

CRITERIOS DE CLASIFICACION MORFOMETRICA DE CAMPOS DE DOLINAS

F. J. GRACIA PRIETO

Departamento de Estructura y Propiedades de los Materiales.
Facultad de Ciencias del Mar. 11510 - Puerto Real (Cádiz).

Resumen. La aplicación de técnicas morfométricas a la clasificación morfológica de campos de dolinas demuestra que el método permite diferenciar cuantitativamente las tendencias morfológicas principales. También resulta válido para distinguir diferencias secundarias entre campos similares. Tras su aplicación al caso de diversos campos de dolinas en la Cordillera Ibérica central, el análisis de los resultados permite inferir conclusiones sobre los procesos genéticos específicos que han dado lugar a los contrastes morfológicos observados.

Palabras clave: campos de dolinas, clasificación morfológica, morfometría, procesos de dolinización, Cordillera Ibérica.

Abstract. The application of morphometric techniques to the morphological classification of doline fields demonstrates that this method allows us to differentiate the main morphological tendencies in a quantitative manner. It also shows its validity in distinguishing secondary differences between similar doline fields. After its application to several doline fields in the central Iberian Chain, the analysis of the results allow us to infer some conclusions about the specific genetic processes which have resulted in the observed morphological contrasts.

Key words: doline fields, morphological classification, morphometry, dolinization processes, Iberian Chain.

1. Introducción

Tradicionalmente, la diferenciación morfológica de dolinas se ha venido haciendo atendiendo a la forma externa de las mismas y a su posible relación con procesos genéticos concretos. Aunque existen varias propuestas de clasificación, una de las más extendidas (Sweeting, 1972) diferencia, entre otras:

- Dolinas en cubeta, también llamadas "de disolución normal" ("solution dolines"). Generadas por una karstificación subsuperficial que progresivamente lleva a la generación de una depresión en superficie.
- Dolinas en ventana, también llamadas "de colapso" ("collapse dolines"), formadas por un hundimiento brusco de la superficie del terreno. Se relacionan con la existencia de conductos subsuperficiales de gran tamaño (galerías), que llevan a la inestabilidad gravitatoria y al consiguiente desmoronamiento de su techo, afectando a la superficie y formando una sima o socavón de tamaño variable.

- Dolinas en embudo, también llamadas "de subsidencia" ("soutirage" o "subsidence dolines"), que constituirían un caso intermedio entre las dos anteriores. Se forman por sucesivos hundimientos del terreno sobre un sustrato con una gran densidad de conductos kársticos.

Estos tres tipos morfológicos son fácilmente reconocibles en el campo y, como vemos, señalan de alguna manera el grado de desarrollo de la red de conductos kársticos subsuperficiales y su relación con la superficie del macizo.

Sin embargo, aunque es común encontrar dolinas aisladas, muchas veces aparecen agrupadas formando auténticos "campos de dolinas". Podríamos definir un "campo de dolinas" como un área de extensión variable (en general varios km²) en cuyo interior se observa una agrupación preferencial de dolinas con respecto a las áreas circundantes. En la mayoría de las ocasiones presentan límites netos representados por un descenso muy brusco en la densidad de dolinas. Esto nos habla de la existencia de factores secundarios propicios para el desarrollo de estas formas en zonas concretas de un macizo kárstico. Otras veces, sin embargo, no es fácil establecer los límites de un campo.

Hasta no hace mucho tiempo, para la diferenciación de campos de dolinas había que recurrir a clasificaciones basadas en los tipos de dolinas observados o bien a las clasificaciones más globales de tipos de karsts. Este último tipo de clasificaciones suelen estar relacionadas con el tipo de clima imperante en el área karstificada o con las características de la evolución morfogenética de los macizos. Sin embargo, a veces no está tan claro el tipo de control que el clima u otros factores morfogenéticos pueden ejercer sobre un sistema kárstico. Además, es relativamente común observar "estilos morfológicos kársticos" muy dispares dentro de una misma región o macizo. Obviamente, para describir y clasificar un campo de dolinas o un sistema kárstico, habría que tener en cuenta también otros de los muchos factores que intervienen en los procesos kársticos. Se necesitaría un conjunto de criterios objetivos y sistemáticos que permitieran distinguir los grandes tipos de sistemas kársticos dentro de una misma región amplia, pero que a su vez también mostraran las "tendencias morfológicas secundarias" o los "subestilos morfológicos", es decir, con capacidad de diferenciar dos sistemas a primera vista similares, lo cual nos acercaría más a sus posibles procesos genéticos.

Estos criterios vienen dados por la morfometría kárstica. Esta técnica hace apenas 20 años que empezó a ser utilizada por la escuela anglosajona. Uno de los autores clásicos en la materia, P.W. Williams, en su estudio sobre el karst de Nueva Guinea (1971), sostiene que hay una necesidad de una descripción cuantitativa exacta de la morfometría kárstica, que puede ser usada como una base más precisa de comparación de diferentes áreas. Para Williams es un requisito fundamental para estudios comparativos, con el propósito de que el trabajo de comprender el origen de los paisajes incluya un trabajo morfométrico.

Desde entonces ha sido utilizada en muchos estudios kársticos generales. Al margen de estimaciones cuantitativas simples, tales como la densidad de dolinización o la alineación de dolinas, la literatura geomorfológica de las últimas décadas ofrece suficientes ejemplos de análisis morfométricos sistemáticos aplicados a sistemas kársticos. Podemos citar algunos casos sobresalientes, como Drake y Ford (1972), Jennings (1975), Day (1976), Kemmerly & Towe (1978), Palmquist (1979), Mills & Starnes (1983), etc. En España destaca el trabajo de López Limia (1987).

2. Método y su aplicación

En el presente estudio utilizaremos la morfometría como criterio de clasificación de campos de dolinas. Creemos que en este sentido permite distinguir hasta qué punto dos campos de dolinas aparentemente similares son iguales o no, y en qué medida. Su utilidad queda manifiesta al aplicarla al caso de varios campos representativos de lo que suele ser el modelado kárstico más común de la Meseta española: hemos analizado un conjunto de campos con dolinas en cubeta o artesa fundamentalmente, y con algunos ejemplos aislados de dolinas en embudo y en ventana, localizados sobre superficies de erosión o sobre plataformas calcáreas neógenas ("páramos").

Los cinco campos correspondientes a este estudio se localizan en el sector central de la Cordillera Ibérica y representan sistemas kársticos generados básicamente durante el Plioceno, con una edad muy similar para todos ellos. Los hemos denominado "Tortuera", "Odón", "El Villarejo", "Villarroya-P1" y "Villarroya-P2" (Gracia, 1987 y 1990). Los campos de "Tortuera" y "Odón" se ubican sobre una superficie de erosión pliocena, en la rama castellana de la Cordillera Ibérica, entre las sierras de Santa Cruz y de Caldereros (provs. de Zaragoza y Guadalajara). Afectan a calizas y dolomías subhorizontales del

Cretácico superior, de hasta 70 m. de espesor, que forman estratos métricos en los que se aprecia un desarrollo importante de fracturas y diaclasas. En ambos las calizas están parcialmente fosilizadas por formaciones detríticas neógenas de potencia variable (generalmente inferior a los 10 m.).

Tabla 1. Características de los campos de dolinas estudiados

	Tortuera	Odón	El Villarejo	Villarroya P1	Villarroya P2
Area total Km ²	49.03	18.1	16.4	3.0	5.89
Area dolinizada (%)	8.1	7.37	2.97	1.64	5.42
Nº Total de dolinas	365	118	161	26	203
dolinas/Km ²	7.44	6.52	9.82	8.6	35.06
L _e (Km)	0.18	0.195	0.159	0.17	0.084
L _a (Km)	0.296	0.365	0.247	0.324	0.180
R	1.61	1.86	1.55	1.9	2.146
H	0.022	0.062	0.018	0.063	0.026
A (m ²)	12700	39000	9700	3000	5000
P _s	3.86	3.65	4.66	4.36	4.28
(L/W)	1.95	1.72	1.82	1.66	1.69
L _{ar} (Km)	0.551	0.731	0.627	0.503	0.745

Los demás campos se desarrollan sobre las mesas y plataformas carbonatadas neógenas de la Depresión de Calatayud - Montalbán (provincias de Zaragoza y Teruel). En el caso del campo de "El Villarejo" se trata de una formación carbonatada lacustre de edad Mioceno medio, localizada al Este de Calamocho. La serie presenta una disposición subhorizontal y está afectada localmente por fallas de pequeño salto, basculamientos, etc. Los campos de "Villarroya-P1" y "Villarroya-P2" se desarrollan al NE de Daroca, sobre mesas y replanos estructurales correspondientes a los niveles de colmatación de la cuenca mio-pliocena de Calatayud-Daroca. Afectan a dos niveles de calizas en "facies páramo": uno de edad Mioceno terminal formado por unos 30 m. de calizas algo arcillosas (Páramo Inferior), sobre el que se desarrolla el campo de "Villarroya-P1", y otro de edad Plioceno inferior formado por hasta 7 m. de calizas lacustres (Páramo Superior), sobre el que se ubica el campo de "Villarroya-P2". Entre ambos niveles de calizas aparece una formación arcillosa de hasta 100 m. de potencia.

La densidad de dolinas de los cuatro primeros es parecida, oscilando entre 6,52 (Odón) y 9,82 (El Villarejo) dolinas/Km². En el caso de "Villarroya-P2" se alcanza un valor de 35,06 dolinas/Km². En el Cuadro I se muestran las características principales de los campos de dolinas analizados.

Williams (1972) trabajó con sumideros, ordenándolos según la complejidad de la red fluvial de las cuencas a las que drenaban. En nuestro caso, el grado de complejidad de una dolina no puede relacionarse con una cuenca fluvial correspondiente, ya que, excepto casos aislados, no drenan ningún tipo de canalización jerarquizada. Por ello hemos utilizado más bien el concepto de "rango", relacionado con el tamaño (y por consiguiente con el grado de evolución) de cada dolina. Así, dentro de un mismo campo distinguiremos tres o cuatro rangos de tamaño, en función de las variaciones observables en el área de las depresiones. Estos rangos no son iguales para todos los campos, ya que hay campos con muchas dolinas muy pequeñas, mientras que otros desarrollan preferiblemente dolinas de grandes dimensiones. Los rangos considerados son los siguientes:

Rango	Tortuera	Odón	El Villarejo	Villarroya P1	Villarroya P2
1	1000 m ² >A	2000 m ² >A	2000 m ² >A	1000 m ² >A	1000 m ² >A
2	10000>A>1000	10000>A>2000	8000>A>2000	2000>A>1000	5000>A>1000
3	20000>A>10000	90000>A>10000	16000>A>8000	A>2000	8000>A>5000
4	A>20000	A>90000	A>16000	-	A>8000

Esta distinción permite clasificar "grosso modo" las dolinas de cada campo en "muy pequeñas" (rango 1), "pequeñas" (rango 2), "grandes" (rango 3) y "muy grandes" (rango 4). Obviamente, el número de dolinas disminuye al aumentar el rango (fig. 1).

Para la comparación de campos se ha recurrido al método de Williams (1972), ligeramente modificado. Consiste en la medición de cierto número de parámetros, cuyos valores representan características generales de cada campo. El cálculo de dichos parámetros se realizó a partir de fotografías aéreas, o bien mediante medidas sobre el terreno. Los parámetros utilizados son los siguientes:

1) *Área dolinizada*.- Se refiere a la suma de las áreas de todas las dolinas de un campo. Se expresa como porcentaje de superficie afectada por la dolinización, en relación con la extensión total del campo.

2) *Número de dolinas*.- Este número es siempre subjetivo, debido a las dificultades de trazar los límites concretos de un campo. De todas formas, en nuestro caso este valor varía suficientemente de unos campos a otros, de modo que lo tendremos en cuenta.

3) *D, densidad de dolinización*.- Resulta de dividir el número de dolinas entre la superficie del campo, en Km².

4) *L_a, distancia media al vecino más próximo*.- Para cada dolina se establece el centro geométrico, a partir del cruce de dos líneas perpendiculares: la longitud máxima (L) y la anchura máxima (W). A continuación y tomando este centro geométrico como referencia, se mide la distancia media a los centros de las dolinas más próximas que la rodean. Se mide en kilómetros y es un valor que indica el grado de aislamiento de los focos de dolinización, y por tanto da idea de cuál es el área de captación hidrológica de la dolina.

Cada depresión tiene su área de captación de agua hacia el sumidero central. Cuando las dolinas crecen a partir de núcleos de disolución preferente, con evacuación del material disuelto, se crea una competencia por el espacio de crecimiento. Por tanto, la extensión de este área de captación quedará reflejada directamente en el tamaño de la dolina, y este a su vez dependerá de la eficacia del sumidero en evacuar material disuelto (fig. 2a).

5) *L_{ar}, distancia media al vecino más próximo de igual rango*.- Como hemos visto, conforme aumenta el rango de una dolina aumenta también su área de captación hidrológica, es decir, L_a. Esto se acentúa si consideramos la distancia media de una dolina a las que le rodean y que sean de su mismo rango; a esta distancia media la denominamos L_{ar} y, en efecto, aumenta con el tipo de rango (fig. 2b). Este tipo de relación abogaría por un origen solucional de las depresiones, como ya señaló Jennings (1975). Finalmente, para utilizar este parámetro en la clasificación de campos calculamos la media para cada campo.

6) *R, índice de distribución espacial*.- Ideado por Clark y Evans (1954), se ha utilizado repetidamente al describir campos de dolinas; entre otros, destacan Dawson (1975) y Vincent (1987), quienes proponen algunas matizaciones y correcciones a este parámetro. Se calcula comparando la distribución real de un conjunto de elementos con la distribución teórica que deberían presentar si, de acuerdo con su densidad, se dispusieran de una manera aleatoria en una población de dimensiones infinitas. Para ello se calcula en primer lugar L_e, distancia media teórica entre vecinos próximos, que vale $L_e = 1/2VD$, siendo D la

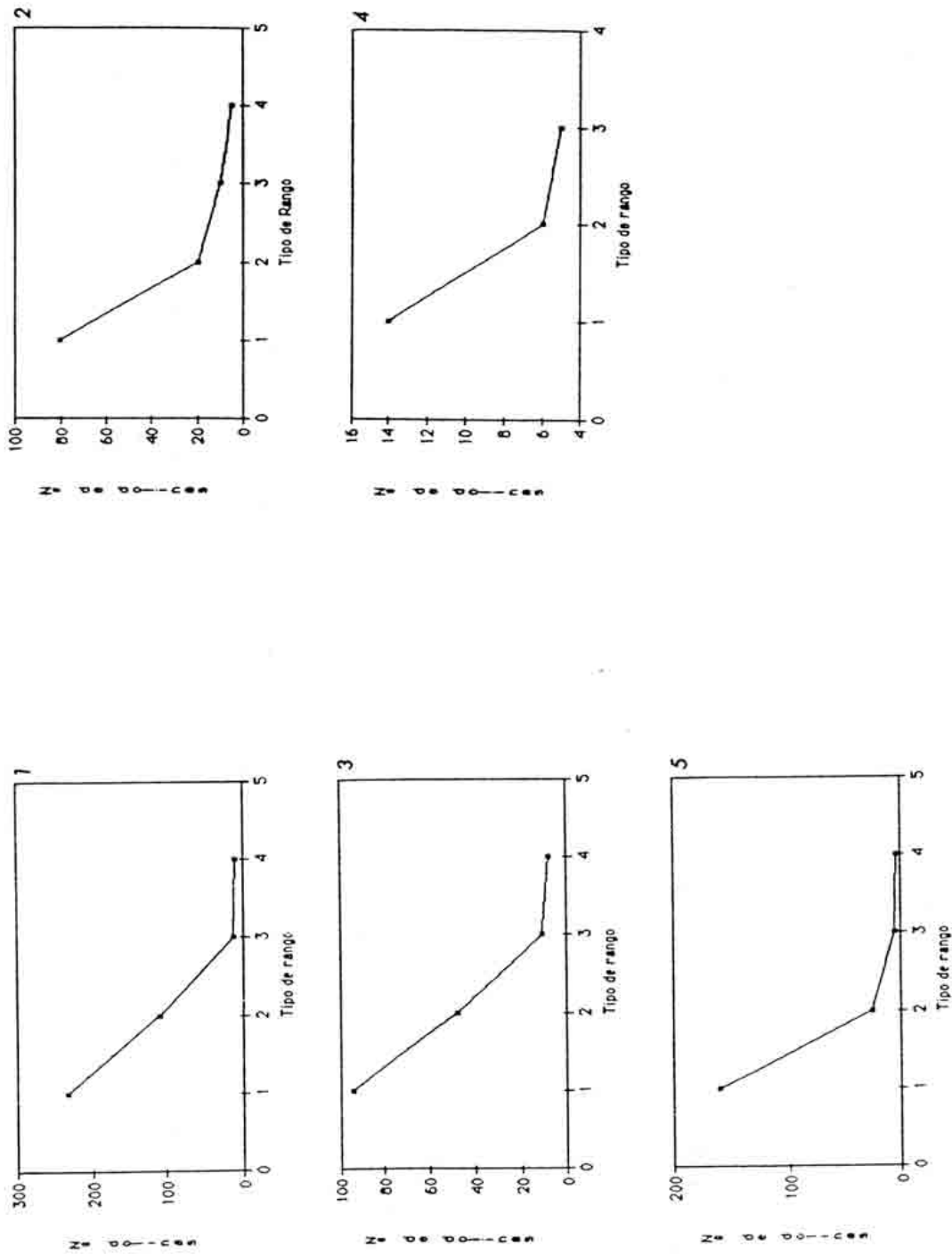


Fig. 1. Variación del número de dolinas respecto al tipo de rango. Campos: 1. Tortuera; 2. Odón; 3. El Villarejo; 4. Villarroya P1; 5. Villarroya P2
 Variation in the number of dolines with respect to the type of rank. Fields: 1. Tortuera; 2. Odón; 3. El Villarejo; 4. Villarroya P1; 5. Villarroya P2

densidad. Dividiendo L_a/L_e se obtiene el citado índice R, que varía entre cero (dispersión con máximo agrupamiento, tendencia a formar cúmulos o agregados), uno (dispersión aleatoria, al azar), hasta 2,1491 (patrón regular hexagonal, con un espaciado lo más amplio posible).

Los valores de R se muestran en el Cuadro I. Todos entran en el intervalo 1,5-2,149, es decir, distribución bastante homogénea y uniforme. Esta tendencia a la regularidad de distribución indica, según Day (1976), un paisaje tendente al equilibrio dinámico, en el cual las formas individuales compiten por el espacio y mantienen una distribución tendente a la uniformidad; esto podría señalar la prevalencia de los procesos superficiales (que resultarían en una distribución regular de las formas), más que de fenómenos al azar (como colapsos de cavidades kársticas, etc.). Este autor considera útil este parámetro para inferir el origen de las depresiones (disolución normal - subsuperficial, o bien por colapso).

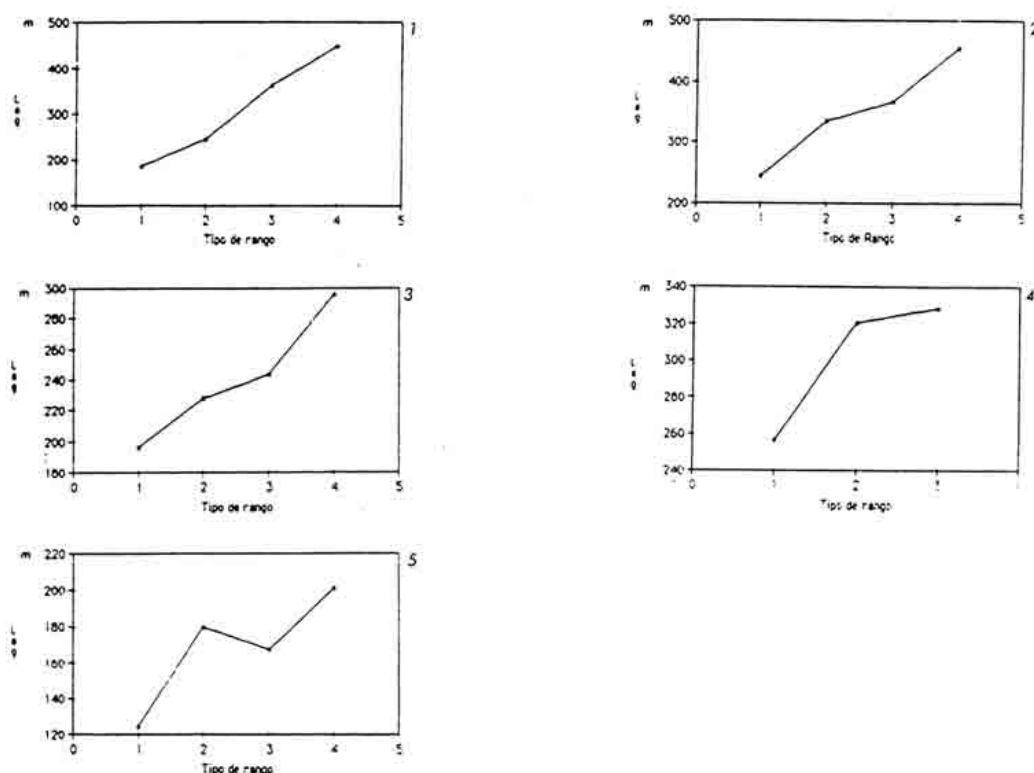


Fig. 2a. Relación entre "La" (distancia media al vecino más próximo) y el tipo de rango para los cinco campos estudiados

Relation between La (main distance to the nearest neighbour) and the type of rank in the studied fields

El mayor valor de R se encuentra en el campo de Villarroya-P2 (R vale 2,146). Aquí las calizas no muestran mucha potencia (entre 2 y 8 m.), presentando un sustrato bastante impermeable (margas y arcillas pliocenas). Esto no favorece en absoluto la formación de dolinas en embudo o en ventana. Por ello, todas las depresiones existentes tienen forma de cubeta poco profunda, y su distribución es totalmente homogénea, a pesar de que el número de dolinas es alto.

Por otro lado, el campo que muestra un menor valor de R es El Villarejo (1,55); precisamente este es el único campo que presenta dolinas en embudo, en concreto dos de dimensiones apreciables (13000 y 21000 m² de extensión respectivamente) y pendientes muy escarpadas, de más de 45°, con profundidades superiores a los 15 m. Esto nos habla de una cierta importancia de los procesos endokársticos, ya que la

Clasificación de campos de dolinas 71

génesis de este tipo de dolinas se asocia muchas veces a una evacuación muy rápida de material a través de una red de conductos endokársticos de cierta magnitud. Los hundimientos preferenciales en zonas de alta densidad de conductos o donde éstos son más someros, hace que la distribución espacial de las depresiones se aleje de un patrón homogéneo y regular, acercándose a una dispersión más aleatoria, con la consiguiente disminución de R.

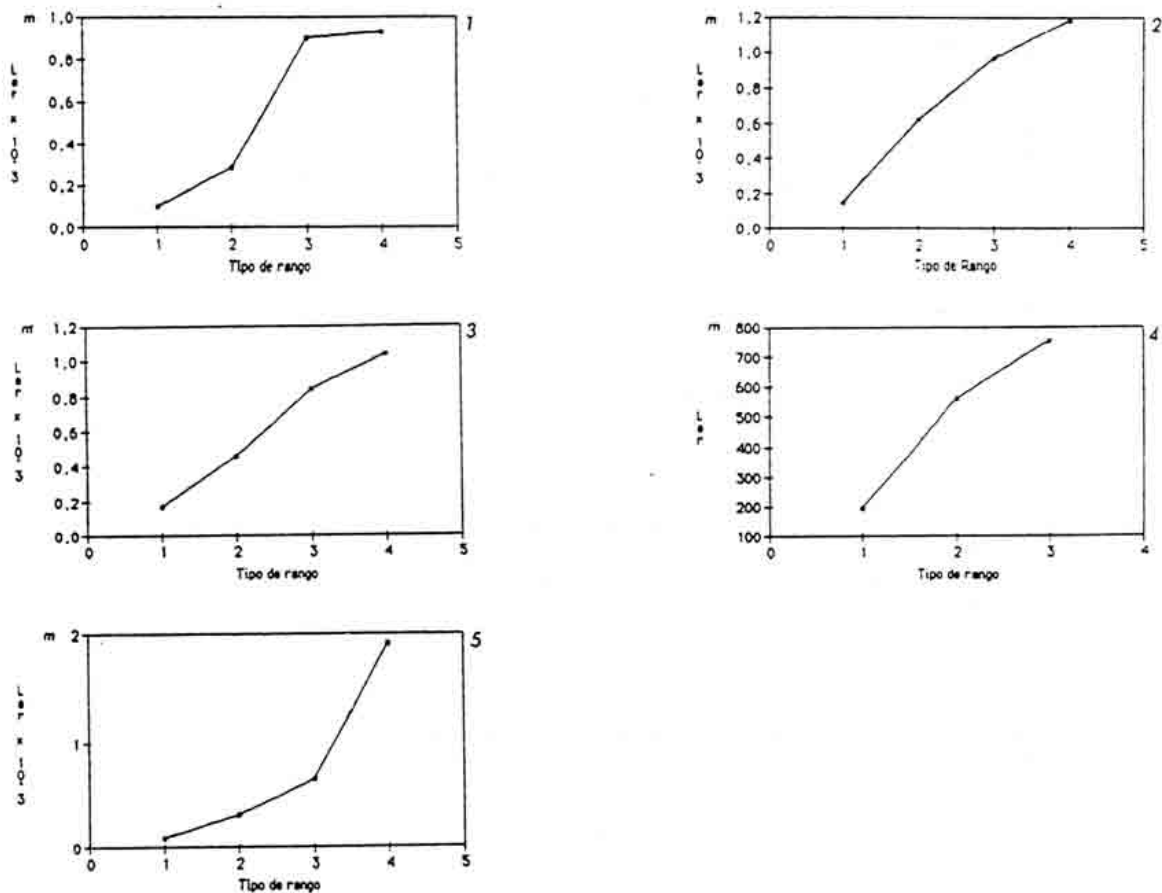


Figura 2 b. Relación entre "Lar" (distancia media al vecino más próximo de igual rango) y el tipo de rango para los cinco campos de dolinas estudiados
Relation between Lar (main distance to the nearest neighbour being of the same type of rank) and the type of rank in the studied fields.

Existen ejemplos cercanos de otros campos de dolinas donde esta relación es fácilmente constatable. Así, en el campo de dolinas de Villar del Cobo (Sierra de Albarracín), descrito y cartografiado por Gutiérrez y Peña (1979a), aparecen 300 depresiones, casi todas ellas del tipo en cubeta; apenas existen 30 dolinas en embudo (un 10% del total), restringidas a un pequeño sector marginal del campo. En este

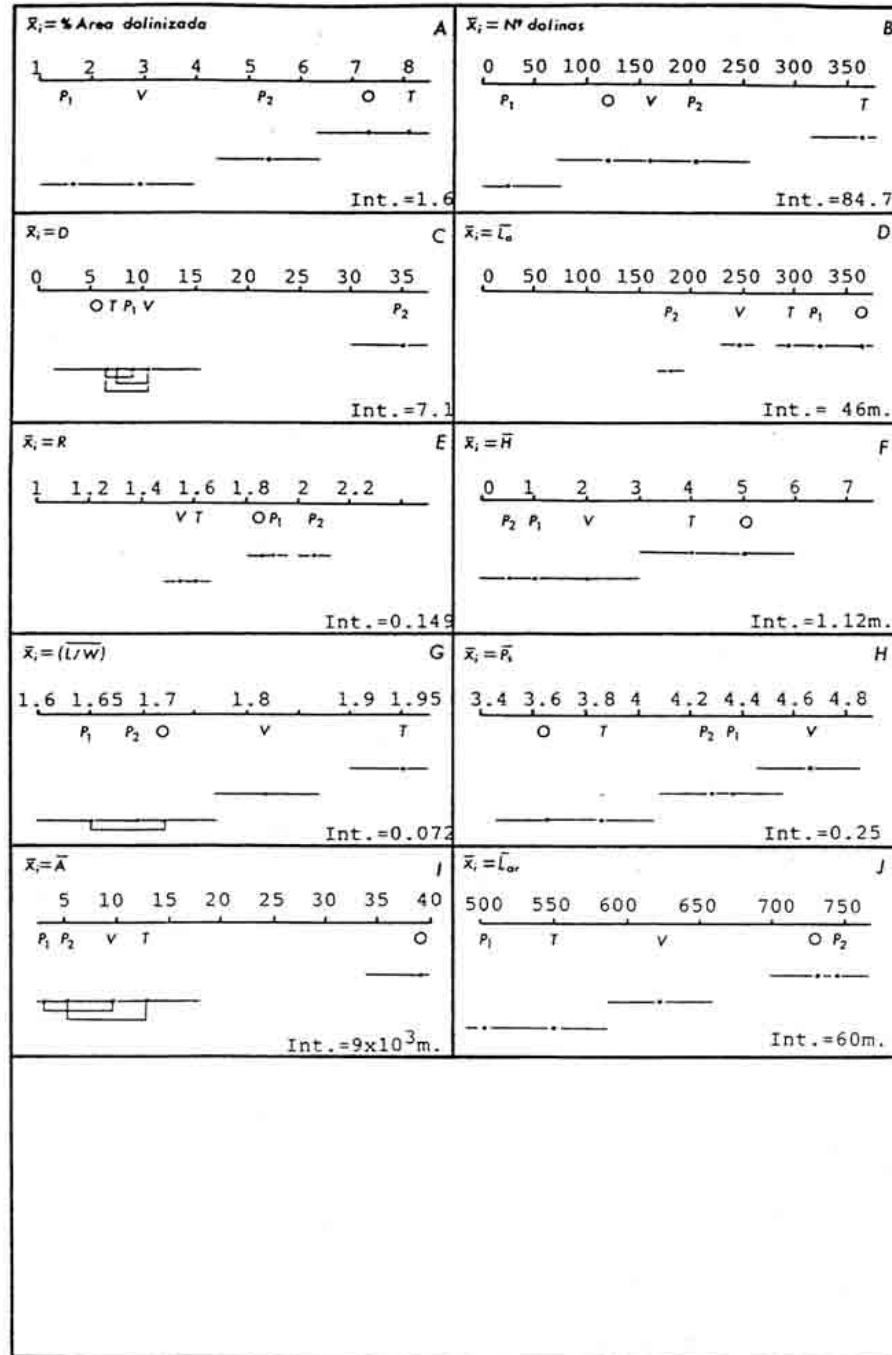


Fig. 3.- Asociaciones de campos según las afinidades de los distintos parámetros X_i considerados. Int. = intervalo de medida escogido para cada parámetro, de forma que $\text{Int.} = (\text{Máx} - \text{Mín})/4$. Los puntos representan campos de dolinas.
 Associations among fields, following affinities of the considered parameters (X_i). Int. = measurement interval, chosen for each parameter from the relation: $\text{Interval} = (\text{Max} - \text{Min})/4$. The points represent doline fields.
 Campos (fields): T = Tortuera; O = Odón; V = El Villarejo; P1 = Villarroya - P1; P2 = Villarroya - P2.

campo el índice R vale 1,659, lo que supone una distribución de cierta homogeneidad pero con un patrón no muy regular, tal y como sucedía en El Villarejo.

Por otro lado, en el campo de dolinas de los Llanos de Pozondón (a unos 35 Km. al SSE del campo de Odón) aparecen 62 dolinas, cartografiadas por Gutiérrez y Peña (1979b). En él existen 24 dolinas en embudo (un 38% del total) y una dolina en ventana de grandes dimensiones, lo cual indica que la importancia del desplome y colapso de cavidades kársticas en la generación de depresiones ha debido de ser en este caso mayor. Esto se refleja en el índice R, que aquí vale 1,478, el más bajo de cuantos hemos calculado.

7) *H, profundidad*.- En metros. Se mide entre la altura media de la divisoria de una dolina con otra adyacente de dimensiones parecidas, y el punto más bajo de la dolina en cuestión. Para ello utilizamos un altímetro de precisión, con un error de + 1 m. Tras una medición representativa, se calcula el valor medio de cada campo.

Tabla 2. Asociaciones (número de uniones) entre los cinco campos, establecidas a partir de los esquemas de la Fig.3.

Associations (number of joints) among fields, established from the relations of fig. 3.

	P2	P1	V	O	T
T	1	3	3	4	10
O	2	4	2	10	
V	2	4	10		
P1	4	10			
P2	10				

8) *L/W, elongación*.- Se mide en planta la longitud máxima (L) de una dolina y, perpendicularmente a esta dirección, la anchura máxima (W). El cociente L/W representa así la elongación de la dolina. El valor medio del campo puede indicarnos el grado de control estructural que la red de fracturas y diaclasas del macizo kárstico ejerce sobre la forma final de las dolinas.

9) *P_s, producto de simetría*.- Al trazar L y W en una dolina obtenemos el punto de intersección o centro geométrico. Este punto nos permite definir dos semilongitudes (L_1 y L_2) y dos semianchuras (W_1 y W_2). Posteriormente se calcula la relación de semilongitudes, $R_L = L_1/L_2$, cuyo valor aumentará con la asimetría de la dolina respecto al eje W . Lo mismo se calcula para las semianchuras, $R_W = W_1/W_2$. Finalmente se calcula el producto de simetría, $P_s = R_L * R_W$, cuyo valor aumentará con la asimetría de la dolina respecto a los ejes L y W . Un valor de P_s igual a uno nos señalará una dolina que en planta se asemeja a un círculo o a un cuadrado, dando una idea de un crecimiento homogéneo de la dolina, sin aparentes controles externos (orientación y densidad de la fracturación, disoluciones diferenciales, buzamiento de los estratos calcáreos, etc.). El valor medio del campo es un reflejo de la existencia o no de este tipo de factores secundarios. Por otro lado, una dolina al crecer tiende a eliminar las posibles irregularidades de su contorno, de modo que P_s también es un índice del grado de evolución de las dolinas de un campo (Gracia, 1987).

10) *A, área de las dolinas*.- Con la ayuda de un planímetro se calcula el área máxima de cada dolina, en m^2 . Posteriormente se halla el valor medio para cada campo.

3. Clasificación de campos

A continuación compararemos los cinco campos de dolinas estudiados a partir de los diez parámetros descritos. Cada uno de estos parámetros varía de un campo a otro (Cuadro I), abarcando en total un determinado rango de valores. Este rango o amplitud lo dividiremos en un conjunto de intervalos iguales, que constituirán las unidades de medida para cada parámetro. El intervalo o unidad de medida, para cada parámetro, se establece restando los valores máximo y mínimo de entre los cinco campos y dividiendo

luego esa cantidad por 4 (número de intervalos posibles). Así, la amplitud de cada intervalo o unidad de medida será función siempre de la amplitud de valores que tome cada parámetro.

En primer lugar, ordenamos los campos de forma creciente para cada parámetro. A continuación, y para un parámetro dado, consideraremos que dos campos cualesquiera están "asociados" si la diferencia entre sus correspondientes valores de dicho parámetro es inferior al intervalo o unidad de medida tomado para ese parámetro en concreto. Por el contrario, si la diferencia que los separa es mayor que dicho intervalo, consideraremos que no están asociados. En este sentido dos campos estarán asociados cuando su diferencia sea menor que la "diferencia media entre dos campos consecutivos".

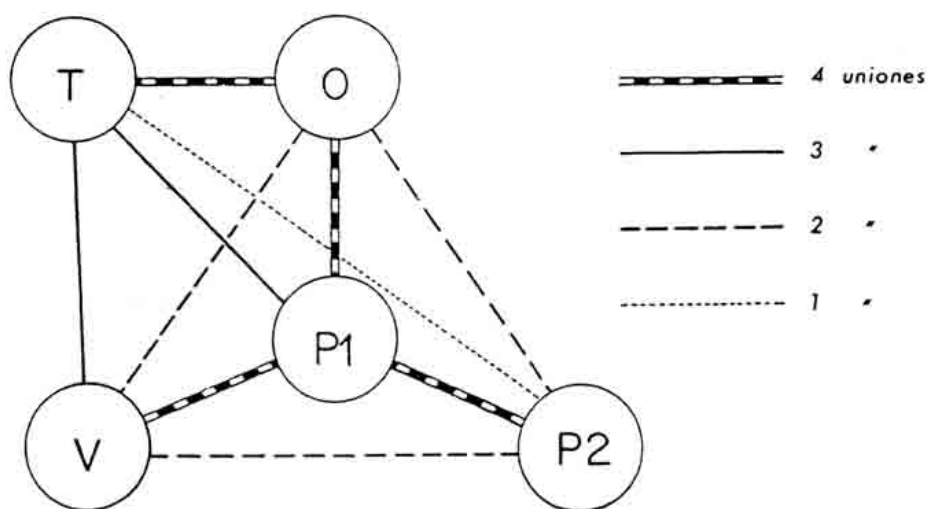


Fig. 4.- Diagrama de asociaciones de los cinco campos de dolinas.
Associations diagram of the studied doline fields.

En la fig. 3 hemos representado las asociaciones entre campos para cada parámetro. Así, para el caso del índice R, por ejemplo, los campos de El Villarejo y Tortuera se encuentran unidos por una asociación, mientras que Tortuera y Odón no presentan unión. De esta forma hemos obtenido un número de uniones o asociaciones entre unos campos y otros (Cuadro II), que nos indican cuánto se aproximan morfológicamente entre sí, a partir de estos diez parámetros considerados.

En la fig. 4 se representan estas uniones en un diagrama de asociaciones. En él vemos uniones entre distintos campos y su importancia relativa. Así, Tortuera y Odón se encuentran morfológicamente próximos, mientras que Villarroya-P2 y Tortuera no lo están. Se aprecia en general dos polos de tendencias morfológicas distintas: Tortuera y Villarroya-P2, con un campo intermedio de características híbridas, Villarroya-P1.

4. Conclusiones: validez de los resultados

A priori, la descripción cualitativa simple de los campos de dolinas ya nos habría señalado lo más obvio, es decir, la existencia de dos tipos de campos distintos con tendencias morfológicas contrastadas. Sin embargo, la caracterización de cada polo puede ser ahora perfeccionada aplicando los contrastes morfométricos obtenidos por este método:

a) Polo Tortuera - Odón. Ubicación en áreas intensamente karstificadas, con existencia de sumideros o puntos de entrada hidrogeológica (inputs, a veces formando valles ciegos), valles kársticos y lapiaz muy desarrollado (generalmente de los tipos "estructural" y "en regueros"). Unidad karstificada: calizas bastante puras y de gran potencia, del Cretácico superior, afectadas por una importante fracturación y arrasadas por una superficie de erosión. Karst parcialmente cubierto, baja densidad de dolinas (menos de 10 dol./Km²), con forma predominantemente en cubeta, aunque algunas se aproximan a la morfología de embudo, con

algún colapso aislado. Las depresiones son bastante simétricas (P_s menor de 4) y evolucionadas (de hecho en algunas de ellas se observa cierta degradación, captura local por la red fluvial, relleno parcial, etc.). Gran tamaño de las depresiones ($A > 10000\text{m}^2$), con profundidades generalmente superiores a los 3 m. Existe un cierto aislamiento de las depresiones ($L_a > 250$ m.), sobre todo en las más grandes. Su distribución espacial no es muy homogénea ($R < 2$), debido seguramente a la influencia que ejercen las escasas dolinas de subsidencia (en embudo) y de colapso.

b) Polo Villarroya-P2. Ubicación en un área poco karstificada, o al menos con poca variedad de formas. Unidad karstificada: calizas algo arcillosas y de escasa potencia, de edad Plioceno. Karst desnudo. Alta densidad de dolinas (más de 35 dol./Km²). Forma exclusiva de las depresiones: en cubeta. Relativamente asimétricas (P_s mayor de 4) y poco evolucionadas (de hecho, a pesar de la alta densidad, se trata de un campo "subsaturado", donde quedan bastantes zonas amplias intermedias por dolinizar). Pequeño tamaño de las depresiones ($A < 10000$ m²), con profundidades en general inferiores a 1 m. Existe un menor aislamiento general de las depresiones en términos absolutos ($L_a < 200$ m.), lo cual viene dado en realidad por su pequeño tamaño, ya que si tenemos en cuenta el aislamiento en relación con las dimensiones de las dolinas (es decir, si tenemos en cuenta el rango), el aislamiento pasa a ser el mayor registrado ($L_{ar} > 700$ m.), lo que corrobora la citada "subsaturación". Su distribución espacial es muy homogénea ($R > 2$), debido a un dominio casi exclusivo de los procesos de disolución normal y a la supuesta inexistencia de complejos endokársticos importantes.

El campo de El Villarejo y sobre todo el campo Villarroya-P1 muestran características intermedias entre estos dos tipos, destacando un menor porcentaje de área dolinizada.

Este método permite ver también cuáles son las principales "diferencias secundarias" entre campos muy semejantes. Tomemos el caso de los campos de Tortuera y Odón; el campo de Tortuera tiene mayor número de dolinas (por ser más extenso) que el de Odón, además de que sus dolinas muestran una mayor elongación y son más pequeñas, tomando una distribución menos homogénea (fig. 3). Una mayor efectividad del control estructural sobre los focos de dolinización en el campo de Tortuera explicaría perfectamente todas estas pequeñas diferencias (Gracia, 1987); en este sentido, quizá con un menor espaciado del diaclasado sería suficiente (de hecho, los escasos afloramientos observables así parecen indicarlo).

Referencias bibliográficas

- Clark, P. and Evans, F.C. (1954).- Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35, 445 - 453.
- Dawson, A.H. (1975).- Are geographers indulging in a landscape lottery? *Area*, 7 - 1, 42 - 45.
- Drake, J. y Ford, D.C. (1972).- The analysis of growth patterns of two generation populations: the example of karst sinkholes. *Cah. Geogr.*, 16, 381 - 384.
- Gracia, F.J. (1987).- Controles morfométricos de los campos de dolinas en el sector central de la Cordillera Ibérica. *Cuaternario y Geomorfología*, 1, 119 - 134.
- Gracia, F.J. (1990).- *Geomorfología de la región de Gallocanta (Cordillera bérica central)*. Tesis Doctoral. Univ. Zaragoza, 691 pp. (inédita).
- Gutiérrez, M. y Peña, J.L. (1979a).- El karst de Villar del Cobo (Sierra de Albarracín). *Est. Geol.*, 35, 651 - 654.
- Gutiérrez, M. y Peña, J.L. (1979b).- El karst de los Llanos de Pozondón (prov. de Teruel). *Teruel*, 61-62, 39 - 46.
- Jennings, J.N. (1975).- Doline morphometry as a morphogenetic tool: New Zealand examples. *New Zealand Geographer*, 31, 6 - 28.
- Kemmerly, P.R. and Towe, S.K. (1978).- Karst depressions in a time context. *Earth Surf.Proc. & Land.*, 3, 355 - 361
- López-Limia, B. (1987).- *Geomorfología del karst de Pinar Negro (Sierra de Segura - Jaén)*. Publ. en revista *Lapiaz*, Monografía II, 55 pp., 1 mapa. Fed.Territorial Valenciana d'Espeleología.
- Mills, H.H. and Starnes, D.D. (1983).- Sinkhole morphometry in a fluviokarst region: eastern Highland Rim, Tennessee, USA. *Zeit. f. Geomorph.*, 27-1, 39 - 54.

- Palmquist, R.** (1979).- Geologic controls on doline characteristics in mantled karst. *Zeit. f. Geomorph.*, Supp.Bd. 32, 90 - 106.
- Sweeting, M.M.** (1972).- *Karst Landforms*. McMillan Press Ltd., 362 pp.
- Vincent, P.J.** (1987).- Spatial dispersion of polygonal karst sinks. *Zeit. f. Geomorph.*, 31, 65 - 72.
- Williams, P.W.** (1971).- Illustrating morphometric analysis of karst with examples from New Guinea. *Zeit. f. Geomorph.*, 15, 40 - 61.
- Williams, P.W.** (1972).- The analysis of spatial characteristics of karst terrains. In R.J. Chorley (ed.): *Spatial Analysis in Geomorphology*, Methuen & Co. Ltd., London, 135 - 163.