

## **Análisis multitemporal de imágenes SAR Cosmo-SkyMed (CSK) para identificar la respuesta espectral del cultivo de caña de azúcar durante el periodo de cosecha, en la provincia de Tucumán, República Argentina**

Federico José Soria<sup>1</sup>  
Carmina Fandos<sup>1</sup>  
Roxana Kasiañuk<sup>1</sup>  
Pablo Scandaliaris<sup>1</sup>  
Javier Ignacio Carreras Baldrés<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombes” (EEAOC)  
Av. William Cross 3150  
-T4101XAC- Las Talitas – Tucumán – Argentina  
{federicos, carminaf, pablos, javier}@eeaoc.org.ar – roxanalkgeo@hotmail.com

**Abstract.** Technicians of the Obispo Colombes Agroindustrial Experimental Station (EEAOC), in Tucumán province (Argentina), work on optical satellite images to estimate sugarcane planted area and production. Naturally, problems arise when days are cloudy. SAR (Synthetic Aperture Radar) sensors present the advantage of enabling image recording even through clouds, mist, fog, and the dark. EEAOC takes part in AO-SAOCOM of CONAE (National Commission on Space Activities), specifically with Project N° 38, which is devoted to analyzing the potential of different SAR sensors for discriminating agricultural and rural-urban areas. This work aimed to evaluate the spectral response of sugarcane in the harvested period in six COSMO SKYMED (CSK) ( $\lambda$ 3 cm) images, five in HH-polarized and one VV-polarized, in Tucumán province using Lansat 5TM images as referents. Covers discriminated by the optical images were identified in the CSK image. Then, backscattering coefficient values ( $\sigma^0$ ) corresponding to each cover, expressed as decibels, were extracted and used to calculate the mean and standard deviation, which allowed graphical comparison. For each image,  $\sigma^0$  mean values were within a narrow range, which was smaller than 2.5dB, while standard deviation varied from 2.4 to 2.7 dB in all covers on different dates. This situation would make it difficult to discriminate covers related to different sugarcane harvest stages. Subsequent research work will be focused on studying the use of different processing methods in the analysis of the set of available images to improve results.

Key words: SAR, Cosmo SkyMed, sugarcane, remote sensing.

### **1. Introducción**

El cultivo sacarífero más importante del mundo es el de caña de azúcar, responsable del 70% de la producción total de azúcar. En Argentina, la caña de azúcar se cultiva en las provincias de Tucumán, Jujuy, Salta, Santa Fe y Misiones. Tucumán es la principal productora con más del 60% del total producido, Romero et al, (2009). El carácter agroindustrial de la actividad azucarera reviste gran importancia económica y social para Tucumán, lo que determina que el conocimiento de la superficie cultivada y la producción sean de fundamental importancia.

La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC) es referente, a nivel nacional e internacional, en investigación en caña de azúcar, en todos los aspectos que involucra el cultivo. Desde la década del 90 utiliza imágenes satelitales ópticas para estimar, a principios de zafra, la superficie cosechable y los volúmenes de caña de azúcar posibles de obtener, con resultados bastante precisos, lo que ha determinado que al inicio de zafra se genere una gran expectativa en toda la actividad azucarera nacional por conocer el informe de producción que se genera, Soria et al. (2000) y Soria et al. (2002).

Dada la importancia mencionada, la EEAOC permanentemente analiza nuevas alternativas para mejorar la identificación y cuantificación de los cultivos de caña de azúcar.

El trabajar con imágenes ópticas implica la desventaja de no poder contar con imágenes cuando la zona se encuentra con nubosidad. En este sentido, los sensores radar de apertura sintética (*SAR – Synthetic Aperture Radar*) presentan las ventajas de poder adquirir imágenes a través de las nubes, niebla, bruma y oscuridad, Jensen (2007).

La EEAOC participa en el AO-SAOCOM de CONAE con el proyecto N° 38 “Monitoreo de zonas agrícolas y urbanas usando imágenes SAR de alta resolución. Áreas piloto en las provincias de Tucumán y San Juan, Argentina”. El objetivo general es evaluar la potencialidad de los datos SAR polarimétricos banda L obtenidos por el satélite SAOCOM (fecha de lanzamiento prevista en 2015) para la discriminación de cultivos, vides y olivares en San Juan, caña de azúcar en Tucumán, y conocer el aporte de los datos SAR al seguimiento de la frontera urbano-agrícola en las ciudades de San Miguel de Tucumán y de San Juan. Para cumplir con el objetivo general se tiene previsto trabajar con imágenes ALOS Palsar, COSMO SkyMed (CSK) y SARAT, complementadas con imágenes ópticas.

En la primera parte del proyecto se trabajó en cultivos de caña de azúcar con imágenes CSK, adquiridas por la constelación de satélites COSMO/Skymed, la cual obtiene datos en banda X ( $\lambda \sim 3$  cm) desde sus cuatro satélites, en varios modos, con resolución espacial de 3m (ASI, 2007).

Entre las investigaciones que se realizaron para entender el comportamiento espectral de la caña de azúcar en la región de las microondas, se pueden citar los trabajos de Baghdadi et. al. (2009) y Baghdadi et al. (2010), donde se analizan distintas frecuencias, ángulos de incidencia y polarizaciones para monitorear cultivos y cosecha de caña de azúcar, concluyendo los autores que la señal de radar se incrementa rápidamente con la altura del cultivo, hasta alcanzar una altura límite, dependiendo estos valores de la frecuencia y ángulo de incidencia.

Otros artículos se basan en el análisis de las bandas C o L en distintas polarizaciones, como los de Lin et al. (2009), Martins Péscio y Eyji Sano (2011) y Silva de Oliveira et al. (2011). En todos ellos se pone de manifiesto el potencial de los datos SAR para discriminar cultivos de caña de azúcar.

Con respecto al uso de sensores SAR en banda X para monitorear cosecha de caña de azúcar, se puede citar el trabajo de Baghdadi et al. (2011), donde los autores estudiaron el potencial del sensor TerraSAR-X (banda X) para mapear la cosecha de caña de azúcar con diferentes ángulos y polarizaciones. Observaron que la tendencia es que la respuesta en polarización HH sea levemente mayor que la respuesta en polarización VV, lo que confirma los efectos de la mayor atenuación de la polarización VV en caña de azúcar con estructuras verticales. Además concluyeron que los campos cosechados son fácilmente detectados si la fecha de adquisición de la imagen es cercana a la fecha de cosecha (menor a dos meses).

En Soria et al. (2012) se analizó la respuesta espectral de diferentes coberturas de caña de azúcar en la etapa de cosecha, en una imagen CSK en polarización HH, concluyendo que los datos analizados no permitían discriminar netamente las distintas coberturas.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta espectral del cultivo de caña de azúcar en la etapa de cosecha, en imágenes CSK en seis fechas de adquisición, cinco de ellas en polarización HH y una en polarización VV, en el departamento Cruz Alta, provincia de Tucumán, Argentina.

## 2. Metodología de trabajo

El área de estudio ocupa el departamento Cruz Alta de la provincia de Tucumán, comprendiendo alrededor de 25.500 ha. Los puntos extremos son: NW: 26° 46' 15.28 S / 65 ° 11' 52.43 W; NE: 26 ° 46' 11.48 S / 64 ° 59' 02.19 W; SE: 26 ° 52' 41.90 S / 64 ° 58' 57.82 W y SW: 26 ° 52' 49.84 S / 65 ° 11' 50.46 W. La zona comparte las características agroecológicas

generales de la región de la llanura tucumana, presenta un régimen de lluvias monzónico, y en ella se puede distinguir sectores urbanos y rurales, predominando los cultivos de caña de azúcar. Ver Figura 1.

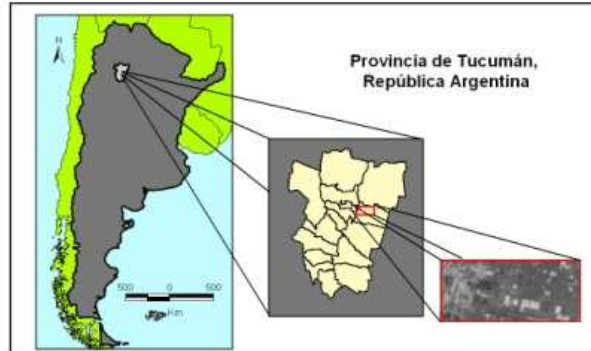


Figura 1. Situación relativa del área de estudio

Se obtuvieron 6 imágenes CSK, banda X (3cm de longitud de onda), modo de adquisición *Stripmap HImage*, resolución espacial 2,5m x 2,5m, polarización HH y VV, dirección de orbita descendente, *look side* derecha, nivel de producción 1D (GTC, proyección UTM s20) durante el período junio – agosto de 2011, etapa en la cual la caña de azúcar alcanzó el máximo desarrollo vegetativo y su madurez es apropiada para la cosecha. Para estas fechas la cosecha de caña de azúcar ya ha comenzado, por lo que el paisaje cañero no es uniforme, sino que presenta distintas coberturas de suelo. Se destaca que se trabajó con un set de imágenes que presentó dificultades al momento de su descarga y que en su *header* no consignaba el ángulo de incidencia.

El detalle de cada imagen se expone en la Tabla 1.

Tabla 1. Detalle de las imágenes CSK utilizadas en este trabajo

Imagen	Fecha	Polarización
20110608VV	08 de junio de 2011	VV
20110611HH	11 de Junio de 2011	HH
20110627HH	27 de Junio de 2011	HH
20110713HH	13 de Julio de 2011	HH
20110729HH	29 de Julio de 2011	HH
20110805HH	05 de Agosto de 2011	HH

Seguidamente se identificaron las coberturas relacionadas al cultivo de caña de azúcar en imágenes ópticas, las que fueron utilizadas como “realidad de campo”. A los efectos de una mejor identificación se seleccionaron imágenes con fechas similares a las imágenes CSK. Las imágenes Landsat 5 TM utilizadas corresponden a las fechas 20110612, 20110723 y 20110824 (escena 230/78). Como información auxiliar se dispuso de datos de campaña de la zafra cañera 2011. Las imágenes ópticas fueron georreferenciadas, luego restringidas al área de estudio y posteriormente clasificadas. Se realizaron clasificaciones multispectrales mixtas, analizando la información de las bandas 3,4 y 5 (Chuvienco Salinero, 2002; Soria et. al, 2000). Como resultado se logró identificar diferentes coberturas relacionadas con el cultivo de caña de azúcar: caña en pie verde, caña en pie helada, caña cosechada en verde y caña cosechada quemada.

Posteriormente se recortaron las imágenes CSK, restringiéndolas al área de estudio. Las mismas fueron recalibradas llevando sus valores a coeficientes de retrodispersión ( $\sigma^0$ ) en decibeles.

Para facilitar la extracción de las muestras representativas se generó una imagen compuesta por las seis imágenes CSK (Figura 2). Se realizó un *layerstack* ordenando las imágenes CSK cronológicamente. De este modo al seleccionar una muestra, esta se extraía, simultáneamente, de las seis “bandas” (fechas de imágenes CSK).

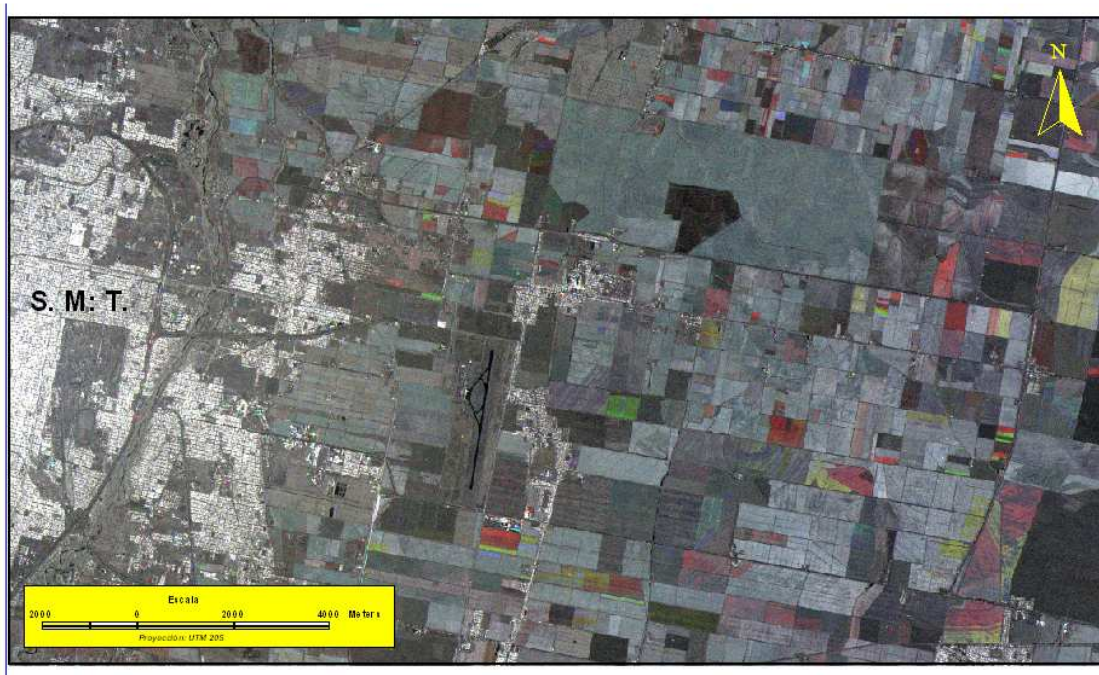


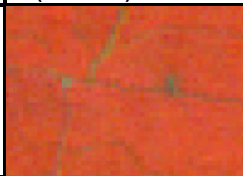
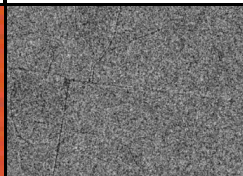
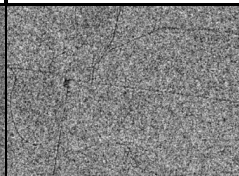


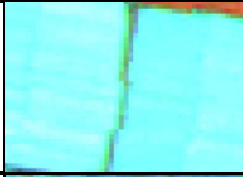
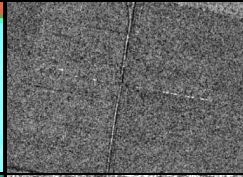
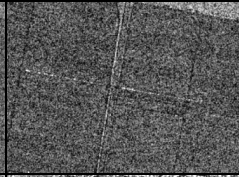
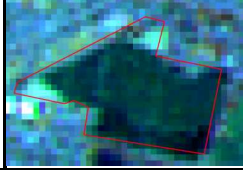


Figura 2. Imagen CSK multitemporal.

Composición: RGB: **R**: 20110713HH, **G**: 20110729HH y **B**: 20110805HH

Se definieron las clases con las siguientes características:

- **Caña en pie verde (CPV)**: Cañaverales en máximo estado de desarrollo, con predominancia de hojas vigorosas de color verde, con alturas promedio de 3m, separación entre surcos de 1,60m.
- **Caña en pie helada (CPH)**: Cañaverales en máximo estado de desarrollo, con predominancia de hojas senescentes de color amarillento, con alturas promedio de 3m, separación entre surcos de 1,60m.
- **Caña cosechada en verde (CCV)**: Lotes que tuvieron caña de azúcar, fueron cosechados y se mantienen los residuos de cosecha (maloja o residuo agrícola de cosecha RAC) sin quemar, separación entre surcos de 1,60m.
- **Caña cosechada quemada (CCQ)**: Lotes que tuvieron caña de azúcar, fueron cosechados y quemada la maloja o RAC, separación entre surcos de 1,60m.

Se tomaron grupos de muestras de manera de lograr la mayor representatividad de la cobertura analizada. La Figura 3 muestra, para un ejemplo visual, la comparación de las cuatro coberturas de caña de azúcar en la imagen Landsat 5TM (RGB: 4-5-3; 20110612), en la imagen CSK en polarización HH de fecha 20110627 y la imagen CSK en polarización VV de fecha 20110608.

COBERTURAS	Landsat 5TM (RGB: 453) 20110612	CSKS3-HH-20110627	CSKS3-VV-20110608
Caña en pie verde			
Caña en pie helada (*)			SIN DATOS
Caña cosechada en verde			
Caña cosechada quemada			

(\*) Para esta cobertura las fechas de las imágenes Landsat y CSK son 20110824 y 20110805 respectivamente

Figura 3. Comparación de las coberturas analizadas en imágenes seleccionadas Landsat 5 TM y CSK

El paso siguiente fue extraer los valores de  $\sigma^0$  correspondientes a las muestras de cada cobertura, a partir de los cuales se calculó la media y la desviación estándar lo que permitió su comparación gráfica.

Los softwares utilizados fueron ERDAS Imagine 8.4 y ENVI 4.8.

### 3. Resultados

Los valores medios de  $\sigma^0$  y su desviación estándar para cada cobertura en las seis imágenes CSK analizadas se indican en la Figura 4. Se anexan fotografías representativas de las coberturas, que fueron tomadas durante la zafra 2012 en sitios cercanos a los seleccionados como campos test.

En el caso de la cobertura de caña en pie helada, no se consignan datos para las fechas 20110608, 20110611 y 20110627 debido a que para esas fechas todavía no se habían registrado heladas de importancia agronómica. En todas las imágenes se observa que la desviación estándar, para todas las coberturas, oscila entre 2,4 a 2,7 dB.

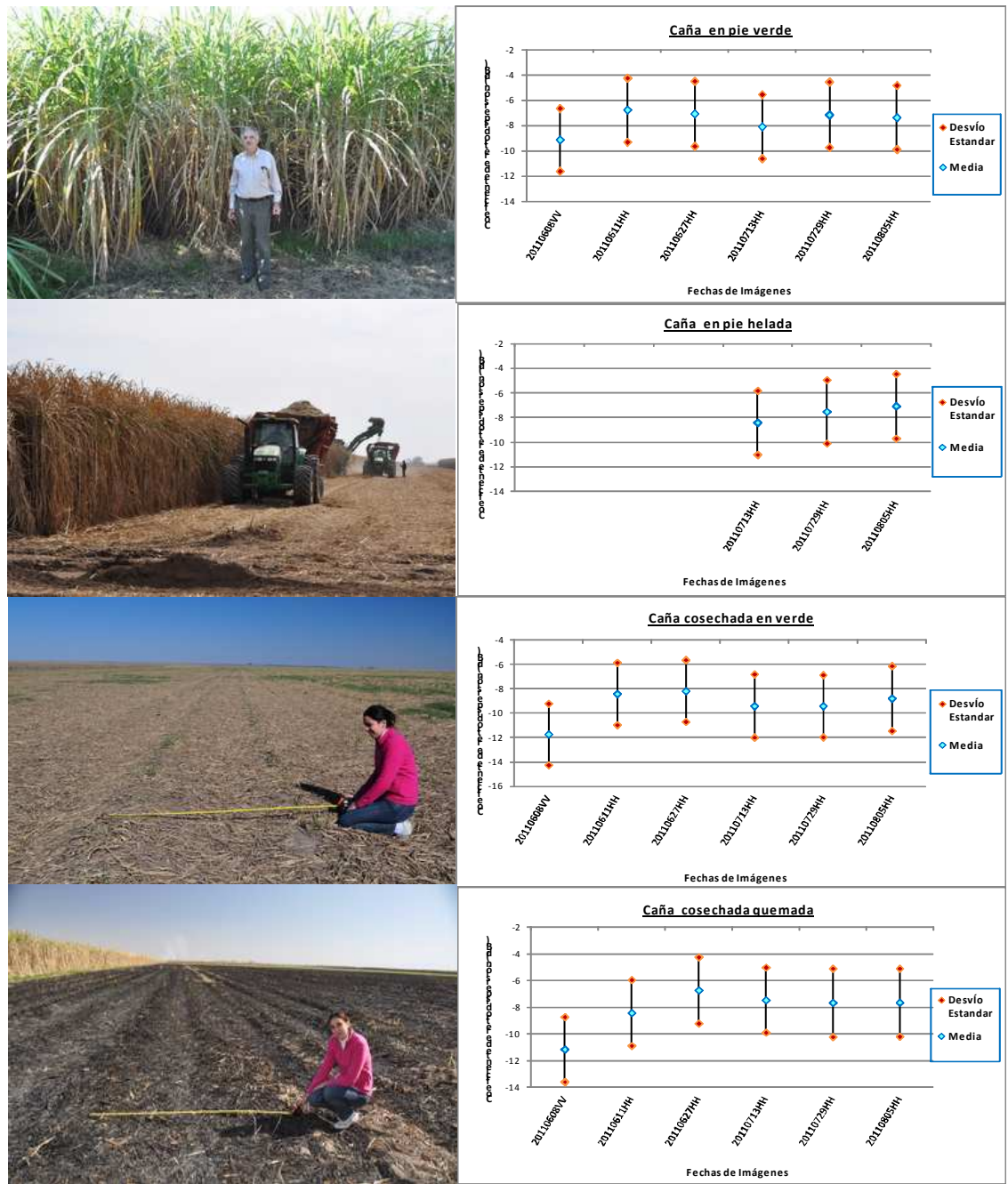


Figura 4. Fotografías representativas y valores medios de  $\sigma^0$  y desviación estándar en las coberturas estudiadas.

Una gráfica resumen de los valores medios de  $\sigma^0$  obtenidos para las cuatro coberturas se muestra en la Figura 5.

En primera instancia se destaca la imagen 20110608VV, que presenta valores medios de  $\sigma^0$  más bajos que los valores obtenidos en las imágenes con polarización HH, en todas las coberturas estudiadas. Si se analizan los valores medios de  $\sigma^0$  de las distintas coberturas, en la imagen

20110608VV, pueden distinguirse los campos con CVP ( $\sigma^0$  -9,15dB) de los campos CCV ( $\sigma^0$ -11,72dB) y de los campos CCQ ( $\sigma^0$ -11,14dB).

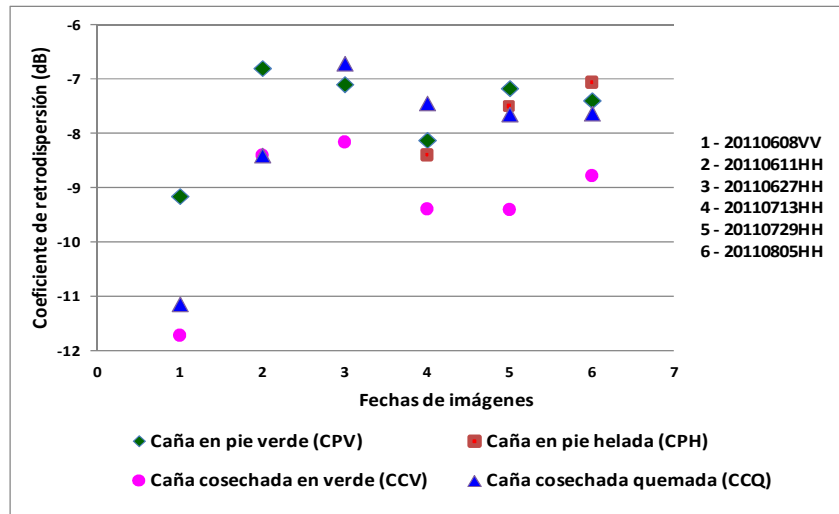


Figura 5. Resumen de los valores medios de  $\sigma^0$  de las coberturas estudiadas

En las imágenes con polarización HH, las distintas coberturas no tienen un comportamiento definido, salvo el caso de CCV que en todas las fechas presenta el valor más bajo de  $\sigma^0$ , mientras que las restantes coberturas muestran valores de  $\sigma^0$  que invierten las posiciones relativas de las coberturas.

En la imagen 20110611HH, la CPV presenta el mayor valor de  $\sigma^0$  mientras que las coberturas CCV y CCQ tienen valores muy semejantes. En la imagen 20110627HH la cobertura CCQ presenta el mayor valor de  $\sigma^0$ .

En las últimas tres imágenes se incorpora la cobertura CPH, presentando valores similares a las de CPV y CCQ. Se destaca que los valores de  $\sigma^0$  de CPH mantienen una tendencia en alza.

#### 4. Conclusiones

Los valores medios de  $\sigma^0$  se encuentran dentro de un estrecho rango, menor a 2,5 dB, mientras que la desviación estándar oscila entre 2,4 a 2,7 dB, en todas las coberturas y en las diferentes imágenes. Esta condición dificultaría la separabilidad de las distintas coberturas relacionadas con la etapa de cosecha de la caña de azúcar en el set de imágenes analizadas.

Sin embargo se pueden destacar algunas situaciones especiales. La imagen 20110608VV presenta los valores medios de  $\sigma^0$  más bajos que los valores obtenidos en las imágenes con polarización HH, en todas las coberturas estudiadas. Además en la imagen en polarización VV se detecta la mayor separación de valores medios de  $\sigma^0$  entre la caña en pie verde y las cañas cosechadas, en verde y quemada.

En las imágenes con polarización HH, el rango en que se encuentran los valores medios de  $\sigma^0$  es más estrecho, siendo la cobertura caña cosechada en verde la que se mantiene separada de las demás, presentando los valores medios de  $\sigma^0$  más bajos en todas las fechas. El rango de valores medios de  $\sigma^0$  en donde se encuentran las coberturas caña en pie verde, caña en pie helada y caña cosechada quemada se comprime aún más, y la posición relativa entre cada cobertura se alterna.

La cobertura caña en pie helada presenta una tendencia creciente en sus valores medios de  $\sigma^0$  a partir de su aparición en la imagen 20110713HH.

Se remarca que el presente estudio se realizó con imágenes y datos de archivo. No se contó con mediciones de campo al momento de la pasada de los satélites, impidiendo un análisis más detallado de las condiciones fenológicas y físicas del objeto de estudio.

En trabajos posteriores se propone aplicar distintos métodos de procesamiento al set de imágenes disponible para mejorar los resultados obtenidos.

Por otra parte se propone la toma de imágenes programadas con polarizaciones cruzadas, en fechas acorde a la fenología del cultivo, para realizar un trabajo de campo más consistente y ampliar las posibilidades de análisis.

## 5. Referencias bibliográficas

Agenzia Spaziale Italiana (2007). **COSMO-SkyMed System Description & User Guide**, Doc No: ASI-CSM-ENG-RS-093-A. Roma, Italy: ASI, Agenzia Spaziale Italiana.

Baghdadi, N.; Boyer, N.; Todoroff, P.; El Hajj, M.; Bégué, A. 2009. Potential of SAR sensors TerraSAR-X, ASAR/ENVISAT and PALSAR/ALOS for monitoring sugarcane crops on Reunion Island. **Remote Sensing of Environment**. V. 113, n 8, p. 1724-1738.

Baghdadi, N; Cresson, R; Todoroff, P; Moinet, S. 2010. Multitemporal Observations of Sugarcane by TerraSAR-X Images. **Sensors** 2010, www.mdpi.com/journal/sensors, pp. 8900-8916.

Baghdadi, N.; Todoroff, Mehrez Zribi. 2011. Multitemporal observations of sugarcane by TerraSAR-X sensor. En **Proceedings IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2011**. Vancouver, Canadá.

Chuvieco Salinero, E. 2002. **Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio**. Editorial Ariel S.A. Barcelona. España.

Jensen, John R. 2007. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Tradução: Epiphania, J. C. N. et al. Sao José dos Campos. SP. Parêntese. 2009.

Lin, H; Chen, J.; Pei, Z.; Zhang, S.; Hu, S. 2009. **Monitoring sugarcane growth using ENVISAT ASAR data**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. V. 47, n 8, p. 2572-2580.

Martins Péscio, A. R. y D. Eyji Sano. Análise espectral comparativa entre a cultura de cana-de-açúcar e mata do município de Jaú-SP a partir de dados de radar e ópticos dos satélites Alos/Palsar e Landsat TM. En: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos:INPE, 2011. Artigos, p.8067-8074.

Romero, E. R.; Digonzelli, P. A., Scandaliaris, J; (eds.). 2009. **Manual del Cañero**. 1ª ed. EEAOC.

Silva de Oliveira, Laís; R. A. Camargo Lamparelli; M. C. Araujo Picoli y J. Vieira Rocha. 2011. Avaliação do potencial de discriminación de alvos localizados em áreas agrícolas utilizando imagens PALSAR/ALOS. En: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos:INPE, 2011. Artigos, p.8215-8022.

Soria, F. J.; C. Fandos y J. Scandaliaris. 2000. Determinación por imágenes satelitales del área cultivada con citrus y granos, y producción de caña de azúcar. **Revista Industrial y Agrícola de Tucumán** v. 77 n.1, p.49-69.

Soria, F.; C. Fandos; J. Scandaliaris. 2002. Using Landsat Data to Estimate Planted Area and Production Levels of Sugarcane y Argentine. **The Earth Observer**, v. 14, n. 3, p. 12-16.

Soria F., C. Fandos, P. Scandaliaris y J. Carreras Baldrés. 2012. Evaluación del potencial de discriminación de coberturas agrícolas y urbanas utilizando imágenes SAR Cosmo Skymed (CSK) en la provincia de Tucumán. En **Resúmenes Congreso Argentino de Teledetección (CAT 2012)**, 2012, Córdoba, p.56.