

Integración de imágenes satelitales y SIG para la determinación de daños por heladas en caña de azúcar, zafra 2007, Tucumán, Argentina

Carmina Fandos¹
Federico José Soria¹
Jorge Scandaliaris¹
Pablo Scandaliaris¹

¹ Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombes” (EEAOC)
Av. William Cross 3150
-T4101XAC- Las Talitas – Tucumán – Argentina
{carminaf, federicos, srysig}@eeaoc.org.ar

Abstract.

Temperatures below 0° C recorded in Tucumán during the winter of 2007 impacted negatively on sugarcane crops. It became necessary to assess the intensity of damages so as to estimate sugar losses and identify the most affected area, where harvest should be held as a priority.

Based on the report of sugarcane planted area and production levels issued by EEAOC in February to April 2007, Landsat 5 TM satellite images acquired in July were analyzed to differentiate damage degrees in sugarcane fields.

Satellite image processing techniques and SIG tools were used, validating results against field data.

Satellite images were first masked making sugarcane area the only one visible. Then, sugarcane areas harvested and not harvested were determined, checking what yield levels non-harvested sugarcane fields presented.

Finally, a vegetation index was used (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) to classify non-harvested sugarcane fields into three groups according to degree of damages caused by frosts.

When superimposing this last thematic layer with that of production levels, frost effects on the different productive levels of sugarcane fields were determined.

Results indicated that 41% of non-harvested sugarcane areas corresponded to areas severely affected by frost, and 47% and 12% to areas fairly and mildly affected by frost, respectively.

Low yield category presented the biggest proportion of severe damages, in opposition to high yield category, which showed the smallest percentage of damages.

In this article, the results obtained graphically and analytically will be analyzed.

Palabras clave: Remote sensing, image processing, sugarcane, vegetation index, sensoriamiento remoto, processamento de imagens, cana-de-açúcar, índice de vegetação

1. Introducción

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.

La provincia de Tucumán presenta buenas condiciones climáticas y edáficas para el crecimiento de la caña de azúcar; históricamente la superficie cañera en Tucumán osciló entre 200.000 y 250.000 ha, lo que representa cerca del 50% de la superficie cultivada provincial. Su expansión territorial se encuentra limitada al norte y al oeste por el relieve serrano; al este y al sur por la disminución de las precipitaciones (isoyeta de 700 mm), el aumento del número de días de heladas y la presencia de suelos salinos.

El área cañera se encuentra bajo un régimen monzónico de lluvias cuyos valores anuales medios, variables entre los 800 a 1.500 mm, se incrementan a medida que se acercan a los cerros del oeste. Durante el periodo de frío y sequía, que va de mayo a agosto, se producen heladas. En general las heladas son moderadas (0°C a -4°C); no afectando mayormente los cañaverales, pero en algunos años las heladas son muy intensas, determinando graves daños en los lotes con caña de azúcar, situación que se presentó en la zafra 2007.

Las temperaturas por debajo de 0° C que se registraron entre fines de mayo y julio de 2007 impactaron negativamente sobre los cañaverales y otros cultivos de la provincia.

Hacia fines de mayo y junio, la ocurrencia de las heladas se presentó especialmente localizada en el sur y este de la provincia, mientras que entre el 09 y el 12 de julio ocurrieron fríos intensos y prolongados en forma generalizada en toda la zona cañera, Lamelas, et al. (2007).

Las heladas en algunas zonas llegaron a tener una calificación de muy severas, como consecuencia de niveles térmicos inferiores a -4°C y durante un tiempo prolongado, lo que hacía presuponer un efecto negativo importante sobre los cañaverales, afectando el nivel productivo de la caña de azúcar y la disponibilidad de yemas útiles en los lotes semilleros.

El uso combinado de la Teledetección y SIG es cada vez más frecuente en los estudios de uso de la tierra. Esto debido, por un lado, a que los sensores remotos son una herramienta indispensable para la detección y cuantificación de cambios de los ecosistemas, ya que proveen medidas calibradas y consistentes sobre las características de la superficie terrestre, Chandler et al., (2003), y por otro, a que los SIG. brindan la posibilidad de vincular espacialmente distintas fuentes de información.

A partir del análisis de las imágenes generadas por sensores remotos se puede obtener información de las características de las coberturas vegetales utilizando diferentes técnicas de procesamiento de imágenes, entre ellas el cálculo de índices de vegetación.

Un índice de vegetación es un parámetro calculado a partir de los valores de reflectividad a distintas longitudes de onda y pretende extraer la información relacionada con la vegetación, minimizando la influencia de otros factores externos, tales como las propiedades ópticas del suelo, la irradiancia solar, etc. Sobrino et al., (2000).

El *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), es un índice de vegetación que mide la reflectividad del espectro electromagnético en las bandas del infrarrojo cercano y el rojo y da una medida de la cobertura vegetal y su vigorosidad.

En Pontes, et al 2005, el análisis estadístico de los datos demostró que existe correlación entre el índice NDVI y la productividad del cultivo de caña de azúcar, mostrando dicho estudio el potencial de los índices de vegetación para la diferenciación de producción de caña de azúcar.

Durante los meses de febrero a abril del año 2007, la Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres” (EEAOC) realizó un relevamiento de la zona cañera de Tucumán con el fin de estimar, antes del inicio de la zafra 2007, el área cosechable de caña de azúcar y los niveles productivos de los cañaverales para dicha campaña (Fandos et al., 2007). Tomando como base dicha información y la generada por la aplicación del índice NDVI en imágenes Landsat 5 TM adquiridas el día 19 de julio de 2007, se realizó un relevamiento de la intensidad del daño provocado por las heladas en el área cañera, diferenciando según niveles de producción.

En el presente artículo se exponen los resultados obtenidos.

2. Metodología de trabajo

El área de estudio es la provincia de Tucumán, Argentina. La provincia de Tucumán se encuentra localizada entre los paralelos 26° y 28° de latitud sur y los meridianos 64° 30' y 66° 30' de longitud oeste y abarca una superficie total de 22.524 km², Figura 1. Casi un 45% de su superficie se encuentra ocupada por serranías y montañas ubicadas en la mitad oeste de su territorio.

El área específica de estudio abarcó las regiones agrológicas de pedemonte y llanura en las cuales se desarrollan preferentemente los cultivos de caña de azúcar.

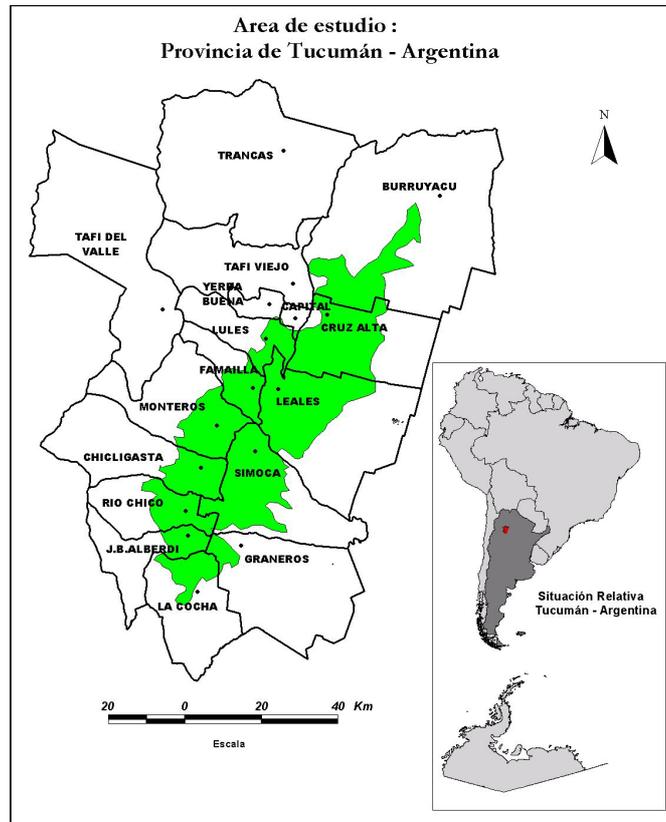


Figura 1: Localización del área de estudio

Para la realización del trabajo se aplicaron diferentes técnicas de procesamiento de imágenes satelitales y herramientas SIG, complementadas con trabajos de validación a campo.

En el procesamiento y análisis de las imágenes se emplearon los módulos del software ERDAS Imagine, versión 8.4.; en tanto que para la composición de las figuras se recurrió al software ArcView, versión 3.2. Las etapas del estudio se resumen a continuación:

- Unificación de las coberturas departamentales de las clasificaciones de caña de azúcar de abril de 2007 a fin de obtener la capa temática de caña de azúcar por niveles de producción provincial (Figura 2). La metodología empleada por la estimación del área cañera según niveles de rendimiento se detalla en Soria et al., (2000) y Soria et al., (2002).

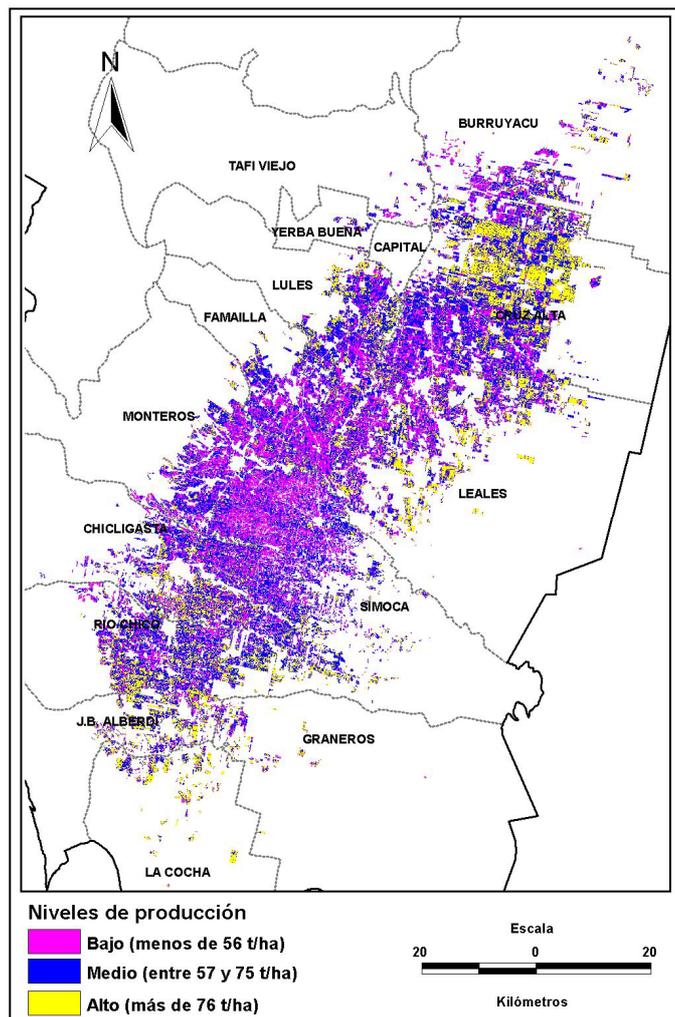


Figura 2. Área cañera por niveles de producción. Zafra 2007. Tucumán.

- Corrección geométrica de las imágenes Landsat 5 TM de fecha 19 de julio de 2007 (escenas 230/78 y 230/79). Proceso para el cual se tomaron como base las cartas imagen del Instituto Geográfico Militar (IGM) identificadas como 2766-II y 2766-IV; estas cartas imagen fueron corregidas geométricamente utilizando un Modelo Digital del Terreno con información altimétrica cada 100 metros, en tanto que el sistema de referencia corresponde a la proyección cartográfica Posgar 94, con Datum WGS84. Se comprobó la precisión del ajuste a través de puntos de control obtenidos con GPS durante los controles de campo.
- Filtrado de las imágenes satelitales con el propósito de enmascararlas para conservar únicamente los campos cultivados con caña de azúcar. La capa temática utilizada para enmascarar las imágenes fue la de caña de azúcar por niveles de producción provincial. Las imágenes abarcaban el 93,5% del área cultivada con caña de azúcar.
- Clasificación multiespectral no supervisada de las imágenes estratificadas, Chuvieco Salinero, (2002). Partiendo de la cobertura temática generada y corroborando con datos de campo, se demarcaron las áreas cañeras cosechadas y sin cosechar.

- Seguidamente, para identificar a qué nivel de rendimiento correspondían los lotes no cosechados, la capa temática generada fue superpuesta con la correspondiente a niveles de producción: bajo (<57 t/ha), medio (entre 57 y 75 t/ha) y alto (>75 t/ha).
- Posteriormente, se calculó el índice de vegetación NDVI. En base a los valores obtenidos y mediante un intenso trabajo de validación a campo, los cañaverales no cosechados fueron separados en tres categorías según la intensidad de afectación de las heladas: suavemente, medianamente y severamente afectado por heladas.
- Finalmente, las capas temáticas de niveles de producción y de grados de afectación por heladas fueron superpuestas para identificar grados de afectación por nivel de producción.

3. Resultados

3.1 Avance de cosecha al 19 de julio de 2007

Como se mencionó anteriormente la información satelital abarcó el 93,5% del área cañera, lo que significa que de las 217.060 ha netas cosechables estimadas para la zafra 2007 (Fandos et al., 2007), las imágenes satelitales contenían información de 202.950 ha. Considerando dicha superficie el avance de cosecha estimado fue del **27%**. La Figura 3 muestra el área cañera cosechada y sin cosechar al 19 de julio de 2007.

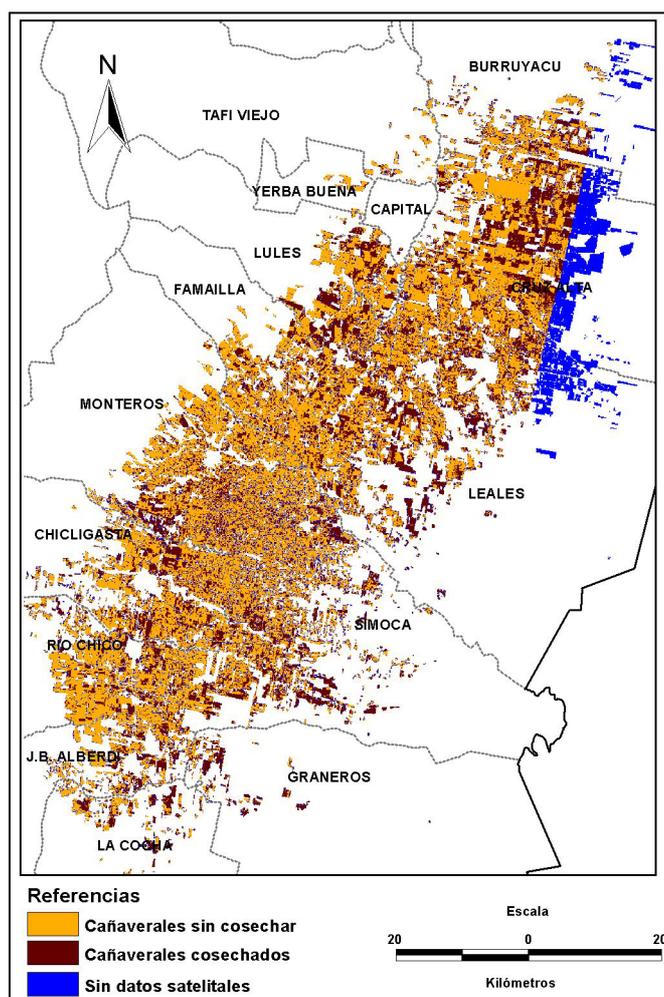


Figura 3. Área cañera cosechada y sin cosechar al 19 de julio de 2007. Tucumán.

La separación de los cañaverales cosechados y sin cosechar por niveles de producción se expone en la Tabla 1.

Tabla 1. Áreas cañeras cosechadas y sin cosechar, según niveles de producción al 19 de julio de 2007, sobre el 93,5% del área cañera total. Tucumán.

Niveles de producción	Cosechado		No cosechado	
	ha*	%	ha*	%
Bajo (<57 t/ha)	19.730	36	49.140	33
Medio (entre 57 y 75 t/ha)	23.560	43	70.230	48
Alto (>75 t/ha)	11.510	21	28.780	19

*Superficie neta cosechable.

3.2 Aplicación del índice NDVI y delimitación de niveles de afectación por heladas

Una vez calculado el índice NDVI se procedió a la delimitación de los diferentes grados de intensidad de daño por heladas.

Es oportuno aclarar que en primera instancia se trató de diferenciar cuatro niveles de calificación de heladas (suave, moderada, severa y muy severa), para coincidir con la clasificación adoptada para la zona azucarera de Tucumán, según la intensidad y duración de las mismas, Romero et al., (2007). Esto hubiera sido muy interesante, pero lamentablemente no se pudo lograr, principalmente debido a las restricciones propias del sensor utilizado, en especial en lo referido a la resolución espacial. Al efectuar la validación a campo se comprobó que había un alto grado de coincidencia entre lo observado en el terreno y la clasificación en tres categorías, razón por la cual se optó por esta separación. En la Tabla 2 se puede observar la correspondencia entre ambas calificaciones.

Tabla 2. Correspondencia entre la calificación de heladas adoptada para la zona azucarera de Tucumán y la obtenida a partir de imágenes satelitales.

Diferenciación según imágenes satelitales	Calificación según intensidad y duración*
Suavemente afectado por heladas	Helada suave
Medianamente afectado por heladas	Helada moderada y severa
Severamente afectado por heladas	Helada severa y muy severa

*: Tomado de Romero, et al., 2007

La clasificación fue validada a campo en diferentes ocasiones en que se recorrió la zona cañera de Tucumán.

Los resultados indicaban que de los cañaverales sin cosechar, 60.740 ha (**41%**) correspondían a lotes cañeros severamente afectados por las heladas, en tanto que 69.630 ha (**47%**) y 17.780 ha (**12%**) a cañaverales medianamente y suavemente afectados por heladas, respectivamente.

La Figura 4 muestra la distribución geográfica de los diferentes niveles de afectación por heladas. Se puede observar, en general, que en la zona oeste del área cañera el efecto negativo de las bajas temperaturas fue menor, predominando los cañaverales con nivel suave de afectación. Hacia el este, centro y sur prevalecen zonas con daños de mayor importancia.

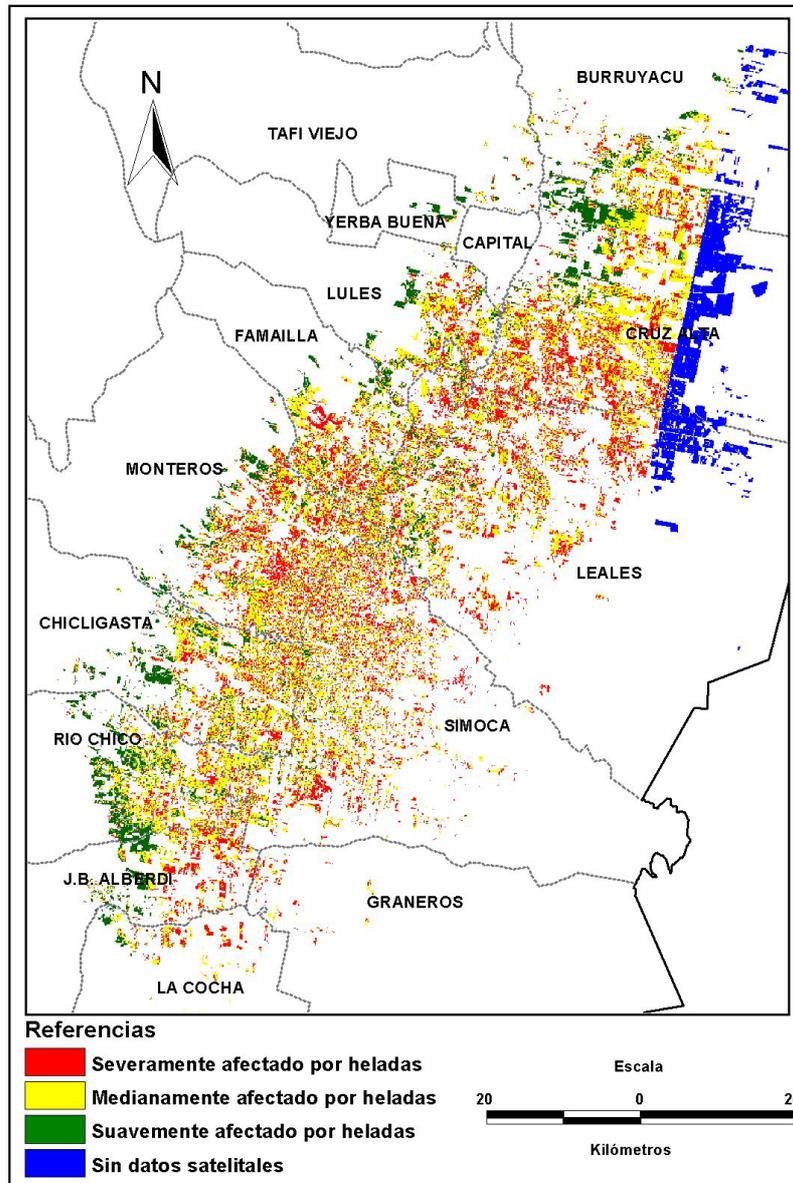


Figura 4. Área cañera afectada por las heladas del período mayo-julio de 2007. Tucumán.

3.3 Intensidad de daño por heladas en los diferentes niveles de producción

La consideración en conjunto de la información de daño por heladas y niveles de producción de caña de azúcar, permitió cuantificar la intensidad de afectación en los diferentes niveles productivos (Tabla 3). Del análisis de la misma, surge que el nivel bajo de producción fue el que presentó mayor proporción de daños severos por las bajas temperaturas, en contraposición a los cañaverales con altos niveles de rendimiento, los cuales fueron los menos afectados.

Tabla 3. Intensidad de daño por heladas en los diferentes niveles productivos de caña de azúcar para la zafra 2007. Tucumán

Niveles de producción	Suavemente A.H.*		Medianamente A.H.*		Severamente A.H.*	
	ha**	%	ha**	%	ha**	%
Bajo (<57 t/ha)	3.270	5	21.900	36	35.570	59
Medio (entre 57 y 75 t/ha)	9.460	14	34.640	50	25.530	37
Alto (>75 t/ha)	3.790	21	9.570	54	4.420	25

*A.H: afectado por heladas.

**Superficie neta cosechable.

4. Conclusiones

El estudio mostró la capacidad de los índices de vegetación para la diferenciación de niveles de afectación por heladas en caña de azúcar, en la provincia de Tucumán, para la zafra 2007.

La verificación a campo permitió detectar un alto grado de coincidencia entre la calificación de intensidad de daño por heladas lograda en las imágenes satelitales y lo constatado a campo en las diferentes áreas con cañaverales.

La información generada contribuye a una mejor evaluación de los efectos de las heladas, ya que la metodología empleada permitió identificar espacialmente y cuantificar los efectos negativos producidos por las bajas temperaturas, lo que fue utilizado para establecer la prioridad de cosecha.

Por otra parte estos datos sirvieron para recalcular la estimación de producción de azúcar de la provincia de Tucumán para la zafra 2007 a mediados de la misma.

5. Referencias bibliográficas

- Lamelas, C.M.; Forciniti, J.D.; Soulé Gómez, L. El tiempo y los cultivos en el período julio-setiembre 2007. **Avance Agroindustrial**, v. 28, n.3, p. 48-52. 2007.
- Chandler, G.; Markham, B. **Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-Calibration Dynamic Ranges**. 2003.
- Sobrino, J. A.; N. Raissouni; Y. Kerr; A. Olioso; M. J. López-García; A. Belait; M. H. El Kharraz; J. Cuenca y L. Dempere. **Teledetección**. Servicio de Publicaciones, Universidad de Valencia, Valencia, España. 2000.
- Pontes, P. P. B.; Rocha, J. V.; Lamparelli, R.A.C. Análise temporal de índices de índices de vegetação como subsídio à previsto de safras de cana-de-açúcar. **Anais XII SBSR**, Goiania, Brasil, Abril 2005. INPE, p. 217-224.
- Fandos, C.; Soria F. J.; Scandaliaris, J.; Scandaliaris, P.. Perspectivas de producción azucarera para la zafra 2007 en la provincia de Tucumán. **Avance Agroindustrial**, v. 28, n.2, p. 13-16. 2007.
- Soria, F. J.; C. Fandos y J. Scandaliaris. 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. 2000.
- Soria, F.; C. Fandos; J. Scandaliaris.. Using Landsat Data to Estimate Planted Area and Production Levels of Sugarcane and Argentine. **The Earth Observer**, v. 14, n. 3, p. 12-16. 2002.
- Chuvieco Salinero, E. **Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio**. Editorial Ariel S.A. Barcelona. España. 2002.
- Romero, E. R.; P. A. Dignonzelli; J. Scandaliaris; M. J. Tonatto; J. A. Giardina y S. D. Casen. Zafra 2007: las heladas y sus efectos en los cañaverales de Tucumán. Recomendaciones de manejo. **Avance Agroindustrial**, v. 28, n.2, p. 17-21. 2007.