

C-07-2021

Comunicación científico-técnica

## Contribución a la caracterización geométrica de balsas como herramienta para el cálculo de indicadores de sostenibilidad

**Sánchez-Romero, F.J.<sup>a1</sup>, Pérez-Sánchez, M.<sup>b</sup>, Redón-Santafé, M.<sup>a2</sup>, Torregrosa Soler J.B. <sup>a3</sup>, Ferrer Gisbert, C.<sup>a4</sup>, Ferrán Gozálviz, J. J.<sup>a5</sup>, Ferrer Gisbert, A.<sup>a6</sup>, Zapata Raboso, F.A.<sup>c</sup>**

a Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n 46022. España.<sup>a1</sup> fco-sanro@agf.upv.es, <sup>a2</sup> miresan@agf.upv.es, <sup>a3</sup> jbtorreg@fis.upv.es, <sup>a4</sup> caferrer@agf.upv.es, <sup>a5</sup> jfferran@agf.upv.es, <sup>a6</sup> aferrer@agf.upv.es

b. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n 46022. España. mope-san1@upv.es.

c. Consellería de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica. C/Profesor Sala,2 Alicante. zapata\_fra@gva.es

**Resumen:** Las balsas a diferencia de las presas presentan desde un punto de vista geométrico elementos y formas similares que pueden ser estudiadas y caracterizadas para la obtención de relaciones y expresiones útiles para la planificación y análisis de diferentes aspectos. En el presente artículo se pretende recopilar y analizar las diferentes relaciones geométricas en balsas. En primer lugar se realiza una recopilación con las relaciones entre las diferentes variables encontradas en la bibliografía especializada. A partir de la información recopilada por la Generalitat Valenciana de aproximadamente unas 50 balsas, se han obtenido diferentes relaciones entre las variables. Estas relaciones permiten que de una manera aproximada y en fase de predimensionado de una balsa o gestión del territorio, la estimación rápida de diferentes parámetros como la superficie ocupada en función del volumen, superficie impermeabilizada y otro tipo de variables útiles tanto para los proyectistas, gestores y Comunidades de Regantes. El desarrollo y utilización de este tipo de herramientas analíticas debe permitir la caracterización de este tipo de infraestructura dentro de los sistemas hidráulicos, proporcionando indicadores que permitan una mejor planificación y gestión en base a Objetivos de desarrollo Sostenible.

**Palabras clave:** Balsas, geometría, superficie impermeabilizada

C-07-2021

*Scientific-technical communication*

## Contribution to the geometric characterization of Agricultural Water Reservoirs as a tool for the calculation of sustainability indicators.

Sánchez-Romero, F.J.<sup>a1</sup>, Pérez-Sánchez, M.<sup>b</sup>, Redón-Santafé, M.<sup>a2</sup>, Torregrosa Soler J.B. <sup>a3</sup>, Ferrer Gisbert, C.<sup>a4</sup>, Ferrán Gozávez, J. J.<sup>a5</sup>, Ferrer Gisbert, A.<sup>a6</sup>, Zapata Raboso, F.A.<sup>c</sup>

a Rural and Agroalimentary Engineering Department. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n 46022. España.<sup>a1</sup> fco-sanro@agf.upv.es, <sup>a2</sup> miresan@agf.upv.es, <sup>a3</sup> jbtorreg@fis.upv.es, <sup>a4</sup> caferrer@agf.upv.es, <sup>a5</sup> jjferran@agf.upv.es, <sup>a6</sup> aferrerg@agf.upv.es

b. Hydraulic Engineering and Environment Department. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n 46022. España. mopesan1@upv.es.

c. Agriculture, Rural Development, Climate Emergency and Ecological Transition. C/Profesor Sala,2 Alicante. zapata\_fra@gva.es

**Abstract:** The Agricultural Water Reservoirs, unlike dams, present from a geometrical point of view similar elements and shapes that can be studied and characterized in order to obtain relations and expressions useful for the planning and analysis of different aspects. In this article we intend to compile and analyze the different geometric relationships in Agricultural Water Reservoirs. First of all, a compilation of the relationships between the different variables found in the specialized literature is made. From the information compiled by the Generalitat Valenciana of approximately 50 Agricultural Water Reservoirs, different relationships between the variables have been obtained. These relationships allow, in an approximate way and in the pre-dimensioning phase of a Agricultural Water Reservoirs or management of the territory, the fast estimation of different parameters such as the occupied surface in function of the volume, waterproofed surface and other types of useful variables for designers, managers and Irrigation Communities. The development and use of this type of analytical tools should allow the characterization of this type of infrastructure within the hydraulic systems, providing indicators that allow better planning and management based on Sustainable Development Objectives.

**Keywords:** Agricultural Water Reservoirs, geometric, waterproofed surface

## 1. Introducción

La estimación de los diferentes parámetros que definen características significativas de las balsas en fase de predimensionado de una infraestructura de este tipo o como conocimiento para la gestión del territorio son herramientas muy útiles para los técnicos implicados.

En este sentido Aguiar[1] proponen una serie de relaciones en base a un conjunto de balsas ya construidas, relacionando la capacidad del embalse ( $m^3$ ) con el movimiento de terreno a desplazar ( $m^3$ ) y con la superficie impermeabilizada ( $m^2$ ) y de terreno ocupado ( $m^2$ ). Estas relaciones son presentadas mediante curvas sin expresión directa y sólo válidas hasta balsas de  $30000 m^3$ .

Zapata [2] propone en base a un conjunto de balsas construidas en la provincia de Alicante, Murcia, Valencia y Huelva algunas relaciones del mismo tipo con el propósito de utilizarlas para el análisis de un censo efectuado mediante fotografía aérea en la provincia de Alicante en el año 2003.

Actualmente por parte de las diferentes Comunidades Autónomas se está llevando a cabo el Registro de este tipo de infraestructuras (con mayor o menor éxito), además en algunas Comunidades se están realizando Revisiones de Seguridad. Todos estos trabajos están permitiendo conocer de un mayor número de balsas sus características geométricas y por tanto mejorar este tipo de relaciones y expresiones.

La determinación de relaciones matemáticas entre las variables geométricas permite en fase de predimensionado y proyecto de una balsa por ejemplo conocer cuanta superficie es necesaria para su construcción, información muy importante para la compra de terrenos por parte de la Comunidad de Regantes y/o entidad promotora. Además la aplicación de estas expresiones a datos obtenidos mediante fotografía aérea, y para el parque de balsas de un determinado territorio, permite estimar capacidades de almacenamiento y superficie de lámina instalada. Estos parámetros son importantes conocer para la gestión y ordenación del territorio. Por ejemplo el conocimiento de la superficie de lámina instalada, debe permitir una mejor planificación de posibles mecanismos administrativos y ayudas financieras para la reimpermeabilización y rehabilitación de balsas.

El objetivo principal del presente estudio, es a partir de la información disponible obtener relaciones entre los diferentes parámetros, que mejoren las estimaciones, persiguiendo la obtención de relaciones simples y máximos índices de correlación.

## 2. Materiales y métodos

Se parte de los datos recogidos de 48 balsas (ampliando los utilizados por otros investigadores ya comentados anteriormente), situadas principalmente en la provincia de Alicante según la Tabla 1 y analizados en [3].:

Tabla 1. Datos del conjunto de balsas utilizado.

NOMBRE	Planta	Nº Lados	Área de coronación (m <sup>2</sup> )	Área de fondo (m <sup>2</sup> )	Superficie de ocupación (m <sup>2</sup> )	Altura total (m)	Resg uard (m)	Cota de coronación (m)	Cota de fondo (m)	Total (m <sup>3</sup> )	Util (m <sup>3</sup> )	Longitud total (m)	Longitud en desmonte (m)	Longitud en terraplén (m)	Ancho (m)	Talud exterior IV/XH	Talud interior IV/XH	Talud de desmonte IV/XH	Altura máxima en terraplén (m)	Altura máxima en desmonte (m)	Material Imperm.
7ª ELEVACIÓN DE EL CHE	Polígono irregular cerrado	(6 lados)	17 644	7 448	26 285	7,5	0,5	130	122,5	94 100	84 000	730	171	559	4	1,5	2	1,5	8	2	PEAD
7ª ELEVACIÓN DE LA PEÑA	Polígono irregular cerrado	(5 lados)	12 947	5 067	24 498	8	1	154	146	148 000	61 440	462	210	252	5	1,5	2,5	1	16	5	PVC
AMOLADERAS	Triangular	(4 lados)	20 909	10 439	36 394	9,5	0,5	338	329,5	148 903	126 254	565	200	365	5	2	2,5	1,5	15	12	PEAD
BALSA Nº1	Polígono irregular cerrado	(4 lados)	8 733	5 241	10 961	6,5	0,3	50	43,5	45 400	42 774	382	0	382	2,8	2	1,5		1,2	0	PEAD
BALSA Nº2	Cuadrangular	(4 lados)	19 020	7 140	25 294	9,5	0,2	112	102,5	124 234	119 275	564	230	334	4	1,5	3	1,2	8,68	2,87	PEAD
BALSA Nº3	Polígono irregular cerrado	(4 lados)	15 803	4 385	23 100	9,5	0,5	107	98,5	85 789	77 488	544	335	509	4,5	2	3	3	11	2	PEAD
BETES II	Polígono irregular cerrado	(3 lados)	37 477	11 750	71 866	17	1,5	451	434	418 429	360 439	725	388	327	6	2,5	2,5	1,5	30,5	8	PEAD
BORRELL PONTARRÓ	Polígono irregular cerrado	(4 lados)	14 074	3 596	19 308	7	0	652	645	61 810	61 810	474	141	333	3	1,5	4		10	1	PEED
CERRO DE LAS AGUILAS	Polígono irregular abierto		96 930	25 443	113 647	18	2	382	384	1 101 357	926 584	1 260 000	200	45	2	2,5			42		PEAD
CID III	Rectangular		57 685	32 557	82 315	12	0,5	404	392	541 462	531 810	950	200	750	7,5	1,5	2,5	2,5	19	4,7	PEAD
CLAUDIO	Polígono irregular cerrado	(5 lados)	35 926	17 390	56 330	15	1	536,9	521,9	399 870	363 216	714	507	207	5,5	2,5	2	1,5	14,75	14	PVC
DE FOLLASTRES	Triangular	(4 lados)	37 248	20 704	50 495	9,5	0,5	674	664,5	275 572	238 280	762	0	762	7	1,5	2,5		8,5	0	PEAD
EL CANALLO	Polígono irregular cerrado	(5 lados)	49 685	19 979	85 540	11	0,7	335,28	324,28	383 152	347 679	879	185	694	6	1,5	3,5	1	13,6	4	PEAD
EL FERRAL	Ovalada	(4 lados)	90 947	51 215	120 623	15	1	327,02	312,02	1 066 215	995 134	1 133 000	447	666	7,5	2,5	2,5	1,5	12,2	7,5	Pasiflita
EL MORALET	Cuadrangular	(4 lados)	8 408	4 056	15 025	7	1	272	265	43 624	35 322	367	102	265	4,5	1,5	2	1,5	14	7	PVC
EL PABOSERO	Polígono irregular cerrado	(4 lados)	31 039	9 306	54 525	12,8	0,5	280	247,2	238 016	240 772	691	195	486	7,5	1,5	3	1,5	19	8,5	PVC
EL RECLÓT	Cuadrangular	(4 lados)	99 461	65 405	122 171	11	1	482	471	507 313	466 212	1 328 000	514	815	7	2	3	2	17	28	PEAD
EL ROLLO	Polígono irregular cerrado	(5 lados)	46 805	25 920	71 490	16	1	398,5	382,5	581 900	536 205	834	280	574	6	1,5	1,5	2	8	15	PVC
EL TOSCAR	Polígono irregular	(5 lados)	129 868	74 581	165 000	11,5	0,8	536	524,5	1 126 024	1 023 202	1 348 000	0	1 348 000	9	2	4	2	25	0	PEAD
FRANCISCO MIRA	Polígono irregular cerrado	(4 lados)	85 511	38 928	121 611	19,5	1	464	444,5	1 213 280	1 151 060	1 068 000	492	576	8	1,5	2,5	2	16	5	PVC
GIL WARTINEZ I	Rectangular	(4 lados)	32 018	19 081	55 573	7	0,9	310	303	178 776	153 665	683	431	252	6,5	1,4	3	2	13	7	PVC
JACARILLA	Polígono irregular cerrado	(7 lados)	22 305	6 517	35 526	10	0,25	112	102	144 110	133 911	633	489	134	4,5	1,5	3	1	12	20,5	PEAD
LA ALCORAYA	Polígono irregular cerrado	(6 lados)	8 342	2 142	13 596	7	0,4	253	246	36 684	32 726	440	200	240	4	1,5	2,5	1,5	9	4	PEAD
LA ARROBA	Rectangular	(4 lados)	30 278	6 363	46 173	15,5	1	73	57,5	284 123	254 257	751	238	463	5	1,5	2,5	1	14	16	EPDM
LA BOQUERA	Arriñonada	(4 lados)	36 120	7 648	51 666	18	0,5	387	349	341 118	324 555	648	285	383	6	2	2,5	2	16	5	PVC
LA CAVA	Triangular	(4 lados)	18 274	8 877	26 468	9,5	0,5	477	467,5	128 967	120 933	555	0	555	5	1,5	2		10	0	PVC
LA HERRADA	Cuadrangular	(4 lados)	33 678	16 420	54 675	9	0,5	672	663	225 441	208 666	721	189	532	6	2	3		12	2	PEAD
LA HORNA	Triangular	(4 lados)	15 174	4 425	23 615	10,16	0,65	368	358	99 563	91 557	518	105	413	4	1,5	2,5	1	16,55	4	PVC
LA MARGA	Rectangular	(4 lados)	24 886	7 615	41 096	10	0,75	536,85	526,83	162 505	143 486	622	332	290	4	1,5	3,2	1,5	12,25	14	PEAD
LA MOLA	Polígono irregular cerrado	(4 lados)	82 435	38 922	119 197	19	0,75	333	314	1 152 882	1 088 459	1 110 000	441	669	9,5	2,5	2,5	1,1	26	17	N. arcilla
LA SOLANA	Cuadrangular	(4 lados)	8 130	2 978	13 916	7	0,8	447	440	39 088	32 407	387	135	222	4	1,5	2,5		7	0	PEAD
LLANO DE LOS LOBOS II	Cuadrangular	(4 lados)	26 465	12 667	40 680	10	0,6	216	206	195 000	176 916	652	57	595	5,25	1,5	2,5	10			PVC
LOS CABEZOS	Polígono irregular	(5 lados)	85 087	53 759	114 282	10,5	0,75	531	520,5	728 942	664 874	1 084 000	322	772	5	2	3		12	0	PEAD
MONTEAGUDO II	Arriñonada	(5 lados)	52 037	32 634	53 516	9,5	0,5	428	418,5	403 130	376 722	883	272	611	6	1,5	2,5	1	27	28	PEAD
MURADA NORTE	Rectangular	(4 lados)	10 906	949	28 485	9,6	0,25	240	230,4	56 904	54 758	509	0	509	4	1,5	2,5		11	0	PEAD
PILAR DE LA HORRADA	Polígono irregular cerrado	(6 lados)	37 882	20 680	58 560	10	0,8	96	86	283 410	265 074	771	177	594	9	1,5	2,5	2	7	3	PEAD
PLA ACETUNA	Polígono irregular cerrado	(6 lados)	19 064	9 574	20 330	8,25	0,5	387,85	379,6	118 132	106 112	535	339	389	7,3	1,3	2,5		8,9	0	PVC
RASPAY I	Cuadrangular	(4 lados)	5 459	1 986	8 775	6,8	0,3	684	677,2	25 313	22 516	300	0	300	3,5	1,5	2		5	0	PEAD
RASPAY II	Cuadrangular	(4 lados)	29 042	13 765	49 684	10,5	0,25	700	689,5	224 737	217 310	810	0	810	3,75	1,5	2		10	0	PEAD
RELLEU	Polígono irregular cerrado	(4 lados)	12 634	7 446	20 700	7	0,5	397	390	70 980	63 135	429	119	310	12	2	2		6	0	PEAD
RIO NACIMIENTO	Rectangular	(4 lados)	41 881	13 869	55 906	9,9	0	80	70,1	276 000	276 000	850	421	429	4	1,2	4	5	14,6	4	PEED
SAN CRISTÓBAL	Cuadrangular	(4 lados)	20 632	9 286	19 308	9,5	0	640	630,5	142 158	142 158	560	0	560	3,5	1,5	2,5		8	0	PVC
SAN ENRIQUE	Polígono irregular	(3 lados)	13 935	3 265	28 240	12	0,7	247	235	103 200	91 711	451	275	176	5	2	2,5	1	15	22	PEAD
SAN JUANJÍN	Polígono irregular cerrado	(5 lados)	23 760	5 850	34 247	9,9	0,3	104	94,1	146 869	137 669	637	285	382	3,5	1,5	3,5	1,4	14	16	PEAD
SAN PASCUAL	Polígono irregular abierto	(4 lados)	61 517	33 452	90 582	10,5	0,25	381	370,5	498 587	491 465	987	433	554	4	1,5	3	1,5	21	9	EPDM
VEREDA CA BECOS	Rectangular	(4 lados)	7 550	2 091	14 969	7	0,75	650	643	33 744	28 131	426	0	426	5	1,5	2		8	0	PEAD
VILLA MARTIN	Polígono irregular	(5 lados)	39 802	12 483	40 622	11	1	99	88	287 500	241 500	780	240	544	4	1,5	4	2	11	1	PEED

### 3. Resultados y Discusión

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las diferentes parámetros analizados

#### 3.1. Superficie Ocupada

Respecto a la Superficie Ocupada puede ser estimada mediante la figura 1 y ecuación (6).

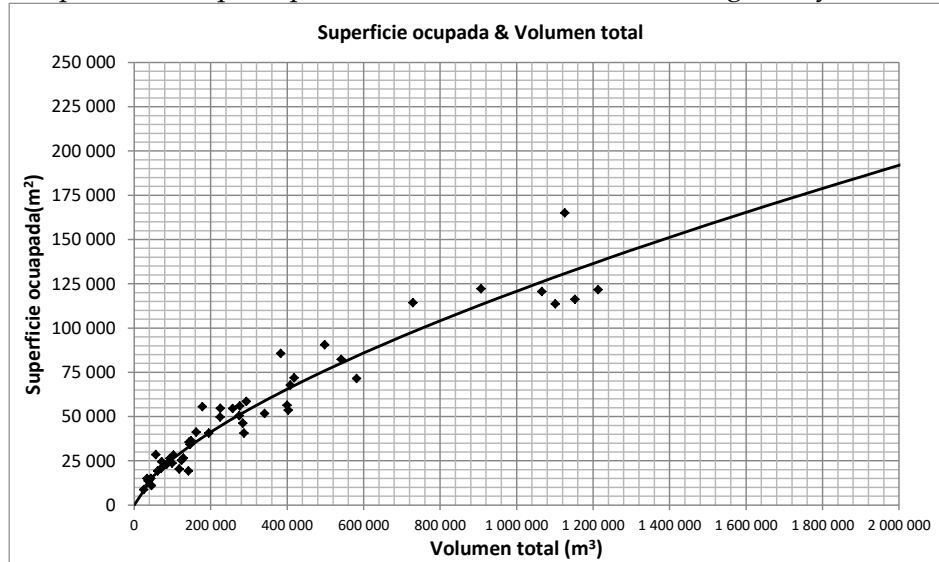


Figura 1. Relación entre la superficie ocupada y el volumen total.

$$S_{ocupada} = 11.937 \cdot V_T^{0.667} \quad R^2 = 0.935 \quad (1)$$

donde  $S_{ocupada}$  es la superficie ocupada por la balsa en  $m^2$  y  $V_T$  es el volumen total hasta la cota de coronación en  $m^3$ .

La relación entre la  $S_{ocupada}$  y el volumen útil queda expresada en la figura 2 y ecuación (7).

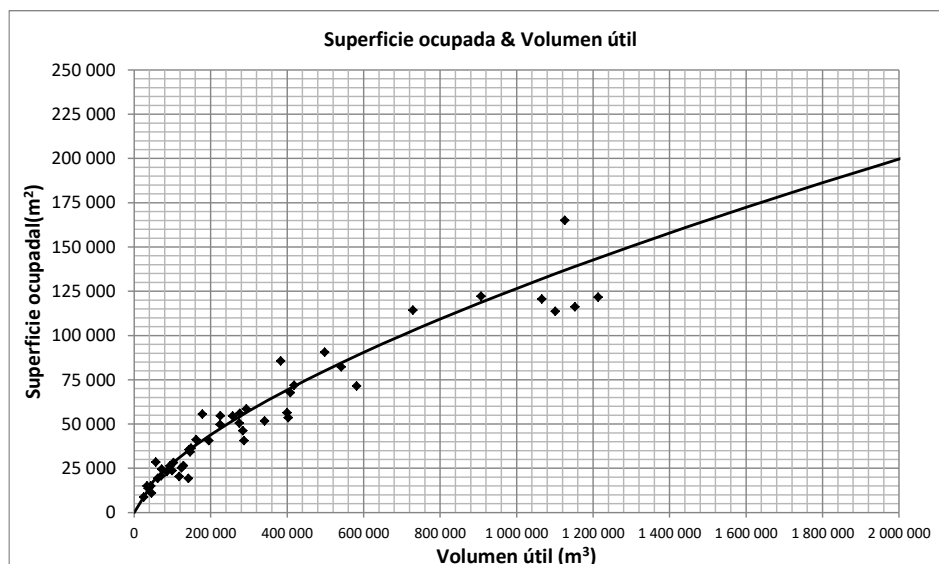


Figura 2. Relación entre la superficie ocupada y el volumen útil.

$$S_{ocupada} = 14.394 \cdot V_u^{0.657} \quad R^2 = 0.93 \quad (2)$$

donde  $V_u$  es el volumen útil de la balsa en  $m^3$ .

### 3.2. Superficie Coronación

En relación a la superficie de coronación ( $S_c$ ) ésta puede relacionarse con los volúmenes, así como con la superficie impermeabilizada ( $S_{impermeab}$ ), según las siguientes figuras y ecuaciones.

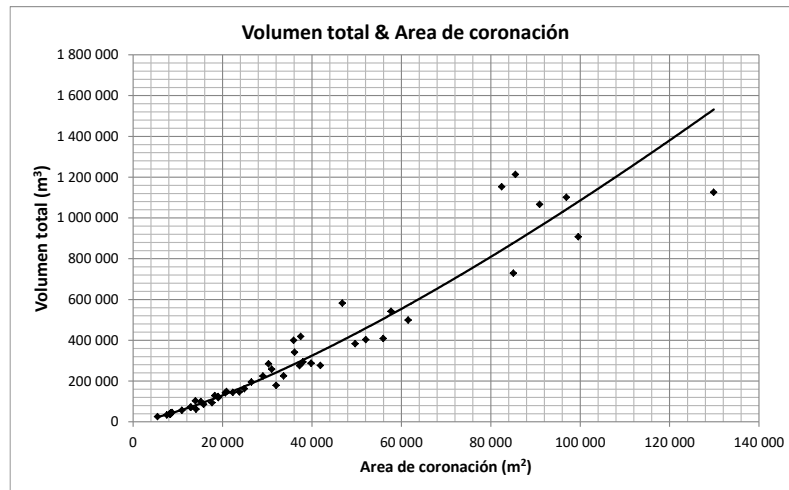


Figura 3. Relación entre la superficie de coronación y el volumen total.

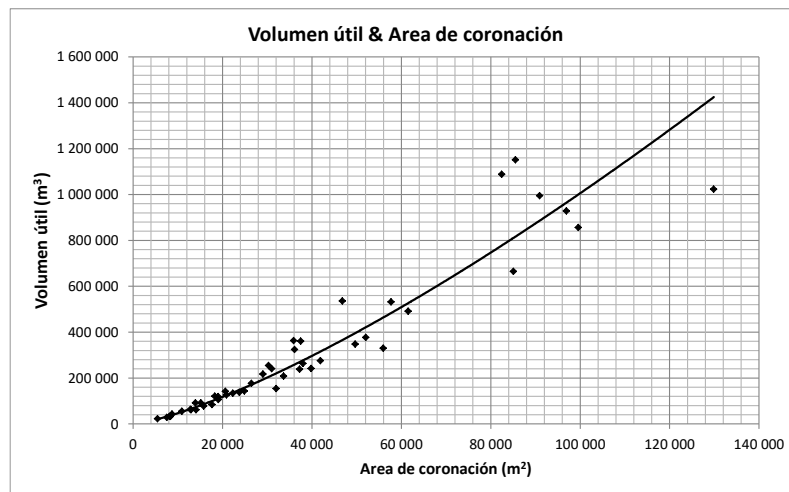


Figura 4. Relación entre la superficie de coronación y el volumen útil.

$$V_T = 0.2811 \cdot S_c^{1.3174} \quad R^2 = 0.973 \quad (3)$$

$$V_u = 0.2193 \cdot S_c^{1.3323} \quad R^2 = 0.971 \quad (4)$$

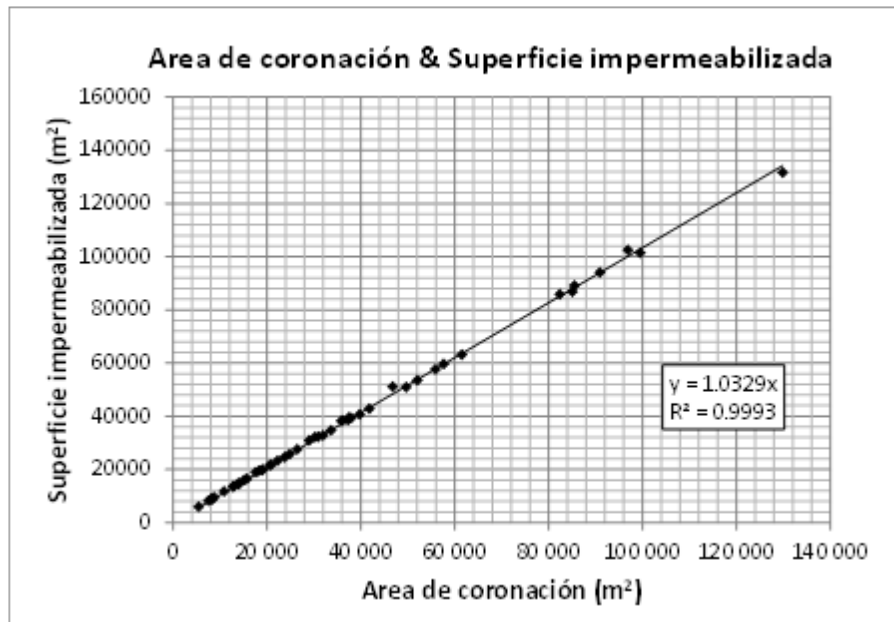


Figura 5. Relación entre la superficie ocupada y superficie de impermeabilizada.

$$S_{impermeab} = 1.0329 \cdot S_c \quad R^2 = 0.9993 \quad (5)$$

### 3.3. Otras Relaciones

Otro tipo de relaciones, útiles en el predimensionado de este tipo de infraestructuras se recogen en las siguientes figuras:

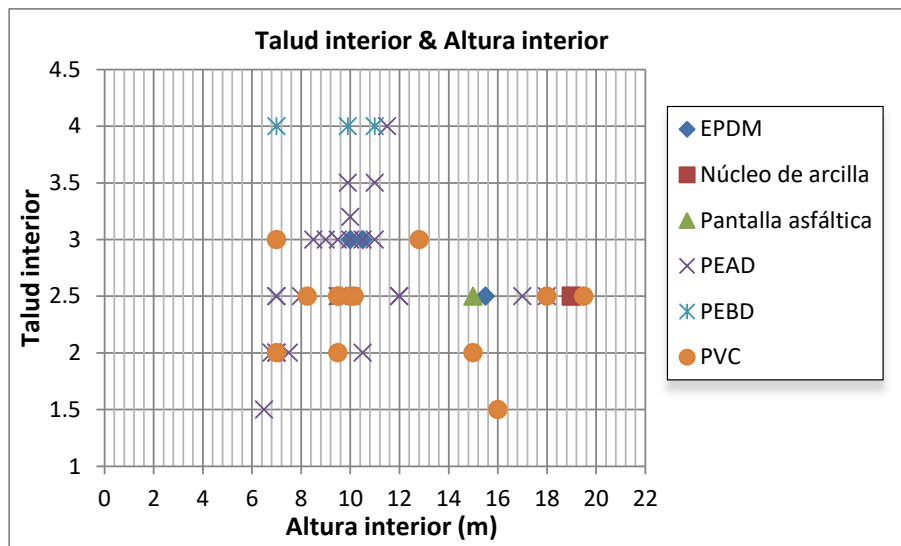


Figura 6. Relación entre el talud interior y la altura máxima interior.

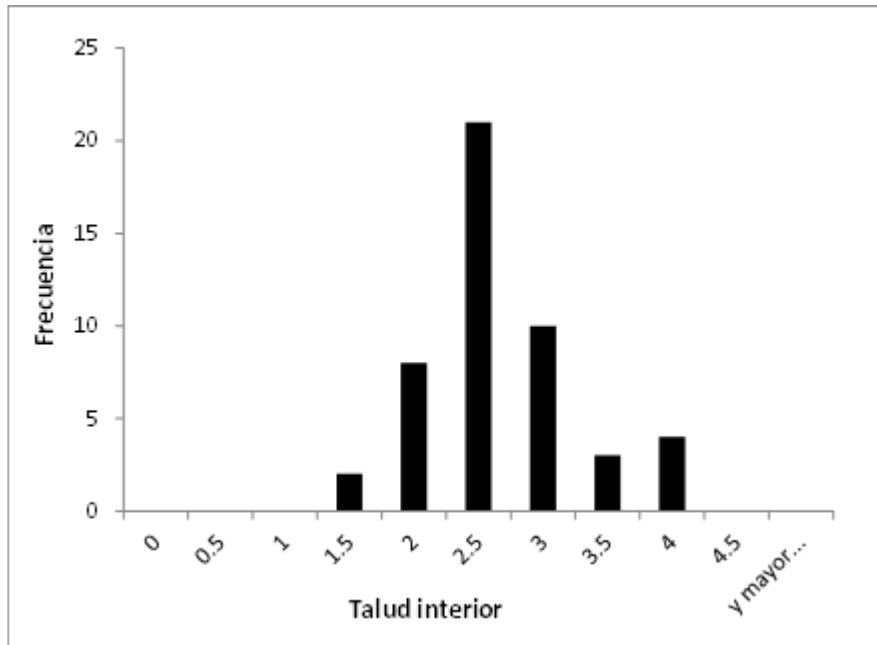


Figura 7. Frecuencias para el talud interior.

El Fetch queda definido como la distancia en la cual el viento puede actuar sobre una masa de agua. Para balsas esta definición se interpreta como la distancia normal desde la orilla opuesta en la dirección del viento hasta la estructura que se quiere diseñar. Este parámetro puede ser relacionado con el volumen útil y superficie de coronación según las siguientes figuras y ecuaciones:

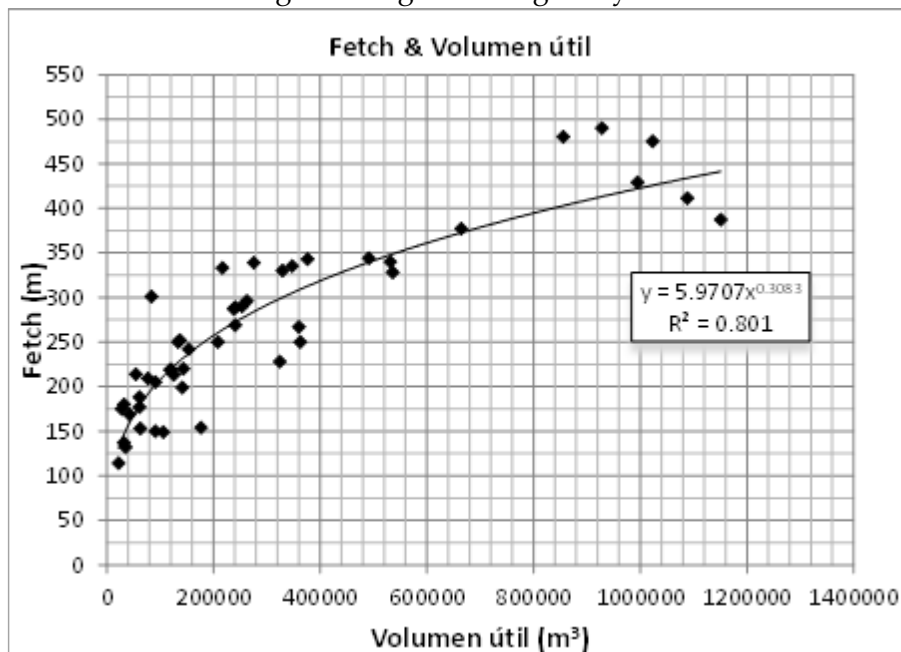


Figura 8. Fetch en relación al Volumen útil.



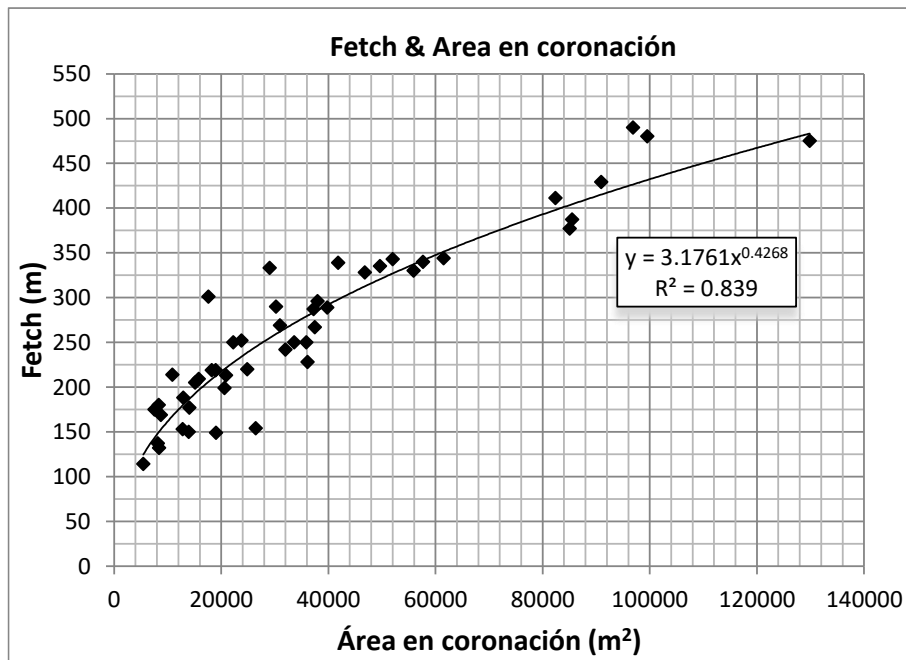


Figura 9. Fetch en relación a la Superficie de Coronación

#### 3.4. Ejemplo de Aplicación.

A partir de los datos del censo obtenidos por [2] para la provincia de Alicante y extrapolando al resto de España y un coste de 6 €/m<sup>2</sup> de sustitución del paquete de geosintéticos, es posible estimar el coste de reimpermeabilización en función del número de balsas.

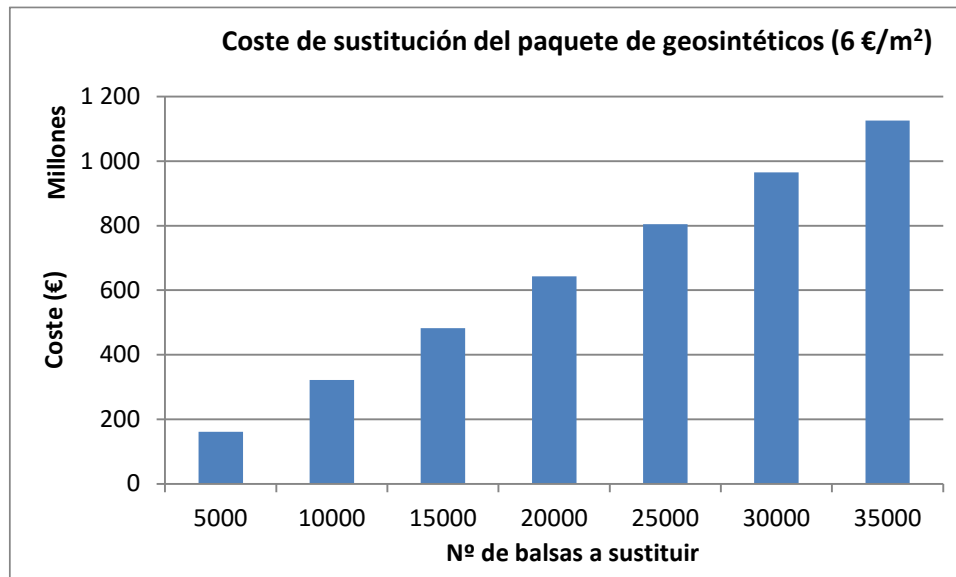


Figura 10. Estimación coste de reimpermeabilización en función del número de balsas.

#### 4. Conclusiones

A partir de los datos obtenidos para un conjunto de 50 balsas, recopiladas por la Generalitat Valenciana, ha sido posible obtener las diferentes relaciones entre los parámetros característicos geométricos de una balsa. En este sentido es posible por ejemplo mediante la medición de las diferentes características mediante fotografía aérea la estimación de las variables geométricas más significativas, así como la extrapolación a la totalidad de balsas del territorio, mejorando así la gestión y planificación del territorio.

Este tipo de herramientas deben permitir en fase de predimensionado, la estimación de los diversos parámetros significativos para la toma de decisiones.

Los presentes y futuros trabajos de recopilación de la información de estas infraestructuras en el territorio (Registro), ya sea mediante fotografía aérea o fichas técnicas in situ, podrán apoyarse en estas expresiones y estudios, para la caracterización general del parque de balsas existente.

Este estudio debe ser la base para estudios más detallados y diseño de metodologías que también permitan la estimación de la altura de los diques, a partir tanto de fotografía aérea como de información topográfica accesible.

#### Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el proyecto SISIFO (Desarrollo de herramientas analíticas para caracterizar la Sostenibilidad de los sistemas hidráulicos Indicadores que definen Objetivos de desarrollo sostenible) PID2020-114781RA-I00 del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica e Innovación 2017-2020.

#### Referencias

- [1] E. Amigó and E. Aguiar, "Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas," Cons. Agric. y Aliment. Gob. ..., 1994.
- [2] F. A. Zapata Raboso, "Análisis del comportamiento histórico de balsas de tierra en la Provincia de Alicante. Criterios de Diseño.," Universidad Politécnica de Valencia, 2003.
- [3] F.-J. Sánchez-Romero, "Criterios de seguridad en balsas de tierra para riego," Universitat Politècnica de València, 2014.