metodología de cálculo y transmisión de correcciones y errores para corregir los puntos se ha utilizado el producto MAC de solución de red. Dicha solución se realiza mediante comunicación bidireccional entre el receptor móvil de campo y el centro de control. Se basa en el conocimiento de la posición aproximada del usuario por parte del centro de control, que genera correcciones individualizadas para el entorno del usuario a partir de un modelo de errores (Rizos y Han, 2002; Brown *et al.*, 2006). De esta manera el usuario recibe las correcciones como si se las estuviera proporcionando una estación referencia ubicada en su entorno geográfico.

Los puntos de muestreo y de apoyo han sido transformados a ED50 tras haber implementado la rejilla en formato ntv2 en el propio receptor GPS.

Resultados y discusión

En la figura 3 se pueden observar las precisiones alcanzadas con el equipo receptor

modelo Trimble 5700 con corrección en tiempo real a través de la red GNSS de estaciones permanentes del Gobierno de La Rioja.

Como se puede comprobar, las precisiones obtenidas en la medición han variado entre 1 y 5 centímetros, es decir han sido realmente elevadas y claramente idóneas para situar de forma precisa puntos experimentales de muestreo correspondientes a cepas concretas, al ser valores muy inferiores al marco de plantación. Los tiempos de observación han sido de 3 segundos en cada uno de los puntos, con un mínimo de siete satélites visibles en cada momento. Estos resultados demuestran la gran eficacia del receptor y de la red GNSS, ya que se han alcanzado las precisiones máximas definidas por este fabricante.

Los resultados obtenidos han permitido comprobar las ventajas que ofrecen los sistemas RTK en red, como son las prestaciones de precisión y cobertura global del territorio que permiten trabajar de forma más cómoda y productiva.

En el marco de la viticultura de precisión, se ha puesto de manifiesto el potencial de las redes GNSS en aplicaciones que requieran georreferenciar puntos con precisiones inferiores a medio metro ya que incluso con tiempos de observación muy cortos se han obtenido las precisiones centimétricas establecidas para el receptor.

En el caso concreto de los puntos de muestreo de suelo o planta, que se emplean en el establecimiento de la variabilidad de una parcela, sería suficiente utilizar aparatos de precisión submétrica con un precio significativamente inferior. Por el contrario, para los puntos de apoyo utilizados en la georreferenciación de imágenes de satélite sería ne-

cesario utilizar equipos que garantizaran al menos un posicionamiento adecuado a la resolución de la imagen.

Conclusiones

Los resultados obtenidos al realizar el levantamiento con sistemas de posicionamiento por satélite, con correcciones de coordenadas en tiempo real a partir de la red GNSS de La Rioja, proporcionan la máxima precisión y fiabilidad establecidas por el fabricante del receptor. Con este tipo de metodologías se reducen además el coste de adquisición y mantenimiento de los equipos. Estos resultados corroboran estudios previos, que demuestran las ventajas de utilizar este tipo de infraestructuras frente a metodologías de trabajo tradicionales como el radio-enlace o a la corrección postproceso.

La georreferenciación es un aspecto fundamental en la viticultura de precisión. La localización geográfica de los puntos de muestreo en viticultura permite que todas las medidas estén referidas al mismo marco de referencia y sean comparables entre sí. El usuario debe tener en cuenta el marco de referencia de las coordenadas, así como la transformación geográfica a aplicar para poder evitar desviaciones e incoherencias en la geometría de los datos. Antes de acometer los trabajos de medición es importante además evaluar las precisiones mínimas necesarias para definir el modelo de receptor más adecuado, así como la metodología de observación.

En viticultura de precisión también cabría la posibilidad de utilizar equipos receptores de precisión submétrica, de menor coste económico, para la estimación de puntos de muestreo de suelo o planta. ●

Bibliografía

- ▶ AGÜERA, J.; PÉREZ, M. Y CARBALLIDO, J. (2007). "Evaluación de la precisión de un sistema de ayuda al guiado de tractores por GPS", *Vida Rural*, Vol. 260, pgs. 28-36
- ▶ BROWN, N.; GEISLER, I. Y TROYER, L. (2006). "RTK Rover Performance using the Master - Auxiliary Concept", *Journal of Global Positioning Systems*, Vol. 5, 1-2: pgs. 135-144
- ▶ CONSEJO SUPERIOR GEOGRÁFICO. (2007). "Análisis de los diferentes sistemas de cambio V1.0". Ministerio de Fomento. Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. España.
- ▶ GONZÁLEZ - MATESANZ, J., DALDA, A., MALPICA, J.A. (2006). "A range of ED50-ETRS89 DATUM transformation models tested on the Spanish geodetic network", *Surv. Rev.*, Vol. 38, nº 302.
- ▶ JÄGUER, R., KÄLBER, S. (2008). "The new RTCM 3.1 transformation messages-declaration, generation from reference transformations as a server-client concept for GNSS services", *International Conference GEOS 2008*.
- ▶ KAPLAN, E. Y HEGARTY, C. (2006). "Understanding GPS: Principles and Applications", 2nd Edition, Northwood: Artech House, ISBN 1-58053-894-0.
- ▶ PONCE DE LEÓN, P.J. (1981). "Internet Protocol (Protocolo Internet)", *Defense Advanced Research Projects Agency. Internet Program. RFC0791* <http://rfc-es.org/rfc/rfc0791-es.txt>
- ▶ PROFFIT, T.; BRAMLEY, R.; LAMB, D. Y WINTER, E. (2006). "Precision Viticulture. A new era in vineyard management and wine production", *Wineville, Adelaide*.
- ▶ RIZOS, C. Y HAN, S. (2002). "Reference Station Network Based RTK Systems - Concepts and Progress", <http://www.gmat.unsw.edu.au>
- ▶ TARDÁGUILA, J. Y DIAGO, M. P. (2008). "Viticultura de precisión: principios y tecnologías aplicadas en el viñedo", *World Wine Forum, Logroño*.
- ▶ VALERO, C. (2009). "Avances en las tecnologías GPS, las redes RTK". *Vida Rural*, Vol. 293, pgs. 44-48

AGRINAVA



**SOLUCIONES INTEGRALES
EN TRACTORES Y
MAQUINARIA AGRÍCOLA,
CON EL MEJOR SERVICIO.**



RECAMBIOS ADAPTABLES A MASSEY-FERGUSON, EBRO-KUBOTA, LANDINI, NEW HOLLAND, SAME, JOHN DEERE, ETC.

Pol. Ind. Agustinos Calle A, Nave D-13. 31013 Pamplona Navarra España. T 902 312 318 T 948 312 318 F 948 312 341 agrinava@agrinava.com