

USO DE UN ESCÁNER 3D PARA APLICACIONES EN INGENIERÍA DE RIEGOS

Playán, E.¹, Serreta, A.², Zapata, N.¹, Burguete, J., Salvador, R., Martínez-Cob, A., Cavero, J.

RESUMEN

La ingeniería del riego precisa de equipos que permitan topografiar con precisión los procesos de transporte y aplicación del agua. En este trabajo se presenta la aplicación de un nuevo instrumento topográfico: el escáner en tres dimensiones. Se trata de un aparato topográfico que tiene una alidada motorizada desde la que se emite un rayo láser. El escáner 3D obtiene un mapa de los objetos que encuentra ante sí, y lo hace automáticamente y sin necesidad de mira. El objetivo de este trabajo es analizar las posibilidades de estos aparatos para contribuir al estudio del riego por gravedad y del riego por aspersión. Para ello se utilizó un aparato *ScanStation 2* de *Leica Geosystems* en sendos experimentos al aire libre. En el riego por gravedad, el escáner permitió una caracterización rápida y exhaustiva de la topografía del terreno. La determinación de la lámina libre de agua en el riego por gravedad mostró algunas dificultades. En el riego por aspersión, se aplicó el escáner a la determinación de las coordenadas de las gotas de agua emitidas por el aspersor mientras se encuentran en el aire. El escáner tridimensional puede convertirse en una herramienta de uso frecuente en ingeniería de riegos.

1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería del riego requiere de equipos que permitan topografiar con precisión los procesos de transporte y aplicación del agua. En los últimos años se han ido incorporando a esta disciplina aparatos como las estaciones totales o los GPS que han permitido avances muy importantes en el estudio de la influencia de la calidad de la nivelación del terreno sobre el riego por gravedad o en el levantamiento de los puntos de una red colectiva de riego.

La investigación en ingeniería del riego por gravedad ha seguido la evolución de la topografía. Si bien en un principio se utilizaron teodolitos y niveles convencionales, en los años noventa se comenzaron a utilizar estaciones totales radiométricas, principalmente para mostrar las ventajas de la técnica de la nivelación guiada por láser (Clemmens et al., 2003; Playán et al., 1996). Para este tipo de trabajos resulta necesaria una elevada precisión combinada con un elevado número de puntos. Por ello las estaciones totales resultaron muy adecuadas para este trabajo. La topografía ha ayudado a caracterizar el relieve del terreno, pero no la lámina de agua de riego.

En el caso de la investigación del riego por aspersión, la topografía no ha contribuido a la investigación del riego en parcela, en la que un problema relevante es localizar dónde se encuentra el chorro emitido por el aspersor o las gotas que se desprenden de él. Sin embargo las técnicas topográficas han sido muy útiles en los últimos años para instalar parcelas de cobertura total, particularmente con apoyo de sistemas GPS.

1. Estación Experimental de Aula Dei, CSIC, Apdo. 202, 50080 Zaragoza. enrique.playan@eead.csic.es, vzapata@eead.csic.es, jburguete@eead.csic.es, rsalvador@eead.csic.es, macoan@eead.csic.es, jcavero@eead.csic.es

2. Escuela Politécnica Superior de Huesca, Carretera de Cuarte, s/n. 22071 Huesca. serreta@unizar.es

Las estaciones totales permiten alcanzar una elevada precisión tanto en planimetría como en altimetría, pero tienen la limitación de que es necesario situar un prisma reflector en cada sitio en el que se desea tomar un punto de coordenadas. Esta limitación plantea dos problemas prácticos en relación con la ingeniería de riegos. El primero es un problema de tipo general: resulta muy laborioso tomar los centenares o miles de puntos que pueden ser necesarios para caracterizar con cierto detalle la topografía del riego. El segundo es un problema particular de la aplicación a los riegos: no se puede situar con precisión el prisma ni sobre la lámina de riego por gravedad ni sobre el chorro o las gotas del riego por aspersión. El sistema GPS resuelve en parte el problema del prisma, aunque sigue siendo preciso desplazar el equipo por todo el dominio que se pretende medir. Por otro lado, tampoco resulta factible la utilización del GPS para caracterizar la localización de una lámina, un chorro o gotas de agua en movimiento.

En este trabajo se presenta la aplicación a la ingeniería de riegos de un nuevo instrumento topográfico: el escáner en tres dimensiones. El sistema tiene potencialidad para resolver rápidamente la toma masiva de puntos y para topografiar la posición de la lámina de agua y de las gotas de agua durante su vuelo.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. El escáner 3D

El escáner 3D es un aparato topográfico que tiene una alidada motorizada desde la que se emite un rayo láser. Cuando el rayo incide sobre un obstáculo, se refleja. La radiación reflejada es detectada por el sensor del escáner, que así determina la distancia a la que se encuentra el obstáculo que ha reflejado el haz. Este proceso permite determinar sin necesidad de prisma la localización de un punto determinado.

Para realizar una toma masiva de puntos, una vez estacionado, el escáner toma una foto panorámica (360°) de los alrededores. El software de control permite seleccionar una región de esta fotografía de la que se desea obtener un levantamiento topográfico. A continuación se determinan los parámetros de medida del aparato, como la densidad de puntos (incremento de ángulos en coordenadas esféricas) con la que se va a escanear la región seleccionada. A continuación se puede comenzar el escaneado, que consiste en un barrido esférico de la región seleccionada. El proceso termina con la representación tridimensional de la región y el grabado de los datos en el formato deseado. De esta manera el escáner 3D obtiene un mapa en coordenadas esféricas de los obstáculos que tiene ante sí. Estos datos son posteriormente transformados a coordenadas cartesianas, siguiendo las especificaciones del usuario.

Las aplicaciones del escáner son múltiples, y distintos modelos de escáner se han utilizado en interiores (para diseño industrial, arte, arqueología...) y en exteriores (patrimonio histórico, estudios medioambientales, análisis de cubiertas vegetales...). En este trabajo se analizan las posibilidades de estos aparatos para contribuir al estudio del riego por gravedad y aspersión. Para ello se utilizó un aparato *ScanStation 2* de *Leica Geosystems* en sendos experimentos al aire libre.

2.1. Ensayos de riego por gravedad

Los ensayos de riego por gravedad se desarrollaron en la finca experimental del CITA del Gobierno de Aragón. En ella se construyeron dos tablares de riego por inundación contiguos de aproximadamente 2 x 100 m cada uno, según indica la Figura 1. Los tablares se regaron simultáneamente desde lados opuestos, y el escáner se estacionó en uno de los extremos de los tablares, en medio de los dos (Fig. 1). La localización del escáner se decidió teniendo en cuenta la necesidad de tener una visibilidad completa de la zona de riego de los dos tablares. El aparato se estacionó a aproximadamente 1,5 m sobre el suelo, una elevación que resulta más adaptada para escanear elementos verticales (por ejemplo, fachadas) que horizontales (como la superficie del suelo). La geometría esférica de la toma de puntos hace que en esta configuración la densidad de puntos sea muy superior cerca del aparato que en el extremo derecho de los tablares (Fig. 1).

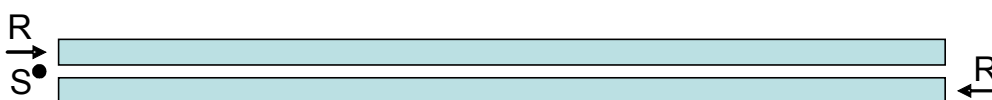


Figura 1. Esquema de los ensayos de riego por gravedad, mostrando los dos tablares, la dirección del riego en cada caso (R), y la localización del escáner 3D.

En el riego por gravedad, el escáner permitió una caracterización exhaustiva de la zona antes, durante y después del riego. Para ello, precisó un tiempo de trabajo de entre 10 y 20 minutos. Este tiempo guarda una relación lineal con el número de puntos muestreados.

2.2. Ensayos de riego por aspersión

En el riego por aspersión, se aplicó el escáner a la determinación de las coordenadas del chorro y las gotas de agua emitidas por el aspersor mientras se encuentran en el aire. Para ello, se situó el escáner frente a un aspersor trabajando a distintas condiciones de presión y bajo distintas condiciones de viento. El aspersor fue sujetado para impedir su giro, aunque se permitió que la pala actuara normalmente. Puesto que el escáner tarda unos minutos en realizar el escaneado y el aspersor realiza un giro completo en aproximadamente un minuto, fue necesario impedir el giro del aspersor para evitar que la imagen del escáner mostrara una imagen distorsionada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Ensayos de riego por gravedad

Dentro de los ensayos de riego por gravedad se distinguen dos posibles aplicaciones del escáner: la determinación del relieve del suelo, y la determinación del frente de avance y del calado del agua. A continuación se presentan y discuten resultados del escáner para estas dos aplicaciones.

La Figura 2 presenta la aplicación del escáner al objetivo de determinar el relieve del suelo. Una determinación cuidadosa del relieve resulta muy importante para alimentar modelos hidrodinámicos tanto unidimensionales (extrayendo parámetros como la sección de un surco o la pendiente local) como bidimensionales (generando mallados de puntos con cota conocida). La Figura 2 presenta la caracterización del relieve realizada

con el escáner a tres distancias del mismo. En cada caso (subfiguras 2a, 2b y 2c) se presentan los puntos determinados en tres cuadrados de 1 m x 1 m. En cada subfigura de la Figura 2 se indica la altimetría del terreno clasificando los puntos en seis clases coloreadas representando intervalos de elevación de 50 mm de amplitud. La subfigura 2a, situada a aproximadamente 20 m del escáner, muestra una elevada densidad de puntos, así como la presencia de zonas de sombra debidas a la escasa elevación de estacionamiento del aparato. La falta de detalle en las zonas de sombra puede tener un efecto negativo si los datos se usan por ejemplo para la simulación del proceso de avance. La densidad de puntos disminuye fuerte y progresivamente en las subfiguras 2b y 2c. En la última de ellas, localizada a unos 80 m del escáner, se obtuvieron decenas de puntos. Esta densidad es muy superior a la frecuentemente obtenida con una estación total, y permitiría realizar una simulación bidimensional con elementos de tamaño submétrico.

La Figura 3 muestra la topografía completa de los dos tablares experimentales en tres momentos durante el riego por gravedad. Las subfiguras 3a, 3b y 3c muestran el progreso del riego: 3a corresponde con 20% de avance; 3b con 50% de avance; y 3c con 90% de avance. Al igual que en la Figura 2, los puntos están codificados en seis colores asociados a seis rangos de elevación de 50 mm de amplitud. Los ejes x e y tienen escalas diferentes. En la subfigura 3a se indica la localización de cada tablar y el sentido del riego.

La subfigura 3a muestra que la elevación en el extremo izquierdo de la figura es mayor en el tablar superior que en el inferior. Esto es debido a que el escáner en esta zona está midiendo la cota de la lámina de agua, y no la cota del suelo que está debajo. En el extremo derecho de la figura, en el que la densidad de los puntos es menor y el ángulo de ataque del láser muy tendido, se observa en el tablar que se está regando (el de la parte inferior de la figura) que hay una zona sin puntos. Esto quiere decir que en esas circunstancias el reflejo de la radiación que incide sobre la lámina de agua no es captado por el escáner. Sin embargo, será preciso analizar con detalle tanto la cota de los puntos circundantes como su localización respecto de las observaciones de avance para establecer si contienen información de valor acerca de la lámina de riego.

La subfigura 3b muestra una situación intermedia, en la que las zonas medias de ambos tablares y el extremo derecho del tablar inferior muestran zonas sin puntos debidas a la lámina de agua. Dentro de estas zonas se observan sin embargo algunos puntos que podrían ser correctos y contener la cota de la lámina del agua.

La subfigura 3c muestra el final del avance, y cómo en el extremo izquierdo se aprecia de nuevo la cota de agua del tablar inferior, debido al ángulo de incidencia del rayo láser sobre la lámina de agua. En ese momento, en ambos tablares, pero particularmente en el inferior, se aprecian bastantes puntos de la zona derecha. Puesto que estos ensayos se llevaron a cabo en condiciones ventosas, cabe decir que es probable que el rizado de la lámina de agua que produce el viento ayude a obtener puntos en zonas alejadas.

La determinación de la lámina libre de agua en el riego por gravedad resultó complicada, y necesitará investigación adicional. En la reflexión del haz láser parece intervenir el ángulo de incidencia. El efecto del viento podría ser importante para facilitar la reflexión del rayo.

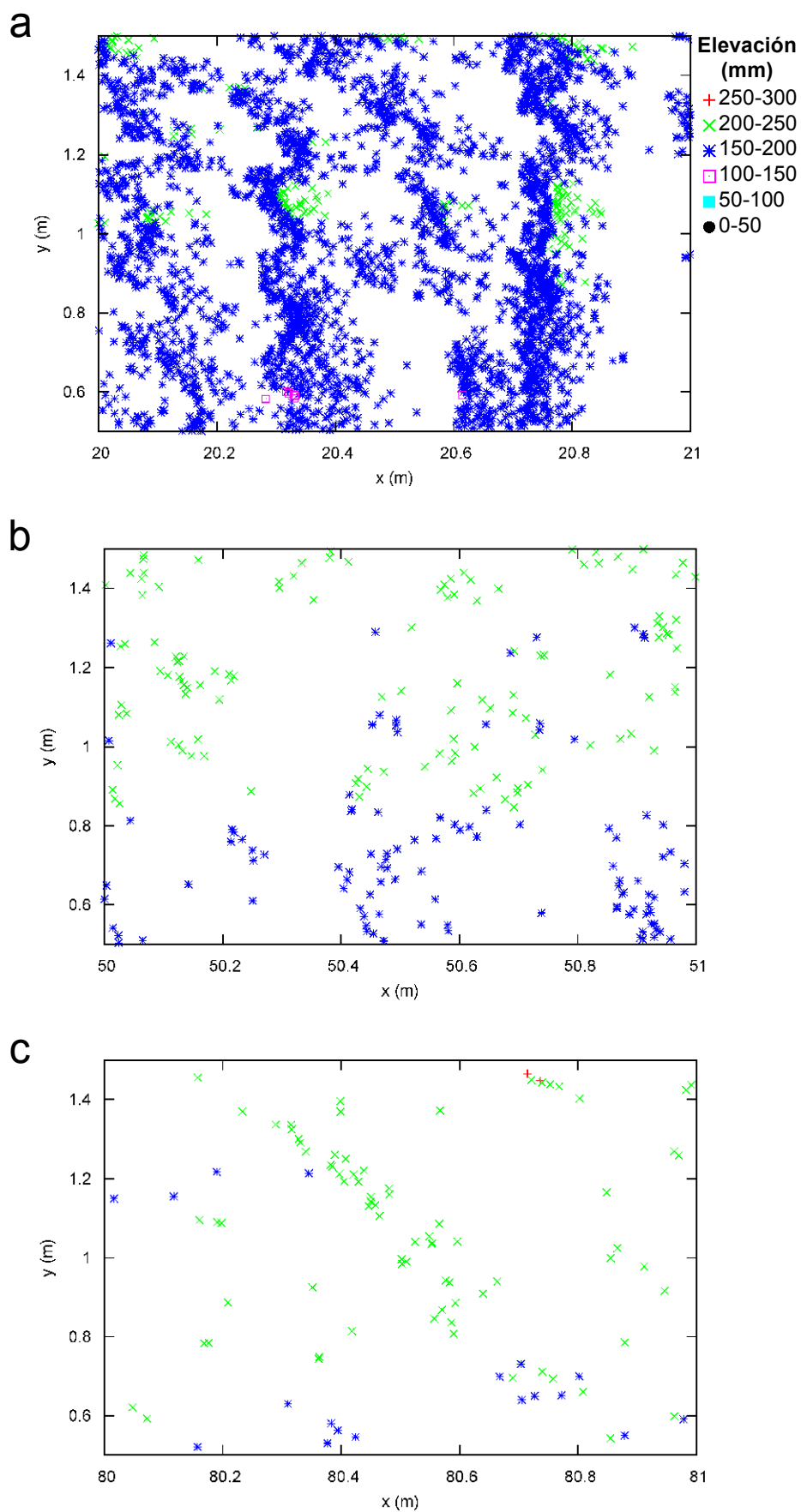


Figura 2. Aplicación del escáner a la medida del relieve del suelo. Se presenta un cuadrado de 1 m x 1 m situado aproximadamente a 20, 50 y 80 m del escáner. Las series indican la elevación del terreno con intervalos de 50 mm.

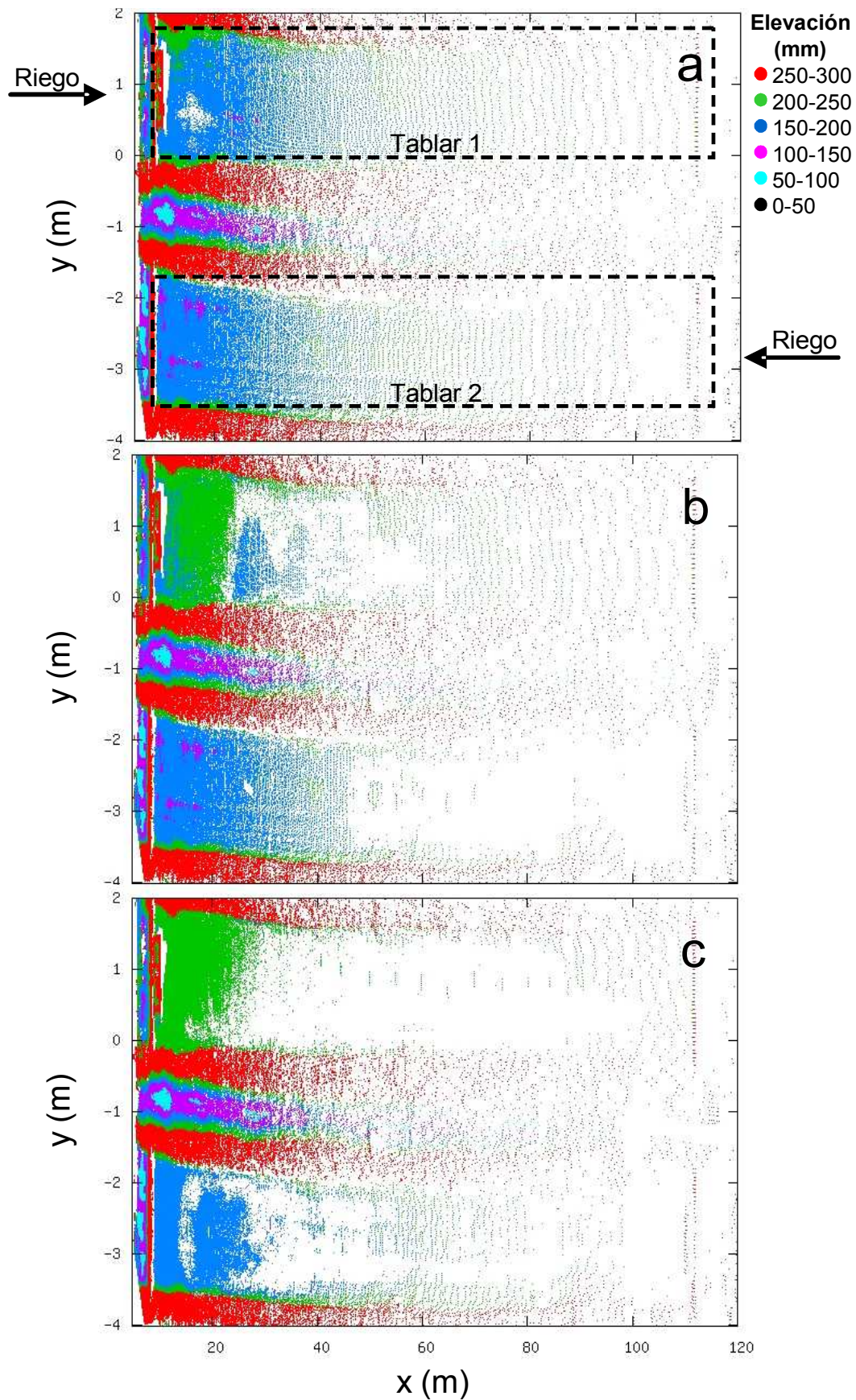


Figura 3. Aplicación del escáner al riego por gravedad. Se presentan dos tablares de aproximadamente 2 x 100 m regados desde la izquierda (tablar 1) y derecha (tablar 2). Las subfiguras a, b y c muestran momentos sucesivos del riego. Las series indican la elevación del terreno con intervalos de 50 mm.

3.2. Ensayos de riego por aspersión

La Figura 4 muestra tres casos diferentes de escaneado de aspersores aislados durante el riego y sometidos a distintas condiciones de viento y ángulos aspersor-viento. Las figuras muestran una gran calidad en la determinación del chorro y las gotas, aunque a primera vista parece que son las gotas de mayor diámetro (las que caen a distancias medias y grandes) las que con mayor probabilidad son detectadas por el escáner.

La subfigura 4a muestra el aspersor y su caña. En la parte inferior se aprecian también las referencias que en forma de estacilla se marcaron en el terreno, y que sirven para asegurar una correcta orientación de la escena respecto de la dirección del viento.

El efecto del viento sobre el aspersor se aprecia muy claramente en las subfiguras 4b y 4c. En ellas, el conjunto de gotas que forma el chorro es girado por el viento y se aprecian gotas que se han incorporado al flujo del viento y que ya se encuentran a metros de distancia del chorro. Al ver estas figuras resulta fácil asociarlas a fotografías convencionales del riego de un aspersor, puesto que la representación tridimensional resulta similar. No debe olvidarse, sin embargo, que en estas figuras el escáner 3D proporcionó las coordenadas de cada una de las gotas representadas, y que la perspectiva de la figura se ha elegido a la hora de elaborar la figura. Las coordenadas de las gotas servirán para evaluar la deformación del chorro, calcular numéricamente la trayectoria media de las gotas del aspersor o determinar la amplitud del chorro a distintas distancias de la boquilla. También resultará posible cuantificar el desprendimiento de las gotas que comienzan su caída hacia el suelo y la deformación tridimensional del chorro inducida por el viento.

En el caso del riego por aspersión, la limitación más relevante del escáner tridimensional parece estar relacionada con un bajo nivel de detección de las gotas más pequeñas.

4. CONCLUSIONES

El escáner 3D se ha revelado como un instrumento muy prometedor para el análisis de ambos sistemas de riego. En el riego por gravedad está llamado a tener un papel muy relevante en la determinación precisa y masiva de la elevación del terreno, lo que constituye un excelente punto de partida para la simulación hidrodinámica del riego. Respecto de la medida remota y precisa del nivel de la lámina de agua, será preciso realizar algo más de investigación para establecer las posibilidades reales del aparato. Su contribución al riego por aspersión está en la caracterización de los chorros y las trayectorias de las gotas. Para esta tarea el aparato resulta sumamente práctico, y puede caracterizar la aplicación de agua de un aspersor de forma rápida y repetible. El progreso en las técnicas topográficas sigue aportando información de calidad a la ingeniería de riegos.

5. AGRADECIMIENTOS

No podríamos haber realizado este trabajo sin la colaboración de Miguel Izquierdo, Jesús Gaudó y Juan Manuel Acín (Unidad de Suelos y Riegos, CITA del Gobierno de Aragón) en la preparación del experimento de riego por gravedad. Apreciamos igualmente la colaboración de la empresa de Zaragoza Escáner Patrimonio e Industria. Los trabajos de riego por aspersión descritos en este trabajo han sido desarrollados dentro del proyecto AGL2007-66716-C03.

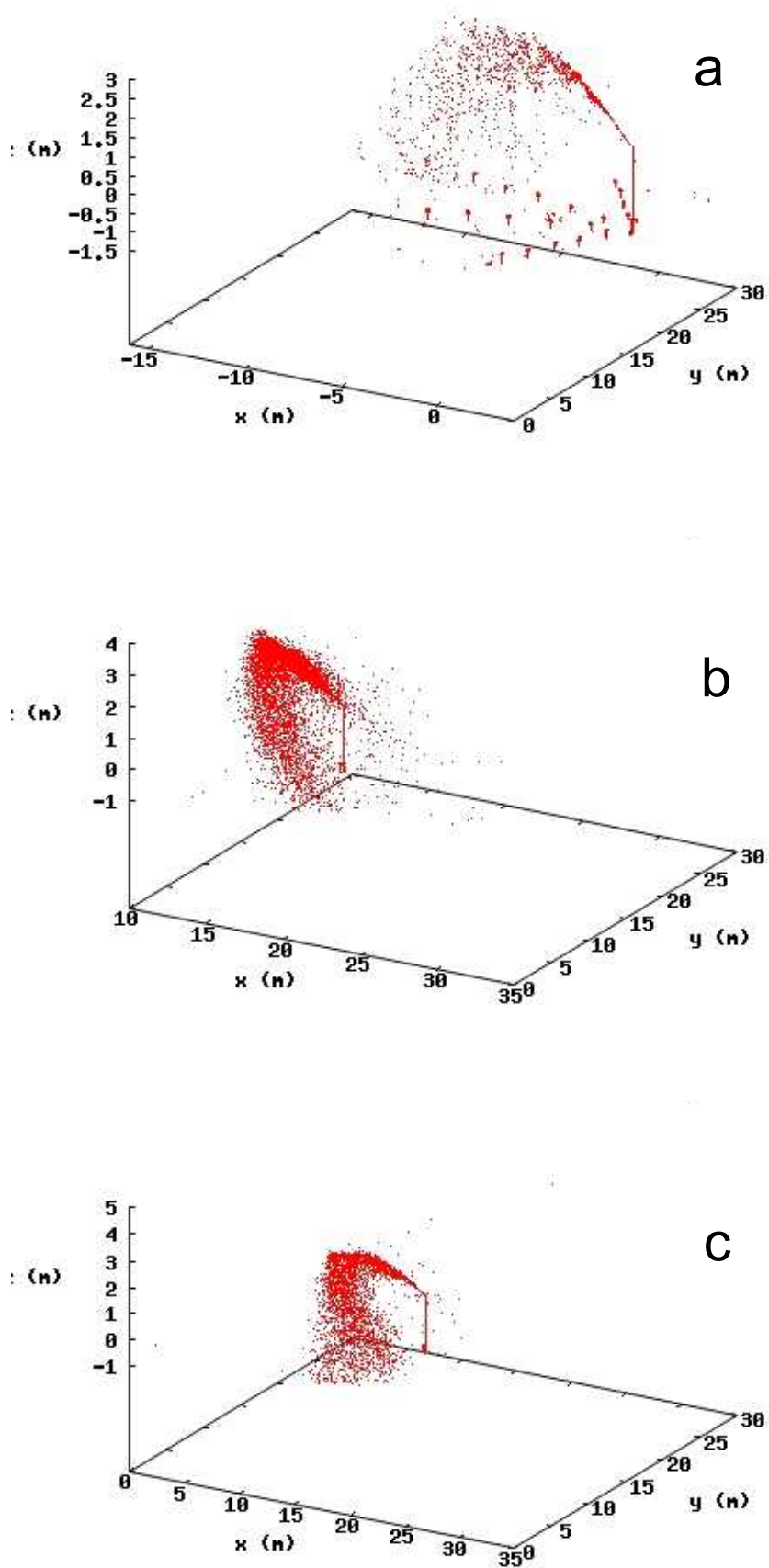


Figura 4. Aplicación del escáner al riego por aspersión. Se presentan tres casos de un aspersor regando y sometido a distintas velocidades del viento y ángulos entre el viento dominante y el aspersor.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S. and Playán, E., 2003. Field verification of two-dimensional surface irrigation model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, In press.
- Playán, E., Faci, J.M. and Serreta, A., 1996. Modeling microtopography in basin irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 122(6), 339-347.