

## Identificación de patrones de anegamiento en la cuenca del arroyo del Azul mediante el uso de imágenes LANDSAT

Vazquez et al. - U. O. Cuenca del Salado, INTA - IHLLA - mayo 2003

### Resumen

Los objetivos del presente trabajo son identificar el patrón de expansión de las aguas, asociar cada límite de expansión a la pluviometría antecedente, delimitar zonas de frecuencia de anegamiento y relacionar dichas áreas con los tipos de suelos presentes en la cuenca del arroyo del Azul, como una manera de confirmar la efectividad de la metodología empleada.

Se realizó un análisis de imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM+, seleccionándose fechas representativas de condiciones hidrológicas extremas e intermedias. A partir de la aplicación de máscaras específicas y mediante el empleo de un modelo lineal aditivo, se obtuvieron clases de anegamiento que fueron luego correlacionadas con los subgrupos de suelos.

El método permitirá cuantificar un factor de riesgo para las prácticas agrícolas que se intenten realizar en determinadas zonas de la cuenca y, de igual modo, los resultados podrán emplearse para identificar áreas del ámbito rural donde se requieran prácticas de sistematización hidráulica.

---

### Tabla de contenido

---

---

### Introducción

Aunque en el mundo no se encuentran llanuras que ocupen grandes extensiones, en Argentina tales ambientes son particularmente relevantes tanto en su expresión areal cuanto a su valor para la producción agropecuaria. En la denominada Pampa Deprimida (9.7 millones de hectáreas) el relieve es sumamente llano, con una pendiente promedio inferior al 0.1 %, llegando en sectores próximos a la costa a valores cercanos al 0.001 %.

Según Tricart (1973), la debilidad del potencial morfogenético de la Pampa Deprimida favorece la presencia de suelos muy antiguos, total o parcialmente conservados, alternando con suelos más recientes y desarrollados dentro de los anteriores. Así, se conforma un paisaje sin relieve marcado, caracterizado por la presencia de suelos con distintos grados de alcalinidad, salinidad e hidromorfismo, distribuidos en forma de mosaico por toda el área.

Estos factores y la cantidad e intensidad de las lluvias son responsables de las frecuentes inundaciones y anegamientos de variable magnitud a la que está sujeta la región. La situación se ve agravada por el diseño de la red vial, frecuentemente en dirección transversal al flujo de agua y la construcción de numerosos canales clandestinos, sin un criterio integral respecto del funcionamiento hidrológico regional (Rang et al., 1999).

La cuenca del arroyo del Azul está incluida dentro de la Pampa Deprimida, se ubica en el centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1) y ocupa aproximadamente 600.000 hectáreas. Está formada por una gran área llana (cuenca baja) y una pequeña zona serrana en el límite sur (cuenca alta) donde se ubican las nacientes del arroyo (Usunoff et al.,

1999).

La recurrencia del fenómeno inundación-anegamiento en esta cuenca hace que la zona presente riesgos considerables a la hora de realizar inversiones en el sector agropecuario. Para minimizar los efectos de las inundaciones, es necesario el desarrollo de un sistema de monitoreo que permita anticipar dichos sucesos, calcular su magnitud y estimar las pérdidas económicas.

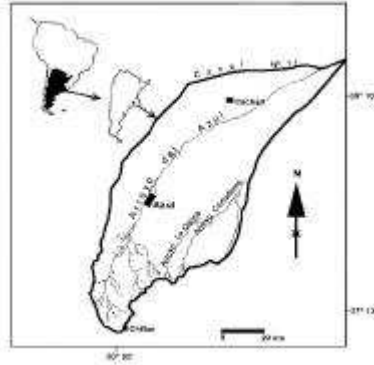


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del Arroyo del Azul.  
Imagen ampliada 43 Kb

La teledetección ha demostrado ser una herramienta poderosa para el estudio de inundaciones (Jensen et al., 1986; Lunetta y Balogh, 1999, Sandar, 2000) gracias al amplio contraste existente entre el agua y el resto del paisaje en el espectro electromagnético.

Esta herramienta permite detectar no solamente las áreas anegadas sino también ubicar estructuras y geoformas que no son identificables si no se cuenta con cartas topográficas con un alto grado de detalle. En este caso, la disposición de cartas del Instituto Geográfico Militar, escala 1:50000, (equidistancia 2.5 m) no es lo suficientemente detallada para detectar los poco conspicuos patrones del relieve de las llanuras.

Jarsún (1996) distingue dos grupos de factores que afectan el escurrimiento de las aguas: los asociados a las precipitaciones y aquellos que dependen de las características físicas de la cuenca. Por otro lado, la forma, tamaño y orientación de las geoformas, la topografía, la geología, y también el tipo, manejo y uso del suelo, influyen sobre la cantidad y proporción de escurrimiento superficial que pueda esperarse después de una lluvia.

Al papel importante que juegan sobre los escurrimientos los aspectos antes mencionados, se agrega la influencia del tamaño y localización de las obras viales e hidráulicas.

Los objetivos del presente trabajo son identificar el patrón de expansión de las aguas que producen anegamientos, asociar cada límite de expansión a la pluviometría antecedente, delimitar zonas de frecuencia de anegamiento y relacionar dichas áreas con los tipos de suelos presentes en la cuenca como una manera de confirmar la efectividad de la metodología empleada. Esta información será un insumo vital de un modelo de simulación de movimiento de aguas superficiales para diseñar un sistema de alarma para la región.

[arriba]

## **Materiales y Métodos**

Para detectar el patrón de expansión de las aguas en la cuenca del arroyo del Azul se realizó un análisis de imágenes LANDSAT 5 TM y 7 ETM+ (escenas 225-85 y 225-86), seleccionándose siete fechas representativas de condiciones hidrológicas extremas e intermedias

(Tabla 1).

Las imágenes fueron corregidas geoméricamente considerando la proyección Gauss Krugger faja 5 (datum: Campo Inchauspe) para proceder a la construcción de los mosaicos y posterior enmascarado del área de estudio mediante el programa ILWIS 2.2 (ITC, 1998).

Las áreas que presenten agua en las imágenes captadas durante períodos secos serán más propensas a estar anegadas que aquellas que sólo lo están luego de algún evento pluviométrico superior a la media de la zona. Por lo tanto, y de acuerdo al espectro de coeficientes de ponderación predefinido (1 a 5), fueron asignados valores más altos a aquellas imágenes con precipitaciones previas escasas (Tabla 1).

Los datos de precipitación considerados fueron obtenidos de la estación meteorológica Azul-Aero perteneciente a la Fuerza Aérea Argentina, ubicada en el centro del área de estudio. Las siete máscaras fueron luego incluidas en una ecuación lineal, cuyo resultado en cada píxel es proporcional a la frecuencia de anegamiento de dicho píxel, lo que permitió identificar un máximo de 22 clases de anegamiento.

La ecuación queda entonces definida de la siguiente manera:

$$\text{CLASE} = M31*2 + M32*3 + M33*5 + M34*5 + M35*1 + M36*1 + M37*4 \quad (1)$$

**Tabla 1. Fecha de adquisición de las imágenes satelitales, precipitación registrada 1, 2 y 4 meses previos a la fecha de adquisición, valores históricos registrados para dichos períodos (C.V.: coeficiente de variación), descripción y factor de ponderación utilizado para la generación de áreas de frecuencia de anegamiento.**

Fecha		Lluvias registradas (mm)			Descripción	Factor
		1 mes previo	2 meses previos	4 meses previos		
15-05-86	Valor	174.1	306.5	466.6	Otoño húmedo	2
	Media	87.7	220.7	429.4		
	C.V. (%)	99	39	9		
27-11-97	Valor	146	247	413.5	Salida del invierno y primavera húmeda	3
	Media	97	153.2	238.9		
	C.V. (%)	51	61	73		
18-03-98	Valor	86.6	271	437.7	Verano normal luego de una primavera húmeda	5
	Media	94.1	208.8	402.9		
	C.V. (%)	- 8	30	9		
27-04-01	Valor	58.5	300	436.5	Otoño con leve exceso de agua al principio	5
	Media	133	227.1	441.1		
	C.V. (%)	- 56	32	- 1		
18-09-01	Valor	101	190.1	304.4	Invierno excesivamente húmedo	1
	Media	40.6	85.7	189.8		
	C.V. (%)	149	122	60		
21-11-01	Valor	223.7	403	587.4	Primavera excesivamente húmeda, luego de un invierno muy húmedo	1
	Media	97.8	153.2	238.9		
	C.V. (%)	129	163	146		
14-04-02	Valor	165.8	402.9	56	Otoño muy húmedo, luego de un verano húmedo	4
	Media	133	227.1	441.1		
	C.V. (%)	25	77	28		

Para una mejor interpretación, las 22 clases de anegamiento fueron posteriormente asociadas en diferentes grupos de acuerdo al análisis visual del porcentaje del área total de la cuenca cubierta por cada clase. Para cumplir este objetivo, se digitalizaron las cartas de suelo escala 1:50000 del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1973), se construyó el mosaico y se transformó en formato raster con píxel de 30 metros que se corresponde con el formato raster de las clases de anegamiento. Luego se realizó un análisis de la varianza y las medias se contrastaron mediante el test de Tukey HSD o Tukey-Kramer para N distintos (Spjotvoll y Stoline, 1973; Dunn, 1974; Benjamin y Braun, 2002).

[arriba]

## Resultados

Luego del enmascaramiento de las imágenes y mediante la aplicación del modelo lineal aditivo con los coeficientes de ponderación seleccionados, se identificaron 22 clases de anegamiento. Un extremo de esta clasificación corresponde a las áreas que no evidenciaron anegamiento durante ninguna de las fechas analizadas -clase 1- (56% de la superficie: 337380 ha) y el otro a los cuerpos de agua permanentes -clase 22- (0.04% del área de la cuenca: 229.5 ha).

A fin de facilitar la comprensión de la dinámica de las aguas sobre el terreno se determinaron grupos de clases, a partir de los cuales fue posible reconocer un patrón entre las clases de anegamiento y las áreas que ocupan. Así, el análisis de los porcentajes de áreas ocupados por cada clase permitió determinar 4 grupos (clases 1, 2-9, 10-17 y 18-22).

El análisis visual de la distribución del porcentaje del área total de la cuenca cubierta por cada clase (Figura 2) confirmó tal agrupamiento pero se subdividió uno de ellos para su mejor interpretación (2-5 y 6-9), con lo que quedaron conformados 5 grupos (figura 2).

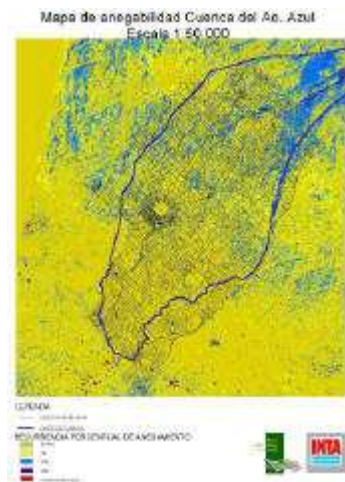


Figura 2. Distribución de las 5 clases de anegamiento reagrupadas.  
Imagen ampliada 200 Kb

El primer grupo estaría conformado por las clases 22 a 18 (zonas con anegamiento prolongado) que ocupan pequeñas superficies (0.018 % del área total en promedio), y estarían representando a todos los cuerpos de agua permanentes y semipermanentes de la cuenca.

Las clases 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17 ocupan áreas notablemente mayores (0.49% en promedio). Estas clases representan la primera línea de expansión de aguas, y están asociadas a zonas bajas aledañas a los cuerpos de agua o, en algunos casos, a cubetas de deflación poco profundas y que actúan como vías de avenamiento muy precarias en la cuenca baja y como vías de avenamiento bien marcadas (cañadas) en la cuenca alta.

Entre las clases 9 y 6, se detecta un nuevo incremento en el área ocupada por cada clase (4.68% en promedio). Este aumento correspondería a una segunda línea de expansión de

aguas, coincidente con áreas muy amplias de bajos extensos y anegables que son inundados cuando la capacidad de almacenaje de agua de lagunas, cubetas y vías de escurrimiento se ve superada. Estas áreas serían cubiertas por las aguas sólo durante inviernos muy húmedos.

Las clases 5, 4, 3 y 2 representan la última línea de expansión de aguas en la cuenca. Como en los casos anteriores, se detecta un nuevo incremento en la superficie ocupada por cada clase (5.26% en promedio). Las aguas cubrirían estas zonas sólo cuando se combinan inviernos y primaveras muy húmedos.

El último grupo está conformado por la clase 1 que, como fuera señalado anteriormente, son áreas que no presentaron anegamiento durante el período analizado.

Finalmente, para comparar la distribución espacial de los tipos de suelo con las zonas de anegamiento, se procedió a la digitalización del mapa temático de la región, en el que se distinguieron 11 subgrupos de suelos (Soil Taxonomy 1975) y una categoría para las lagunas.

Los resultados de los contrastes del test de Tukey HSD para N distintos se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2. Medias y contrastes a partir del Test de Tukey HSD para N distintos,  $p < 10^{-3}$ . (ordenados según valores de expansión).**

Subgrupos de suelos y Laguna	Medias de las Líneas de expansión de las aguas para cada suelo	Grupo según contraste
Laguna	7.287901	A
Argialbol	5.541361	B
Natracualf típico	3.211103	C
Natracuol típico	2.470472	D
Hapludol tapto nátrico	2.123308	E
Hapludol tapto árgico	1.908478	F
Argiudol ácuico	1.054039	G
Argiudol lítico	0.793008	H
Paleudol petrocálcico	0.416729	I
Argiudol típico	0.408261	I
Hapludol lítico	0.322068	J
Hapludol petrocálcico	0.189760	K

Los contrastes muestran, en principio, dos grupos de acuerdo con los valores alcanzados. Por un lado, con valores altos (medias de expansión mayores a 1.9) se ubican los suelos correspondientes a la cuenca baja, que reciben aportes de agua tanto locales como de la cuenca alta.

Por otro lado con valores bajos de expansión de las aguas (medias menores e iguales a 1.05), se ubican los suelos de la cuenca alta. Este hecho está determinado principalmente por sus características físicas y la posición topográfica de los suelos en las distintas geofomas presentes en la cuenca.

Por último cabe destacar la categoría de laguna, que presenta el valor más alto (media=7.28), lo que refleja su correspondencia con aquellas clases de anegamiento más frecuentes.

Se observa que no hay diferencias significativas en las medias de las zonas de anegamiento entre los suelos Argiudoles típicos y los Paleudoles petrocálcicos, y que estos valores son relativamente bajos. Esto podría deberse a las siguientes razones:

1. Presentan semejanzas en el horizonte de diagnóstico sub-superficial, ya que ambos comparten la posesión de un horizonte argílico de fuerte desarrollo, aunque en el segundo

subgrupo se encuentra una capa de tosca dentro del metro y medio de profundidad,

2. Ambos tipos de suelo tienen una distribución espacial que se circunscribe a la cuenca alta, con un uso muy similar, esto es, la actividad agrícola,

3. Las pendientes de las zonas donde se presentan estos suelos son relativamente altas y favorecen el escurrimiento superficial.

La distribución específica de los tipos de suelos y las lagunas dentro de cada grupo de clases de anegamiento indicaría que los suelos Natracuoles y Natracualfes típicos están presentes en todos los grupos, en mayor o menor medida. Estos son formados mediante el proceso de solonetzización (a partir de suelos salinos y por efecto de la precipitación, se produce un aumento relativo del sodio), y su limitante es la lixiviación insuficiente, el drenaje deficiente o la capa freática alta, según el caso.

Otro dato destacable es que los suelos Argiudoles típicos tienen una representatividad areal significativa en el grupo de áreas que no presentaron anegamiento, lo que refleja su condición de suelos bien drenados, sobre los que se desarrolla la mayor parte de la actividad agrícola.

En cuanto a las lagunas, éstas ocupan un porcentaje areal relevante únicamente dentro del primer grupo, lo que coincide con las características descriptas para estas áreas (cuerpos de agua permanentes y semipermanentes).

Los restantes suelos no ocupan una extensión tan importante como los anteriormente comentados, por lo que es más complejo interpretar su distribución a partir de la tabla anterior. Por ello, se realizó un análisis del porcentaje del área de cada uno de ellos en cada grupo respecto del área total de suelos de la cuenca.

De allí surge que el 57% del total de los suelos Argialboles se encuentran en la segunda línea de expansión de las aguas, lo que se corresponde con su característica de suelos bajos, con alternancia de saturación con agua y oxigenación, eluvial por excelencia.

Por otro lado, en el grupo 5 (sin anegamiento), es donde se encuentran los mayores porcentajes, respecto de su total ocupado en la cuenca, de los siguientes suelos: Hapludoles petrocálcicos (95 %), Hapludoles líticos (93 %), Paleudoles petrocálcicos (90 %), Argiudoles líticos (86 %) y Argiudoles ácuicos (76 %), lo que condice con su pertenencia a la cuenca alta, la presencia de tosca o contacto lítico cercano a la superficie (incluidos los afloramientos rocosos), según el caso.

Por último, los suelos Hapludoles tapto árgicos y tapto nátricos están repartidos en todos los grupos de anegamiento, excepto el perteneciente a los cuerpos de agua permanentes y semipermanentes, aunque con porcentajes muy poco significativos en todos los casos.

[arriba]

## Conclusiones

La metodología aplicada aparece como una herramienta potente para identificar el patrón espacial de la expansión de aguas en una cuenca de llanura. En este trabajo se han podido identificar zonas con distinto grado de anegamiento en la cuenca del arroyo del Azul y se ha podido evaluar la superficie afectada por este fenómeno.

Por otro lado, la relación entre los grados de anegamiento y los tipos de suelo estudiados evidencia el efecto del agua como factor formador de los suelos y refuerza la confianza en la metodología empleada para identificar frecuencias de anegamientos.

Entre otras aplicaciones, el método permite cuantificar un factor de riesgo para las prácticas agrícolas que se intenten realizar en determinadas zonas de la cuenca. De igual modo, los resultados pueden emplearse para identificar zonas del dominio rural donde se requieren prácticas de sistematización hidráulica.

[\[arriba\]](#)

## **Bibliografía**

BENJAMIN, Y. y BRAUN, H. 2002. John Tukey's contributions to multiple comparisons. Research Report, Research Publ. Office, Educational Testing Service, Princeton, New Jersey. 27 p. DUNN, O.J. 1974. On multiple tests and confidence intervals. Communications in Statistics Series. 3: 101-103. INTA, 1973. Cartas de Suelos de la República Argentina. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Castelar, Buenos Aires. ITC. 1998. The Integrated Land and Water Information System: User's Guide. Computer Dept, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Enschede, The Netherlands. 511 p. JARSÚN, B. 1996. Aplicaciones de las Cartas de Suelos para el Manejo del Agua Superficial. En: Suelos. Utilización de la Cartografía para el Uso Sustentable de las Tierras. Ed. Moscatelli, G., Panigatti, J. y Di Giacomo, R. 40-55. JENSEN, W., HODGSON, E., CHRISTIANSEN, H., MACKEY, J., TINNEY, L. y SHARITZ, R. 1986. Remote Sensing Inland Wetlands: a Multispectral Approach. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 52(1): 87-100. LUNETTA, R. y BALOGH, E. 1999. Application of Multi-Temporal Landsat 5 TM Imagery for Wetland Identification. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 65(11): 1303-1310. RANG, S., CISNEROS, J., MILANESIO, A., GIL, H. y DEGIOANNI, A. 1999. Propuesta de Creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área sur de Laboulaye-Rosales\_Leguizamón. Documento Técnico. CONICOR-ADESUR-UNRC. 60 p. SARDAR, A. M. 2000. Flood Delineation Using Radarsat data. Bangladesh Space Research and Remote Sensing Organization (SPARRSO) Report. SOIL TAXONOMY, 1975. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Soil Survey Staff. Soil Conservation Service. U.S. Dep. of Agric. SPJOTVOLL, E., y STOLINE, M. R. 1973. An extension of the T-method of multiple comparison to include the cases with unequal sample sizes. Journal of the American Statistical Association. 68: 976-978. TRICART, J.L. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Base para los estudios edafológicos y agronómicos. Plan mapa de suelos de la Región Pampeana. XII Colección Científica, INTA. TUCKER, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing Environ., Nº 8, 127. USUNOFF, E., VARNI, M., WEINZETTEL, P. y RIVAS, R. 1999. Hidrogeología de Grandes Llanuras: la Pampa Húmeda Argentina. Boletín Geológico y Minero. 100(4): 391-406

[\[arriba\]](#)