

## PROPUESTA DE DOS MÉTODOS PARA EL MAPEO DE ÁREAS ANEGADAS UTILIZANDO CONDICIONES HIDROLÓGICAS CUANTIFICABLES

VARNI, M.<sup>1</sup>, ENTRAIGAS, I.<sup>1</sup>, GANDINI, M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Hidrología de Llanuras (UNCPBA-CIC-Municipalidad de Azul)

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía (UNCPBA)

CC 44, (7300), Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina

[varni@faa.unicen.edu.ar](mailto:varni@faa.unicen.edu.ar) [ilda@faa.unicen.edu.ar](mailto:ilda@faa.unicen.edu.ar) [mgandini@faa.unicen.edu.ar](mailto:mgandini@faa.unicen.edu.ar)

### RESUMEN

Se evalúan dos métodos para reconocer y mapear áreas anegadas en la cuenca del arroyo del Azul, Argentina. Se utilizaron imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM de siete fechas representativas de distintas condiciones hidrológicas. El primer método se basó en el análisis de la frecuencia de las precipitaciones antecedentes a la fecha de cada imagen. Posteriormente, se combinaron linealmente las imágenes con el objetivo de obtener imágenes combinadas con frecuencias de precipitación antecedente deseadas. El segundo método se basó en el cálculo de un balance diario de agua en el suelo desde cuatro meses antes de la fecha de toma de cada imagen, obteniéndose el contenido de humedad para la fecha de cada imagen. Luego, se realizaron combinaciones lineales obteniendo imágenes con los contenidos de humedad deseados. Ambos métodos permiten cuantificar una probabilidad de anegamiento para distintas condiciones hidrológicas antecedentes.

Palabras clave: Landsat, cuenca del arroyo Azul, anegamientos, frecuencia de precipitaciones, balance de agua.

### PROPOSAL OF TWO METHODS TO MAPPING FLOODED ZONES USING MEASURABLE HYDROLOGICAL CONDITIONS

#### ABSTRACT

Two methods are evaluated to recognize and to mapping flooded zones in the Azul Creek basin, Argentina. Images Landsat 5 TM and 7 ETM of seven representative dates of different hydrological conditions were used. The first method was based on the analysis of the frequency of antecedent precipitations to each image. Later, the images were combined linearly to obtain combined images with expected antecedent precipitation frequencies. The second method was based on the calculation of a daily soil water budget from four months prior to the date of each

image, obtaining the soil water content for the date of each image. Soon, linear combinations were made obtaining images with the wished humidity contents. Both methods allow quantifying a probability of flooding for different antecedent hydrological conditions.

Key words: Landsat, Azul Creek basin, flooded areas, precipitation frequency, soil water budget.

## 1. Introducción

La teledetección es una poderosa herramienta para evaluar procesos y condiciones de la superficie terrestre. Por ejemplo, se la ha utilizado para identificar áreas de erosión potencial con énfasis en la pérdida de cobertura vegetal causada por incendios forestales (Reyes Ruiz-Gallardo *et al.*, 2004), para monitorear áreas irrigadas de cara a obtener información sobre el rendimiento de los cultivos y la tasa de irrigación (Bastiaanssen *et al.*, 1999) y también con el objeto de evitar la sobreexplotación del recurso hídrico subterráneo (Martín de Santa Olalla *et al.*, 2003). Han existido intentos de evaluar la distribución de agua mediante sistemas de riego por canales (Mobin-ud-Din Ahmad *et al.*, 2004), así como la estimación de volúmenes de escurrimiento en función de el área ocupada por agua en tramos de ríos (Bjerklie *et al.*, 2003; Brakenridge *et al.*, 2005). Gracias al amplio contraste existente entre el agua y el resto del paisaje en el espectro electromagnético, es especialmente útil para el estudio de anegamientos (Jensen *et al.*, 1986; Lunetta y Balogh, 1999; Sandar, 2000). Esta herramienta permite detectar no solamente las áreas anegadas sino también ubicar estructuras y geformas que no son identificables si no se cuenta con cartas topográficas con un alto grado de detalle. En este caso, las cartas del Instituto Geográfico Militar Argentino, escala 1:50000 (equidistancia 2,5 m), no son lo suficientemente detalladas para detectar los poco relevantes patrones del relieve de las llanuras.

El primer objetivo del presente trabajo es reconocer y cartografiar áreas de anegamiento a partir del uso de imágenes satelitales Landsat en el área de la cuenca del arroyo del Azul, centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina ([figura 1](#)). Esta cuenca, de características llanas, está comprendida dentro de la Llanura Pampeana, una zona de inmensa capacidad productiva desde el punto de vista agrícola ganadero. Sin embargo, existen áreas que recurrentemente sufren anegamientos que producen importantes pérdidas económicas. Es por ello que la posibilidad de obtener una descripción espacial de la anegabilidad de estas tierras es de gran interés tanto para los productores como para los entes gubernamentales.

Sin embargo, si para las distintas áreas ocupadas por agua en distintas situaciones no se establecen parámetros que permitan su utilización desde un punto de vista cuantitativo y no sólo cualitativo, la utilidad de estas imágenes será muy limitada. Entonces, para poder evaluar esta información desde un punto de vista ingenieril para el manejo de agua en la llanura, y éste es el segundo objetivo, deberá asociarse cada imagen a un parámetro que exprese cuantitativamente el estado hidrológico de la cuenca. Se han escogido dos parámetros para evaluar sus aptitudes para representar dicha condición hidrológica: la frecuencia de la precipitación antecedente a la fecha de cada imagen y el contenido de humedad de un suelo con capacidad de almacenamiento promedio en la cuenca para ese mismo momento. De esta manera, se podrá determinar el patrón de expansión de las aguas que producen anegamientos y asociar cada límite de expansión a la frecuencia de la pluviometría antecedente o al contenido de humedad en el suelo para cada ocasión, representando

una mejora metodológica importante a lo propuesto por Vázquez *et al.* (2003).

El área estudiada es la cuenca del arroyo del Azul y abarca 6237 km<sup>2</sup>. El arroyo del Azul nace en cercanías de la localidad de Chillar y desarrolla su curso hacia el norte, hasta perderse antes de alcanzar el río Salado, llevando por denominación en su tramo inferior arroyo Gualicho. El curso es finalmente atravesado y desaguado en parte por el Canal 11, que se adopta como extremo norte del área de estudio. La cuenca consiste en una gran llanura (subcuenca inferior) y un área menor de serranías bajas en la zona sur (subcuenca superior) donde se ubican las cabeceras del arroyo del Azul. El área superior está conectada a la llanura a través del piedemonte (subcuenca media). La pendiente media del terreno es del 5 % en la subcuenca superior y del 0,2 % en la inferior, mientras que varía entre 0,5 y 0,8 % en la zona media. El comportamiento global de la región es el de un ambiente de llanura (Sala *et al.*, 1987).

La precipitación media anual en la ciudad de Azul, ubicada en el centro geográfico de la cuenca, es de 984,9 mm (Estación Azul Aero del Servicio Meteorológico Nacional, período 1960-2003). La precipitación media mensual máxima, medida como lámina de agua, se da en marzo con 136,9 mm, mientras que la mínima se produce en junio con 42,9 mm. La temperatura media es de 14,5 °C, con la máxima media mensual en enero con 21,4 °C y la mínima media mensual en julio con 7,7 °C (Estación Azul Aero del Servicio Meteorológico Nacional, período 1966-2003). Según la clasificación climática de Thornthwaite, el clima de la región se clasifica como subhúmedo-húmedo, mesotermal, con poca o nula deficiencia de agua.

## 2. Metodología

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 aquellas de alta calidad (cobertura de nubes nula). Las imágenes fueron corregidas geométricamente al sistema de proyección Gauss Krüger (Datum Campo Inchauspe 1969, Argentina Zona 5) para proceder a la construcción de los mosaicos y así cubrir la totalidad del área de estudio. A partir de allí, se realizaron clasificaciones mixtas de las imágenes satelitales, las que se procesaron mediante enmascaramiento y se obtuvo como resultado siete imágenes binarias de zonas no anegadas/anegadas.

El primer método propuesto (método de la frecuencia) se basa en un análisis de frecuencia de precipitaciones ocurridas en períodos de 30, 60 y 120 días desde 1981 al 2000 con datos de precipitación diarios de la estación meteorológica Azul-Aero perteneciente a la Fuerza Aérea Argentina, ubicada en el centro del área de estudio. A partir de dicho análisis pudo determinarse la frecuencia de las precipitaciones registradas en los períodos previos a la fecha correspondiente a cada imagen. Asumiendo que el principal factor responsable de la situación de anegamiento correspondiente a cada imagen es la precipitación antecedente, puede asociarse la frecuencia del anegamiento de cada imagen con la frecuencia de la precipitación antecedente de dicha imagen. Las siete máscaras son luego incluidas en una ecuación lineal, cuyo resultado en cada píxel es proporcional a su frecuencia de precipitaciones previas. La ecuación se define de la siguiente manera:

$$MR = M_1 * A_1 + M_2 * A_2 + M_3 * A_3 + M_4 * A_4 + M_5 * A_5 + M_6 * A_6 + M_7 * A_7 \quad (1)$$

donde  $M_i$  son las máscaras correspondientes a las siete fechas,  $A_i$  los coeficientes de ponderación y MR la máscara resultante. Si los  $M_i$  tienen una frecuencia asociada, pueden elegirse los  $A_i$  de manera de obtener máscaras resultantes con la frecuencia deseada, siempre que se halle dentro de las frecuencias máxima y mínima de los  $M_i$ . Además, se impuso la condición de que toda imagen debía tener una contribución mínima del 5 %, con el objeto de que las máscaras resultantes fueran el producto del aporte informativo de la máxima diversidad posible de situaciones.

El segundo método (método del almacenamiento) se basa en el cálculo de un balance hídrico diario desde cuatro meses antes de la fecha de toma de cada imagen. Se escogió una capacidad de almacenamiento de un suelo promedio para la zona: 100 mm (Burgos y Forte Lay, 1978). Se verificó que con cuatro meses el estado final de humedad es independiente al estado inicial (debido a que en ese período siempre ocurren eventos de saturación), para todos los casos analizados. Una vez obtenido el contenido de humedad correspondiente a cada imagen se aplicó aquí también la ecuación (1) eligiendo los  $A_i$  de manera que las máscaras resultantes tuviesen contenidos de humedad deseados, siempre respetando que  $A_i \geq 0,05$ .

### 3. Resultados

#### 3.1. Método de la frecuencia

En primer lugar, se realizó el análisis de las precipitaciones diarias registradas entre 1981 y 2000 en la estación meteorológica Azul-Aero. Para cada día de este período se consideraron los 30, 60 y 120 días previos y se realizó un análisis de frecuencia de las precipitaciones ocurridas. Para el período de 30 días, se analizaron 8006 períodos y se obtuvo una precipitación media de 84,5 mm, con una desviación estándar (DE) de 61,8 mm y un valor máximo de 361,5 mm. Para los 60 días se tomaron 7976 registros, con una media de 168,7 mm, una DE de 94,4 mm y una precipitación máxima de 507,0 mm. Finalmente, analizando los 120 días previos, se obtuvieron 7916 datos con un valor medio de 335,0 mm, una DE de 139,0 mm y un máximo de 746,0 mm. En la [tabla 1](#) se muestran las frecuencias porcentuales de precipitaciones ordenadas cada 30 mm para los períodos analizados.

Luego de realizado este análisis, se determinaron las frecuencias correspondientes a la precipitación antecedente a cada imagen en los 30, 60 y 120 días previos a la fecha de captación ([tabla 2](#)). En dicha tabla, se destaca la imagen del 24/11/02 porque tiene frecuencias muy pequeñas en los tres períodos analizados; le siguen las imágenes del 14/04/02, 28/02/00 y 18/11/97, con situaciones intermedias; y finalmente, las imágenes del 13/05/01, 24/04/01 y 23/12/01 que son aquellas que corresponden a situaciones más secas, asociadas a las mayores frecuencias.

De las tres frecuencias obtenidas para cada imagen debía obtenerse una sola en la que, obviamente, deberá tener preponderancia la de los 30 días previos, le seguiría la de los 60 días y la de 120 días sería la de menor peso. También debían diferenciarse dos situaciones: la de los meses fríos y la del período estival, ya que en este último caso la mayor relevancia de la evapotranspiración hace que la influencia de los períodos más prolongados disminuya

Varni, M., Entraigas, I. y Gandini, M. (2006): "Propuesta de dos métodos para el mapeo de áreas anegadas utilizando condiciones hidrológicas cuantificables", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.33-46, ISSN: 1578-5157

significativamente. Se asignaron entonces los coeficientes de ponderación 10, 8 y 6 para los períodos de 30, 60 y 120 días en los meses más fríos, respectivamente, y 10, 5 y 2.5 para los meses cálidos. Luego se aplicó la ecuación:

$$fm = (C_1 * f_{30} + C_2 * f_{60} + C_3 * f_{120}) / (C_1 + C_2 + C_3) \quad (2)$$

donde fm es la frecuencia media ponderada;  $f_{30}$ ,  $f_{60}$  y  $f_{120}$  son las frecuencias de los períodos de 30, 60 y 120 días; y  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  son los coeficientes de ponderación. En la [tabla 3](#) pueden observarse las frecuencias medias ponderadas para cada imagen.

Luego las imágenes se combinaron píxel a píxel según la ecuación (1), donde los coeficientes  $A_i$  se determinaron de manera que las imágenes resultantes correspondiesen a frecuencias de 25, 30 y 35 % ([figura 2](#)). Estas 3 imágenes resultantes presentan valores entre 0 y 1 que fueron luego agrupados de manera que quedaron constituidos 5 grupos finales.

El grupo 5 está conformado por aquellos píxeles que constituyen las zonas con los anegamientos más prolongados y que ocupan pequeñas superficies y estaría representando a todos los cuerpos de agua permanentes y semipermanentes de la cuenca. El grupo 4 representa la primera línea de expansión de aguas, y está asociado 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.

El grupo 3 presenta un nuevo incremento en el área ocupada por cada clase y 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. El grupo 2 está conformado por píxeles que serían cubiertos por las aguas sólo cuando se combinan inviernos y primaveras muy húmedos, en circunstancias excepcionales. Por último, el grupo 1 está conformado por aquellos píxeles que, como fuera señalado anteriormente, corresponden a áreas que no presentaron anegamiento durante el período analizado.

En la [figura 3](#) se muestra la variación del área de las clases de anegamiento en función de la variación de la frecuencia de las precipitaciones antecedentes. La primera observación que surge es que las superficies no anegables serían muy importantes: varían entre cerca del 90 % del área de la cuenca para la frecuencia del 35 %, decreciendo al 73 % para una frecuencia del 25 %. Puede verse también que, aunque en general las áreas anegadas de cada clase crecen al disminuir la frecuencia de las precipitaciones, en algún caso esto no ocurre debiéndose a transferencia de áreas de una clase a otra.

### 3.2. Método del balance

Se determinaron las evapotranspiraciones potenciales mensuales mediante el método de Penman modificado por Allen *et al.* (1998). Esas evapotranspiraciones se dividieron por los días de

Varni, M., Entraigas, I. y Gandini, M. (2006): "Propuesta de dos métodos para el mapeo de áreas anegadas utilizando condiciones hidrológicas cuantificables", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.33-46, ISSN: 1578-5157

cada mes para obtener una estimación media de las evapotranspiraciones diarias. Con dichas evapotranspiraciones y las precipitaciones diarias se realizaron balances de agua en un suelo con una capacidad de retención de 100 mm, que puede adoptarse como un valor medio para los suelos de la región (Burgos y Forte Lay, 1978). Todos los parámetros fueron registrados en la estación Azul-Aero del Servicio Meteorológico Nacional. No toda la precipitación penetra en el suelo, ya que se descuenta una cantidad adjudicada al escurrimiento superficial. Éste se determina según el método del Número de Curva (USDA Soil Conservation Service, 1985), adoptándose un Número de Curva de 75 para la condición de humedad intermedia, corrigiéndose a otras condiciones de humedad según la precipitación ocurrida en los cinco días previos. Todos los balances se iniciaron cuatro meses antes de la fecha de captación de cada imagen con la capacidad de retención colmada, aunque se comprobó que en todos los casos el almacenamiento resultante el día de la imagen era independiente del almacenamiento inicial, ya que siempre se colmaba la capacidad de almacenamiento en algún momento de los cuatro meses. En la [tabla 4](#) pueden verse los contenidos de humedad de los suelos obtenidos mediante el balance. De manera análoga a lo realizado en el método de frecuencias, se establecieron coeficientes de ponderación  $A_i$  para la ecuación (1) de cara a obtener imágenes combinadas con contenidos de humedad del 60, 70 y 80%.

Análogamente que en el método de frecuencias, se obtuvo una imagen con píxeles con valores entre cero y uno, con el valor nulo correspondiente a áreas que no estuvieron anegadas en ninguna de las fechas registradas por las imágenes, y con valor unitario en los píxeles con agua en todas las imágenes. También aquí se determinaron 5 grupos de clases. La descripción de cada grupo debería ser similar a la realizada en el apartado del método de las frecuencias. La distribución espacial de los grupos se ve en la [figura 4](#).

En la [figura 5](#) se muestra la variación del área de los grupos de clases de anegamiento en función de la variación de las humedades en un suelo medio. También en este caso el grupo 5, que correspondería a superficies no anegables, tendría áreas importantes y similares a las del método de frecuencias: varían entre el 89% del área de la cuenca para un 60% de humedad, decreciendo al 73% para una humedad del 80%. Se observa que se producen disminuciones de áreas de algunas clases al aumentar el porcentaje de humedad debido, como se ha dicho con anterioridad, al traspaso de áreas de una clase a otra.

#### 4. Discusión y conclusiones

Ambos métodos muestran que la mayoría de la cuenca, con un total de algo más de 600000 ha, permanece sin anegar. El área no inundada varía desde 400000 ha para las situaciones más húmedas (tanto para una frecuencia de precipitación antecedente del 25% como para un contenido de humedad del suelo del 80 mm) hasta algo más de 500000 ha para las más secas (35% de frecuencia de la precipitación previa o 60 mm de humedad en el suelo), siempre dentro del rango de situaciones analizado. Aproximadamente el 17% del área se ha inundado al menos una vez en las situaciones más secas estudiadas, mientras que en las más húmedas se alcanza cerca de un 30% del área total.

Aunque los resultados de ambos métodos no son totalmente comparables porque las frecuencias de las precipitaciones antecedentes no tienen necesariamente que guardar una fuerte

Varni, M., Entraigas, I. y Gandini, M. (2006): "Propuesta de dos métodos para el mapeo de áreas anegadas utilizando condiciones hidrológicas cuantificables", *GeoFocus (Artículos)*, nº 6, p.33-46, ISSN: 1578-5157

relación con las humedades del suelo, podemos observar una mejor separación de zonas con el método del balance, para las clases intermedias de anegamiento. En este caso, tiene gran importancia la evapotranspiración, que en el método de frecuencias sólo se tuvo en cuenta parcialmente a través del cambio de coeficientes de ponderación según la época del año cuando se determina una única frecuencia a partir de las frecuencias para uno, dos y tres meses antecedentes, mientras que en el método del balance se la considera explícitamente. Lo anterior parecería indicar que el método del balance de agua en el suelo es más objetivo, aunque debería mejorarse su definición pues se supone la existencia de un único suelo con capacidad de almacenamiento de 100 mm, lo cual, no tiene en cuenta la heterogeneidad espacial de los suelos en la cuenca en estudio. Por otra parte, el método se simplifica calculando escurrimientos uniformes para toda la cuenca, siendo que en las zonas de menor pendiente (toda la zona norte de la cuenca) el agua prácticamente no escurre debido a las mínimas pendientes y permanece en superficie evaporándose pero disminuyendo la capacidad de evapotranspirar del complejo suelo-planta, por lo que el balance subestimaría el agua almacenada en las zonas bajas.

A pesar de las dificultades antes mencionadas, se cree que los métodos presentados significan un aporte para evaluar la discriminación espacial de áreas de anegamiento a nivel regional. De todas maneras, es necesario continuar en el sentido de mejorar la definición de la capacidad de infiltración y escurrimiento de los suelos presentes en la zona, para contar con modelos más realistas.

### Referencias bibliográficas

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. (1998): "Crop evapotranspiration guidelines for computing crop requirements". Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Roma, Italia, 300 pp.
- Bastiaanssen, W.G.M., Molden, D.J., Thiruvengadachari, S., Smit, A.M.F.R., Mutuwatte, L. y Jayasinghe, G. (1999): "Remote sensing and hydrologic models for performance assesment in Sirsa Irrigation Circle, India". Research Report 27, International Water Management Institute.
- Bjerklie, D.M., Dingman, D.L., Vörösmarty, C.J., Bolster, C.H. y Congalton, R.G. (2003) "Evaluating the potential for measuring river discharge from space". *Journal of Hydrology* 278, pp. 17-38.
- Brakenridge, G.R., Nghiem, S.V., Anderson, E. y Chien, S. (2005): "Space-based measurement of river runoff". *Eos* 86, 19, pp. 185-192.
- Burgos, J. J. y Forte Lay, J.A. (1978): "Capacidad de almacenaje de agua en los suelos de la región pampeana". En: *Taller argentino-estadounidense sobre sequías*. Mar del Plata. CONICET.
- 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, pp. 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, pp 1303-1310.
- Martín de Santa Olalla, F., Calera Belmonte, A. y Domínguez Padilla, A. (2003): "Volume of water irrigation control using remote sensing". *Agricultural Water Management* 61, pp. 111-124
- Mobin-ud-Din, A., Stein, A. y Bastiaanssen, W.G.M. (2004): "Estimation of disaggregated canal water deliveries in Pakistan using geomatics". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 6, 1, pp. 63-75.

Varni, M., Entraigas, I. y Gandini, M. (2006): "Propuesta de dos métodos para el mapeo de áreas anegadas utilizando condiciones hidrológicas cuantificables", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.33-46, ISSN: 1578-5157

Reyes Ruiz-Gallardo, J., Castaño, S. y Calera, A. (2004): "Application of remote sensing and GIS to locate priority intervention areas after wildland fires in Mediterranean systems: a case study from south-eastern Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 13, pp. 241-252.

Sala, J.M., Kruse, E., y Aguglino, R. (1987): "Investigación hidrológica de la Cuenca del Arroyo del Azul, Provincia de Buenos Aires". CIC, Informe 37

Sandar, A. M (2000): "Flood Delineation Using Radarsat data". Bangladesh Space Research and Remote Sensing Organization (SPARRSO) Report.

USDA Soil Conservation Service (1985): *National Engineering Handbook, Section 4*. U.S. Govt. Printing Office, Washington, DC.

Vázquez, P., Entraigas, I., Varni, M., Gandini, M. y Usunoff, E. (2003): "Identificación de patrones de anegamiento en la cuenca del arroyo del Azul mediante el uso de imágenes Landsat". *Revista de Teledetección* 19, pp. 43-50.

## TABLAS

**Tabla 1. Frecuencia (medida en porcentaje) de precipitaciones en períodos de 30, 60 y 120 días**

Precipitación (mm)	Período		
	30 días	60 días	120 días
30	80.2	94.9	99.5
60	59.1	87.8	98.7
90	38.6	80.0	97.3
120	24.4	65.9	96.1
150	14.3	53.8	92.0
180	8.7	39.6	87.9
210	5.0	30.3	80.2
240	2.3	22.8	72.6
270	0.8	16.2	63.7
300	0.4	10.7	55.2
330	0.1	6.4	48.0
360		3.2	41.2
390		1.5	34.4
420		0.8	28.2
450		0.4	22.4
480		0.1	17.8
510			13.1
540			9.6
570			5.9
600			3.7
630			1.5
660			0.4

Varni, M., Entraigas, I. y Gandini, M. (2006): "Propuesta de dos métodos para el mapeo de áreas anegadas utilizando condiciones hidrológicas cuantificables", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.33-46, ISSN: 1578-5157

**Tabla 2. Fecha de adquisición de las imágenes satelitales, precipitación registrada en 30, 60 y 120 días previos a la fecha de adquisición y frecuencia de la precipitación registrada**

Fecha		Lluvias registradas (mm)		
		1 mes previo	2 meses previos	4 meses previos
28/02/00	Precipitación antecedente	95.1	294.8	443.9
	Frecuencia (%)	36.2	11.7	23.6
24/04/01	Precipitación antecedente	60.2	299.1	435.6
	Frecuencia (%)	59.0	10.9	25.2
13/05/01	Precipitación antecedente	79.4	214.9	397.0
	Frecuencia (%)	45.8	29.1	33.0
23/12/01	Precipitación antecedente	28.6	311.2	552.7
	Frecuencia (%)	81.1	9.1	8.0
14/04/02	Precipitación antecedente	90.4	399.1	560.2
	Frecuencia (%)	38.4	1.1	6.9
7/10/02	Precipitación antecedente	97.2	223.9	286.0
	Frecuencia (%)	35.2	26.8	59.2
24/11/02	Precipitación antecedente	186.8	360.6	553.5
	Frecuencia (%)	7.9	3.2	7.9

**Tabla 3. Frecuencia media ponderada de cada imagen**

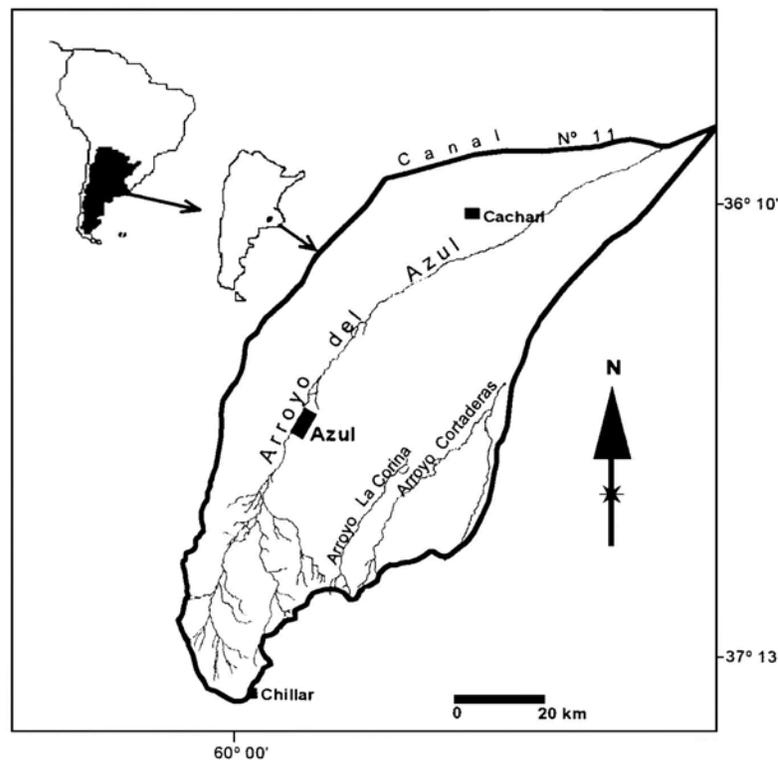
Imagen	Frecuencia media (%)
28/02/00	27.4
24/04/01	40.4
13/05/01	37.0
23/12/01	50.9
14/04/02	23.2
7/10/02	38.4
24/11/02	6.6

Varni, M., Entraigas, I. y Gandini, M. (2006): "Propuesta de dos métodos para el mapeo de áreas anegadas utilizando condiciones hidrológicas cuantificables", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.33-46, ISSN: 1578-5157

**Tabla 4. Humedad almacenada correspondiente a cada imagen**

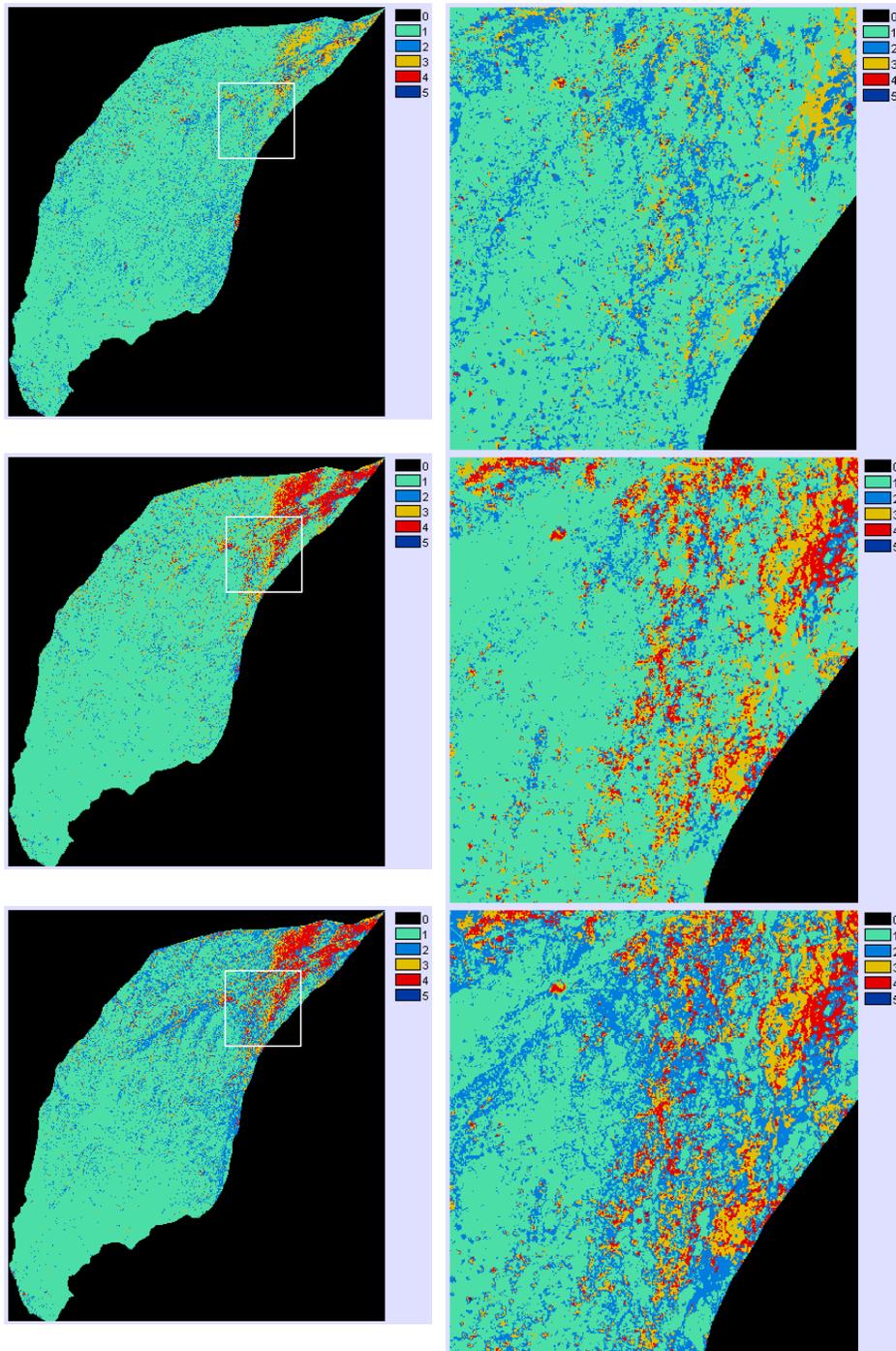
Imagen	Humedad almacenada (mm)
28/02/00	91.2
24/04/01	87.7
13/05/01	86.6
23/12/01	39.3
14/04/02	76.6
7/10/02	86.6
24/11/02	82.2

## FIGURAS



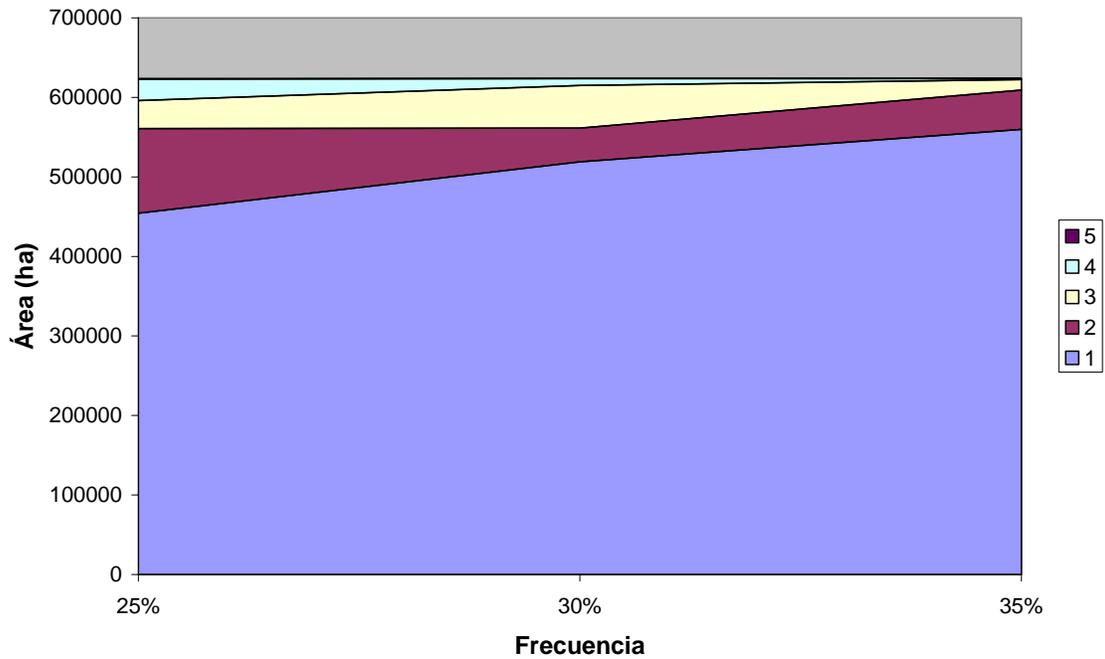
**Figura 1. Ubicación de la cuenca del arroyo Azul.**

Varni, M., Entraigas, I. y Gandini, M. (2006): "Propuesta de dos métodos para el mapeo de áreas anegadas utilizando condiciones hidrológicas cuantificables", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.33-46, ISSN: 1578-5157



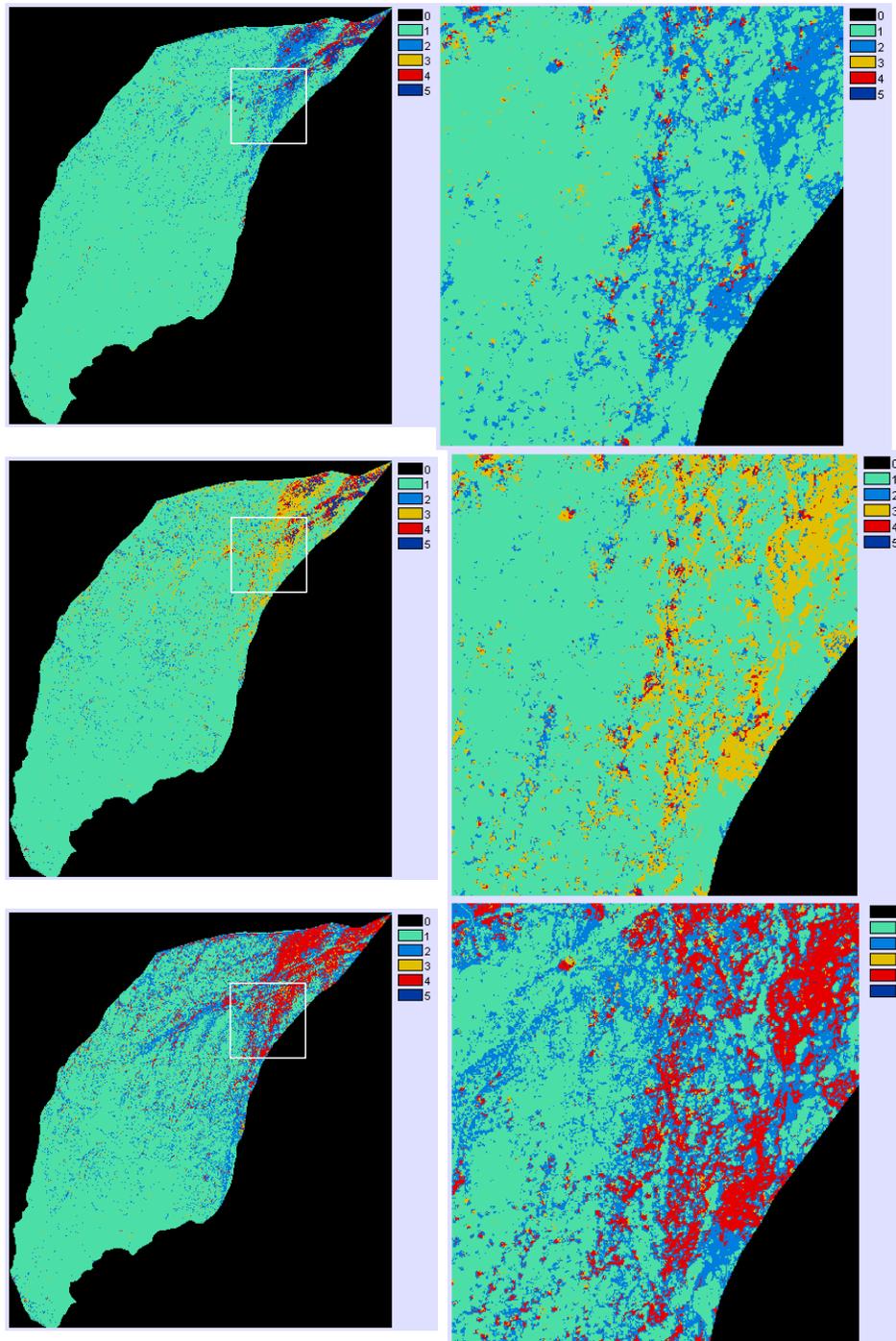
**Figura 2. Clases de anegamiento para frecuencias de precipitaciones antecedentes del 25, 30 y 35 % (de izquierda a derecha, y de arriba a abajo). Los números de 1 a 5 indican clases de anegamiento creciente.**

Varni, M., Entraigas, I. y Gandini, M. (2006): "Propuesta de dos métodos para el mapeo de áreas anegadas utilizando condiciones hidrológicas cuantificables", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.33-46, ISSN: 1578-5157



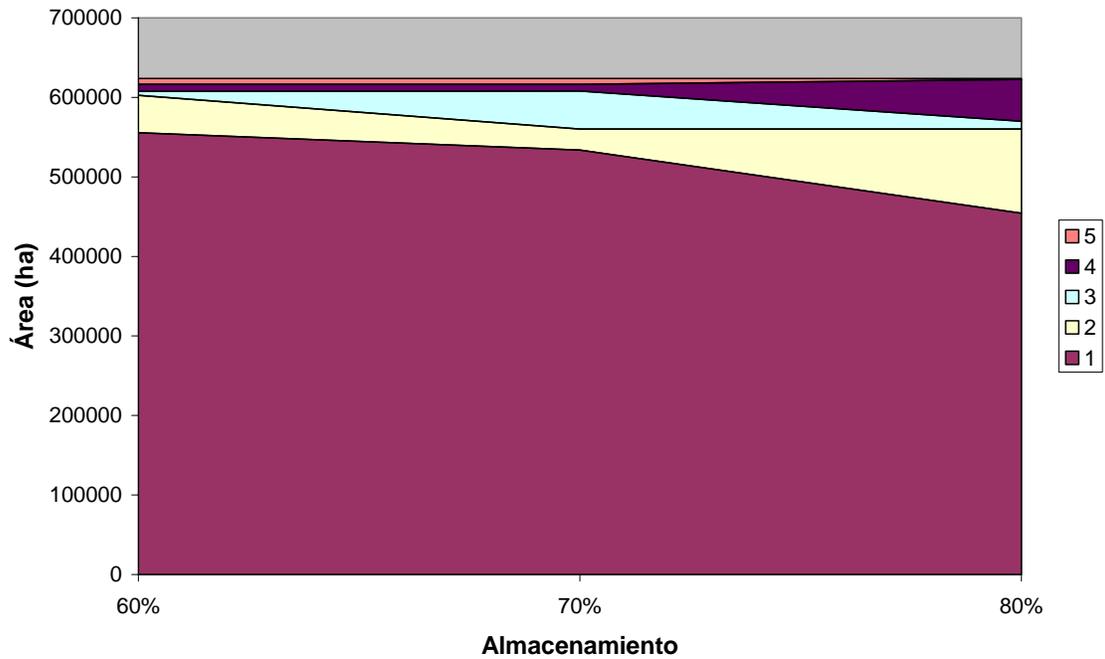
**Figura 3. Áreas acumuladas ocupadas por las distintas clases de anegamientos para diferentes frecuencias de la precipitación antecedente.**

Varni, M., Entraigas, I. y Gandini, M. (2006): "Propuesta de dos métodos para el mapeo de áreas anegadas utilizando condiciones hidrológicas cuantificables", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.33-46, ISSN: 1578-5157



**Figura 4.** Grupos de clases de anegamiento para contenido de humedad del suelo del 60, 70 y 80 % (de izquierda a derecha, y de arriba a abajo). Los números de 1 a 5 indican clases de anegamiento creciente.

Varni, M., Entraigas, I. y Gandini, M. (2006): "Propuesta de dos métodos para el mapeo de áreas anegadas utilizando condiciones hidrológicas cuantificables", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.33-46, ISSN: 1578-5157



**Figura 5. Áreas acumuladas ocupadas por las distintas clases de anegamientos para diferentes almacenamientos de humedad en el suelo.**