

Valoración de variables naturales mediante matrices para su aplicación en estudios ambientales en áreas de llanura

Borzi, Guido^{a,b}, Roig, Alejandro^c, Tanjal, Carolina^{a,b}, Santucci, Lucía^{a,b}, Tejada Tejada, Macarena^d, Carol, Eleonora^{a,b}

a- Centro de Investigaciones Geológicas, CONICET-UNLP, Diagonal 113 n°275, La Plata, Buenos Aires, Argentina
b- Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Av. 122 and 60, La Plata, Buenos Aires, Argentina
c- Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina
d- Departamento de Geografía, Historia y Filosofía, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España
gborzi@ctrym.unlp.edu.ar

Introducción

La asignación de un número a una variable natural para su uso en estudios ambientales representa un problema respecto a la subjetividad del operador, ya que la formación del operador tendrá una influencia marcada a la hora de darle un peso numérico a una variable estudiada. Asimismo, adjudicarle un número a una observación es otra tarea delicada, la cual puede contener distinta información, teniendo que asignar un número que se complementa con el resto de otros parámetros naturales valorados.

En una cuenca hidrográfica, existen variables naturales del medio físico, en donde la valoración de una variable natural es de gran importancia cuando se requiere realizar estudios que contemplen estas variables.

Por otro lado, actualmente el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) da la capacidad de analizar grandes áreas del territorio en poco tiempo, pudiendo incorporar no solo información recolectada recientemente en el campo, sino que se pueden adicionar variables que fueron mapeadas hace más de medio siglo. En este sentido, la información que fue colectada hace tiempo posee un nuevo valor cuando las mismas son incorporadas a un SIG y puede ser comparada/complementada con otra información actual. En áreas de llanura, como el noreste de la

provincia de Buenos Aires, uno de los mayores problemas que se registran son las inundaciones regulares, siendo de gran importancia definir los sectores que se anegan para un adecuado manejo de cuencas. El objetivo del trabajo fue utilizar una metodología que permita valorar variables naturales para su uso en la evaluación de peligro de inundación, y que al mismo tiempo pueda ser analizada la subjetividad del usuario, pudiendo o no rechazar la valoración efectuada. Para esto se tomó como caso de estudio a la cuenca del río Samborombón localizada en el noreste de la provincia de Buenos Aires, la cual presenta inundaciones regulares.

Desarrollo

La metodología planteada para la valoración de variables naturales fue mediante la creación de matrices de comparación por pares propuesta por Saaty. Esta técnica consiste en la toma de decisiones con criterios múltiples, proporcionando un enfoque sistemático para evaluar los impactos de diversas variables, la cual es llamada Proceso Analítico de Jerarquía, o AHP por sus siglas en inglés (Analytical Hierarchy Process). Se construye una escala mediante la asignación de un número del 1 al 9 a una variable, en donde 1 significa igual importancia entre pares de variables y 9 significa que una variable es extremadamente más importante que otra, siendo dichas comparaciones siempre entre pares.

Posteriormente a la generación de las matrices de pares que se desean comparar, la discrepancia entre la comparación de pares de variables y la confiabilidad de los pesos asignados a éstas se debe calcular la razón de consistencia (RC), la cual debe ser < 0,1 para que los pesos asignados a las variables sean aceptados

$$RC = \frac{IC(A)}{RIn}$$

Donde IC es el índice de consistencia que depende de la matriz A de comparación por pares de variables, sus elementos es la relación entre dos pesos asignados a cada una $\lambda_{máx}$ es el máximo autovalor (eigen valor) de la matriz A y n la dimensión de la misma. Por su parte, el índice aleatorio RIn representa la consistencia de una matriz de comparación por pares generada aleatoriamente. En este sentido, el RIn se deriva como índice de consistencia aleatorio promedio, calculado por Saaty a partir de una muestra de 500 matrices que se generan al azar.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ri	0	0	0,5247	0,8816	11,086	12,479	13,417	14,057	14,499	14,854

Asimismo, $\lambda_{máx}$ = n si y solo si la matriz A es consistente y $\lambda_{máx}$ > n en el resto de las situaciones.

$$IC(A) = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1}$$

En donde A w = n $\lambda_{máx}$, y w es el autovector. Para el resto de las situaciones Saaty propone una generalización y plantear el siguiente sistema:

$$A w = \lambda_{máx} w$$

Se generaron 4 matrices considerando como variables a la pendiente, la tasa de infiltración, observaciones de campo y la profundidad del nivel freático. Estas variables poseen propiedades respecto a su inundabilidad, obteniendo como resultado final un peso numérico en relación a su tendencia a inundarse. La pendiente del terreno influye en la infiltración y escurrimiento superficial del agua de las precipitaciones que ingresa a la cuenca, siendo mayor el número de valoración mientras menor era la pendiente. La permeabilidad de los suelos en la cuenca de drenaje se relaciona a la tasa de infiltración. Las categorías de tasa de infiltración registradas en el área de estudio son muy lenta, moderadamente lenta, moderada, moderadamente rápida, observando que este parámetro adquirió un número mayor cuanto menor era la tasa de infiltración. Por otro lado, observaciones de campo que indican características respecto a la presencia regular o no de agua en superficie, adquiriendo un número mayor mientras su tendencia al anegamiento fuera más marcada. Por último, otra característica que favorece la inundación de un sector es la profundidad a la que se encuentra el nivel freático. Esta variable adquirió una valoración mayor mientras menor fuera el espesor de la zona no saturada registrado en el área de estudio. Posteriormente a la realización de las matrices de comparación por pares, las variables fueron incorporadas a un SIG donde se observó espacialmente la distribución de los parámetros valorados.

Resultados

En la figura de la derecha se pueden observar las matrices construidas mediante el método de los autovectores para las distintas variables analizadas como la tasa de infiltración, pendiente, potencial de anegamiento y profundidad del nivel freático, siendo A1, A2, A3 y A4, respectivamente. En este sentido, todas las matrices analizadas obtuvieron un RC menor a 0,06, valor que se encuentra por debajo de 0,1 necesario para ser aceptadas. Se destaca que la conformación de las matrices permitió valorar los rasgos intrínsecos de cada variable, otorgándole un peso numérico, evidenciados en la siguiente tabla.

$$A1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 1/2 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 3 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

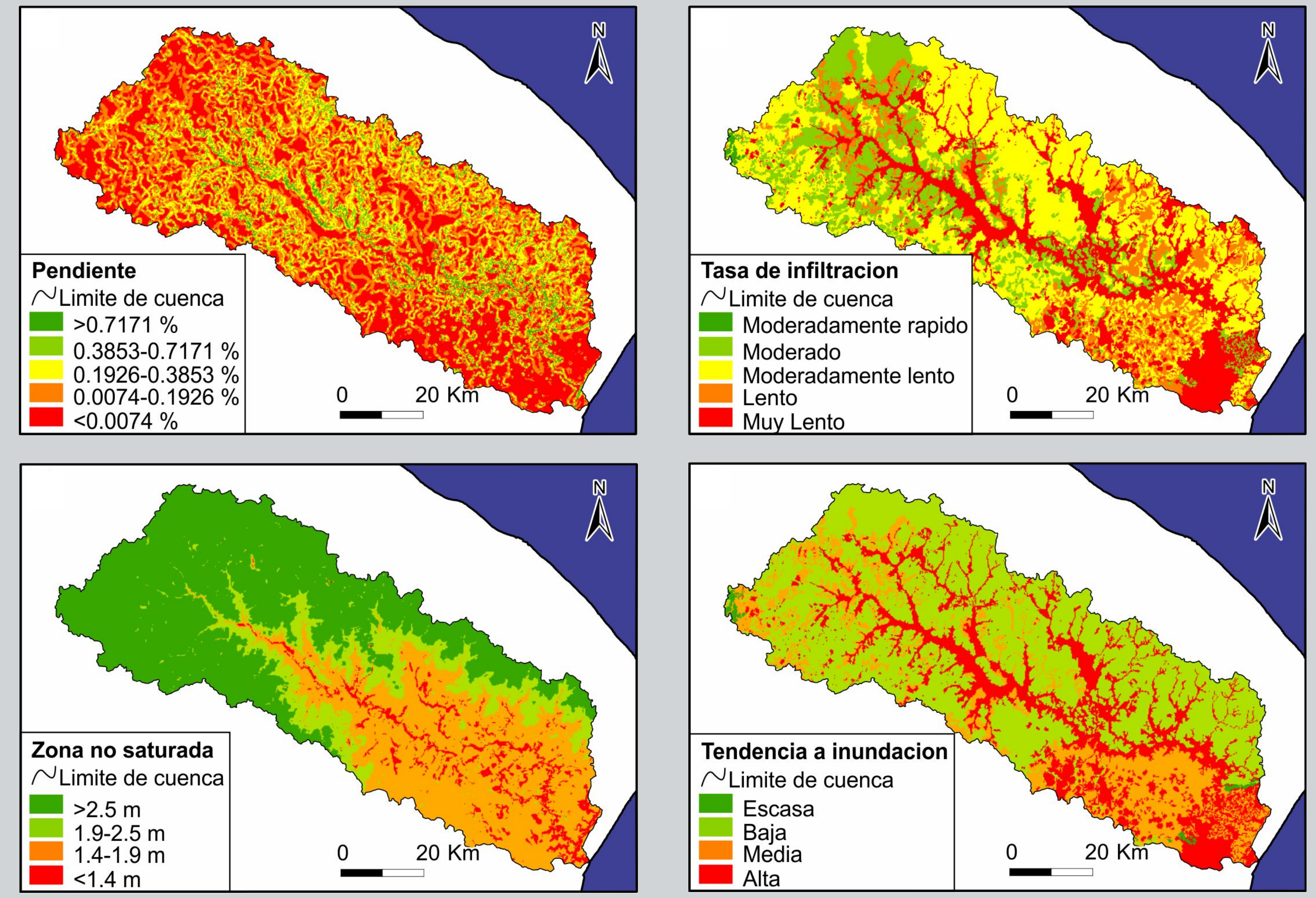
$$A2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 & 9 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 & 9 \\ 1/3 & 1 & 3 & 7 \\ 1/7 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A4 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

Tasa de infiltración RC=0,0152	Muy Lenta	Lenta	Moderadamente lenta	Moderada	Moderadamente rápida	Peso asignado
Muy Lenta	1	2	3	4	5	0,419
Lenta	1/2	1	2	3	4	0,263
Moderadamente lenta	1/3	1/2	1	2	3	0,19
Moderada	1/4	1/3	1/2	1	2	0,0973
Moderadamente rápida	1/5	1/4	1/3	1/2	1	0,0618
Pendiente RC=0,0602	<0,0074 %	0,0074-0,1926 %	0,1926-0,3853 %	0,3853-0,7171 %	>0,7171 %	Peso asignado
<0,0074 %	1	3	5	7	9	0,515
0,0074-0,1926 %	1/3	1	3	5	7	0,252
0,1926-0,3853 %	1/5	1/3	1	3	5	0,132
0,3853-0,7171 %	1/7	1/5	1/3	1	3	0,0649
>0,7171 %	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,0364
Pot. anegamiento RC=0,0367	Escaso	Bajo	Medio	Alto		Peso asignado
Escaso	1	3	5	7		0,599
Bajo	1/3	1	3	5		0,259
Medio	1/5	1/3	1	3		0,098
Alto	1/7	1/5	1/3	1		0,044
Prof. n. freático RC=0,0433	<1,4 m	1,4-1,9 m	1,9-2,5 m	>2,5 m		Peso asignado
<1,4 m	1	3	5	7		0,565
1,4-1,9 m	1/3	1	3	5		0,262
1,9-2,5 m	1/5	1/3	1	3		0,118
>2,5 m	1/7	1/5	1/3	1		0,055

La capas incorporadas a un SIG permitieron observar los sitios con mayor susceptibilidad a anegamiento. La capa de pendientes evidenció la escasa pendiente de la llanura de inundación de ríos y arroyos limitada por sectores de mayores pendientes relativas. Asimismo, los sectores más altos, en zonas de divisoria, también se caracterizan por la baja pendiente, un rasgo común de esta área de planicie. Respecto a la permeabilidad, la menor tasa de infiltración fue observada principalmente en la llanura de inundación, así como también en depresiones cercanas al área de desembocadura. Por su parte, las mayores tasas de infiltración fueron registradas principalmente en sectores de divisoria de agua. Las observaciones referentes a la tendencia a inundación de cada suelo evidenciaron que la llanura de inundación de ríos y arroyos son los sectores más propensos a ser ocupados por agua, así como también el sector de desembocadura. Por otro lado, en los sectores de divisoria principal y secundaria presentaron una tendencia a inundación escasa. Por último, la zona no saturada presentó sus menores espesores en el sector de desembocadura, llanura de inundación de ríos y arroyos, y progresivamente fue adquiriendo mayores espesores en el área de divisoria principal de la cuenca.



Conclusiones

La conformación de las matrices mediante la metodología propuesta por Saaty (1980), permitió valorar las variables analizadas, así como su posterior incorporación a un SIG. Asimismo se destaca que el AHP permite otorgar un peso a las variables cualitativas las cuales pueden ser aceptadas o rechazadas, reduciendo el error del usuario. Esto evidenció que las áreas marcadas con mayor tendencia al anegamiento son la llanura de inundación del río y los afluentes, encontrando que los sectores de divisoria poseen la tendencia opuesta. La valoración de variables naturales contribuye a realizar análisis cuantitativos cuando éstos proceden de distintas fuentes. Esto permite unificar parámetros para que puedan ser analizados conjuntamente de manera cuantitativa.

La perspectiva de esta metodología será incorporar nuevas variables con el fin de que sean integradas a un SIG y puedan ser procesadas en conjunto para determinar los sitios con mayor tendencia a la inundación de la cuenca.

Referencias

- Borzi G, Santucci L, Tanjal C, Carol E (2020). Assessment of surface runoff conditioned by road works and urban settlements in large plain basins. Natural Hazards, 1-14.
 De Steiguer JE, Duberstein J, Lopes V (2003). The analytic hierarchy process as a means for integrated watershed management. In First interagency conference on research on the watersheds (pp. 736-740). Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Benson, Ariz.
 INTA (Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria) (1993). Cartas de Suelos de la República Argentina. ISSN 0327-781X. Centro de Investigaciones de recursos Naturales. Instituto de Suelos área de Investigación en Cartografía de Suelos y Evaluación de Tierras.
 Jaiswal RK, Thomas T, Galkate RV, Ghosh NC, Singh S (2014). Watershed prioritization using Saaty's AHP based decision support for soil conservation measures. Water resources management, 28(2), 475-494.
 Latrubesse EM, Brea D (2009). Floods in Argentina. Developments in Earth Surface Processes, 13, 333-349.
 Saaty TL (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology, 15(3), 234-281.
 Saaty TL (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York.
 Scarpati OE, Capriolo AD (2013). Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, 2013(82), 38-51.
 Srdjevic B (2007). Linking analytic hierarchy process and social choice methods to support group decision-making in water management. Decision Support Systems, 42(4), 2261-2273.