Editores:
Luis Ángel Ruiz
Javier Estornell
Manuel Erena

TELEDETECCIÓN

NUEVAS PLATAFORMAS Y SENSORES

APLICADOS A LA GESTIÓN DEL AGUA, LA AGRICULTURA Y EL MEDIO AMBIENTE

ASOCIACIÓN
ESPAÑOLA
DE TELEDETECCIÓN

Instituto Murciano de Investigación
y Desarrollo Agrario y Alimentario

XVII CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TELEDETECCIÓN

TELEDETECCIÓN

NUEVAS PLATAFORMAS Y SENSORES
APLICADOS A LA GESTIÓN DEL AGUA, LA AGRICULTURA Y EL MEDIO AMBIENTE

LIBRO DE ACTAS

Editores:
Luis Ángel Ruiz
Javier Estornell
Manuel Erena

EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Nuevas plataformas y sensores de teledetección
Aplicados a la gestión del agua, la agricultura y el medio ambiente

Los contenidos de esta publicación han sido evaluados por el Comité Científico que en ella se relaciona

Editores científicos
Luis Ángel Ruiz
Javier Estornell
Manuel Erena

Editorial
2017 Editorial Universitat Politècnica de València
www.lalibreria.upv.es / Ref.: **6418_01_01_01**

Maquetación
Enrique Mateo, Triskelion diseño editorial

ISBN: 978-84-9048-650-4 (versión impresa)
Depósito legal:V-2513-2017

Imagen de portada: Composición en color de las bandas 4, 3 y 2 (RGB) de una imagen del Mar Menor (Murcia) adquirida el 4 de agosto de 2017 por el satélite Sentinel 2A de la ESA.

Este congreso ha recibido ayuda de:
- Organización de congresos y reuniones científico-técnicas 2017 (Expediente 20124/0C/17) financiado por la Fundación Séneca-Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia con cargo al Programa Regional "Jiménez de la Espada" de Movilidad Investigadora, Cooperación e Internacionalización".
- La Universidad Politécnica de Cartagena.
- Proyecto 14-20-15 (Diseño y puesta en marcha de una infraestructura de datos espaciales sobre agricultura y agua en la Región de Murcia-IDEaRM), cofinanciado al 80% con fondos FEDER

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo edicion@editorial.upv.es.

Impreso en España

Nuevas plataformas y sensores de teledetección. XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección.
(Eds. Luis A. Ruiz, Javier Estornell, Manuel Erena). pp. 77-80. Murcia 3-7 octubre 2017.

Estimación de la altura de arrozales mediante interferometría polarimétrica SAR en banda X

López-Sánchez, J. M. [(1)], Vicente-Guijalba, F. [(2)], Romero-Puig, N. [(1)]
[(1)]IUII, Universidad de Alicante, Apdo. Correos 99, 03080 Alicante.
juanma.lopez@ua.es
[(2)]DARES Technology, c/ Esteve Terrades, 1, Edificio RDIT, despacho 118, Parc UPC – PMT, 08860 Castelldefels, Barcelona.
fvicente@dares.tech

Resumen: La interferometría polarimétrica SAR (PolInSAR) es una técnica de teledetección con radar capaz de medir variables estructurales de escenas con vegetación, como la altura de las plantas, pero históricamente ha sido empleada en bosques y sobre todo con datos medidos por sensores aerotransportados. Este trabajo presenta los resultados obtenidos al aplicar esta técnica por vez primera sobre escenas agrícolas (arrozales) empleando datos de satélite. Para ello se adquirieron series temporales de pares de imágenes mediante el sensor TanDEM-X, empleando una línea de base suficientemente grande. Las pruebas se han desarrollado en arrozales de las provincias de Sevilla y Valencia. Las alturas estimadas presentan un error cuadrático medio menor de 10 cm para plantas mayores de 25-50 cm. Las estimaciones han sido validadas con datos de campo y se ha analizado la influencia tanto de la línea de base como del ángulo de incidencia.

Palabras clave: Arroz, monitorización de cultivos, radar de apertura sintética, interferometría polarimétrica, TanDEM-X.

Estimation of rice height by polarimetric SAR interferometry at X-band

Abstract: *Polarimetric SAR interferometry (PolInSAR) is a radar remote sensing technique with sensitivity to structural variables of vegetation scenes, such as plant height. To date, it has been employed in forests and mainly with data acquired by airborne sensors. This work presents the results obtained by applying this methodology for the first time over agricultural crop areas (rice fields) with satellite data. Time series of pairs of images were acquired for this purpose by the TanDEM-X sensor, using a large enough baseline. Tests were carried out over rice fields located in Sevilla and Valencia provinces. Estimated heights show a root mean square error smaller than 10 cm for plants taller than 25-50 cm. Estimates have been validated with ground data, and the influence of both baseline and incidence angle has been analysed.*

Keywords: *Rice, crop monitoring, synthetic aperture radar, polarimetric interferometry, TanDEM-X.*

1. INTRODUCCIÓN

La interferometría polarimétrica SAR (PolInSAR) es una técnica de teledetección con radar capaz de medir variables estructurales de escenas con vegetación, como la altura de las plantas, su perfil interno, la topografía subyacente, etc. (Cloude y Papathanassiou, 1998). Históricamente ha sido empleada en bosques, sobre todo con datos medidos por sensores aerotransportados, pero también, desde 2012, con datos del sensor satelital TanDEM-X formado por dos satélites radar en banda X con órbitas muy próximas (Krieger *et al.,* 2007). En cambio, la aplicación de PolInSAR a agricultura no había sido posible con datos de satélite debido a los requerimientos de línea de base (separación entre las posiciones de los satélites), ya que ésta debe ser al menos 10 veces mayor que en el caso de bosques (Lopez-Sanchez y Ballester-Berman, 2009).

De abril a septiembre de 2015 se llevó a cabo una campaña especial con TanDEM-X (denominada *Science Phase*) durante la cual se separaron los satélites a la distancia requerida. Este trabajo presenta los resultados obtenidos al aplicar esos datos a la medida de la altura de las plantas de arroz en arrozales de las provincias de Sevilla y Valencia. Las estimaciones han sido validadas con datos de campo y se ha analizado la influencia de la línea de base y del ángulo de incidencia. Este experimento sirve, por tanto, para demostrar por primera vez el potencial de esta técnica en aplicaciones de agricultura. Los resultados detallados han sido publicados recientemente en (Lopez-Sanchez *et al.,* 2017).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Datos de campo

El área de estudio de Sevilla cubre 30×30 km en la desembocadura del río Guadalquivir (37.1°N, 6.15°W). Aquí el arroz se cultiva anualmente de mayo a octubre, aproximadamente. La especie general de arroz es *Oryza sativa* L., siendo la variedad de grano largo denominada *puntal* la más comúnmente empleada en esta región.

El sembrado se efectúa mediante un lanzamiento aleatorio de semillas desde avión a los campos, que están ya inundados en ese momento y permanecen inundados durante toda la campaña de cultivo. El ciclo de cultivo dura entre 135 y 150 días, dependiendo de las condiciones climáticas del año.

Desde 2008, la Federación de Arroceros de Sevilla ha tomado datos de campo, de forma semanal, sobre un conjunto variable de parcelas. Durante 2015 se monitorizaron 4 parcelas de forma intensiva. Los datos de campo adquiridos incluyen el estado fenológico (en la escala BBCH) y la altura de las plantas sobre el agua. Además, se dispone de las fechas de siembra y recolección, densidad superficial de plantas y de panículas y cosecha final.
La segunda zona de estudio está situada en Sueca, Valencia (39.25°N, 0.3°W), cubriendo un área de 10×20 km, y es parte del Parque Natural de la Albufera.
Las dos variedades principales de arroz cultivadas aquí son *Senia* y *Bomba*, presentando la segunda una altura considerablemente mayor que la primera.
Se realizaron campañas de campo semanales con medidas del estado fenológico, la altura de las plantas y del índice de área foliar (LAI) en 16 parcelas de tipo Senia y 5 de tipo Bomba.

2.2. Imágenes de TanDEM-X

Para este estudio se dispone de 3 series temporales de pares de imágenes adquiridas sobre la zona de Sevilla y de una serie sobre Valencia (ver Tabla 1). Cada serie se ha tomado con distinto ángulo de incidencia y distinta separación espacial de los satélites (línea de base), lo que proporciona diferentes alturas de ambigüedad (HoA). Idealmente habría una adquisición cada 11 días, si bien en algunos casos no se tomaron los datos de satélite.
Las imágenes fueron adquiridas en modo *stripmap* y se proporcionan por parte del DLR en formato CoSSC, es decir, ya co-registradas.

Tabla 1. *Lista de pares de imágenes TanDEM-X sobre Sevilla y Valencia. Año 2015.*

Zona	Ángulo de incidencia (grados)	Rango de fechas	Número de pares	Altura de ambigüedad (m)
Sevilla	22,7	04/06-20/08	8	2,53
	30,0	26/05-02/09	8	3,49
	39,5	30/05-06/09	8	5,81
Valencia	28,9	22/05-18/08	6	3,42

2.3. Algoritmo de inversión de la altura de la vegetación

Las imágenes disponibles fueron adquiridas con polarización dual-pol, es decir, con dos canales polarimétricos (HH y VV) y de forma biestática (un solo satélite actuaba como transmisor y los dos como receptores). Ambas imágenes están disponibles en formato CoSSC, es decir, ya están coregistradas.
La principal etapa de pre-procesado consiste en un filtrado espacial para reducir el efecto del *speckle* y para estimar las matrices de coherencia PolInSAR que suponen las entradas a los algoritmos de inversión. En este caso se realizó un simple filtrado paso bajo de 21×21 píxeles.

Para estimar la altura de las plantas se invierte un modelo directo de la escena, comúnmente conocido como "volumen aleatorio sobre suelo" (*random volume over ground, RVoG*) que explota la diversidad polarimétrica de las coherencias interferométricas medidas. El método genérico de inversión está descrito en (Papathanassiou y Cloude, 2001), si bien debido a la adquisición en modo biestático y a la presencia del suelo inundado, que genera una fuerte componente de tipo diedro, tanto la formulación del modelo directo (Ballester-Berman y Lopez-Sanchez 2007, 2011) como el algoritmo de inversión han sido debidamente adaptados. Todos los detalles del procesado de datos y del algoritmo de estimación de la altura están descritos en (Lopez-Sanchez *et al*., 2017).

3. RESULTADOS

La Figura 1 muestra los resultados obtenidos para las 3 parcelas de la zona de Sevilla que entran en las 3 series temporales, comparados con la verdad-terreno. Las alturas mostradas son las medias de las obtenidas en los píxeles pertenecientes a cada parcela.
Se aprecia claramente que sólo para el ángulo 22,7° se obtienen buenas estimaciones y que, en todos los casos, las alturas estimadas cuando las plantas son bajas están sobreestimadas, a veces de forma exagerada. La causa de este comportamiento es la sensibilidad interferométrica, es decir, la sensibilidad de esta técnica a la distribución vertical de elementos en las plantas, desde el suelo a la copa de las mismas. Para que los datos interferométricos sean sensibles es necesario que los dos satélites estén suficientemente separados, lo que aumenta el número de onda vertical efectivo. De forma equivalente, esto puede interpretarse en función de la altura de ambigüedad, que es inversamente proporcional al citado número de onda. Por lo tanto, sólo para alturas de ambigüedad bajas es posible obtener buenas estimas de la altura de las plantas. Para la serie de 22,7° se tienen buenas estimas de altura para plantas de 25 cm o más, mientras que la serie de 30° es necesario irse a plantas de más de 50-70 cm. En el caso peor, la serie de 39,5°, los resultados son malos para todos los valores de alturas de las plantas.
La Figura 2 muestra los resultados de la zona de Valencia. De nuevo se aprecia cómo para plantas de escasa altura los resultados están sobreestimados. En este caso, gracias a la presencia de arroz de tipo Bomba, que se caracteriza por alturas mucho mayores al resto de otras variedades de arroz (1,2-1,3 m en las fechas de las imágenes) es posible trabajar a pesar de que la altura de ambigüedad es de 3,4 m.
Si se consideran únicamente los resultados proporcionados por la serie de 22,7° en Sevilla y la serie disponible en Valencia, y se toman las estimaciones obtenidas para plantas mayores de 25 cm y de 50 cm, respectivamente, el error cuadrático medio (RMSE) es 10 cm en ambos casos y el coeficiente de determinación (R^2) es 0,8 también en ambos casos. Por lo tanto, se puede afirmar que la interferometría polarimétrica SAR en banda X es una técnica capaz de proporcionar estimaciones útiles de la altura de los cultivos de arroz siempre que la geometría

de adquisición (fundamentalmente la línea de base) sea la adecuada.

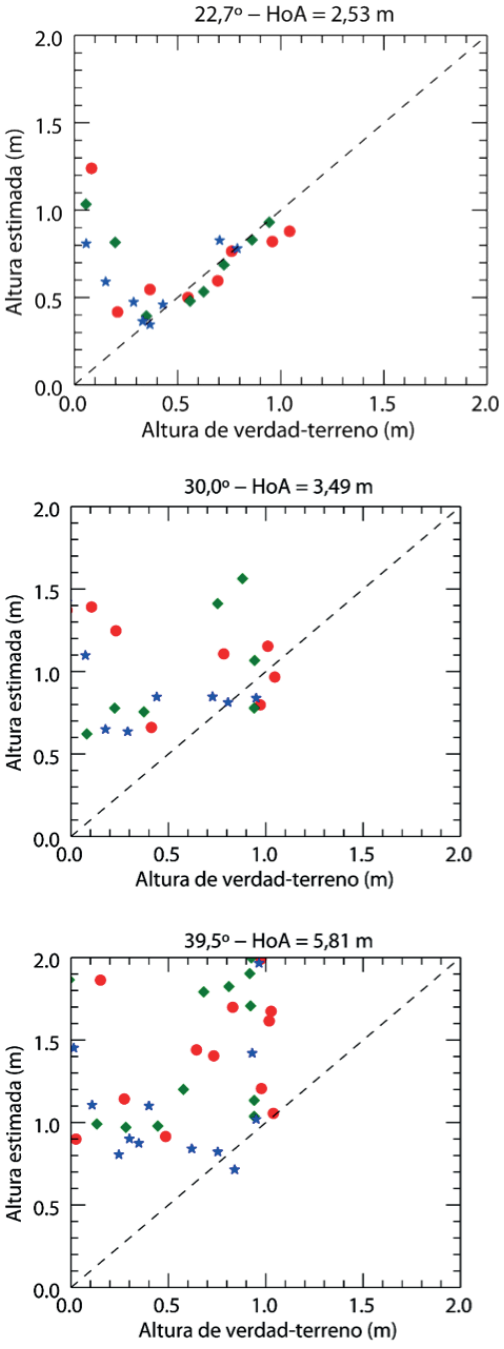

Figura 1. *Comparación de las alturas estimadas con PolInSAR frente a la verdad terreno para las 3 series de imágenes de la zona de Sevilla, adquiridas con ángulos de incidencia distintos: 22,7°, 30° y 39,5°. Los símbolos corresponden a tres parcelas distintas.*

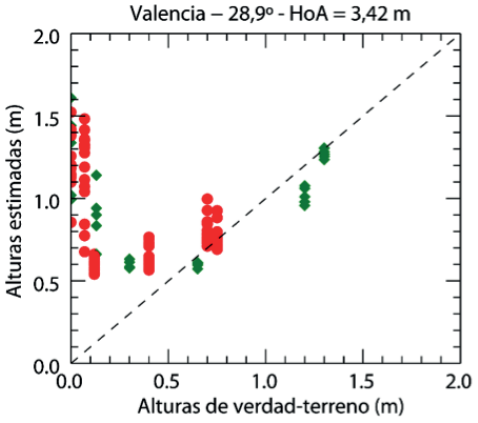

Figura 2. *Comparación de las alturas estimadas con PolInSAR frente a la verdad terreno para la serie de imágenes de la zona de Valencia. Puntos rojos: arroz tipo Senia. Diamantes verdes: arroz tipo Bomba.*

Además de la validación mostrada, conviene ilustrar la capacidad de esta técnica de generar mapas de altura de los cultivos con suficiente resolución. Para ello, las Figuras 3 y 4 muestran los mapas de altura en una amplia zona de estudio de ambas localizaciones para una fecha concreta.

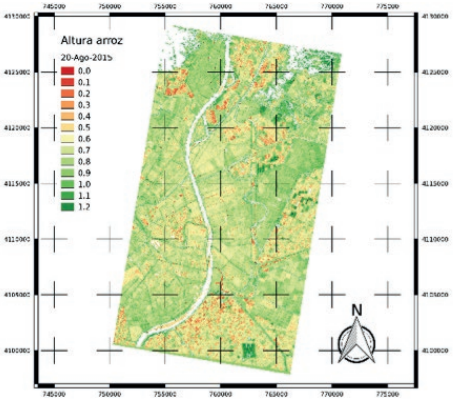

Figura 3. *Mapa de las alturas de vegetación estimadas sobre la zona completa de estudio de Sevilla el 20 de agosto de 2015. Ángulo de incidencia: 22,7°. Coordenadas UTM, Zona 29N.*

En el caso de Sevilla (Figura 3), se aprecia una altura relativamente homogénea (0,8-0,9 m) en la mayoría de la zona ocupada por los arrozales. En general, la homogeneidad de alturas es una consecuencia del sistema de producción integrada que se lleva a cabo en esta zona, lo que les garantiza una de las mayores productividades del mundo. Además, gracias a la resolución espacial proporcionada por este sensor (2×7 m antes del filtrado),

es posible identificar en algunos campos áreas con crecimiento adelantado o atrasado respecto al resto. Este tipo de resultado es aplicable en agricultura de precisión.
También debe reseñarse que son fácilmente identificables (rectángulos con distintos colores) otras zonas agrícolas con presencia de otros cultivos (por ejemplo, la denominada zona BXII – Bajo Guadalquivir al sur). Debe resaltarse que esta técnica permite estimar la altura en otros cultivos distintos del arroz, si bien los resultados no han sido analizados aún.

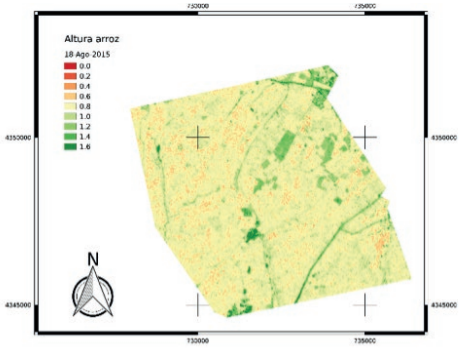

Figura 4. *Mapa de las alturas de vegetación estimadas sobre la zona de estudio de Valencia el 18 de agosto de 2015. Ángulo de incidencia: 28,9°. Coordenadas UTM, Zona 30N.*

En cuanto al mapa obtenido en Valencia, el aspecto más destacable es la fácil identificación de las parcelas en las que se cultiva arroz Bomba (en verde en la zona central) ya que su altura en esta fecha (1,2-1,3 m) es sustancialmente mayor al resto de los arrozales, para los cuales la altura varía entre 0,6 y 0,8 m.

4. CONCLUSIÓN

El experimento descrito constituye la primera demostración completa de la estimación de altura de cultivos basada en PolInSAR con datos satelitales. Para ello se ha verificado su funcionamiento en dos zonas distintas, cubriendo la campaña completa de cultivos de arroz de 2015.
La metodología es completamente automática porque no requiere información externa. Esta técnica es útil para monitorizar el desarrollo de arrozales, habiendo obtenido buenos resultados (RMSE=10 cm) en las dos zonas estudiadas. La principal limitación se da al inicio de la campaña porque la línea de base especial disponible no es lo suficientemente grande para ser sensible a plantas de escasa altura (<25 cm). Las alturas estimadas han mostrado la capacidad de esta técnica para detectar las variaciones presentes a lo largo del ciclo de vida de los arrozales. Además, la altura estimada permite discriminar diferentes variedades de arroz, como los tipos Bomba y Senia cultivados simultáneamente en Valencia.
Como futuras líneas de trabajo, se debe analizar las estimas del resto de variables del modelo empleado (extinción y cociente de suelo a volumen). Asimismo, es necesario realizar un estudio exhaustivo del potencial y las limitaciones de esta técnica, para lo cual se llevarán a cabo simulaciones y se testearán todas las configuraciones posibles tanto de la escena como del sensor. Finalmente, esta metodología puede probarse con otros tipos de cultivo, así como con otras variedades de arroz y/o bajo distintas prácticas agrícolas (por ejemplo, en zonas en las que no se garantiza la presencia del suelo inundado durante toda la campaña).

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y los Fondos EU FEDER como parte del proyecto TIN2014-55413-C2-2-P.
Los datos de TanDEM-X han sido proporcionados por el Centro Aeroespacial Alemán (DLR) en el marco del proyecto NTI-POLI6736.
Los autores agradecen a la Federación de Arroceros de Sevilla la adquisición de los datos de campo. Asimismo, se agradece la colaboración con Manuel Campos Taberner y Fco. Javier García Haro (Universitat de València) en la zona de estudio de Valencia.

6. BIBLIOGRAFÍA

Ballester-Berman, J.D., Lopez-Sanchez, J.M. 2007. Coherence loci for a homogeneous volume over a double-bounce ground return. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Lett., 4,* 317-321.

Ballester-Berman, J.D., Lopez-Sanchez, J.M. 2011. Combination of direct and double-bounce ground responses in the homogeneous oriented volume over ground model. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Lett., 8*, 54-58.

Cloude, S. R., Papathanassiou, K.P. 1998. Polarimetric SAR interfereometry. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, 36*, 1551-1565.

Krieger, G. *et al.,* 2007. TanDEM-X: a satellite formation for high-resolution SAR interferometry. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing 45*, 3317-3341.

Lopez-Sanchez, J.M., Ballester-Berman, J.D. 2009. Potentials of polarimetric SAR interferometry for agriculture monitoring. *Radio Science, 44*(2). DOI:10.1029/2008RS004078.

Lopez-Sanchez, J.M. *et al.,* 2017. Retrieval of vegetation height in rice fields using polarimetric SAR interferometry with TanDEM-X data. *Remote Sensing of Environment, 192*, 30-44.

Papathanassiou, K.P., Cloude, S.R. 2001. Single baseline polarimetric SAR interferometry. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, 39*, 2352-2363.