SOBRE LA GEOMETRIA DE LOS CUENCOS LACUSTRES GLACIARES PIRENAICOS

M.A.Gil Saurí

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos.Campus de Vera.46071-Valencia.

Palabras clave: Cuaternario, glaciario, morfogénesis, cuenco, geometría.

ABSTRACT

The Quaternary glacial morphogenetic system has produced overexcavated areas which, by the melting of the glacier, give rise to lakes that, downstream, remain closed in by strong rocky thresholds or by moraines deposited by the glacier. A mixed situation is also possible.

The morphogenetic analysis of different lakes in the Spanish Pyrenees has permitted a geometric characterization of these glacial cavities to be established. In this way, by means of the elaboration of hypsographic curves, the most concordant mean form for these lake basins has been deduced.

INTRODUCCION

En España hay glaciares actuales en núcleos muy reducidos. Se acantonan en el Pirineo alrededor de los 3000 m. de altitud. Vestigios glaciares cuaternarios, fuera de las altitudes del glaciario actual, los hay en el Pirineo, Cordillera Cantábrica, Macizo Galaico, Cordillera Ibérica y Central y, en el Sur, Sierra Nevada.

El efecto principal de la morfogénesis glacial fue la sobreexcavación. En muchas zonas sobreexcavadas, al desaparecer el glaciar, se produjeron lagos; éstos tienen su origen en los valles, por donde discurren las lenguas glaciares, en los circos, donde se forman cuando el retroceso del hielo ha sido total.

El análisis morfométrico de distintas concavidades ha determinado la caracterización geométrica de estas formas glaciares. Se ha particularizado en los lagos glaciares (Pirineos), especialmente en 67 de ellos se ha podido obtener toda suerte de datos. El estudio sobre 81 criptodepresiones individuales, pertenecientes a las antedichas masas acuíferas, se ha comparado con cifras y resultados de morfología extranjera.

Por último, la formulación, que ha permitido una definición geométrica aproximada del cuenco lacustre medio glacial pirenaico, facilita explicaciones sobre los distintos factores que intervienen en la morfogénesis glacial. Asimismo, señalamos unas interesantes investigaciones a realizar, relativas a la comprobación obtenida en diferentes ámbitos de actuación del glaciario cuaternario en nuestra Península.

Otro camino a seguir es el estudio de lagos y lagunas con distinto origen genético al glaciar; de este modo, será posible establecer una clasificación conjunta.

AREA DE ESTUDIO

Para el análisis morfológico se consideró conveniente limitar el campo de acción a la vertiente meridional de la Cordillera Pirenaica. Fue así, por un lado, porque la erosión glacial adquirió gran extensión; por otra parte, se pudo disponer de mayor número de observaciones batimétricas, lo que facilitó el trabajo de campo.

El acervo principal empleado para nuestra investigación se circunscribió a Aragón y Cataluña (provincias de Lérida y Huesca), fig.1.

Los datos característicos de los ibones -apelativo con el que se conocen los lagos y lagunas de origen glacial en Aragón (etimológicamente del francés medieval "iba" y del celta "avon", contracción de ambos vocablos, cuyo significado, respectivamente, es "agua" y "corriente de agua") - de la muestra: profundidad máxima H , superficie S , y volumen V , todo referido al nivel del umbral natural del lago, se incluyen en la tabla de la página siguiente.

Fig.1. Distribución geográfica de los lagos glaciares de la muestra.

Nº(*)	NOMBRE DEL LAGO	ALTITUD(m.)	H(m.)	$S_H (10^4 m^2)$	$V_R (10^3 m^3)$
1	Certescans(3)	2232.56	104.56	59.30	29449.612
2	Mar-Arties(3)	2223.30	83.30	46.03	14219.430
3	Bramatuero-Inf.	2311.00	18.00	10.75	684.345
4	Bramatuero-Sup.	2526.00	30.00	23.60	3815.210
5	Azul-Inferior	2375.00	25.00	4.08	589.738
6	Saburedo Mayor(2)	2318.95	20.95	14.80	1268.875
7	Mar de Capdella	2427.00	72.00	29.12	10784.276
8	Mayor de Colomers	2082.15	24.15	8.27	843.381
9	Tramacastilla	1680.70	4.70	2.32	35.335
10	Fosser(2)	2122.95	34.95	11.15	2276.759
11	Colomina	2411.20	64.20	12.32	3776.788
12	Mariolo	2291.00	21.00	12.50	875.003
13	Frescau	2418.30	33.30	6.82	1000.096
14	Tort de Rius	2325.75	41.75	85.44	9206.437
15	Gémenes Inferior	2233.00	19.00	8.14	751.087
16	Gémenes Superior	2269.00	31.00	7.67	1232.207
17	Estany Gento(2)	2132.00	22.00	21.81	2381.511
18	Liat	2115.00	39.00	26.70	3805.081
19	Pecico Grande	2332.00	38.00	9.14	1424.274
20	Negro de Peguera	2333.00	69.00	28.70	10294.171
21	Tort de Capdella	2316.00	15.00	5.15	327.877
22	Saburó	2530.00	84.00	23.28	10106.543
23	Gerbé	2178.00	50.00	15.36	3957.092
24	Travesany	2244.40	26.40	11.09	1037.470
25	Tucmeneges Inf.	2281.40	13.40	3.09	170.787
26	Cavallers	1723.50	13.50	10.80	560.300
27	Llong	1980.00	12.00	8.10	489.281
28	Llauset	2131.00	11.00	5.34	232.372
29	Negro de Bohí	2147.00	27.00	9.74	840.649
30	Mariola	2272.40	38.40	17.93	3026.486
31	Mayor de Sens	2490.00	50.00	11.90	2847.579
32	Airoto	2202.80	40.80	19.40	4038.626
	Brazato Inferior	2286.00	19.00	4.40	354.210
	Moncasau	2022.00	4.00	2.24	58.608
	Ratera Grande	2362.50	19.50	4.73	411.698
	Ratera Mediano	2379.60	14.60	2.60	156.319
	Ratera Pequeño	2370.00	5.00	1.00	20.500
	Saburedo Superior	2622.35	24.35	8.34	1064.991
	Closell	2075.00	5.00	1.35	26.495
	Rumedo Superior	2125.40	11.40	5.58	232.254
	Rumedo Medio	2108.20	36.20	11.00	1642.930
	Llarg(3)	2145.25	16.25	11.55	1108.219
	Ubago(2)	2207.10	27.10	13.78	1466.073
	Cuvieso(2)	2338.00	36.00	17.45	3810.620
	La Gola(2)	2226.00	26.00	10.52	1296.167
	Arbé	2110.80	42.80	5.42	1189.894
	Cabana de Liat	2126.00	10.00	2.14	87.967
	Cap de Port	2524.50	24.50	7.47	813.946
	La Llastra	2429.00	15.00	2.29	171.065
	La Coveta	2399.00	7.00	2.25	80.682
	La Cabana	2379.00	9.00	2.28	92.309
	Trullo	2313.00	17.00	2.37	195.920
	Ribereta Superior	2301.00	23.00	1.67	169.458
	Cabanes	2192.00	54.00	6.81	1397.929
	Ribereta Inferior	2247.20	53.20	7.76	1395.889
	Clot(2)	2120.45	12.45	3.16	115.120

Nº(*)	NOMBRE DEL LAGO	ALTITUD(m.)	H(m.)	$S_H(10^4 m^2)$	$V_R(10^3 m^3)$
	Naorte	2150.00	12.00	4.19	291.032
	Manyera	2164.75	4.75	2.13	75.900
	Rumedo Inferior	1999.20	19.20	7.17	706.082
	Tucmeneges Sup.	2317.25	39.25	13.29	1597.585
	Baborte	2333.20	31.20	6.78	1033.297
	Pulgar	2424.00	20.00	4.83	434.848
	Gallina	2269.00	16.00	4.49	377.742
	Caldas(2)	2184.00	16.00	3.37	191.114
	Rius-A	2316.00	8.00	0.75	31.487
	Rius-B	2316.00	20.00	4.30	397.877
	Malniu	2250.00	15.00	8.24	502.461

(*) Corresponde a la numeración del plano de situación de la Fig.1

(n) Señala el número de depresiones sumergidas en cada lago.

MATERIAL Y METODOS

Se ha partido para cada lago de la muestra de una cartografía detallada. Tras la elaboración de las batimetrías correspondientes y, teniendo en cuenta los antecedentes históricos, se ha escogido la metodología, derivada de las curvas características de los lagos, como la mas adecuada para identificar geométricamente la cuenca lacustre.

Desde el primer tercio de la centuria actual, numerosos estudios se han realizado sobre morfometría en ríos-caracterización de la morfología interna en embalses- y en lagos-significación de los parámetros definidores del cuenco lacustre-.

La clasificación geométrica de embalses, dentro de la morfogénesis fluvial, la analizó Garret, Hillman y Sutherland(1932). Análogos planteamientos matemáticos fueron empleados por Sáenz García(1934) en España.

Por otro lado, las observaciones sobre morfología de lagos no quedaron sistematizadas hasta G.E. Hutchinson(1957). En España, el estudio morfológico de Nussbaum(1934) sobre los lagos del Pirineo es intuitivo pero poco riguroso. Pardo(1948), facilita datos sobre la morfometría de mas de 2400 lagos españoles sin proporcionar detalles de la morfología interna.

En este mismo contexto, Neumann(1959) señala un hito importante en las averiguaciones que hasta el momento habían tenido lugar para dar con la forma media de la concavidad lacustre. Sugiere una senoide elíptica como la geometría que, por término medio, mas se ajusta al cuenco lacustre-lagos de cualquier tipo-. La antedicha geometría no es casual: la relación profundidad media($\bar{D}$)/profundidad máxima(D_m) para este cuerpo es de 0.464. Por otra parte, este mismo autor trabajando con datos relativos a 107 lagos(90% de origen glaciar) repartidos por el mundo entero, listado facilitado por G.E. Hutchinson(1903-1991), pudo elegir el valor 0.467, para estos lagos, como promedio.

La relación aproximadamente lineal entre la profundidad media y la profundidad máxima con valor 1/2 (Neumann, 1959), dio lugar a la elaboración de análoga representación para las 81 concavidades de la muestra pirenaica, fig.2. Advertida la similitud entre gráficos y razones-hay que considerar que un gran porcentaje estudiado por Neumann tiene origen glaciar- se pensó en establecer una metodología mucho mas exhaustiva que pudiera caracterizar geométricamente el cuenco lacustre pirenaico. En este sentido, se recurrió a las curvas características. Es decir, curvas que, para cada altura de agua o profundidad, relacionan la superficie horizontal y el volumen en función de la misma. La primera curva recibe tambien la denominación de hipsográfica(del griego hypsos, altura). Determinadas, para cada una de las 81 cuencas de la muestra, las precisadas líneas, se ensayaron familias de curvas teóricas con la finalidad de buscar el mejor ajuste a las mencionadas curvas reales.

Fig.2. Correlaci3n entre la profundidad media $\bar{D}$ y la profundidad m3xima $D_{\text{m} \acute{\text{a}}\text{x}}$ para el cuenco glaciar pirenaico.

Fig.3

RESULTADOS

La curva teórica representativa del comportamiento real resultó ser una familia de parábolas de grado(n). Los distintos exponentes son números reales. Dada la gran cantidad de datos de la muestra, la determinación de la bondad del ajuste requirió tratamiento informático.

Ahora bien, en una primera aproximación, Sutherland(1932), que resulta ser suficiente, la curva tipo admite la simplificación siguiente: $s = kh^n$. El exponente es el mayor de los correspondientes a la familia de parábolas anterior.

La curva característica de volumen se obtiene por integración de la anterior: $v = kh^{n+1}/(n+1)$. En consecuencia, para la profundidad máxima H-valores S_H y V_R -ver tabla-se tiene: $V_R = S_H/(n+1)$.

El valor medio de la muestra $\bar{m} = n+1$ resultó ser 2.1591. Como, para profundidad máxima H, se cumple: $\bar{D}/D_m = 1/\bar{m} = 0.4632$, es notorio que la cifra obtenida es cercana a la de Neumann, lo que confirma-para cualquier altura de agua-la aproximación de la concavidad glaciar pirenaica-forma media-al paraboloide elíptico.

Con los cálculos efectuados, el cuenco lacustre glaciar pirenaico responde a una forma media cuyas características geométricas son:

$$s = k h^{1.1591}$$

$$v = k' h^{2.1591}$$

$$H_0 = 0.6835 H$$

El parámetro H_0 -fig.3-representa la altura a la que está el centro de gravedad del cuerpo geométrico sobre el punto mas bajo. En función de la profundidad máxima H, el valor de $H_0 = H(n+1)/(n+2)$.

DISCUSION

El planteamiento matemático efectuado-adecuar convenientemente una ley parabólica a las curvas características reales-presenta errores aceptables, tanto por lo que se refiere a cada curva hipsográfica de la muestra(2%), como por lo que respecta al valor medio(15%, evidentemente mayor).

Los valores de $\bar{m} = 2.1591$ (intervalo de oscilación 2;2.3), permiten apuntar una gran incidencia del fenómeno concreto de la sobreexcavación glaciar frente a factores que intervienen en el proceso general. Sin embargo, es necesario analizar la influencia de éstos en el campo de variación de $\bar{m}$.

A este respecto, Nussbaum(1934) sostiene que los lagos mas profundos se encuentran en zonas de pizarras, ya que son mas fácilmente erosionables.

De los resultados obtenidos se puede colegir que la formación de las concavidades depende del tamaño del glaciar-coeficientes k y k' . Por consiguiente, cabe una relación homotética entre curvas hipsográficas-para la misma h e idéntico m . Además, la influencia de la litología en la morfología fluvial ya se ha comprobado, Gómez Navarro(1966).

Otro elemento de incidencia en la modificación de m es la tectónica. Referente a ello, el geomorfólogo centroeuropeo afirma: "Uno de los problemas mas interesantes de la limnología glaciar es el de la formación de lagos. El sistema erosivo viene alterado por el ángulo del plano inclinado por donde discurre el glaciar, no obstante, los grandes lagos alpinos no pueden explicarse satisfactoriamente sin recurrir a dislocaciones tectónicas. Por eso se ha intentado atribuir el mismo origen a los lagos pirenaicos; sin embargo, el único lago que puede formarse así es el de Bramatuerro (Alto Caldares, fig.1)".

Esta contribución estructural en la morfogénesis glaciar, no solo es mantenida sino reforzada (E. Martínez de Pisón, M. Arenillas Parra, 1977): En el Pirineo, los lagos de circo son, como norma, claramente mas redondeados que los de fondo de valle, lo cual tiene que tener, fundamentalmente, una explicación tectónica; los circos, en los que se produce el desalojo de los materiales pétreos por el glaciar, suelen quedar definidos por la intersección de distintas fallas o fracturas, mientras que en el fondo del valle la estructura dominante resulta ser casi siempre la que define el propio valle.

Otro elemento modificativo de m es el retoque postglaciar que, obviamente, propició que las paleoformas, originadas por el hecho diluvial, no tuvieran estos parámetros sino unas ligeras alteraciones de los mismos (Gil Saurí, 1987).

CONCLUSIONES

El cuenco lacustre glaciar pirenaico puede identificarse con una forma geométrica en la que la superficie horizontal y volumen en función de la profundidad o calado tiene las expresiones matemáticas siguientes:

$$s = k h^{1.16} \quad v = k' h^{2.16}$$

La geometría de las criptodepresiones lacustres pirenaicas de origen glaciar es similar al paraboloide elíptico, exponente $m=2$.

A efectos de cubicación del lago-determinación de su volumen-es posible aplicar la fórmula $V_R = S_H (H/\bar{m})$ con los valores obtenidos, cálculo de S_H en el plano y de finición de H , ya sea, mediante unas cuantas medidas batimétricas, o bien, por extrapolación, a partir de la topografía externa mediante cortes transversales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo surgió estando el autor en la Cátedra de Geología Aplicada a la Ingeniería de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid donde, merced a una beca y la ayuda del Profesor D. Clemente Sáenz Ridruejo, se pudo iniciar una investigación sobre la morfología de los lagos y lagunas glaciares españolas.

Es por ello que el autor desea expresar, en especial, su gratitud al mencionado Profesor y sus colaboradores, cuya orientación, sugerencias y consejo en cada momento han sido fundamentales para iniciar estas investigaciones que esperamos concluyan con una clasificación genética de las diferentes formas lacustres.

No sería justo terminar este epígrafe sin manifestar el reconocimiento de la labor desarrollada por las personas que, durante nuestra estancia por las diversas zonas estudiadas, han utilizado parte de su tiempo y nos lo han dedicado.

BIBLIOGRAFIA

- Burgis, M.J.; P. Morris. 1987. The Natural History of Lakes. Cambridge University. 218.
- Dussart, B. 1966. Limnologie. Gauthier-Villars. 677.
- Gil Saurí, M.A. 1987. Morfometría de los lagos glaciares pirenaicos. Eria. 83-86.
- Gómez Navarro, J.L. 1966. Salto de Agua y Presas de Embalse. Dossat. T2. 1522-1535.
- Hakanson, L. 1981. A manual of lake morphometry. Springer-Verlag. 77.
- Hutchinson, G.E. 1975. A treatise on limnology. Jhon-Wiley. vl. 653.
- Margalef, R. 1975. Introducción al estudio de los lagos pirenaicos. Naturalia Hispánica. (4). 45.
- Martínez de Pisón, E.; M. Arenillas. 1977. El problema de la sobreexcavación glaciar. Estudios Geográficos. (145). 407-434.
- Neumann, J. 1959. Maximum depth and average depth of lakes. Journal Fish. Res. Bd. 16(6) 923-927.
- Nussbaum, F. 1934. Die seen der pyrenäen. Mitt. Naturforsch. Gesells. 184.
- Pardo, L. 1948. Catálogo de lagos españoles. In. Forest. Invest. Experienc. (41). 522.
- Saénz García, C. 1934. Forma empírica de las curvas características de los embalses. Actas XIV Congreso de la Asociación Española Progreso Ciencias. 9.
- Solé Sabarís, L. 1936. Els llacs dels Pirineus segons Nussbaum. Butlletí Institut Català d'Historia Natural. (36). 107-115.
- Sutherland, R.A. 1932. Some aspects of water conservation. Transactions-A.S.C.E. 157.