

**RELEVAMIENTO DEL ÁREA AGRÍCOLA-GANADERA  
DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN, REPÚBLICA ARGENTINA,  
AFECTADA POR LAS INUNDACIONES DEL MES DE ENERO DE 2007  
UTILIZANDO TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y SIG**

Lic. Federico J. Soria<sup>1</sup>  
Ing. Agr. Carmina Fandos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lic. Geografía. Instituto de Estudios Geográficos (Universidad Nacional de Tucumán) – Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres” (EEAOC)-(Prov. de Tucumán)

<sup>2</sup> Ingeniera Agrónoma. Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres” (EEAOC)-(Prov. de Tucumán)

Av. William Cross 3150, -T4101XAC- Las Talitas, Tucumán, Argentina. Tel.: 054-381-4276561. E\_mail: [federicos@eeaoc.org.ar](mailto:federicos@eeaoc.org.ar)

### **Resumen**

La Provincia de Tucumán se encuentra situada entre los 26° y 28° de latitud Sur y los 64° 30' y 66° 30' de longitud Oeste, comprendiendo una superficie de 22.524 km<sup>2</sup>.

Su territorio se halla dividido prácticamente en dos unidades topográficas muy definidas, un sector oriental llano y un sector occidental montañoso. Casi un 45% de su superficie se encuentra ocupada por dichas serranías y montañas.

La potencialidad agrícola del sector de llanuras decrece de Oeste a Este, situación vinculada principalmente con el gradiente de precipitaciones y el incremento de la intensidad y frecuencia de heladas. Es así que en el Pedemonte y en las regiones de las Llanuras Chacopampeana y Deprimida más cercana al mismo se ubican aquellos cultivos de mayor requerimiento hídrico y más sensibles a las heladas: caña de azúcar, hortalizas, berries y frutales (limón, cítricos dulces, paltos, etc.). Hacia el Este de la Llanura Chacopampeana se agrupan los cultivos de granos estivales, soja y maíz principalmente; los otoño invernales, trigo en mayor medida; y la actividad ganadera (que también tiene presencia en la Cuenca Tapia-Trancas).

La tecnología satelital es una herramienta fundamental para el análisis del terreno y los cambios producidos en su uso a escala regional y global. Esta, sumada a otras tecnologías como los Sistemas de Información Geográficas (SIG) y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), ayudan a un estudio mas amplio y complejo del terreno y a la conformación de una cartografía temática.

La Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres” (EEAOC) desde el año 1998 realiza anualmente el relevamiento de la superficie ocupada con los principales cultivos en la Provincia de Tucumán, utilizando técnicas de Teledetección y SIG, con imágenes satelitales Landsat principalmente. Dichos estudios permiten la determinación del área agroproductiva a nivel provincial y departamental.

La temporada estival tucumana 2006/2007 se caracterizó por la ocurrencia de lluvias torrenciales que afectaron gran parte del área agrícola-ganadera de la provincia, provocando inundaciones y anegamientos que impactaron negativamente en las

producciones primarias, no solo por su efecto directo sobre los lotes de producción, sino también por el deterioro ocasionado a la red caminera y a las áreas de servicio de las fincas.

Las precipitaciones registradas durante el mes de enero de 2007 alcanzaron valores tan elevados que pasaron a constituir nuevos máximos de series pluviométricas en varias localidades de la Provincia de Tucumán. Si bien hubo una marcada variabilidad en la distribución espacial, las lluvias fueron abundantes e intensas en todo el área productiva, destacándose la ocurrencia de valores extraordinariamente superiores a los normales en diferentes sectores, tanto del área pedemontana como de la llanura.

El área agrícola-ganadera en la Provincia de Tucumán para el año 2006 fue estimada en 864.120 ha. Teniendo en cuenta dicha información y la existencia de imágenes satelitales adquiridas en días posteriores a las lluvias torrenciales se plantearon los objetivos del presente trabajo, los cuales fueron: identificar y cuantificar la superficie afectada por la presencia de agua en superficie de los campos dedicados a la actividad agrícola-ganadera en la provincia de Tucumán.

En el desarrollo del presente trabajo se utilizó el programa ERDAS 8.4 para el procesamiento de las imágenes y ARCVIEW GIS versión 3.2. para la composición de las figuras.

Se utilizaron imágenes Landsat 5 TM (escenas 230/78 y 230/79, de fecha 02 de febrero de 2007), las cuales fueron georeferenciadas al Sistema POSGAR. Se tomaron un mínimo de 60 puntos de control, con un nivel de error medio cuadrático inferior a 0,70.

Con el fin de restringir el análisis de las imágenes solo al área agroproductiva, se utilizaron las coberturas temáticas del área agrícola-ganadera tucumana, generadas para el mes de abril de 2006, de manera de enmascarar las imágenes originales. En dicho proceso se empleó la herramienta Mask del módulo Interpreter.

Una vez delimitado el espacio a analizar, se identificaron las áreas agropecuarias con presencia de agua en superficie, proceso para el cual se aplicó una metodología de clasificación multiespectral mixta.

Los datos obtenidos fueron discriminados a nivel de departamento.

Los resultados indican que 66.040 ha del área agrícola-ganadera tucumana presentaban zonas anegadas al día 02 de febrero de 2007, lo que representa un 8% del total del área a nivel provincial.

Aproximadamente el 50% del área afectada se concentró en dos departamentos, Leales y Simoca (28% y 19% respectivamente).

Si se considera la proporción de área agropecuaria afectada en cada departamento, se destaca Famaillá, ya que el 21% de su área agrícola-ganadera presentaba zonas anegadas, seguido por Simoca y Lules con un 19% en ambos casos.

Del análisis de la distribución espacial de las zonas afectadas surge que si bien no presenta un patrón definido se pueden apreciar sectores que fueron más afectados por las inundaciones, los mismos estarían asociados a distintas causas, algunas naturales (sector de la Llanura Deprimida) y otras de origen antrópico (canales, rutas, etc.).

Palabras claves: Sensores remotos, SIG, inundaciones

## **Introducción**

El territorio de la Provincia de Tucumán se halla dividido prácticamente en dos unidades topográficas muy definidas, un sector oriental llano y un sector occidental montañoso. Casi un 45% de su superficie se encuentra ocupada por dichas serranías y montañas.

La potencialidad agrícola del sector de llanuras decrece de Oeste a Este, situación vinculada principalmente con el gradiente de precipitaciones y el incremento de la intensidad y frecuencia de heladas. Es así que en el Pedemonte y en las regiones de las Llanuras Chacopampeana y Deprimida más cercana al mismo se ubican aquellos cultivos de mayor requerimiento hídrico y más sensibles a las heladas: caña de azúcar, hortalizas, berries y frutales (limón, cítricos dulces, paltos, etc.). Hacia el Este de la Llanura Chacopampeana se agrupan los cultivos de granos estivales, soja y maíz principalmente; los otoño invernales, trigo en mayor medida; y la actividad ganadera (que también tiene presencia en la Cuenca Tapia-Trancas).

La tecnología satelital es una herramienta fundamental para el análisis del terreno y los cambios producidos en su uso a escala regional y global. Esta, sumada a otras tecnologías como los Sistemas de Información Geográficas (SIG) y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), ayudan a un estudio más amplio y complejo del terreno y a la conformación de una cartografía temática.

La Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombes” (EEAOC) desde el año 1998 realiza anualmente el relevamiento de la superficie ocupada con los principales cultivos en la Provincia de Tucumán, utilizando técnicas de Teledetección y SIG, con imágenes satelitales Landsat principalmente. Dichos estudios permiten la determinación del área agroproductiva a nivel provincial y departamental.

La temporada estival tucumana 2006/2007 se caracterizó por la ocurrencia de lluvias torrenciales que afectaron gran parte del área agrícola-ganadera de la provincia, provocando inundaciones y anegamientos que impactaron negativamente en las producciones primarias, no solo por su efecto directo sobre los lotes de producción, sino también por el deterioro ocasionado a la red caminera y a las áreas de servicio de las fincas.

Las precipitaciones registradas durante el mes de enero de 2007 alcanzaron valores tan elevados que pasaron a constituir nuevos máximos de series pluviométricas en varias localidades de la provincia. Si bien hubo una marcada variabilidad en la distribución espacial, las lluvias fueron abundantes e intensas en todo el área productiva, destacándose la ocurrencia de valores extraordinariamente superiores a los normales en diferentes sectores, tanto del área pedemontana como de la llanura. Un caso que refleja esta situación fue lo ocurrido en la estación meteorológica de El Colmenar, donde en el mes de enero de 2007 se acumularon 476,7 mm. Este valor, que superó en un 144% al promedio histórico (195,7 mm), es el más alto registrado para el mes de enero desde el año 1884. Superó en 97,4 mm al máximo anterior (379,3 mm), correspondiente a enero de 1910. (Lamelas et. al, 2007).

Según Soria et. al, 2007 a, el área agrícola-ganadera en la Provincia de Tucumán para el año 2006 fue de 864.120 ha. En dicho estudio, la superficie mencionada fue estimada utilizando imágenes satelitales Landsat 5 TM, aplicando una metodología de teledetección y recurriendo a la utilización de máscaras, con el propósito de excluir del análisis digital las zonas urbanas y los cuerpos de agua. Teniendo en cuenta dicha información y la existencia de imágenes satelitales adquiridas en días posteriores a las lluvias torrenciales se plantearon los objetivos del presente trabajo, los cuales fueron:

identificar y cuantificar la superficie afectada por la presencia de agua en superficie de los campos dedicados a la actividad agrícola-ganadera en la Provincia de Tucumán.

### **Materiales y Métodos**

El área de estudio es la Provincia de Tucumán, República Argentina. 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 km<sup>2</sup>, Figura 1.

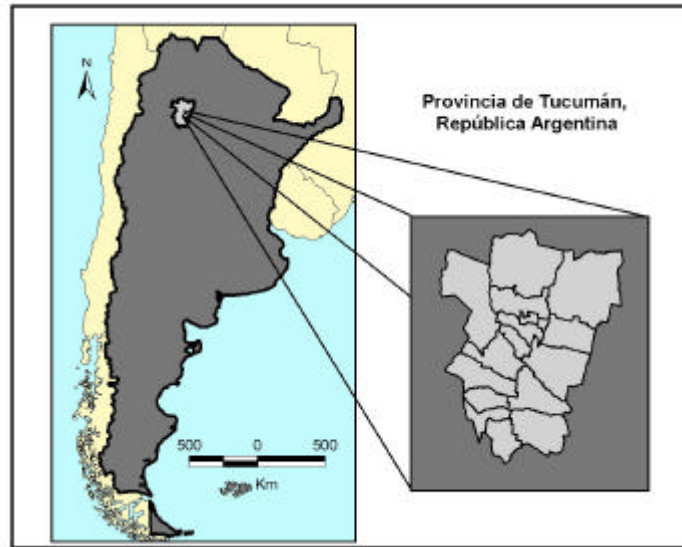
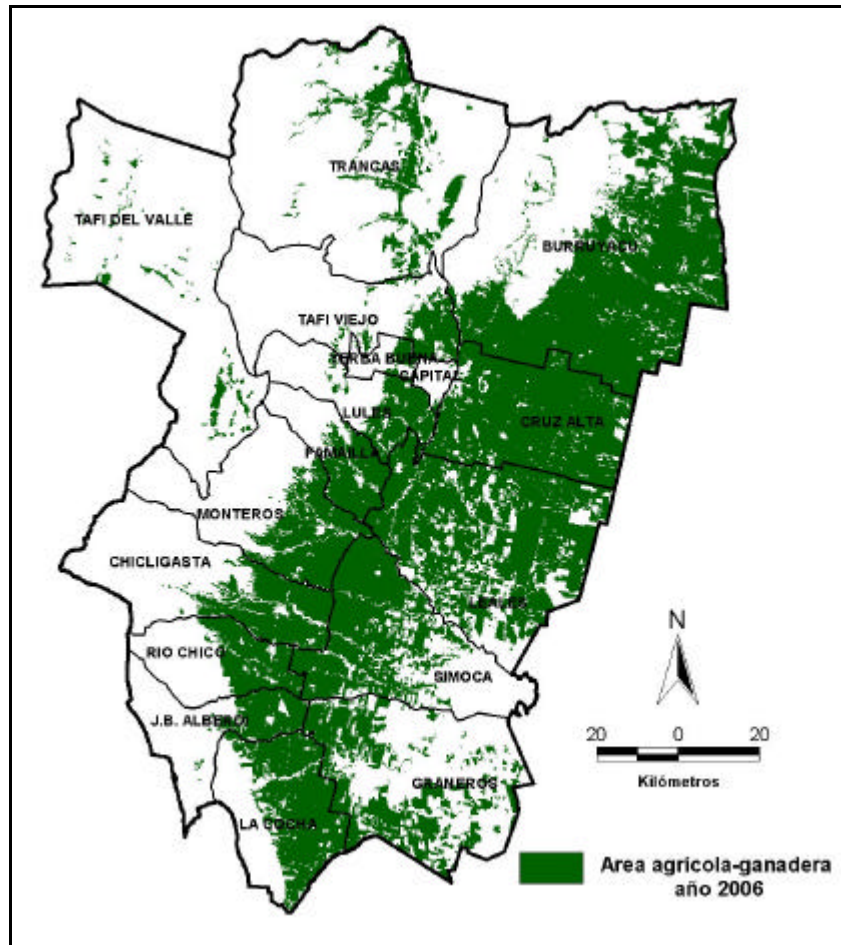


Figura 1: Situación relativa del área de estudio

Para el desarrollo del presente trabajo se analizó la información generada por sensores remotos. Se utilizaron imágenes Landsat 5 TM (escenas 230/78 y 230/79, de fecha 02 de febrero de 2007). Las mismas fueron corregidas geométricamente, 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 tomaron un mínimo de 60 puntos de control, con un nivel de error cuadrático medio inferior a 0,70.

El programa utilizado para el procesamiento de las imágenes fue el ERDAS 8.4. en tanto que para la composición de las figuras se recurrió al ARCVIEW GIS versión 3.2.

Con el fin de restringir el análisis de las imágenes solo al área agroproductiva, se utilizaron las coberturas temáticas del área agrícola-ganadera tucumana, generadas para el mes de abril de 2006 (Figura 2), de manera de enmascarar las imágenes originales. En dicho proceso se empleó la herramienta Mask del módulo Interpreter.



**Figura 2: Área agrícola-ganadera de la Provincia de Tucumán, año 2006.**

Una vez delimitado el espacio a analizar, se identificaron las áreas agropecuarias con presencia de agua en superficie, proceso para el cual se aplicó una metodología de clasificación multiespectral mixta (Chuvieco Salinero, 2002).

Para la clasificación, de la información contenida en las 7 bandas de la imagen, se utilizó la proporcionada por las bandas 3, 4, y 5. La selección de las bandas citadas obedece a que el rango espectral abarcado por ellas (rojo al infrarrojo medio) favorece la discriminación de cubiertas con agua.

Cabe destacar que las superficies acuáticas absorben o transmiten la mayor parte de la radiación óptica que reciben (Sobrino, 2000), siendo mayor su absorptividad cuanto mayor sea la longitud de onda. La mayor reflectividad del agua clara se produce en el rango espectral del azul, 0,4 a 0,5  $\mu\text{m}$ , reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo cercano, 0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ , y medio, 1,3 a 8  $\mu\text{m}$ , donde ya es prácticamente nula. Por esta razón, la frontera tierra-agua es muy nítida en este rango espectral, (Chuvieco Salinero, 2002).

La Figura 3 muestra un detalle de la imagen utilizada en composición pseudo color compuesto (bandas 4-5-3). Las áreas en azul corresponden a superficies con agua en superficie.

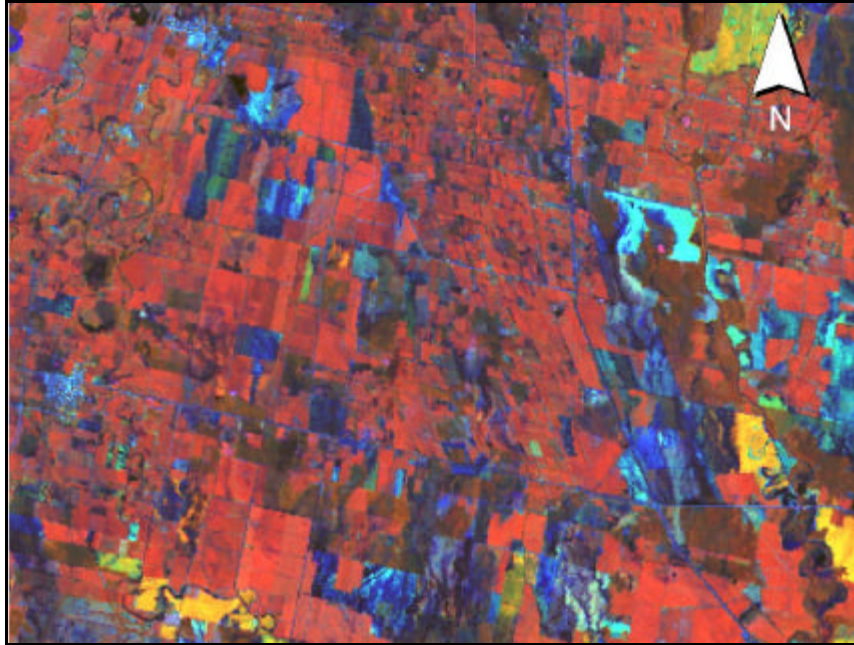


Figura 3: Detalle de la imagen LandSat5 TM, composición Pseudo Color Compuesto, bandas 4-5-3.

Una vez conseguidas las clasificaciones correspondientes a las áreas agrícola-ganaderas con agua en superficie, se realizaron análisis S.I.G. (Sistemas de Información Geográfica), para contrastarlas con otras coberturas temáticas. Para tales procesos, se utilizó la herramienta Index del módulo Interpreter.

En primera instancia, se superpusieron al mapa del “Bosquejo Agrológico de la Provincia de Tucumán”, (Zuccardi y Fadda, 1985), para identificar las regiones agrológicas que fueron más afectadas por las inundaciones.

Posteriormente, con el fin de identificar los cultivos que fueron perjudicados por las inundaciones, se contrastaron con las coberturas digitales de caña de azúcar obtenidos para la zafra 2007, y de soja y granos, correspondientes a la campaña 2006/2007, (Soria et. al, 2007 b). Los cultivos mencionados son los de mayor extensión dentro de la zona productora de la llanura tucumana.

Los productos resultantes incluyeron la generación digital de diferentes mapas temáticos con los respectivos resultados numéricos.

### **Resultados**

Los resultados indican que 66.040 ha del área agrícola-ganadera tucumana presentaban zonas anegadas al día 02 de febrero de 2007, lo que representa un 8% del total del área a nivel provincial.

La diferenciación del dato a nivel departamental se expone en la Tabla 1, donde también se muestran los datos del área agrícola ganadera considerada en el estudio.

Departamento	Area agrícola-ganadera* (ha)	Area agrícola-ganadera inundada (ha)	Area agrícola-ganadera inundada (%)
Burruyacu	199.590	0	0
Leales	146.090	18.330	13
Cruz Alta	112.360	6.990	6
Simoca	69.150	12.810	19
Graneros	58.040	7.730	13
La Cocha	57.530	900	2
Monteros	40.710	5.300	13
Chicligasta	35.370	2.810	8
Trancas	32.380	0	0
Río Chico	25.200	1.350	5
Famailla	23.750	4.910	21
Lules	20.080	3.750	19
J. B. Alberdi	17.680	1.160	7
Tafí Viejo	16.180	0	0
Tafí del Valle	6.420	0	0
Yerba Buena	3.180	0	0
Capital	410	0	0
<b>TUCUMAN</b>	<b>864.120</b>	<b>66.040</b>	<b>8</b>

\*Area agrícola ganadera al mes de abril de 2006

Fuente: Sección SR y SIG - EEAOC

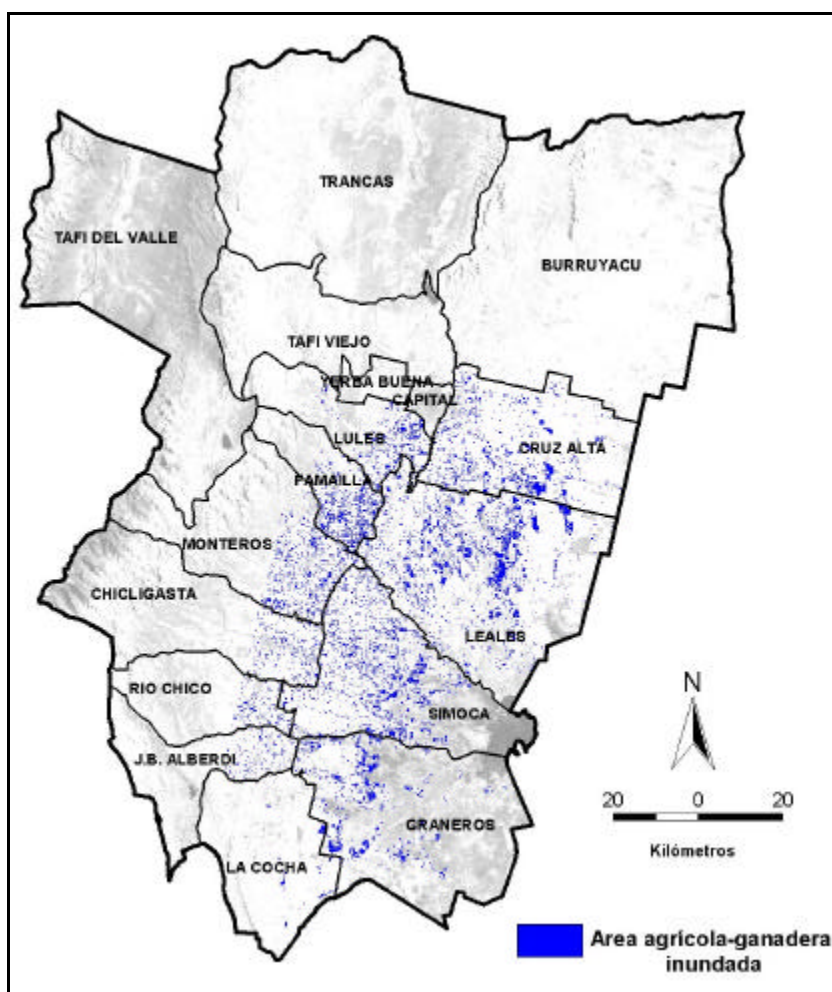
**Tabla 1: Área agrícola ganadera inundada al 02 de febrero de 2007, Provincia de Tucumán.**

Aproximadamente el 50% del área afectada se concentró en dos departamentos, Leales y Simoca (28% y 19% respectivamente).

Si se considera la proporción de área agropecuaria afectada en cada departamento, se destaca Famaillá, ya que el 21% de su área agrícola-ganadera presentaba zonas anegadas, seguido por Simoca y Lules con un 19% en ambos casos.

La Figura 4 muestra la disposición espacial de las zonas agropecuarias con agua en superficie al momento de la adquisición de las imágenes satelitales.





**Figura 4: Área agrícola ganadera inundada al 02 de febrero de 2007, Provincia de Tucumán.**

Al superponer las capas temáticas de áreas con agua en superficie y regiones agrológicas se obtuvo que la región con mayor proporción de áreas afectadas fue la Llanura Deprimida (77% del total provincial), seguida por la Llanura Chacopampeana con el 14%. (Tabla 2).

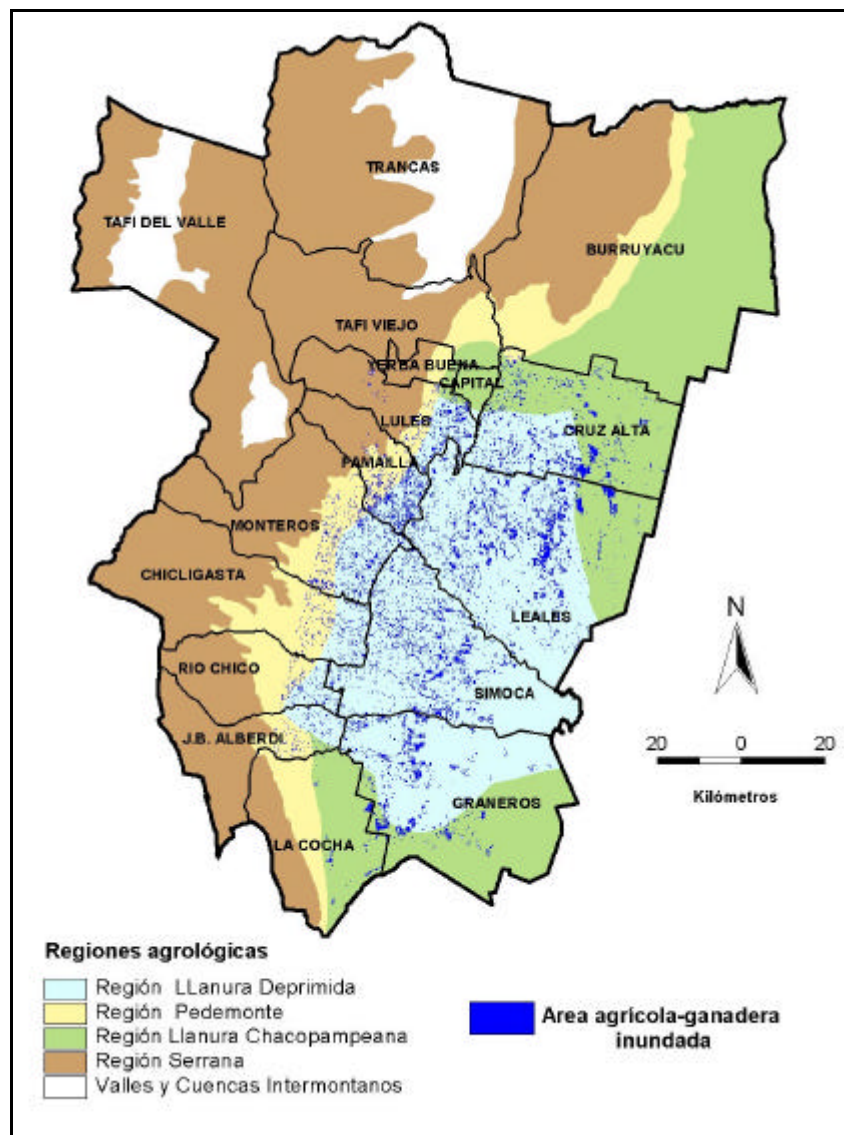
Regiones Agrológicas	Área agrícola-ganadera inundada	
	Hectáreas	Porcentaje
Llanura Deprimida	51.020	77
Llanura Chacopampeana	9.350	14
Pedemonte	5.670	9
Serrana	0	0
Valles y Cuencas Intermontanos	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>66.040</b>	<b>100</b>

Fuente: Sección SR y SIG - EEAOC

**Tabla 2: Área agrícola ganadera inundada al 02 de febrero de 2007, según regiones agrológicas. Provincia de Tucumán.**



En la Figura 5 se visualiza la distribución espacial de las zonas afectadas según las diferentes regiones agrológicas.



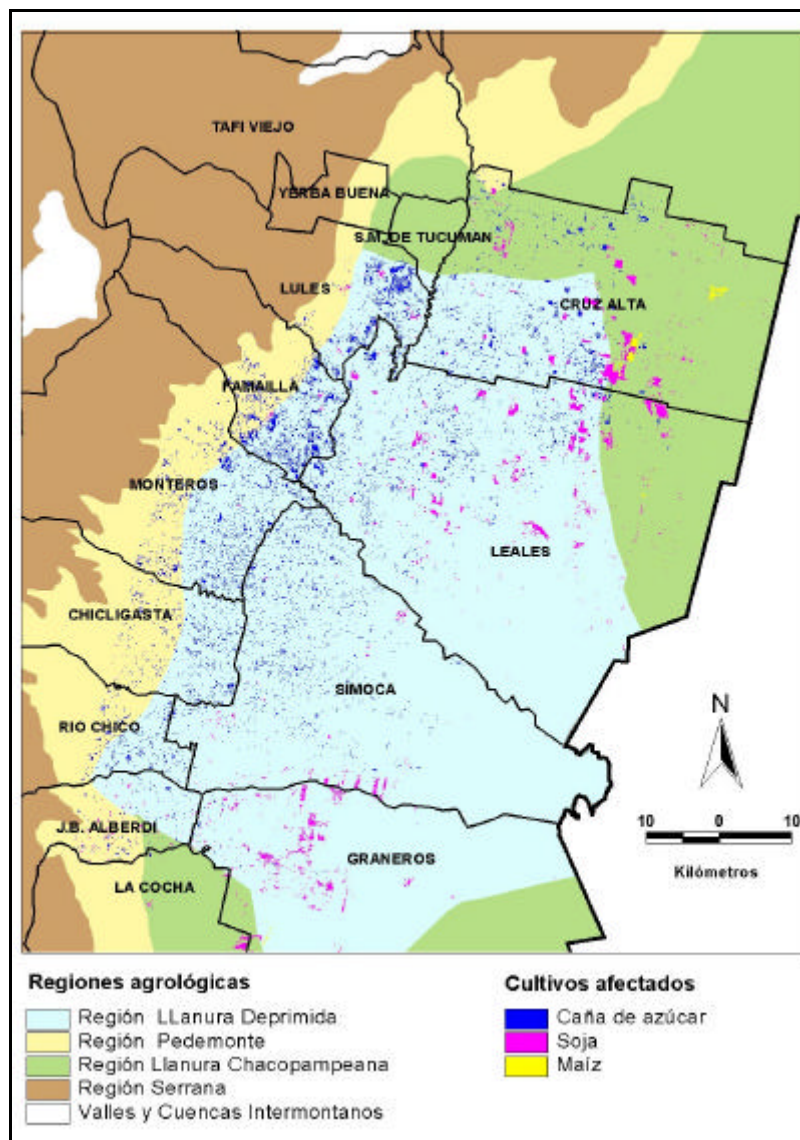
**Figura 5: Disposición espacial del área agrícola ganadera inundada al 02 de febrero de 2007, según regiones agrológicas. Provincia de Tucumán.**

En la Tabla 3 y en la Figura 6 se exponen los productos resultantes de contrastar las capas temáticas de las zonas con agua en superficie y de cultivos. Se constata que el 43% del área afectada correspondió a lotes cultivados con caña de azúcar, soja o maíz. Las más perjudicadas fueron las plantaciones de caña de azúcar, puesto que concentraron alrededor del 27% de la superficie total mencionada.

Area agrícola-ganadera inundada		
Cultivo	Hectáreas	Porcentaje
Caña de azúcar	18.140	63
Soja	9.780	34
Maíz	670	2
<b>TOTAL</b>	<b>28.590</b>	<b>100</b>

Fuente: Sección SR y SIG - EEAOC

**Tabla 3: Cultivos con agua en superficie al 02 de febrero de 2007, Provincia de Tucumán.**



**Figura 6: Distribución geográfica de los cultivos con agua en superficie al 02 de febrero de 2007. Provincia de Tucumán.**

## **Conclusiones**

Los resultados obtenidos indican que el 8% del área agropecuaria tucumana presentaba zonas inundadas al día 02 de febrero de 2007.

Aproximadamente el 50% del área afectada se concentró en dos departamentos, Leales y Simoca (28% y 19% respectivamente). Al considerar la proporción de área agropecuaria con agua en superficie en cada departamento, se destaca Famaillá, con el 21% de su superficie agrícola-ganadera afectada, seguido por Simoca y Lules con un 19% en ambos casos.

El 43% del área correspondió a lotes cultivados con caña de azúcar, soja o maíz, siendo más afectadas las plantaciones de caña de azúcar, las cuales concentraron alrededor del 27% de la superficie total considerada.

La región agrológica con mayor proporción de áreas afectadas fue la Llanura Deprimida (77% del total), seguida por la Llanura Chacopampeana con el 14%.

Si bien la distribución de las áreas inundadas no presenta un patrón definido se pueden distinguir sectores que fueron más afectados por las inundaciones, los mismos estarían asociados a distintas causas, algunas naturales (sector de la Llanura Deprimida) y otras de origen antrópico (canales, rutas, etc.).

En el caso de la Llanura Deprimida se trata de una región que anualmente sufre procesos de inundación, ya que se caracteriza por ser una amplia planicie aluvial de suaves ondulaciones y débiles depresiones, con pendientes menores del 0,5 % y con presencia de una capa freática a escasa profundidad. Las lluvias excepcionales del verano de 2007 favorecieron el crecimiento de la superficie inundada.

En cuanto a las causas antrópicas, se destaca la traza de los caminos, puesto que las principales rutas tienen una dirección Norte-Sur, perpendicular a la pendiente general del terreno. Esto provoca que los terraplenes sobre elevados y la falta de alcantarillas funcionen como verdaderos diques de contención de las aguas que naturalmente drenan con una dirección E-SE. Por otro lado, la falta de mantenimiento de la red de drenaje, determina que los caminos secundarios y terciarios funcionen como una red de canales que drenan las parcelas circundantes, provocando la destrucción de los caminos y el anegamiento de los terrenos más bajos.

El trabajo realizado permitió demostrar la capacidad y efectividad de la tecnología SIG para el análisis de los efectos de inclemencias naturales, ya que no solo facilitó la obtención de información numérica sino también la interpretación espacial de dicha información, con su consecuente análisis.

## **Bibliografía citada**

**Chuvieco Salinero, E. 2002.** Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Editorial Ariel S.A. Barcelona. España. ISBN: 84-344-8047-6.

**Lamelas, C. M. J. D. Forciniti y L. Soulé Gómez. 2007.** El tiempo y los cultivos en el período diciembre 2006 – febrero 2007. Revista Avance Agroindustrial 28 (1): 1-4. Tucumán. Argentina. ISSN: 0326-1131.

**Sobrinho, J. A.; N. Raissouni; Y. Kerr; A. Oliosio; M. J. López-García; A. Belait; M. H. El Kharraz; J. Cuenca y L. Dempere. 2000.** Teledetección. Servicio de Publicaciones, Universidad de Valencia, Valencia, España. ISBN: 84-370-4220-2000.

**Soria, F., C. Fandos; P. Scandaliaris. 2007 a.** Evolución de la frontera agrícola-ganadera entre los años 2002 y 2006 en la provincia de Tucumán mediante Teledetección y

S.I.G.. CD Room: Teledetección, hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. 624 p. Editorial Martín. ISBN: 978-987-543-127-0.

**Soria, F., C. Fandos y P. Scandaliaris. 2007 b.** Relevamiento satelital de los principales cultivos de la Provincia de Tucumán. Boletín electrónico. [En línea]. Disponible en [www.eeaoc.gov.ar](http://www.eeaoc.gov.ar).

**Zuccardi, R. B. y G. Fadda, 1985.** Bosquejo Agroecológico de la Provincia de Tucumán. Miscelánea 86. Facultad de Agronomía y Zootecnia de la U.N.T. Tucumán. Argentina. ISSN: 0325-2523.