

Teledetección y SIG para la gestión hidrológica del territorio

A. Degioanni¹; J. Cisneros¹ y S. Rang²

Correo electrónico: adegioanni@ayv.unrc.edu.ar

¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.

Ex Ruta 36. Km 601 - 5800 Río Cuarto. Argentina.

² Instituto Provincial de Enseñanza Media N° 25 - 6128 Villa Rossi. Argentina

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es delimitar unidades territoriales para el manejo de excedentes hídricos en un sector representativo de las Llanuras Mal Drenadas del sudeste de la Provincia de Córdoba (Argentina) que es periódicamente afectado por inundaciones. Sobre la base de criterios agrohidrológicos para el manejo del balance hídrico, de las características del drenaje de los suelos y del registro espectral de un evento de inundación - anegamiento, se definieron los tipos de unidades territoriales. Se integraron y analizaron en un SIG la información del mapa de suelos y la obtenida mediante el procesamiento digital de imágenes Landsat TM 5. Se concluyó con la delimitación cartográfica de cinco unidades territoriales para el manejo de excedentes hídricos: *lagunas permanentes, lagunas transitorias, tierras mal drenadas, tierras imperfectamente drenadas y tierras bien drenadas*.

PALABRAS CLAVE: Inundación, gestión hidrológica, teledetección, SIG.

ABSTRACT

The goal of this work is to define land units for the water management of a representative area of the poor drained region of the Southwestern Córdoba, Argentina. The units were defined based on the water balance, the hydrological properties of the soils and the multi-spectral analysis of one event of flood and waterlogging (Landsat TM 5). The analysis of the information was performed using geographical information systems. The result was the definition of the following land units: permanent ponds, transient ponds, poor-drained lands, intermediate-drained lands and well-drained lands.

KEY WORDS: Waterlogging water management, remote sensing, GIS.

INTRODUCCIÓN

La recurrencia del fenómeno de inundación-anegamiento en las Llanuras se debe a factores naturales y antrópicos. Entre los primeros se destacan: el régimen de precipitaciones, topografía del terreno plana, de muy bajo gradiente de pendiente y suelos hidromorfos de muy baja permeabilidad. Entre los factores antrópicos más relevantes se pueden citar: la pérdida en la capacidad de captar y almacenar agua de lluvia de los suelos por deterioro físico, el diseño de una red vial que condiciona la acumulación y movimiento del agua en superficie y la construcción de canales de manera anarquizada, sin un criterio integral sobre el funcionamiento hidrológico regional (Cisneros, 1994; Fuschini Meijia, 1994; Rang *et al*, 1999). Cuando las lluvias superan la media histórica se produce una acumulación de agua en charcas o lagunas, el anegamiento de grandes extensiones de suelos y un muy lento traslado superficial del agua. La teledetección para el estudio de tierras afectadas por inundación-anegamiento ha sido ampliamente utilizado por diferentes autores (Jensen y otros,

1986; Koeln, 1986; Lunetta y Balogh, 1999; Dewivedi y otros, 1998; Gorgas y otros, 2000), gracias al contraste del agua con el resto de las cubiertas terrestre en el espectro electromagnético. Por otra parte, la combinación del procesamiento digital de imágenes provenientes de sensores remotos, con las posibilidades de análisis que ofrecen los SIG, también han sido satisfactoriamente utilizados para este tipo de estudios (Sader y otros, 1995; Davies y otros, 1998; Sassone y otros, 2000). Debido a que el escurrimiento superficial de una Llanura es muy lento a nulo, la principal estrategia de manejo de los excedentes hídricos debe estar enfocada sobre los componentes verticales del balance hídrico, principalmente infiltración, evaporación y evapotranspiración (Fuschini Meijia, 1994; Cisneros, 1999; Fili y otros, 2000; Paoli y otros, 2000). En tal sentido, es necesario delimitar unidades territoriales que respondan de manera similar a diferentes estrategias y técnicas de manejo. El objetivo de este trabajo es delimitar unidades territoriales para el manejo de los excedentes hídricos mediante la integración y análisis en un SIG de la información obtenida con imágenes

Landsat y la provista por el mapa de suelos de un sector de las Llanuras Mal Drenadas del sudeste de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está comprendida entre los paralelos 34°00' y 34°20' latitud sur y los meridianos 63°00' y 63°30' longitud oeste y corresponde a un sector de las Llanuras Mal Drenadas del SE de la provincia de Córdoba. Argentina (ADESUR, 1997) (Figura 1). Este sector está sujeto a inundaciones periódicas como las ocurridas recientemente en los años 1997, 1998 y 1999 y afectan severamente el área rural y urbana de las localidades de Villa Rossi y Rosales. Las fuentes de información utilizadas son: Carta de Suelos de la República Argentina-Hoja Laboulaye 3563-3 (INTA-SMAG y RR, 1987); Declaración de Emergencia Agropecuaria por Anegamiento de Suelos (SMAGyRR, 1999), Propuesta de Creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área al Sur de Laboulaye-Rosales-Leguizamón (Rang y otros, 1999) y dos imágenes *Landsat TM 5* provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE).

El procesamiento digital de la información se realizó con ArcInfo ver. 3.5.1 (ESRI, 1995), ERDAS Imagine ver. 8.2 (ERDAS, 1995) e Idrisi for Windows ver. 2.0 (Eastman, 1997). En el Cuadro 1 se presenta un sinopsis del tratamiento de la información.

Definición de Unidades para el Manejo de Excedentes Hídricos

A partir del conocimiento del área de estudio, se procedió a definir los tipos de unidades territoriales sobre la base de criterios agrohidrológicos para el manejo de la infiltración, evaporación y evapotranspiración (Cantero y otros, 1998; Rang y otros, 1999). Los tipos de unidades definidas son las siguientes:

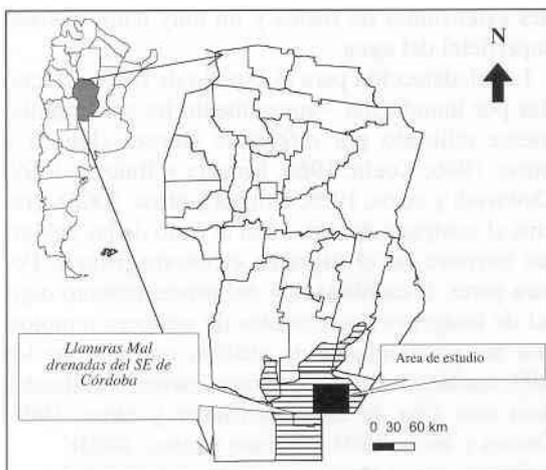
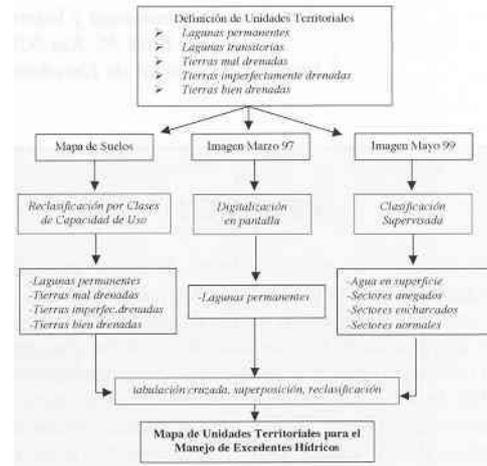


Figura 1. Localización del área de estudio.



Cuadro 1. Sinopsis del tratamiento de la información.

- *Lagunas permanentes*: comprende aquellos sectores que por su relieve cóncavo son destinados a lugares de acumulación o reservorios permanente del agua o humedales. Estas lagunas deben ser circunscritas mediante un alteo de sus perímetros para aumentar su capacidad de embalse previendo una descarga controlada para evitar desbordes anarquizados.
- *Lagunas transitorias*: son áreas que por su mal drenaje natural o posición deprimida del relieve son inundadas sólo en eventos extraordinarios y que pueden ser destinadas a la función de “espejos evaporantes” y por tanto, acelerar la pérdida de agua por evaporación directa. Estas unidades también pueden manejarse como vías de circulación del agua excedente entre las *lagunas permanentes*.
- *Tierras mal drenadas*: son aquellas unidades cuyos suelos poseen un drenaje natural prácticamente impedido. Estos son los sectores apropiados para destinar a *lagunas permanentes*, *transitorias* o vías eventuales de circulación de flujos hídricos.
- *Tierras imperfectamente drenadas*: son aquellas unidades con suelos que poseen un drenaje natural moderado a imperfecto, sufren saturación del perfil y presentan en superficie encharcamiento temporario en eventos extraordinarios. Estos sectores deben ser manejados para captar la mayor cantidad de agua posible dentro del perfil y destinados a un uso con vegetación que tenga algún grado de resistencia al anegamiento y alta tasa de evapotranspiración.
- *Tierras bien drenadas*: son los suelos que por su permeabilidad o posición en el relieve son los menos afectados por anegamiento e inundación. El manejo de estas unidades debe priorizar la mayor retención de agua de lluvia evitando al máximo posible el escurrimiento superficial

Unidad	Clase USDA	Superficie (has)	%	Características
Lagunas Permanentes	VIII	1.232	0,7	relieve cóncavo, drenaje impedido, suelos con fuerte salinidad, alcalinidad, presencia de fragipanes.
Tierras mal drenadas	VI – VII	38.044	22,3	relieve subnormal-cóncavo, suelos sódicos, salinos, freática a menos de 1 metro
Tierras imperfectamente drenadas	IVws – IIIsc	99.491	58,4	relieve subnormal, suelos con moderada salinidad y sodicidad, freática a más de 1 metro
Tierras bien drenadas	IIc – IIIc IVes – IIIsc	30.542	18,1	relieve normal, suelos no sódicos ni salinos, freática sin afectación del solum.
Ejidos		900	0,5	
		170.209	100	

Tabla 1. Unidades para el Manejo Excedentes Hídricos según tipo de Suelos

hacia las otras unidades como también se debe evitar el ingreso a ellas por desborde de *lagunas permanentes* o *transitorias* ya que no poseen limitaciones importantes para los cultivos de la zona.

Definidos los tipos de unidades territoriales necesarias para el manejo de excedentes hídricos, se procedió a la delimitación de las mismas a partir de características permanentes del territorio (relieve y suelos) y aspectos hidrológicos dinámicos mediante el registro en la imagen de satélite de uno de los fenómenos de inundación - anegamiento.

Delimitación de Unidades Hidrológicas a partir del Mapa de Suelos

Se digitalizaron en ArcInfo las unidades cartográficas del Mapa de Suelos Hoja Laboulaye asignando como atributos de los polígonos, además del perímetro y área, la Clase por Capacidad de Uso del *USDA* (Klingebiel y Montgomery, 1961). Con esta información se estableció la relación entre clase por capacidad de uso y la unidad para el manejo de excedentes hídricos cuyo resultado se expone en la Tabla 1. El mapa final se obtuvo por una reclasificación de las unidades cartográficas y se transfirió al SIG Idrisi para su integración y análisis con los datos obtenidos mediante el procesamiento de las imágenes Landsat.

Delimitación de Unidades a partir del tratamiento digital de Imágenes Landsat TM 5

Para el tratamiento digital con *ERDAS Imagine* se seleccionaron dos imágenes: una correspondiente a un período de lluvias normales para la zona y la otra coincidente con uno de los períodos de máximas lluvias registradas en el área. La primera corresponde a la fecha de adquisición del 28/03/97 y la restante, según Gorgas y otros (2000), corresponde al 19/05/99. Se cortó, para cada una, la ventana correspondiente al área de estudio y se georreferenciaron al sistema Gauss Krüger (faja 4) con un Error Medio Cuadrático de la transformación menor a un pixel para ambas imágenes. Mediante el análisis visual de la composición falso color 453 de la imagen de Marzo/97 se digitaliza-

ron en pantalla los espejos de agua claramente discernibles, asignando a estas unidades la categoría de *Lagunas permanentes*. Con esta información se generó un mapa binario que se transfirió a Idrisi.

La imagen de Mayo/99 se sometió a un exhaustivo análisis visual de la composición falso color 453 a los efectos de definir los campos de entrenamiento para la clasificación supervisada. Con la ayuda del mapa digital de suelos (superpuesto a la imagen), las características espectrales de la imagen y el conocimiento del terreno, se establecieron 4 categorías espectrales y las correspondientes clases informacionales donde se procedió a digitalizar los campos de entrenamiento. Dichas categorías son:

- *agua*: corresponde a sectores con un manto de agua continuo en superficie, de color negro - azul oscuro, fácilmente discernibles. Esta categoría se asignó la clase informacional: *Lagunas*.
- *sectores anegados*: presentan una textura media, de color azul oscuro y entorno a los espejos de agua. Esta categoría se asignó la clase informacional *Tierras mal drenadas*.
- *sectores encharcados*: presentan una textura rugosa dado el aspecto variado que se observa en la superficie. A su vez, presenta diferentes colores según el tipo de cubierta: vegetación activa (color rojo - naranja), vegetación poco activa o muy húmeda (color verde oscuro) y suelo desnudo o con muy poca vegetación (color gris - azul metálico). Esta categoría se asignó la clase informacional: *Tierras imperfectamente drenadas*.
- *sectores normales*: esta categoría corresponde áreas de textura lisa y colores según el tipo de cobertura terrestre (rojo - naranja - verde oscuro - cyan) donde no es visible la afectación por agua. Esta categoría se asignó a la clase informacional: *Tierras bien drenadas*.

Se definieron diferentes tamaños y números de campos de entrenamiento por categoría y se realizó el análisis de las estadísticas de entrenamiento mediante la Divergencia Transformada para selec-

Unidades Territoriales para el Manejo de Excedentes Hídricos

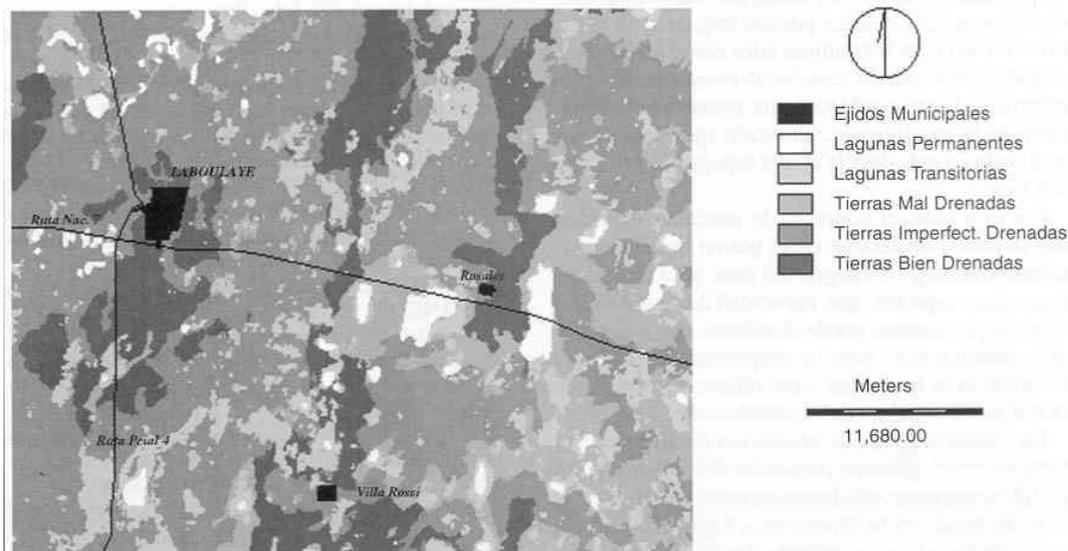


Figura 2. Mapa Final

cionar la mejor alternativa de separabilidad cuyo resultado final se expone en la Tabla 2.

	Agua	Anegado	Encharcado
Anegado	1999	-	-
Encharcado	2000	1870	-
Normal	2000	1999	1970

Tabla 2. Separabilidad estadística de los campos de entrenamiento.

Se observa una muy buena discriminación del agua con el resto de categorías, presentando la mayor confusión los sectores definidos como encharcados y anegados seguido por confusión en las categorías normal y encharcado. No obstante estas observaciones fue la mejor separabilidad que se logró conseguir después de probar diferentes tamaños y número de campos de entrenamiento. Para la fase de asignación se adoptó el clasificador de Máxima Verosimilitud por su robustez estadística (Chuvieco, 1996) generando un mapa temático con una superficie por clase informacional que se expone en la Tabla 3 (se excluyen los Ejidos Municipales).

Categ. Espectral	Clase Informacional	Superficie	%
Agua en superficie	Lagunas transitorias y permanentes	28.887	17
Sectores anegados	Tierras mal drenadas	49.075	29
Sectores encharcados	Tierras imperfectamente drenadas	24.442	14,5
Sectores normales	Tierras bien drenadas	66.905	39,5

Tabla 3. Superficie de las clases informacionales delimitadas en la clasificación supervisada.

A los efectos de tener una estimación aproximada de la veracidad del mapa obtenido, se compara el porcentaje de superficie afectada entre la Declaración de Emergencia Agropecuaria por Anegamiento de Suelos (SMAG y RR, Junio de 1999)

con el resultado obtenido en la clasificación supervisada. La Declaración de Emergencia incluye un porcentaje promedio por establecimiento agropecuario afectado por agua en superficie y suelos anegados. En consecuencia se tomó como superficie afectada equivalente en la clasificación supervisada las categorías *agua*, *sectores anegados* y *sectores encharcados*. Se evaluaron 16.890 has. totales distribuidas en 13 establecimientos agropecuarios con una afectación promedio del 90%, 9 establecimientos con una afectación del 75% y 3 establecimientos con una afectación del 65%. Se identificaron los establecimientos en la imagen, se digitalizaron campos de verificación y se calculó el porcentaje de afectación. El resultado comparativo se expone en la Tabla 4.

Afectación	%		
Emergencia Agropecuaria	90	75	65
Clasificación Supervisada	73	60	73
diferencias	17	15	-13

Tabla 4. Comparación del grado de afectación

Esta verificación debe tomarse como estimativa ya que no es posible identificar, en la declaración de Emergencia, el lugar preciso de la afectación y por tanto no se pueden establecer errores de comisión u omisión en la clasificación. No obstante, los resultados indican una adecuada aproximación entre ambos métodos de evaluación con una diferencia promedio en el orden del 15%.

El mapa temático obtenido en la clasificación se transfirió al SIG Idrisi donde, conjuntamente con el mapa de suelos (reclasificado en unidades hidrológicas) y el mapa de *Lagunas permanentes* se obtuvo el mapa final mediante operaciones de reclasificación, superposición y tabulación cruzada (Bosque Sendra, 1992).

RESULTADOS

El mapa final obtenido en Idrisi se presenta en la Figura 2 y la superficie de cada unidad se expone en la Tabla 5.

Unidad	Superficie	%
Lagunas permanentes	5.200	3
Lagunas transitorias	23.450	13,7
Tierras mal drenadas	28.250	16,6
Tierras imperfectamente drenadas	3.806	49,4
Tierras bien drenadas	28.603	16,8
Ejidos Municipales	900	0,5
<i>Total</i>	<i>170.209</i>	<i>100</i>

Tabla 5. Superficie de las Unidades delimitadas

Si se compara la extensión de las *Lagunas permanente* delimitadas en el mapa de suelos (confeccionado a partir de fotos aéreas del año 1972) con las delimitadas en la imagen de Marzo/97, se registra un incremento de 3.970 has de expansión de las mismas. Esta mayor superficie se corresponde con la existencia de un ciclo de mayores precipitaciones anuales que se inicia en la década del 70 y aún, según los registros y tendencias actuales, sigue en aumento. Por tanto, se podría asumir que son necesarias las 5.200 has para el emplazamiento de 65 lagunas. Por otra parte, mediante una operación de tabulación cruzada entre el mapa final y el mapa de suelos, se comprobó que un 18,7% de la superficie ocupadas por las *Lagunas transitorias* coinciden con las *Tierras mal drenadas*, un 14,3% coincide con las *Tierras imperfectamente drenadas* y un 5,7% coincide con las *Tierras bien drenada s*. Esta situación es auspiciosa dado que se ha establecido como restricción que estas lagunas deberían ser emplazadas en las tierras de menor aptitud productiva. En cuanto a la disminución de la superficie *Tierras mal drenadas* y *Tierras imperfectamente drenadas* entre el mapa de suelos y el mapa final (5,7% y 9% respectivamente) es consecuencia de la expansión de *Lagunas permanentes* y de la delimitación de *Lagunas transitorias*. El grado de afectación global por inundación - anegamiento para el evento registrado el 28 de Mayo de 1999 (agua en superficie, sectores anegados y sectores encharcados) alcanzó un 60% de la superficie analizada, siendo la afectación por categoría de tierra un 74% para las *Tierras mal drenadas*, un 62% para las *Tierras imperfectamente drenadas* y un 37% a las *Tierras bien drenadas*.

CONCLUSIONES

De todas las unidades delimitadas la que requiere mayor control territorial para su definitivo emplazamiento son las *Lagunas* porque requieren la construcción de obras hidráulicas tales como alteos, descargas controladas o canales derivadores. En este trabajo se logró establecer una primera

aproximación de la localización, situación que debería ser analizada en más detalle con la topografía y red vial del área. Por otro lado, el conjunto de unidades delimitadas deberían analizarse en el marco del funcionamiento hidrológico integral del área, para establecer entre otros aspectos, que capacidad de acumulación de agua permanente puede diseñarse, que superficie debe destinarse a "espejos evaporantes" y con que recurrencia se formarían y por último que diseño de la red vial y canalera debe establecerse. En cuanto al grado de afectación determinado, si bien no era el objetivo particular del trabajo, se ha podido contrastar satisfactoriamente con la afectación declarada en la Emergencia Agropecuaria y la obtenida por el procesamiento digital de imágenes, lo que supone una herramienta de alta utilidad para evaluar este fenómeno con fines impositivos. Por último, se ha comprobado que a partir del conocimiento existente sobre el territorio problema, la información disponible y obtenida mediante teledetección ha permitido la delimitación de unidades con criterios de gestión ante los fenómenos de inundación - anegamiento en el entorno operativo de un SIG.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CONAE) por la donación de las imágenes satelitales, a las becarias Candela Fuentes y María Inés Buffa por la digitalización del mapa de suelos y al Dr. Javier Marcos por la traducción del resumen.

BIBLIOGRAFÍA

- ADESUR - Asociación Interinstitucional para el Desarrollo del Sur de Córdoba. 1999. Plan Director. Universidad Nacional de Río Cuarto - Secretaría Técnica de ADESUR. 100 pág.
- BOSQUE SENDRA, J. 1992 *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialp. Madrid.
- CANTERO, G., A., CANTÚ, M., CISNEROS, J.M., CANTERO, J.J. BLARASIN, M., DEGIOANNI, A., GONZALEZ, J., BECERRA, V., GIL, H., DE PRADA, J., DEGIOVANNI, S., CHOLAKY, C., VILLEGAS, M., CABRERA, A., ERIC, C. 1998. *Las tierras y aguas del sur de Córdoba. Propuestas para un manejo sustentable*. Universidad Nacional de Río Cuarto, 119 pags.
- CISNEROS, J. M. 1994. Caracterización del hidrohalmorfismo en ambientes representativos del centro-sur de Córdoba. Tesis Magister Scientiae en Ciencias del Suelo, Universidad de Buenos Aires. Inédita.
- CISNEROS, J. M., CANTERO, J. J. AND A. CANTERO G. 1999. Vegetation, soil hydrophysical properties, and grazing relationships in saline-sodic soils of Argentina. *Canadian Journal of Soil Science*
- CISNEROS, J., DEGIOANNI, A., GIL, H., RANG, S. Y MILANESIO, A. 2000 Distritos de Ordenamiento Ambiental: Base Territorial para el Control de las Inundaciones en el Sudeste de Córdoba. *Actas del Congreso Nacional de la Asociación Argentina de las Ciencias del Suelo*.

- CHUVIECO, E. 1996. *Fundamentos de la teledetección aeroespacial*. II Edición. Rialp. Madrid.
- DAVIES, P., BRUCE, D., FITZPATRICK, R., COX, J., MASCHMEDT, D. AND BISHOP, L. 1998. A GIS using remotely sensed data for identification of soil waterlogging in southern Australia. *Proceeding International Journal of Remote Sensing*. Vol 19 Nro. 14: 2739-2751.
- EASTMAN, R. 1997. Idrisi for Windows. Version 2.0. Clark University.
- ERDAS, Inc., 1995. *ERDAS IMAGINE*. Atlanta.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute, Inc. PC Arc/Info Versión 3.5.1.
- FILI, M., TUJCHENEIDER, O., D'ELIA, M., PARIS, M. Y M. PÉREZ. 2000. La influencia de las aguas subterráneas e el anegamiento de un sector de la llanura pampeana en la República Argentina. *Actas I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas*. Brasil.
- FUSCHINI MEJÍA, M. 1994. *El agua en las llanuras*. Programa Hidrológico Nacional. UNESCO. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe. Montevideo. Uruguay. 57 pág.
- GORGAS J. Y D. LOVERA. 1988. *Evaluación de áreas afectadas por anegamiento e inundación en la Provincia de Córdoba*. Convenio Fundación Banco de Córdoba- INTA.
- GORGAS, J., PAPPALARDO, J., BUSTOS, V. Y D. REYNOSO. 2000. *El Satélite Landsat Vigila el Sur Inundado*. Informe Técnico. Diario Puntal. Suplemento Tranquera Abierta. Río Cuarto. Argentina.
- INTA - SMAGyRR. 1987. *Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Laboulaye. Córdoba*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Secretaría Ministerio de Agricultura Ganadería y Recursos Renovables.
- JENSEN, W., HODGSON, E., CHRISTENSEN, H., MACKAY, J., TINNEY, L. AND SHARITZ, R. 1986. Remote sensing inland wetlands: a multispectral approach. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 52(1):87-100.
- KLINGEBIEL, A. AND P. MONTGOMERY. 1961. Land Capability Classification. USDA, SCS, Agr. Handbook N° 210. USA.
- KOELN, G., CALDWELL, D., WESLEY, D. AND J. JACOBSON. 1986. Inventory of wetlands with Landsat's Thematic Mapper. *Proceedings of Tenth Canadian Symposium on Remote Sensing*. pp 153 - 162.
- LUNETTA, R. AND BALOGH, E. 1999. Application of Multi Temporal Landsat 5 TM Imagery for Wetland Identification. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 65(11):1303-1310.
- PAOLI, C., GIACOSA, R., BIANCHI, H., MAZZON, R., BERNAL, G., MACEDO, G., MONTAVERDE, C. Y R. BRAVO. 2000. *Estudios en el área de derrame del río Quinto y arroyos del sur de Córdoba*. Informe Técnico. Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. Ministerio de Infraestructura y Vivienda. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Argentina. 30 pág.
- RANG, S., CISNEROS, J., MILANESIO, A., GIL, H. Y A. DEGIOANNI. 1999. *Propuesta de Creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área al Sur de Laboulaye Rosales - Leguizamón*. Documento técnico. CONICOR - ADESUR - UNRC. 60 pág.
- SADER, S., DOUGLAS, A. AND LIOU, W. 1995. Accuracy of Landsat - TM and Gis rule based methods for forest wetlands classification in Maine. *Remote Sensing of Environment*, 53:133-144.
- SASSONE, M., TARDIVO, R., Y C. TONINI. 2000. Cartografía de Áreas Afectadas por Anegamientos en la Cuenca del Arroyo Cululu a partir de Imágenes TM y SAC-C MMRS Simuladas. *Actas del X Congreso Nacional de Cartografía*. Argentina.
- SMAGyRR. 1999. *Emergencia Agropecuaria por Anegamiento de Suelos* Decreto 945. Secretaría Ministerio de Agricultura Ganadería y Recursos Renovables de Córdoba. Dirección de Producción y Desarrollo.