

EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Existen diversos métodos para evaluar la susceptibilidad, entre los que se incluyen principalmente los estadísticos, determinísticos, de indexación y de evaluación directa. La aplicabilidad de cada método a una zona determinada depende sobre todo de las características y extensión de dicha zona, del tipo y extensión del fenómeno analizado, de los datos geotécnicos e hidrogeológicos disponibles y de la escala de trabajo. Para la cartografía regional de susceptibilidad a escalas intermedias, del orden de 1:25.000 y 1:50.000, frecuentemente no se dispone de suficientes datos que permitan el uso de métodos determinísticos, siendo éstos además poco apropiados para tales escalas. El uso de métodos estadísticos, generalmente más adecuados en estos casos, requiere de un gran esfuerzo de recogida de datos (Hervás & Barredo, 2011). Por otra parte, el empleo de métodos tanto de evaluación directa de la susceptibilidad como de evaluación indirecta mediante el uso de índices, implica generalmente una gran subjetividad, por lo que los criterios de evaluación son difícilmente extrapolables a otras zonas. Una aplicación más adecuada de los métodos de evaluación indirecta requiere la utilización de algún procedimiento que disminuya la subjetividad en la asignación de pesos o que normalice analíticamente el criterio con el que éstos se asignan. El método de evaluación multicriterio pertenece a esta última categoría, permitiendo evaluar que factor presenta una mayor o menor importancia en términos de susceptibilidad a sequías meteorológicas.

DETERMINACIÓN DE PRIORIDADES

Se determinó analíticamente el peso relativo de cada factor con respecto a los demás, por medio de una matriz cuadrada, en la que el número de fila y de columnas está definido por el número de factores seleccionados, a los cuales se les asignó un peso que es un valor en el cual se representa la importancia relativa del factor de su fila respecto al de su columna en cuanto a una posible sequía. Saaty (1980) propone que se asignen valores comprendidos entre 1 ("igual de importante que") y 9 ("mucho más importante que"). El autovector principal de la matriz, representa el orden de prioridad de los factores y determina los pesos de éstos, mientras que a partir del autovalor máximo se puede obtener una medida cuantitativa de la consistencia de los valores asignados en la comparación entre pares de factores, como es la razón de consistencia (consistency ratio o CR). La preferencia de los elementos, se determinó basándose en juicios sobre la importancia relativa que tiene un elemento sobre otro, empleando la clasificación de la tabla 1, propuesta por Saaty (1980).

Tabla 1. Escala numérica para la valoración de importancia.

Calificación Numérica	Escala Verbal de la Preferencia	Definición
1	Igual	Ambos elementos son de igual importancia.
2	Igual-Moderada	Importancia entre igual y moderada de un elemento sobre otro
3	Moderada	Moderada importancia de un elemento sobre otro.
4	Moderada-Fuerte	Importancia entre moderada y fuerte de un elemento sobre otro.
5	Fuerte	Importancia fuerte de un elemento sobre otro.
6	Fuerte-Muy Fuerte	Importancia entre fuerte y muy fuerte de un elemento sobre otro.
7	Muy Fuerte	Importancia demostrada de un elemento sobre otro.
8	Muy Fuerte-Extrema	Importancia entre muy fuerte y extrema de un elemento sobre otro.
9	Extrema	Importancia absoluta de un elemento sobre otro.

La escala de preferencias está formada por 9 juicios de valor, que van de desde el 1 al 9, siendo los números 2, 4, 6, y 8 utilizados para establecer juicios intermedios y un rating recíproco (1/9, 1/7, 1/5, 1/3...) que se aplica cuando la segunda alternativa es preferida a la primera. El valor 1 es siempre asignado a la comparación de una alternativa con sí misma.

El número de comparaciones a realizar para completar la matriz está dado por la ecuación 2:

Ecuación 1

$$N^{\circ} \text{ Comparaciones} = \frac{n \times n - n}{2}$$

Donde: n = número de elementos comparados

En este caso la matriz es de 7 x 7, por tanto el número de comparaciones fue 21. Las casillas por debajo de la diagonal son recíprocos de los valores situados por encima de ésta.

Asignación de la clasificación Numérica

Al realizar las comparaciones, dependiendo de la experiencia de la persona que emite el juicio, de los datos que dispone, del conocimiento que tiene del problema y de su intuición, se obtendrán valoraciones distintas. Por tal motivo, se consideró la opinión de diversos profesionales, que han trabajado con SIG, análisis de eventos extremos, sequías meteorológicas entre otros temas de interés y representen puntos de vista distintos. La valoración final se obtuvo a través de una media geométrica de todas las evaluaciones realizadas que cumplieron con la razón de consistencia. En anexo 4 se presenta el documento que se le proporcionó al panel de expertos.

Normalización de la matriz

Para obtener las prioridades a partir de los juicios dados en la matriz de comparaciones, se empleó el método de aproximación, el cual requiere inicialmente generar la matriz normalizada. Para ello se suman los valores de cada columna y luego se divide cada casillero de la columna entre su suma. Este procedimiento se aplica a cada una de las evaluaciones realizadas, a manera de ejemplo se muestra el procedimiento seguido para la matriz realizada por el experto 1, la metodología es igual para el resto de las matrices.

1. Matriz de comparación con la escala de numérica de calificación:

	Intensidad de eventos de sequía	Frecuencia de eventos de sequía	Grado de pendiente	Proporción de unidades naturales	Conectividad de fragmentos	Grado de erosión	Conflictos por usos del suelo
Intensidad de eventos de sequía	1	1/4	5	3	5	3	2
Frecuencia de eventos de sequía	4	1	7	6	7	4	3
Grado de pendiente	1/5	1/7	1	1/5	2	1/4	1/5
Proporción de unidades naturales	1/3	1/6	5	1	3	1/3	1/4
Conectividad de fragmentos	1/5	1/7	1/2	1/3	1	1/4	1/5
Grado de erosión	1/3	1/4	4	3	4	1	1/2
Conflictos por usos del suelo	1/2	1/3	5	4	5	2	1
$\Sigma C =$	6,57	2,29	27,50	17,53	27,00	10,83	7,15

2. Matriz normalizada (Dividir los valores de cada casilla entre la suma total de su columna):

	Intensidad de eventos de sequía	Frecuencia de eventos de sequía	.....	.....	.....	.....	Conflictos por usos del suelo
Intensidad de eventos de sequía	1/6,57	(1/5)/2,29	.....	.....	.....	.....	2/7,15
Frecuencia de eventos de sequía	4/6,57	1/2,29	.....	.....	.....	.....	3/7,15
Grado de pendiente	(1/5)/6,57	(1/7)/2,29	.....	.....	.....	.....	(1/5)/7,15
Proporción de unidades naturales	(1/3)/6,57	(1/6)/2,29	.....	.....	.....	.....	(1/4)/7,15
Conectividad de fragmentos	(1/5)/6,57	(1/7)/2,29	.....	.....	.....	.....	(1/5)/7,15
Grado de erosión	(1/3)/6,57	(1/4)/2,29	.....	.....	.....	.....	(1/2)/7,15
Conflictos por usos del suelo	(1/2)/6,57	(1/3)/2,29	.....	.....	.....	.....	1/7,15

Asignación de los pesos

Tras obtener la matriz normalizada, se obtiene la prioridad relativa de cada uno de los elementos comparados, que serán los pesos de cada factor, promediando cada una de las filas de la matriz.

	Intensidad de eventos de sequía	Frecuencia de eventos de sequía	.....	.....	.....	.....	.....	Conflictos por usos del suelo		Promedios	Prioridad
Intensidad de eventos de sequía	0,15	0,11	.....	.....	.....	.....	.....	0,28	⇒	"=(0,15+0,11+.....+0,28) / 7"	0,19
Frecuencia de eventos de sequía	0,61	0,44	.....	.....	.....	.....	.....	0,42	⇒	"=(0,61+0,44+.....+0,42) / 7"	0,38
Grado de pendiente	0,03	0,06	.....	.....	.....	.....	.....	0,03	⇒	"=(0,03+0,06+.....+0,03) / 7"	0,04
Proporción de unidades naturales	0,05	0,07	.....	.....	.....	.....	.....	0,03	⇒	"=(0,05+0,07+.....+0,03) / 7"	0,08
Conectividad de fragmentos	0,03	0,06	.....	.....	.....	.....	.....	0,03	⇒	"=(0,03+0,06+.....+0,03) / 7"	0,03
Grado de erosión	0,05	0,11	.....	.....	.....	.....	.....	0,07	⇒	"=(0,05+0,11+.....+0,07) / 7"	0,11
Conflictos por usos del suelo	0,08	0,15	.....	.....	.....	.....	.....	0,14	⇒	"=(0,08+0,15+.....+0,14) / 7"	0,16

Determinación De La Consistencia

Tras determinar las prioridades de los elementos, es necesario asegurar que los resultados obtenidos son válidos para tomar decisiones. Estos resultados derivan de los juicios de valor emitidos en las comparaciones, los cuales pueden ser consistentes o no.

El Proceso Analítico Jerárquico permite medir la inconsistencia de los juicios a través de la proporción o razón de consistencia. Para matrices de 3 x 3 el valor de la proporción de consistencia no debe superar el 5%, para de matrices de 4 x 4 no superará el 9% y para el resto de matrices será del 10% o menor. Si se superan estos valores, quiere decir que los juicios son inconsistentes y aleatorios, por lo que se deben repasar y corregir.

La razón de consistencia (CR) se define como el cociente entre el Índice de Consistencia real de la matriz estudiada y el Índice de Consistencia Aleatorio.

Ecuación 2

$$CR = \frac{IC}{IA}$$

Donde: IC = Índice de Consistencia, IA = Índice de Consistencia Aleatorio

Índice de consistencia de la matriz a estudiar- IC:

Cuando una matriz A es totalmente consistente, el valor de la suma normalizada de cada una de sus filas y el valor de la suma de los elementos de cada una de las columnas, son recíprocos, por tanto al multiplicarlos se obtiene la unidad.

Para calcular este índice se debe multiplicar el valor obtenido de la suma de la columna de la matriz inicial por el promedio de la fila de la matriz normalizada, posteriormente se suman los resultados obteniendo $\lambda_{\max}$ y se aplica la Ecuación 3:

Ecuación 3

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}$$

Donde: m= total de elementos comparados.

	Suma Columna			Promedios Fila		M
Intensidad de eventos de sequía	C ₁ =	6,57	x	"=(0,15+0,11+.....+0,28) / 7"	=	1,27
Frecuencia de eventos de sequía	C ₂ =	2,29	x	"=(0,61+0,44+.....+0,42) / 7"	=	0,88
Grado de pendiente	C ₄ =	27,50	x	"=(0,03+0,06+.....+0,03) / 7"	=	1,04
Proporción de unidades	C ₅ =	17,53	x	"=(0,05+0,07+.....+0,03) / 7"	=	1,35
Conectividad de fragmentos	C ₆ =	27,00	x	"=(0,03+0,06+.....+0,03) / 7"	=	0,84
Grado de erosión	C ₇ =	10,83	x	"=(0,05+0,11+.....+0,07) / 7"	=	1,22
Conflictos por usos del suelo	C ₈ =	7,15	x	"=(0,08+0,15+.....+0,14) / 7"	=	1,17
					$\lambda_{\max}$	7,77

Índice de Consistencia Aleatoria IA

El índice de Consistencia Aleatoria, es el Índice de Consistencia de una matriz de comparaciones pareadas $m \times m$, en la que se han realizado las comparaciones de forma aleatoria. El valor de éste varía según el número de elementos que se comparan, diferentes autores han propuesto valores para este índice y Toskano Hurtado (2005) propuso la Ecuación 4. Para este estudio se empleó el promedio de los valores propuestos Saaty (1997), Toskano (2005), Masud y Ravi (2008) y la calculada para ocho elementos:

Ecuación 4

$$IA = \frac{1,98 - (m - 2)}{m}$$

Donde: m = total de elementos comparados.

No de elementos	Saaty (1997)	Toskano (2005)	Masud y Ravi (2008)	Calculada	Promedio
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,52	0,58	0,58	0,66	0,59
4	0,89	0,89	0,9	0,99	0,92
5	1,11	1,11	1,12	1,19	1,13
6	1,25	1,24	1,24	1,32	1,26
7	1,35	1,32	1,32	1,41	1,35
8	1,4	1,4	1,41	1,49	1,42
9	1,45	1,45	1,45	1,54	1,47

Para la matriz se obtuvo un $IC=0,13$ y el IA manejado es de 1,35 por tanto el $RC= 0,095$ es decir 9,5%, el cual se encuentra en el rango aceptado para matrices de 7×7 . Este procedimiento se realizó para todas las matrices para asegurar que los valores empleados en el promedio fueran de matrices consistentes.